

Évaluation des risques que comporte la contamination interne des œufs en coquille par *Salmonella* Enteritidis

Leanne M. DeWinter^{1,*}, William H. Ross², Hélène Couture¹ et Jeff F. Farber¹

¹Bureau des dangers microbiens, Direction des aliments, Direction générale des produits de santé et des aliments, Santé Canada.

²Bureau de l'intégration des politiques alimentaires et des sciences, Direction des aliments, Direction générale des produits de santé et des aliments, Santé Canada.

*Adresse électronique de l'auteur-ressource: Leanne.DeWinter@hc-sc.gc.ca

Reçu le 9 mai 2011 ; la version finale reçue le 11 août 2011

Résumé Une évaluation des risques a été réalisée pour déterminer les risques pour la santé associés à la consommation d'œufs canadiens de catégorie A touchés par une contamination interne par *Salmonella* Enteritidis. La distribution de la prévalence des œufs contaminés a produit une moyenne de 1,7 par million à partir de troupeaux de poules réglementés. Les piètres conditions d'entreposage et de manipulation des œufs sont à la source de 0,6 % des expositions, mais provoquent 46 % des maladies; les œufs maintenus en conditions idéales d'entreposage et de manipulation sont à la source de 96 % des expositions et de 49 % des maladies. Ces résultats donnent à penser que les options de gestion des risques qui ciblent la prévalence des œufs contaminés et le nombre de maladies à partir d'un œuf contaminé sont appropriées. Les stratégies simulées de gestion des risques comprenaient i) la vaccination des troupeaux emménageant dans des poulaillers précédemment occupés par des troupeaux positifs, ii) une stratégie de gestion des analyses et de détournement des troupeaux avec des analyses environnementales pour la détection de *S. Enteritidis*, iii) l'abandon de l'utilisation d'œufs en coquille regroupés dans les domaines institutionnels et de la restauration et iv) l'élimination de la croissance de *S. Enteritidis* par l'amélioration des conditions

d'entreposage et de manipulation des œufs. Les stratégies ciblant la gestion des troupeaux ont produit des réductions simulées dans la prévalence des œufs contaminés qui variaient de 2 à 29 % des valeurs de base, avec de plus faibles gains simulés à partir de stratégies qui ciblaient la réduction du nombre de maladies par œuf contaminé.

Mots clés *Salmonella* Enteritidis œufs évaluation des risques

1. Introduction

Les œufs de table de catégorie A offerts en vente au Canada peuvent provenir de plusieurs autres sources : des importations d'œufs en coquille des États-Unis, des œufs en surplus des couvoirs de troupeaux de poules et de poulets à griller et des œufs en coquille provenant de plus petits troupeaux qui ne sont pas réglementés par le système de gestion de l'approvisionnement. Bien que ces sources constituent un important facteur dans le fardeau des maladies de *Salmonella enterica* subsp. *enterica* sérotype Enteritidis dans les œufs de table, elles ne sont pas incluses dans la présente évaluation, en raison principalement d'un manque d'information sur la prévalence des troupeaux et des pratiques de gestion des troupeaux.

Il n'existe que des renseignements anecdotiques sur les nombreuses caractéristiques que l'on croit susceptibles d'influencer le risque de maladies provoquées par *S. Enteritidis* qui découlent de la consommation d'œufs en coquille. Aucune étude officielle n'a été réalisée pour établir les conditions d'entreposage et de manipulation des œufs au Canada et la plupart des renseignements utilisés sont une extrapolation à partir d'opinions d'experts, de renseignements anecdotiques et de pratiques d'autres pays (États-Unis) (*p. ex.*, sections 2.6 et 5.3). Les conditions de référence choisies sont fondées sur celles qui ont été sélectionnées pour l'évaluation des risques de 2001 non publiée de Santé Canada [1], sauf lorsque des renseignements à jour étaient disponibles. Les pratiques de l'industrie et des consommateurs ayant trait aux options de gestion des risques qui ont été étudiées ne sont pas bien établies. Par conséquent, le cas zéro a été choisi comme référence pour ces pratiques.

Un examen particulier des causes de l'infection d'un troupeau n'a pas été réalisé (Figure 1). Les facteurs de risque pour une infection horizontale (de l'environnement au troupeau) ont été jugés bien documentés dans les références sur l'élevage. Les causes d'une transmission verticale provenant de troupeaux de reproduction sont gérées par des programmes d'analyse et de contrôle. Une transmission horizontale provenant de la nourriture et de l'eau est gérée par des programmes d'analyse et de contrôle. Le lavage des œufs et l'application d'assainissants sont déjà utilisés pour empêcher la contamination externe de la coquille des œufs et la pénétration ultérieure dans le contenu de l'œuf. On ne tient pas compte non plus des œufs fêlés et des œufs non classés dans l'évaluation des risques.

La présente évaluation des risques décrit les risques de maladie découlant de la consommation d'œufs de table canadiens de catégorie A touchés par une contamination interne par *S. Enteritidis*. Elle est fondée sur les pratiques de gestion des troupeaux de ponte et les caractéristiques de la manipulation et de l'entreposage des œufs au Canada. En raison de la disponibilité des données concernant la prévalence de *S. Enteritidis*, la portée est limitée aux œufs produits par les troupeaux de poules réglementés par les Producteurs d'œufs du Canada (POC), lesquels représentent environ 97 % des œufs de table de catégorie A (Figure 2). Les résultats d'intérêt relatifs aux risques dans la caractérisation des risques sont la *prévalence d'œufs touchés par une contamination interne par S. Enteritidis*, *probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion d'œuf contaminé*, *la probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion d'œuf au hasard* et *le nombre de maladies*. Ils ont tous un lien direct avec les résultats pour la santé humaine.

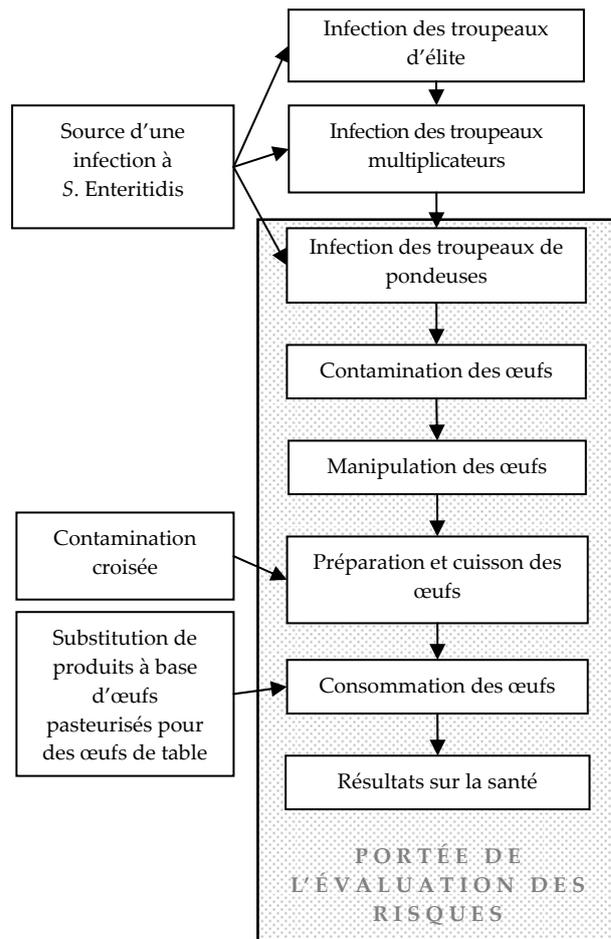


Figure 1. Portée de l'évaluation des risques.

L'évaluation des risques et le modèle résultant permettent la simulation des effets des diverses options de gestion des risques. Les effets sur le risque initial de maladie sont étudiés dans des simulations de trois stratégies principales de gestion des risques : vaccination des troupeaux de poules; détournement des œufs vers la pasteurisation lorsque des environnements de troupeaux ont produit un résultat positif pour *S. Enteritidis*; et des pratiques modifiées d'entreposage, de manipulation et de préparation des œufs de table. Les options de gestion des risques sont évaluées en comparant les données sur les risques résultants à celles sur les risques découlant des conditions de référence.

La structure de l'évaluation des risques suit le Cadre décisionnel de Santé Canada [2] ainsi que les lignes directrices pour une évaluation des risques microbiens, comme formulées par la Commission du Codex Alimentarius [3].

Des données et des renseignements supplémentaires non présentés peuvent être obtenus de l'auteur-ressource.

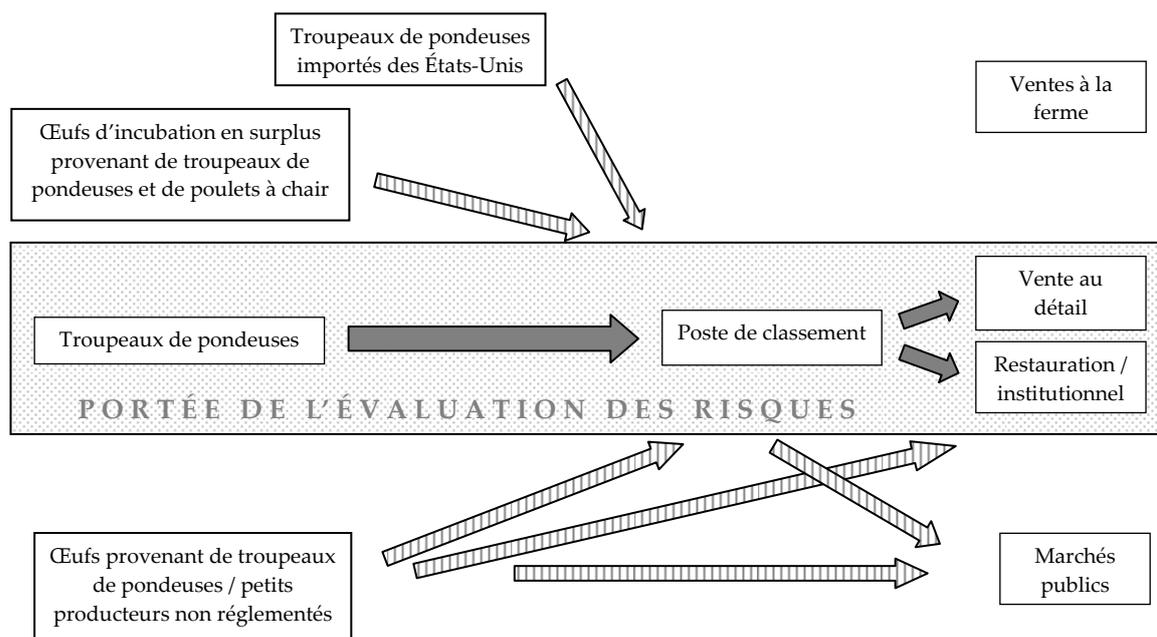


Figure 2. Portée de l'évaluation des risques pour les sources d'œufs de table de catégorie A offerts en vente au Canada.

2. Détermination des dangers

La détermination des dangers a été publiée dans plusieurs évaluations des risques [1], [4], [14], lesquelles présentent les caractéristiques de l'agent pathogène et les données épidémiologiques de la transmission de *S. Enteritidis* des œufs aux humains.

2.1 *Salmonella*

La *Salmonella* représente un important agent pathogène d'origine alimentaire à l'échelle internationale, avec environ 95 % de tous les cas de salmonellose provenant de l'ingestion de salmonelles dans des aliments contaminés [15]. Ensuite s'amorce une période d'incubation, normalement de 8 à 72 heures, pendant laquelle l'organisme prolifère dans l'intestin.

2.2 *S. Enteritidis* et les œufs

En ce qui a trait aux infections à *S. Enteritidis*, il a été établi que les œufs constituent un vecteur majeur pour les humains. La plupart des sérotypes de *Salmonella* contaminent les œufs en coquille sur leur surface extérieure, puis pénètrent dans leur contenu par les fissures dans la coquille ou en raison d'autres facteurs susceptibles d'entraîner la pénétration de la coquille de l'œuf (*p. ex.*, durée ou température inadéquates, lavage inadéquat de l'œuf). Des protocoles de lavage des œufs conçus et mis à l'essai de manière scientifique [16] utilisés à des postes de classement contribuent à réduire la charge microbienne associée aux surfaces des coquilles d'œufs, réduisant ainsi le risque pour les consommateurs. *S.*

Enteritidis est réputée pour constituer un important problème d'innocuité alimentaire dans les œufs en coquille en raison de sa capacité à être présente dans le contenu de l'œuf à la suite d'un dépôt transovarien des organismes dans le contenu de l'œuf à cause des tissus reproducteurs infectés des poules poudeuses. Les poules poudeuses sont le plus souvent infectées par *S. Enteritidis* sans présenter de signes de maladie. Le danger est aggravé lorsque des œufs en coquille contaminés ne sont pas réfrigérés, ce qui permet aux organismes d'accéder au jaune d'œuf riche en nutriments et de proliférer rapidement. Si un œuf est touché par une contamination interne par *S. Enteritidis*, la plupart des mets à base d'œufs sont suffisamment cuits pour inactiver *S. Enteritidis*; toutefois, elle pourrait être présente dans des mets à base d'œufs crus et elle pourrait survivre dans des mets à base d'œufs légèrement cuits.

2.2.1 Données épidémiologiques

Des éclosions d'infections à *S. Enteritidis* impliquant des œufs ou des aliments contenant des œufs sont bien décrites dans la documentation scientifique. Les infections à *S. Enteritidis* ont été associées aux œufs et aux produits dérivés d'œufs, mais également à la consommation de volaille et de produits de volaille, à la consommation d'amandes et de graines germées et à la transmission par des animaux (de compagnie) et des humains. Des infections contractées tant au pays qu'à l'étranger ont été documentées.

La documentation scientifique rapportant les éclosions de *S. Enteritidis* associées aux œufs pourrait avoir diminué

en raison du fait que les œufs représentent un véhicule avéré de *S. Enteritidis*. Toutefois, les œufs resteront un important vecteur d'infection en raison de la transmission transovariante dans des œufs intacts. La récente éclosion de *S. Enteritidis* dans les œufs en coquille signalée en Iowa, aux États-Unis, laquelle a provoqué environ 1939 maladies associées [17] en fait foi. De 1985 à 2002, de 73 % à 80 % des éclosions de *S. Enteritidis* aux États-Unis ont été répertoriées comme étant liées aux œufs [18], [19]. En outre, une étude récente de Voetsch et coll. a comparé les personnes atteintes de *S. Enteritidis* aux autres sérotypes de *Salmonella* et a désigné la consommation d'œufs insuffisamment cuits préparés à l'extérieur de la maison comme le plus important facteur de risque pour contracter une maladie sporadique [20].

Au Canada, la *Salmonella* a été la seconde bactérie pathogène entérique la plus commune depuis au moins 1997, selon des isolats de *Salmonella* provenant à la fois des éclosions et des cas sporadiques référés au Laboratoire national de microbiologie à partir de cas confirmés en laboratoire [21] et de cas rapportés par le programme des Maladies à déclaration obligatoire au plan national (MDON) [22]. Les taux nationaux de salmonellose selon le registre des MDON étaient de 18,0 et de 16,4 par 100 000 pour 2005 et 2006, respectivement [23]. *S. Enteritidis* s'est invariablement classée parmi les trois premiers sérovares associés à une maladie humaine au Canada depuis au moins 1995 et parmi les cinq premiers depuis au moins 1983 [24], [26].

Comparativement aux autres sérovares, l'occurrence des isolats de *S. Enteritidis* a continué d'augmenter d'année en année depuis 2003 et *S. Enteritidis* est maintenant le sérotype le plus répandu : 28 % de tous les cas de salmonellose en 2005 et 23 % en 2006 [27], [28]. Les données de laboratoire sont utiles pour une caractérisation détaillée de la souche, alors que les taux basés sur la population provenant du registre des MDON sont plus précis pour les chiffres globaux sur la salmonellose, car ils sont basés sur l'épidémiologie et recueillis sur une base obligatoire auprès des services de santé publique.

En appliquant Thomas et coll. [29], [30] aux données provenant d'enquêtes auprès de la population, de laboratoires et de médecins du Canada [31], [32], les rapports du registre des MDON [23], la documentation sur la surveillance de la salmonellose [27], [28] et la documentation microbiologique et épidémiologique [29], [30] (données non montrées) expliquent la sous-déclaration des maladies entériques lorsque nous examinons la mesure dans laquelle le nombre de maladies associées à *S. Enteritidis* au Canada varie d'une année à l'autre. Le nombre annuel estimé de maladies causées par *S. Enteritidis* s'élève en moyenne à 16 600 avec des points de 5 %, 50 % et 95 % de 15 300, 16 500 et 18 000 respectivement. Nous associons une importante

incertitude à chacune de ces statistiques sommaires. Certaines parties inconnues des maladies de *S. Enteritidis* seraient attribuables aux œufs provenant des troupeaux réglementés; d'autres parties inconnues seraient attribuables aux œufs provenant d'autres sources (autres que des œufs de catégorie A de troupeaux réglementés; des œufs de troupeaux de poulets à griller, de poudeuses, de troupeaux non réglementés et d'œufs de table importés; de produits d'œufs transformés) et encore d'autres parties inconnues sont attribuables aux autres voies non incluses dans la présente évaluation.

2.3 Pratiques pertinentes dans l'industrie canadienne des œufs

L'industrie canadienne des œufs utilise des pratiques diminuant la prévalence de *S. Enteritidis* parmi les troupeaux de poudeuses et par ricochet, la prévalence des œufs touchés par une contamination interne par *S. Enteritidis*.

Les troupeaux d'approvisionnement des couvoirs de ponte ont rarement été incriminés comme une source de *S. Enteritidis* au cours des dix dernières années en raison d'un programme mené par l'industrie qui comporte des mesures d'essai et de vérification [36]. En outre, l'ACIA effectue une surveillance de routine aux couvoirs en examinant des échantillons de duvet toutes les six semaines pour la détection d'une contamination à la salmonelle et publie un avis si les échantillons sont positifs pour *S. Enteritidis* de sorte que des mesures appropriées puissent être prises par l'exploitant du couvoir. Il est entendu que les poussins que l'on sait être infectés à *S. Enteritidis* ne seront pas intentionnellement fournis aux producteurs d'œufs.

La plus grande partie du secteur canadien des œufs de table est réglementée par les POC et les offices de commercialisation des œufs de dix provinces et des Territoires du Nord-Ouest. Ensemble, ils gèrent la production, le prix, la commercialisation et la promotion des œufs au Canada. Les troupeaux de poudeuses réglementés produisent environ 97 % des œufs du marché des œufs de table. Il existe environ 1045 fermes d'œufs réglementés et 19 millions de poules poudeuses au Canada. La plus grande partie des troupeaux réglementés sont logés dans des cages conçues pour que les œufs roulent hors de la cage, à l'écart de la poule et de l'équipement de collecte du fumier. Parmi les troupeaux réglementés, il existe également des troupeaux de poules biologiques, de poules de ferme et de poules élevées en liberté.

En 1990, les POC ont lancé leur programme *À l'abri de la Salmonelle*, lequel était le premier programme officiel au Canada à introduire des mesures de biosécurité à la production alimentaire commerciale principale [37]. Ce

programme a évolué au fil du temps, avec l'intégration des principes de l'HACCP et a été renommé *Propreté d'abord - Propreté toujours*^{MC} en 1998, et l'achèvement des examens techniques par l'ACIA en 2004 et en 2007. Le programme comprend des inspections à la ferme réalisées par des représentants provinciaux et fédéraux qui donnent à chaque producteur d'œufs un score et des suggestions d'amélioration. En général, les éléments du programme visent à réduire au minimum la possibilité d'introduire la *Salmonella* dans un troupeau de poudeuses et comprennent un type de gestion de troupeau par lots distincts, le nettoyage et la désinfection entre les troupeaux, des analyses de l'environnement avec un détournement des œufs provenant des troupeaux positifs du marché des œufs de table, la surveillance de la qualité de l'eau potable, des programmes de lutte antiparasitaire et l'approvisionnement en nourriture et en litière de fournisseurs observant les bonnes pratiques de fabrication.

Le programme est mené par l'industrie et, bien que la participation au programme soit facultative pour les producteurs d'œufs, elle est encouragée en offrant un dédommagement proportionnel au score atteint dans *Propreté d'abord - Propreté toujours*^{MC} pour les producteurs advenant le cas où un troupeau de poudeuses présente un résultat positif pour *S. Enteritidis*. Parmi les troupeaux de poudeuses régis en vertu du système canadien de gestion de l'approvisionnement, les POC ont obtenu une participation de plus de 90 % au programme *Propreté d'abord - Propreté toujours*^{MC} en 2005-2006, et on prévoyait une participation de 98 à 100 % en 2009. En 2005-2006, environ 92 % des troupeaux de poudeuses réglementés ont été soumis à des tests de dépistage pour *S. Enteritidis*, bien que la participation au dépistage ait maintenant atteint une participation de 100 %. *Propreté d'abord - Propreté toujours*^{MC} met actuellement en place un programme d'assurance qui offrira une indemnisation aux producteurs d'œufs dont des troupeaux sont infectés à *S. Enteritidis*.

En 2005-2006, 92,4 % des troupeaux de poudeuses ont été soumis à des tests de dépistage de *S. Enteritidis*; toutefois, la participation aux analyses relatives à l'environnement est facultative, et les producteurs d'œufs peuvent s'en retirer en tout temps dans certaines provinces. Les plans d'échantillonnage et les protocoles d'analyse sont déterminés à l'échelle provinciale et, par conséquent, il existe des variations dans la manière dont l'analyse est réalisée. Par exemple, une seule analyse est le nombre minimal d'analyses de l'environnement requis dans une province, laquelle a lieu huit à dix semaines avant la fin du cycle de ponte. Les diverses pratiques sont résumées dans le Tableau 1 en décrivant la partie de la production d'œufs faisant l'objet de différentes pratiques [38]. La sensibilité des différents plans d'analyse de

Pratique d'analyse d'un troupeau	Proportion de la production d'œufs couverte (%)
Au moins une analyse de l'environnement d'un troupeau aviaire	57,5
Fréquence des analyses pendant le cycle de ponte	
Une fois	82,5
Quatre fois	17,5
Nombre de sites échantillonnés	
Non précisé	4,2
40 à 59	56,6
60 à 64	39,2
Type d'échantillons	
Écouvillons	46,5
Poussière, duvet, etc.	42,7
Combinaison des deux	10,9
Mise en commun des échantillons	
2 à 4	39,9
5	57,5
16	2,6

Tableau 1. Les pratiques d'analyse nationales des troupeaux de poudeuses en 2005 et en 2006 représentées par la somme des productions provinciales d'œufs pour chaque pratique.

l'environnement pour détecter ceux qui sont positifs à *S. Enteritidis* varie entre les provinces et est inconnue.

Au Canada, les troupeaux ne sont pas systématiquement vaccinés, mais selon les autorités, ils peuvent être vaccinés si le troupeau hébergé précédemment a produit un résultat positif à *S. Enteritidis*. Par exemple, en 2006, environ 4 % des poules des troupeaux réglementés se trouvaient dans des troupeaux vaccinés [39], mais des précisions supplémentaires telles que le pourcentage des troupeaux vaccinés ou le protocole de vaccination n'étaient pas disponibles. La vaccination peut être pratiquée systématiquement, en l'absence de renseignements suggérant qu'un troupeau court un plus grand risque d'infection en raison d'une source particulière, ou d'une manière ciblée, à la lumière d'une infection dans le troupeau hébergé précédemment. La vaccination ciblée protège un troupeau jugé à risque élevé d'infection. Il s'agit généralement de troupeaux placés dans un environnement qui a donné lieu à un résultat positif pendant l'hébergement du troupeau de poudeuses précédent au cas où *S. Enteritidis* n'aurait pas été complètement éliminé par le nettoyage et la désinfection, ou dans le cas où *S. Enteritidis* peut être introduite de nouveau à partir de la même source.

Un aspect dont il importe de tenir compte à l'égard de la vaccination systématique est que le nombre d'organismes que les oiseaux infectés évacuent dans leurs fèces diminue, ce qui signifie que les troupeaux infectés peuvent être plus difficiles à repérer en utilisant une analyse bactériologique qui fait appel au même protocole

d'analyse de l'environnement [40]. Le fait que le résultat souhaité de diminution de la prévalence des œufs est vraisemblablement atteint est démontré par les résultats des programmes de vaccination au Royaume-Uni, où l'on croit que la mise en place des mesures de contrôle par vaccination des troupeaux de poules a mené à une diminution remarquable du nombre de cas de *S. Enteritidis* [41].

Un autre facteur à prendre en compte est que la vaccination écarte l'analyse sérologique des oiseaux, puisque les anticorps produits en réaction à la vaccination ne peuvent être distingués de ceux produits en réponse à une infection naturelle. Toutefois, ce désavantage n'est pas crucial puisque l'analyse sérologique est habituellement réalisée chez des animaux reproducteurs, mais rarement, sinon jamais, chez des troupeaux commerciaux de poules au Canada. Il a également été signalé que ni les vaccins de *Salmonella* inactivés ni les vaccins vivants atténués ne sont parvenus à contrer systématiquement une infection chez les poules pondeuses, en particulier lors de tests de provocation à dose élevée [42].

Au Canada, une faible proportion des œufs de table provient des œufs d'incubation en surplus de poules et de poulets à griller, de plus petits producteurs qui ne sont pas réglementés par le système de gestion de l'approvisionnement et de l'importation d'œufs en coquille des États-Unis. Bien que ces sources puissent également contribuer au fardeau de la maladie causée par *S. Enteritidis* dans les œufs de table, elles sont hors de la portée de la présente évaluation des risques en raison des données limitées publiées à leur sujet.

Les œufs ne peuvent être classés ailleurs qu'à des postes de classement enregistrés au palier fédéral, lesquels doivent satisfaire des exigences telles que la régulation de la température et de l'humidité pour l'entreposage des œufs, précisées dans le *Règlement sur les œufs* [16]. Les postes de classement sont contrôlés par l'ACIA régulièrement et sont soumis, deux fois par année à un échantillonnage environnemental pour la détection de la salmonelle. Les résultats positifs sont sérotypés, et des mesures correctives sont exigées. Les paramètres du lavage des œufs aux postes de classement enregistrés au palier fédéral sont précisés dans le *Règlement sur les œufs* afin d'empêcher la contamination de leur contenu par des contaminants provenant de la coquille, y compris l'exigence de l'utilisation d'assainissants, la température pour les lavages par pulvérisation ainsi que la température et le pH pour les systèmes de recirculation.

2.4 Mécanisme de contamination interne des œufs par *S. Enteritidis*

On croit que le dépôt de *S. Enteritidis* directement dans le contenu des œufs se produit principalement dans le blanc d'œuf, habituellement à un site près de la membrane vitelline [43], [44], [45]. Le blanc d'œuf est séparé du jaune d'œuf par la membrane vitelline, mais la membrane vitelline est semi-perméable et peut permettre un accès limité aux nutriments présents dans le jaune d'œuf, lesquels peuvent traverser la membrane. On croit généralement que *S. Enteritidis* prolifère lentement et seulement dans une moindre mesure dans le blanc d'œuf [46], [47]. On croit qu'un dépôt direct dans le contenu du jaune d'œuf ne se produit que très rarement ou jamais [45].

Les œufs peuvent être contaminés de l'extérieur par la salmonelle, que ce soit au moment de la ponte par un contact avec les fèces, ou après la ponte par un contact avec diverses sources, y compris la poussière, la litière, les matériaux du pondoir, l'équipement de transport des œufs, et par un contact avec des surfaces, de l'équipement ou du personnel pendant le classement et dans les environnements d'emballage. Aucune donnée n'indique que *S. Enteritidis* peut se déplacer à travers les coquilles d'œufs et les membranes internes plus facilement que les autres salmonelles, et on ne considère pas que *S. Enteritidis* rivalise de manière efficace avec les autres organismes sur les coquilles.

2.5 Prévalence de *S. Enteritidis*

2.5.1 Prévalence des troupeaux de poules infectées à *S. Enteritidis*

S. Enteritidis a été isolée dans les environnements des troupeaux canadiens de poules à la suite d'enquêtes sur les éclosions, de la validation d'un lien épidémiologique entre une maladie et un aliment en cause et au moyen des programmes de contrôle et d'analyse systématique.

Il n'existe pas de données qui établissent la prévalence de *S. Enteritidis* parmi tous les troupeaux de poules produisant des œufs de table pour le marché canadien, en particulier pour les sources qui n'occupent qu'une petite part de marché, comme de petits troupeaux de poules non réglementés; on ne retrouve pas non plus de données qui en établissent la prévalence parmi les troupeaux de poules produisant des œufs de table pour une exportation au Canada.

Source	Année de l'analyse	Troupeaux analysés	Poules dans les troupeaux analysés	Troupeaux positifs	Poules dans les troupeaux positifs
Poppe et coll. (1991a) [48]	1989	295		8	
OCCO (2007a) [39]	2005, excluant la CB	1550	15 533 731	12	154 664
OCCO (2007b) [54]	2006	1437	20 250 807	4	137 940

Tableau 2. Résultats de l'analyse de l'environnement de troupeaux de poules au Canada pour la détection de *S. Enteritidis*.

Les données publiées sur les résultats de l'analyse de *S. Enteritidis* pour les troupeaux de poules au Canada sont limitées aux troupeaux réglementés ou aux troupeaux commerciaux et comprennent une documentation microbiologique [48], [49], des rapports annuels des offices de commercialisation des œufs et des producteurs d'œufs provinciaux et nationaux, des associations d'éleveurs et des rapports gouvernementaux [39], [50], [54], dont certains sont reproduits dans le Tableau 2. Des renseignements supplémentaires sur *S. Enteritidis* dans les troupeaux canadiens de volaille, de poulets à griller, de poules à chair et de poules [55]-[57] et des renseignements sur la prévalence de *S. Enteritidis* dans des troupeaux provenant d'autres pays sont considérés comme non pertinents à la description de la prévalence dans des troupeaux au Canada.

Selon la pratique actuelle, parmi les troupeaux de poules réglementés, la confirmation de l'infection à *S. Enteritidis* d'un troupeau de poules est basée sur les résultats d'une analyse de l'environnement, ce qui est cohérent avec les résultats publiés [14], [58], [60]. Des études ont démontré que des troupeaux hébergés dans un environnement négatif comprennent rarement des oiseaux infectés, ce qui signifie que la valeur prédictive d'un résultat négatif est bonne [49], [61], lorsque la sensibilité de l'analyse de l'environnement est suffisamment élevée. La présence de *S. Enteritidis* dans l'environnement d'un troupeau de poules indique une colonisation intestinale, un signe avant-coureur d'une infection de l'appareil génital, et elle est par conséquent un indicateur d'une infection du troupeau [59]. D'un autre côté, d'autres analyses sur des troupeaux dans un environnement positif ne démontrent pas toujours l'infection des oiseaux [49], possiblement parce qu'une infection de l'appareil génital peut persister après l'arrêt de la colonisation intestinale [62], [63].

Les données publiées dans la documentation microbiologique sur la prévalence de *S. Enteritidis* dans les troupeaux canadiens de volailles domestiques [48] sont désuètes à la lumière des pratiques de gestion des troupeaux qui ont été introduites depuis.

Il existe des données limitées fournies par les offices provinciaux de commercialisation des œufs :

- Le Québec s'est doté de règlements qui se rapportent aux exigences d'analyse pour réduire l'incidence de

S. Enteritidis dans les œufs de table (LRQ cM-35.1 a.92); le *Rapport annuel de la fédération des Producteurs d'œufs de consommation du Québec* de 2005-2006 indiquait que le taux de contamination environnemental à *S. Enteritidis* des couvoirs de poules était de 1,64 %, de 2,26 % et de 0 % pour 2003, 2004 et 2005 respectivement, comparativement aux taux globaux de contamination à *Salmonella* spp. de 72,13 %, de 71,94 % et de 75,32 % au cours des mêmes périodes. La contamination environnementale dans des poulaillers d'élevage de poulettes était de 2,61 % en 2003 et de 1,14 % en 2005, comparativement aux taux de contamination généraux à la salmonelle de 52,17 %, de 49,59 % et de 74,43 % en 2003, 2004 et 2005 respectivement.

- Les rapports annuels des Producteurs d'œufs de l'Ontario de 2004 et 2005 indiquent qu'une indemnisation pour les « troupeaux infectés à *Salmonella* » qui couvre les frais de vaccination et les indemnisations pour les oiseaux détruits ont été de 0 \$ en 2003, de 20 637 \$ en 2004 et de 110 290 \$ en 2005.
- Les rapports annuels de 2003 et de 2004 indiquent l'apparition de l'isolement de *S. Enteritidis* dans les environnements des troupeaux des poules de Saskatchewan [50], [64]. Les taux généraux de contamination à la salmonelle dans l'environnement d'un poulailler de poules varient d'un minimum de 13,6 % en 2001 à un maximum de 36,1 % en 1997 pour la période de 1997 à 2004. La Saskatchewan a également publié un décret de gestion des risques dans la *Saskatchewan Gazette* (2006), précisant les exigences d'analyse pour les troupeaux de poules d'œufs de table et les mesures à suivre lorsque *S. Enteritidis* est détectée dans une installation de production.

Les renseignements sur l'analyse de *S. Enteritidis* dans les troupeaux de poules reproductrices à griller et de poules [57] sont limités, (données non montrées) et on ne retrouve aucun renseignement sur l'analyse de *S. Enteritidis* au sein des troupeaux non réglementés.

Le potentiel d'une variation saisonnière, d'une variation régionale et d'une variation en fonction des pratiques de gestion de troupeaux est démontré dans les renseignements obtenus d'autres évaluations [6], [8], mais ce potentiel n'a pas été mesuré dans les données disponibles pour le Canada.

2.5.2 Prévalence de la contamination interne des œufs par *S. Enteritidis*

Plusieurs études ont caractérisé la proportion des œufs contaminés produits par des troupeaux contaminés naturellement [8], [49], [61], [65]-[69]. Humphrey et coll. [65] ont observé la production de poules infectées pendant environ quatre mois, notant que la production d'œufs touchés par une contamination interne est intermittente et d'une faible prévalence. La dynamique de la prévalence des œufs contaminés dans un troupeau infecté n'est que très généralement caractérisée [13], et par conséquent, sa description est inadéquate. La prévalence de l'œuf dans le troupeau utilisée ici est celle dont Poppe et coll. [49] et l'USDA (Department of Agriculture aux États-Unis) [8] font état.

On croit que la vaccination de troupeaux réduit la colonisation intestinale, un précurseur de l'infection des tissus reproducteurs, et se traduit par une diminution du taux de production d'œufs contaminés. On pense que les vaccins à virus inactivé, ou vaccins bactériens, stimulent l'immunité humorale alors que les vaccins vivants activent l'immunité à médiation cellulaire; ces derniers sont souhaitables pour une utilisation dans les troupeaux de poules puisque les salmonelles sont des parasites intracellulaires. D'un autre côté, certaines études démontrent que les vaccins bactériens suscitent une réponse anticorps aux flagelles, ce qui peut empêcher une colonisation et une infection de l'oiseau [70]. La prévalence de *S. Enteritidis* dans les œufs des troupeaux vaccinés contaminés par *S. Enteritidis* s'est révélée être un quart de celle des troupeaux non vaccinés contaminés par *S. Enteritidis* (0,24 % par rapport à 1,0 % respectivement) lorsqu'on injecte un vaccin à virus inactivé avec adjuvant commercial à base d'une souche virulente de *S. Enteritidis* PT4 par voie intramusculaire à l'âge de quatre et de dix-huit semaines à des troupeaux vaccinés [69].

2.6 Incidence des conditions d'entreposage et de manipulation sur les concentrations en *S. Enteritidis*

2.6.1 Concentrations initiales de *S. Enteritidis*

Des études sur des poules naturellement [71] et artificiellement [72] infectées indiquent que les œufs frais contaminés contiennent peu de *S. Enteritidis*. Des œufs contaminés récemment pondus par des poules naturellement infectées ne comportaient pas plus de 20 organismes avec une moyenne de 7 organismes, alors que des œufs contaminés récemment pondus par des poules artificiellement contaminées comportaient 200 organismes en moyenne. En plus de la voie d'infection, des différences dans le pouvoir envahissant

des souches peuvent également avoir un effet sur la taille des populations initiales lors de la ponte.

Nous supposons qu'il y a environ 1 log de croissance de *S. Enteritidis* avant que le pH du blanc d'œuf augmente et que les nutriments environnants soient épuisés [73], [74].

2.6.2 Dégradation de la membrane du jaune d'œuf et croissance de *S. Enteritidis*

S. Enteritidis prolifère lentement et à un niveau limité dans le blanc d'œuf [46], [47], mais une fois qu'elle atteint le jaune d'œuf, une croissance très rapide se produit à des températures favorables.

On pense que *S. Enteritidis* accède au jaune d'œuf lorsque la viscosité du blanc d'œuf diminue et que la perméabilité de la membrane vitelline augmente; ces événements se produisent naturellement au fil du temps [73]. Des températures supérieures et des périodes plus longues d'entreposage favorisent généralement une perte d'intégrité de la membrane et la traversée de la membrane vitelline par *S. Enteritidis* avant la consommation de l'œuf [75]. L'analyse de Paoli [1] ou de Whiting et de ses collègues [5] des données expérimentales produites par Humphrey (données expérimentales, non publiées) décrit le rythme de la rupture de la membrane du jaune d'œuf.

Si, à un moment pendant la manipulation d'un œuf contaminé, le pourcentage cumulatif de la perte de l'intégrité de la membrane atteint 100 %, on présume que *S. Enteritidis* accède aux nutriments requis pour sa croissance quand la température d'entreposage est supérieure à la température de croissance minimale. Si la température de l'œuf est maintenue à un degré suffisamment bas pendant toute la période qui suit la perte d'intégrité de la membrane, jusqu'au moment de la consommation, on ne s'attend pas à ce que *S. Enteritidis* prolifère.

On estime que la température de croissance minimale se situe entre 6 et 8 °C, mais elle n'est pas connue avec précision et elle peut varier d'un œuf à l'autre et selon les souches de *S. Enteritidis*. Une rupture de la membrane suivie d'un entreposage à une température supérieure à la température de croissance minimale peut entraîner une croissance en fonction du temps jusqu'à atteindre une population maximale de 10^{10} organismes par œuf [6], [8], [76], [77], [78].

Après le bris des œufs, l'accès aux éléments nutritifs du jaune d'œuf permet la croissance de *S. Enteritidis*, sous réserve des conditions de température minimale. La croissance peut également se produire parmi les souches de *S. Enteritidis* qui survivent à la cuisson lorsque des mets à base d'œufs sont conservés après leur cuisson et avant leur consommation.

2.6.3 Durée de l'entreposage et de la manipulation et température pendant ces périodes

Selon l'industrie ovicole canadienne et l'évaluation des risques précédente non publiée [1], la production et la manipulation des œufs de table sont séparées en treize étapes séquentielles, du moment de la ponte jusqu'à l'entreposage après la préparation des œufs pour la consommation; des distributions caractérisant la durée et la température ont été mises au point pour chaque étape (données non montrées). Nous substituons une température d'entreposage de préclassement qui reflète la modification réglementaire nécessitant l'entreposage des œufs à 10 °C (*Règlement sur les œufs*, C.R.C., c. 284, 2009). Les durées et les températures dans ce résumé reflètent la variabilité de la durée de l'entreposage et de la manipulation pour des œufs individuels et de la température pendant ces périodes.

- Poulailleur: environ 75 % des œufs proviennent d'établissements où l'on ramasse les œufs deux fois par jour (les œufs demeurent dans le poulailleur de 1 à 12 h) et le reste des œufs proviennent d'établissements où l'on ramasse les œufs une fois par jour (ils demeurent dans le poulailleur de 1 à 24 h; dans le poulailleur, la température varie de 18 à 40 °C).
- Exploitation agricole : en tout temps, entre 90 et 95 % des œufs proviennent de producteurs qui suivent les recommandations d'entreposage frigorifique, à des températures variant de 10 à 14 °C; les 5 à 10 % des œufs restants sont entreposés à la température ambiante variant de 15 à 25 °C, avant le transport jusqu'au classement; de 60 à 80 % des œufs sont ramassés aux exploitations agricoles à une fréquence de 2 à 3 fois par semaine, après 0 à 4 jours d'entreposage, alors que les 20 à 40 % des œufs restants sont ramassés aux exploitations agricoles à une fréquence de 1 à 2 fois par semaine, après un entreposage de 0 à 7 jours.
- Transport au classement: le transport jusqu'au préclassement requiert de 0,5 à 8 h, sans variation de la température des œufs individuels.
- Entreposage préclassement: les œufs restent en entreposage préclassement pendant 1 à 24 h, à une température variant de 4 à 10 °C (selon la réglementation) ou, pour 1 % des œufs, à une température variant de 10 à 15 °C (règlements précédents).
- Classement et réemballage: le processus de classement des œufs requiert de 0,1 à 0,5 h, à une température variant de 15 à 25 °C.
- Entreposage postclassement: les œufs restent en entreposage postclassement pendant 0,5 à 7 jours, à la température d'entreposage de préclassement.
- Transport vers les grossistes et les détaillants : de 60 à 80 % des œufs sont expédiés directement aux

établissements de vente au détail; les 20 à 40 % des œufs restants passent d'abord par l'entreposage chez le grossiste; la durée du transport est de 1 à 6 h.

- Entreposage en gros: lorsque cela se produit, l'entreposage chez le grossiste a cours à une température variant de 2 à 10 °C pendant de 0,5 à 21 jours.
- Écarts de l'entreposage au détail : de 0,2 à 1,5 % des œufs sont conservés pendant 1 à 12 h à une température variant de 15 à 30 °C pendant l'attente avant l'entreposage réfrigéré au détail.
- Entreposage au détail: au détail, la température d'entreposage des œufs varie de 4 à 12 °C, et les ventes, généralement à la douzaine, se produisent en 0,5 à 30 jours, mais en moins de 7 jours en moyenne.
- Entreposage chez le consommateur : alors que de 0,5 à 2 % des œufs sont entreposés à la température ambiante, la plupart des œufs sont entreposés à la température du réfrigérateur, soit de 4 à 12 °C; la durée d'entreposage dans une boîte à œufs varie entre 1 et 60 jours, avec une durée moyenne d'environ 14 jours; l'entreposage des œufs individuels varie de 0 jour à la durée d'entreposage de la boîte à œufs (le dernier œuf consommé).
- Entreposage après le bris et avant la cuisson : à domicile, de 1 à 10 % des œufs sont cassés, mélangés et conservés pendant 1 à 6 h à la température ambiante, soit de 15 à 25 °C pour 5 à 20 % des œufs ou à la température du réfrigérateur, de 4 à 12 °C, pour le reste; en établissements de services alimentaires et en institution, 1 à 30 % des œufs sont cassés, mélangés et conservés pendant 1 à 24 h, à la température ambiante pour 25 à 75 % des œufs ou à la température du réfrigérateur, de 4 à 12 °C, pour le reste.
- Entreposage après la cuisson : en milieu domestique, 1 à 10 % des mets préparés avec des œufs sont entreposés après la préparation pendant 1 à 24 h, à la température ambiante pour 1 à 10 % de ces mets ou à la température du réfrigérateur pour le reste, avant la consommation; établissements de services alimentaires et en institution, de 1 à 30 % des recettes à base d'œufs sont entreposées pendant 0 à 24 h, à la température ambiante pour 25 à 75 % des œufs ou à la température du réfrigérateur pour le reste, avant la consommation.

2.6.4 Effets de la cuisson

Malgré la vulnérabilité à la chaleur de *S. Enteritidis*, les consommateurs courent un risque accru d'exposition en raison de préférences pour des mets qui contiennent des œufs crus ou légèrement cuits. Ces types de préparation comprennent ceux destinés à maintenir un jaune d'œuf liquide, comme les œufs « sur le plat », « à la coque » ou « pochés ». Des études indiquent de plus faibles

réductions de \log_{10} de *S. Enteritidis* lorsque les œufs sont préparés de ces manières et de plus grandes réductions pour les œufs « tournés », brouillés ou durs. La durée de la cuisson des œufs utilisés dans des recettes peut varier de plusieurs heures (bien cuits), aux sauces (légèrement cuits) jusqu'à l'incorporation d'un œuf cru sans cuisson (sauces pour salade) [1], [4], [8], [10], [79], [85].

2.6.5 Pratiques de préparation des œufs et mélange d'œufs

Les œufs groupés, ou plusieurs œufs en coquille cassés et combinés, peuvent être entreposés pendant un certain temps avant d'être utilisés dans une recette ou un repas. Il s'agit d'une pratique, considérée comme la plus courante dans la cuisson en établissements de services alimentaires et en institution, où un nombre relativement élevé d'œufs sont cassés et entreposés ensemble. L'utilisation actuelle de produits à base d'œufs transformés plutôt que d'œufs en coquille mélangés au sein des ménages et des établissements de services alimentaires et en institution est inconnue.

2.7 Consommation d'œufs de table

La production totale d'œufs au Canada était d'environ 6,3 milliards en 2005, dont environ 75 % ont été vendus comme œufs de table [86]. Les œufs restants ont été utilisés pour des produits à base d'œuf transformés voués aux marchés nationaux ou d'exportation.

3. Caractérisation des dangers

Cette section met à profit la documentation microbiologique et épidémiologique sur la nature des conséquences sur la santé d'une maladie causée par *S. Enteritidis* et les facteurs qui déterminent la relation entre la quantité de l'agent pathogène ingérée et la réponse de l'hôte chez des populations vulnérables et normales.

3.1 Conséquences sur la santé

Les symptômes de la salmonellose comprennent une diarrhée légère à grave, des douleurs abdominales et des vomissements, ainsi qu'une fièvre accompagnée de maux de tête et de frissons. Dans les cas de diarrhées graves, une déshydratation peut mener à une hypotension, à des crampes, à une oligurie et à une urémie. Dans la grande majorité des cas, une maladie aiguë s'ensuit, laquelle dure quelques jours, et quant à la guérison, elle requiert moins d'une semaine. De faibles proportions de cas développent une bactériémie ou une méningite, ou peuvent développer des infections localisées qui causent des abcès, de l'arthrite, une cholécystite, une endocardite, une péricardite ou une pneumonie, et le décès est rare. Des infections invasives et un décès sont plus communs chez

les personnes très jeunes, très âgées ou immunodéprimées [87]-[91]. Les séquelles à long terme d'une salmonellose peuvent comprendre une malabsorption des éléments nutritifs essentiels (ce qui peut compromettre le système immunitaire et mener à une infection), une allergie, une arthrite réactionnelle, des affections auto-immunes et une néoplasie. Bien que l'arthrite réactionnelle soit habituellement de courte durée, certains patients peuvent être atteints d'une maladie chronique et chez d'autres, des complications peuvent découler de certaines affections sous-jacentes (*p. ex.*, des anomalies de l'hémoglobine).

Plusieurs analyses de salmonellose non typhoïde ont indiqué que *S. Enteritidis* causerait un peu moins d'infections invasives que d'autres sérovars à la suite d'infections gastro-entériques, sauf peut-être chez des groupes vulnérables, et ne se traduirait pas davantage par la mort que d'autres sérovars [79], [87], [89], [92].

Une excrétion fécale des salmonelles se poursuit normalement pendant quelques semaines après la guérison. Chez les enfants et certains individus atteints d'une infection asymptomatique, l'excrétion de celles-ci peut se poursuivre pendant des mois ou, rarement, plus d'une année. Dans moins de 1 % des cas, les individus deviennent porteurs chroniques et continuent à l'excréter pendant plus d'un an. Le traitement de la gastroentérite aiguë à *Salmonelle* au moyen d'agents antimicrobiens a été découragé puisque la maladie est normalement relativement brève et autolimitative. En outre, on croit que les agents antimicrobiens ont peu ou aucun effet sur le cours de l'infection et peuvent même prolonger l'excrétion ou l'état de porteur de l'organisme. Un traitement antimicrobien est indiqué pour les patients atteints d'une infection systémique ou d'une maladie très grave.

3.2 Populations vulnérables et normales

La démarche adoptée par Santé Canada pour l'évaluation des risques établit les différences de probabilité d'une infection après la consommation du même nombre de *S. Enteritidis* entre les populations vulnérables et normales. Pour *S. Enteritidis*, une seule population vulnérable comprend tous les individus qui comportent un risque plus élevé de salmonellose : nouveau-nés, jeunes enfants, femmes enceintes, individus âgés et individus immunodéprimés. Une seule population normale comprend le reste des individus de la population générale. Les renseignements anecdotiques et le facteur de l'âge, la prévalence des états immunodéprimants et la virulence de l'agent pathogène donnent à penser que la proportion de la population vulnérable varie de 15 à 25 % de la population totale.

3.3 Évaluation de la dose-réponse

L'évaluation de la dose-réponse fournit un lien mathématique entre le nombre d'organismes de *S. Enteritidis* consommés et la fraction d'une population consommatrice qui deviendrait malade, avec la caractéristique que la probabilité qu'un individu aléatoire de la population consommatrice tombe malade diminue, et ce, sans seuil, alors que la dose ingérée diminue. Cette évaluation de la dose-réponse repose sur la fonction de la dose-réponse de Weibull,

$$\pi(d; \theta, b) = 1 - \exp(-\theta d^{-b}) \quad (1)$$

dans laquelle $\pi(d)$ représente la probabilité d'une maladie causée par l'ingestion d'une dose d de *S. Enteritidis*, θ constitue un paramètre de position et b constitue un paramètre de forme. Avec la dérivation [1], [93] (données non montrées), le paramétrage particulier suit :

- une méta-analyse des données issues de l'essai d'alimentation donne à penser qu'une normale (-1,22, 0,025²) décrit comment $\ln b$ varie parmi les pathogènes;
- une valeur pour

$$\theta = -\ln(1-P)X^{-b} \quad (2)$$

découle du taux d'atteinte, 6,6 %, dans une éclosion de *S. Enteritidis* dans la crème glacée de grande envergure [94], [95], la concentration de *S. Enteritidis* (UFC par g) dans les portions de crème glacée contaminées (lognormal, moyenne de 0,15 et écart-type de 0,1) et la quantité (g) de crème glacée consommée (Pert[60,130,260]); et,

- une valeur pour

$$\theta_{vuln} = \theta_{normal} \left[\frac{\ln[1 - \text{Beta}(a_v, b_v)]}{\ln[1 - \text{Beta}(a_n, b_n)]} \right] \quad (3)$$

dans laquelle $a_v = 231$, $b_v = 987$, $a_n = 749$ et $b_n = 5966$, avec les différents taux d'atteinte parmi 1208 enfants et 6715 adultes exposés dans une éclosion d'origine hydrique de *S. Typhimurium* à Riverside, Californie [96].

Pour un individu choisi aléatoirement au sein d'une population vulnérable, la probabilité de maladie est supérieure à celle d'un individu choisi aléatoirement au sein d'une population normale :

- environ 1,7 fois plus élevée à des doses dans la plage de 1 à 10³ *S. Enteritidis*; et,
- environ la même à des doses supérieures à 10^{7,5} *S. Enteritidis*, où la probabilité de maladie s'approche de 1 pour les individus vulnérables et normaux.

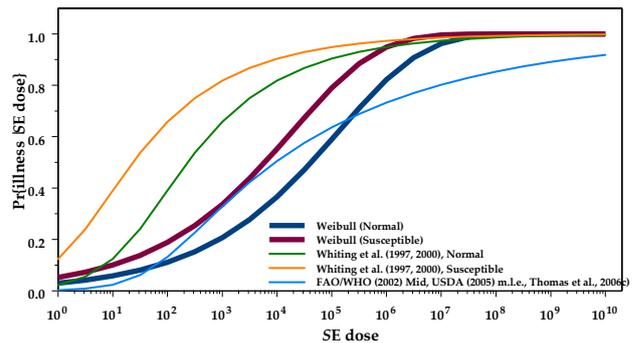


Figure 3. Probabilité de maladie en fonction de la dose de *S. Enteritidis* ingérée selon différents modèles de dose-réponse.

Beaucoup de discussions sont à prévoir sur la forme et le paramétrage d'une fonction de la dose-réponse pour *S. Enteritidis*. Dans les évaluations des risques que comportent les œufs contaminés par *S. Enteritidis*, diverses formes ont été utilisées pour la fonction de la dose-réponse, y compris la fonction de la dose-réponse Bêta-Poisson [5]-[8], [11], avec divers paramétrages, dont certains établissent également la distinction entre les populations vulnérables et normales [5], [6] et d'autres qui ne l'établissent pas [7], [8], [11]. D'autres évaluations des risques ont reposé sur des modèles qui tiennent compte de la gravité d'une maladie, mais pas des différences de la dose-réponse entre les populations vulnérables et normales [7]. Les paramètres des résultats sur la santé varient légèrement, mais pas considérablement, parmi les évaluations des risques. La Figure 3 illustre la représentation de différents modèles de dose-réponse de la manière dont la probabilité d'une maladie varie parmi les populations et en fonction de la dose de *S. Enteritidis* ingérée.

À de faibles doses de *S. Enteritidis*, le modèle Weibull utilisé dans la présente évaluation des risques est plus conservateur que les modèles de dose-réponse Bêta-Poisson que la FAO/OMS (Mid) [7], l'USDA (emv) [8] et

Thomas et coll. [11] ont dérivé du même ensemble de données sur les éclosions. Pour la population normale, il attribue une probabilité plus élevée de maladie à de faibles doses (de 1 à 100 *S. Enteritidis*) et une probabilité supérieure de maladie à des doses élevées ($\geq 10^{5,5}$ *S. Enteritidis*). Pour la population vulnérable, il attribue une probabilité supérieure de maladie à toutes les doses de *S. Enteritidis*. Il attribue une probabilité plus faible de maladie à toutes les doses de *S. Enteritidis* que le modèle de Whiting et coll. [5].

Le modèle de dose-réponse utilisé dans cette évaluation des risques permet de présumer d'un taux d'atteinte de presque 100 % aux doses de *S. Enteritidis* supérieures à environ 10⁷ *S. Enteritidis* (population vulnérable) et à 10⁸ *S. Enteritidis* (population normale). Les modèles de dose-réponse de la FAO/OMS (Mid), de l'USDA (emv) et

de Thomas et coll. confèrent une immunité à environ 8 % de la population, même à des doses de 10^{10} de *S. Enteritidis* [7], [8], [11].

3.4 Gravité de la maladie

La distribution des maladies entre tous les individus pour une maladie mineure, une maladie grave et un décès concorde avec la répartition de l'USDA [8] de la gravité des maladies (à des taux moyens), soit 96 % de maladies mineures, 4,4 % de maladies graves (hospitalisation et séquelles chroniques) et 0,041% de décès.

4. Évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition décrit la fréquence de l'exposition des consommateurs et le nombre de *S. Enteritidis* consommés dans les portions d'œufs préparées à partir d'œufs touchés par une contamination interne par *S. Enteritidis*. Les résultats d'intérêt de l'évaluation de l'exposition sont la prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* et de *S. Enteritidis* ingérée dans une portion d'œuf contaminée, lesquelles sont nécessaires pour compléter la caractérisation des risques (section 5) et pour examiner les options de gestion des risques (section 6).

On évalue l'exposition en utilisant un modèle de simulation mis au point à l'origine pour Santé Canada [1] qui applique la formule structurelle à un ensemble d'intrants du modèle (données non montrées). Les intrants du modèle reflètent les mises à jour des données sur la prévalence des troupeaux, des nouveaux renseignements issus des élevages et de la documentation microbiologique, des renseignements sur la commercialisation et la production, de certaines durées et températures de manipulation et d'entreposage, de la distribution des repas et des recettes parmi les individus et les réductions de \log_{10} lors de la cuisson.

Cette section est structurée de la manière suivante :

- la section 4.1 établit les conditions de référence pour l'évaluation de l'exposition;
- la section 4.2 fait état des résultats de l'exposition à partir de ces conditions de référence;
 - la section 4.2.1 fait état des résultats pour les conditions de référence; et,
 - la section 4.2.2 fait état des résultats pour les cas particuliers et la sensibilité.

4.1 Conditions de référence

4.1.1 Prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* consommés

La prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* parmi les œufs de table consommés est produite à partir

des renseignements sur la prévalence des troupeaux, la prévalence des œufs positifs à *S. Enteritidis* dans un troupeau positif, la taille des troupeaux positifs, le nombre d'œufs produits et la fraction vouée au marché des œufs de table.

Prévalence des troupeaux de poules infectées à *S. Enteritidis*

Les données disponibles proviennent d'analyses de l'environnement des troupeaux de poules réglementés réalisées pendant deux ans (Tableau 10). Toutefois, la sensibilité de l'analyse de l'environnement des troupeaux pour la détection de *S. Enteritidis* dans l'ensemble de cette analyse et la présence, dans la population canadienne des troupeaux de poules, de facteurs de risque faible et élevé d'infection à *S. Enteritidis* (section 2.5.1) est inconnue et n'est pas prise en compte de quelque autre façon.

La spécification de référence pour la prévalence des troupeaux correspond à ces résultats (données non montrées), et nous l'utilisons pour décrire la manière dont la prévalence des troupeaux varie au fil des ans. Les renseignements qui décrivent le potentiel de variation saisonnière, de variation régionale, de variation en fonction des pratiques de gestion des troupeaux et de variabilité de la prévalence des troupeaux parmi les différentes tailles de troupeaux ne sont pas disponibles.

Malgré le manque de données expérimentales sur la variabilité dans la prévalence des troupeaux selon la taille des troupeaux, ce cas particulier a été pris en compte dans la section 4.2.2 en utilisant des spécifications alternatives.

Prévalence des œufs dans un troupeau

La spécification de référence sur la manière dont la prévalence des œufs contaminés (prévalence des œufs) par *S. Enteritidis* pondus dans l'environnement d'un troupeau positif varie (données non montrées) est éclairée par la prévalence des œufs dont Poppe et coll. et l'USDA font état [8], [49].

Les conditions de référence ne tiennent pas compte des effets de la vaccination; les effets de la vaccination sont envisagés séparément comme une stratégie d'atténuation des risques (section 6.1.1). Alors que les politiques exigent que les œufs de troupeaux positifs à *S. Enteritidis* soient détournés vers la pasteurisation, les pratiques actuelles varient selon les autorités et par conséquent, on ne tient compte de ce facteur que dans le cadre de l'examen des options de gestion des risques (section 6.1.2).

Les spécifications de rechange pour une prévalence à l'intérieur des troupeaux sont examinées à la section 4.2.2.

Taille des troupeaux positifs à *S. Enteritidis*

La distribution des tailles des troupeaux (données non montrées) est utilisée comme un simple substitut pour décrire la manière dont le nombre d'œufs pondus dans un environnement de troupeaux positifs à *S. Enteritidis* varie et comment cela touche l'importance de la variation de la prévalence générale des œufs parmi les œufs de table dans le même troupeau et dans une prévalence de troupeaux.

Production d'œufs

La spécification de référence fixe les statistiques de production aux niveaux de 2005 (AAC, 2006; section 2.7).

*4.1.2 Niveau initial de contamination des œufs à *S. Enteritidis**

Le dépôt initial de *S. Enteritidis* dans le blanc d'œuf à un site près de la membrane vitelline varie avec une moyenne de 7 *S. Enteritidis* par œuf, suivi par une croissance jusqu'à $1,5 \log_{10}$, après quoi la population est considérée comme stable.

Les descriptions alternatives du dépôt de *S. Enteritidis* dans les œufs contaminés sont examinées à la section 4.2.2.

4.1.3 Entreposage, manipulation et préparation des œufs

Durées et températures d'entreposage et de manipulation

Les conditions liées à la durée et à la température modifient la perméabilité de la membrane vitelline et permettent une croissance lorsque la dégradation de la membrane du jaune d'œuf est complète. La spécification de référence décrit comment les conditions de production, d'entreposage et de manipulation varient entre les œufs. Après l'évaluation précédente des risques [1], nous les avons simplifiés par un ensemble de durées et de températures d'étapes séquentielles (section 2.6.3; données non montrées) et nous avons retenu les conditions d'entreposage et de manipulation des œufs consommés en milieu domestique et au sein des établissements de services alimentaires et des institutions. Nous attribuons la température de l'environnement dans lequel l'œuf est conservé au contenu de l'œuf et nous ignorons le réchauffement ou le refroidissement qui se produit pendant la transition d'un environnement à l'autre.

D'autres caractéristiques d'entreposage et de manipulation ont été étudiées séparément dans le cadre de l'examen des options de gestion des risques (section 6.2.1).

Dégradation de la membrane du jaune d'œuf et croissance de *S. Enteritidis*

Le rythme de la dégradation de la membrane du jaune d'œuf augmente avec la température et varie entre les

œufs individuels (données non montrées). Les conditions de référence comprennent le temps maximal fixe, mais incertain, requis pour la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf établi par Paoli [1].

Après la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf, les populations de *S. Enteritidis* prolifèrent si la température d'entreposage est supérieure à la température minimale de croissance. La température de croissance minimale varie (selon *S. Enteritidis* et l'œuf) de 6 à 8 °C. Le taux de croissance augmente avec la température et varie également selon *S. Enteritidis* et l'œuf. La densité maximale de la population pour *S. Enteritidis* dans les œufs est de 10^{10} UFC par œuf.

Cuisson

La spécification de référence pour établir à quel point la cuisson réduit les populations de *S. Enteritidis* dans un repas ou une recette d'œufs repose sur plusieurs des spécifications précédentes [1], [4], [8], [10], (section 2.6.4), généralement sous forme d'une réduction en \log_{10} .

L'inactivation varie entre les différents types de repas à base d'œufs dans lesquels l'œuf est le principal constituant reconnaissable comme dans les œufs sur le plat, les omelettes, les œufs à la coque, pochés et durs, et entre les différentes recettes d'œufs, dans lesquelles l'œuf n'est généralement pas un constituant reconnaissable comme dans des vinaigrettes, des sauces, des boissons et des produits cuits. Pour les recettes d'œufs, nous simplifions la variation entre les composants de catégories de types de recettes et entre les composants de catégories de types de recettes d'œuf. Ces composants reproduisent la manière dont les réductions en \log_{10} varient entre les œufs crus, légèrement cuits et bien cuits la manière dont les réductions en \log_{10} varient entre les modes de préparation des recettes dans une catégorie de types de recettes (données non montrées) respectivement.

Pratiques de préparation des œufs

Les inférences déduites à partir des données relatives aux rappels de 24 h dans une série d'enquêtes fédérales-provinciales sur la nutrition réalisées entre 1991 et 1999 [97] contribuent à la spécification de référence sur la manière dont les préférences des individus quant à la préparation et à la consommation des œufs varient pour les repas d'œufs par rapport aux recettes d'œufs entre les types de repas d'œufs, entre les recettes d'œufs chez les individus dans des groupes de population, et entre le milieu domestique et les établissements de services alimentaires et les institutions (données non montrées).

Les individus des groupes normaux et vulnérables et tels que décrits à la section 3.2 ne sont pas précisément identifiés dans les données des enquêtes fédérales-provinciales sur la nutrition [97]. Nous attribuons aux

populations d'individus vulnérables les caractéristiques de consommation des populations d'individus dotés des caractéristiques âge-sexe nominales que la section 3.2 attribue aux individus vulnérables; nous attribuons aux populations normales d'individus les caractéristiques de consommation des populations d'individus dotés des caractéristiques âge-sexe nominales que la section 3.2 attribue aux individus normaux.

Les effets des modifications apportées aux pratiques de préparation des œufs sont considérés à titre d'options de gestion des risques à la section 6.3.

Regroupement des œufs

La fréquence du regroupement des œufs et la variabilité de l'envergure du regroupement des œufs sont connues seulement dans la mesure où le regroupement des œufs avant la préparation ou la consommation dans des mets d'œufs (œufs brouillés, omelettes, œufs durs dans une salade aux œufs, sauces et vinaigrettes, mets cuits en cocotte et produits cuits au four) est une pratique qui se produit plus fréquemment dans les établissements de services alimentaires et les institutions qu'en milieu domestique et que les regroupements d'œufs dans les établissements de services alimentaires et les institutions sont plus importants qu'en milieu domestique [1], [8].

Conformément à Paoli [1] et à l'USDA [8], nous simplifions les pratiques pour représenter le nombre d'individus qui consommeraient une portion d'un repas ou d'une recette d'œufs préparée avec des œufs regroupés (données non montrées).

Les effets des changements apportés aux pratiques de regroupement et de préparation sont considérés comme des options de gestion des risques à la section 6.2.2.

Croissance pendant la préparation

Parfois, les œufs sont cassés et conservés à la température de la pièce ou du réfrigérateur avant la cuisson. De même, les mets préparés à base d'œufs sont parfois conservés à la température de la pièce ou du réfrigérateur avant de les servir. Dans les deux cas, une croissance de *S. Enteritidis* se produit (données non montrées).

4.2 Résultats de l'évaluation de l'exposition

Sauf lorsque cela se révèle pertinent, on ne fait pas état des résultats intermédiaires de l'évaluation de l'exposition (présentation des intrants du modèle et des résultats intermédiaires). Les intrants du modèle sont précisés par les distributions des valeurs plutôt que par des valeurs uniques. Ils décrivent comment la caractéristique décrite par l'intrant varie entre les individus, les conditions ou les circonstances, ou décrivent une incertitude quant à cette variabilité. Les

résultats du modèle reflètent ces intrants de distribution. On fait état de la variabilité des résultats en:

- séparant les résultats par les répartitions d'intérêt : pour les milieux domestiques et les établissements de services alimentaires et les institutions, entre les types de repas et de recettes à base d'œufs et entre les scénarios de croissance de *S. Enteritidis* reconnus; et en
- évaluant la variabilité des résultats dans ces répartitions : statistiques sommaires de la distribution des valeurs qui décrivent comment les résultats, habituellement des points moyens [5 %, 50 %, 95 %] de la distribution de la variabilité.

Nous n'avons pas suffisamment de renseignements issus de sources pour décrire correctement la plupart des distributions de l'incertitude des spécifications de référence; c'est pourquoi il est impossible de présenter des mesures quantitatives complètes sur l'incertitude pour les résumés que nous fournissons au sujet des résultats d'intérêt. Pour faire état de l'incertitude au sujet du résultat nous décrivons ce qui suit :

- les sources de l'incertitude; et
- les différences dans les résultats des risques dans différentes conditions incertaines (durée et température de l'entreposage, caractéristiques des troupeaux, caractéristiques de la prévalence, caractéristiques de l'attribution des repas et des recettes d'œufs et du regroupement des œufs, pratiques d'atténuation des risques)..

4.2.1 Conditions de référence

Prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis*

La prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* (prévalence des œufs) varie, comme la prévalence entre les troupeaux, l'œuf dans la prévalence des troupeaux positifs (entre les troupeaux positifs), et les poules dans les troupeaux positifs varient au fil des années, ou au cours des années (Tableau 3).

La distribution de la prévalence des œufs présente une moyenne de 1,7 par million d'œufs de table, un point de 5 % de 4 par 10 millions d'œufs et un point de 95 % de 3,1 par million d'œufs.

Concentrations de *S. Enteritidis* dans les œufs contaminés lors de la préparation

Avant la cuisson, il existe une plage de concentrations de *S. Enteritidis* dans les œufs contaminés en raison des différentes durées et températures d'entreposage, ce qui se traduit par des scénarios variés de croissance de *S. Enteritidis*. La concentration initiale de *S. Enteritidis* à la ponte est de 1,75 log₁₀ UFC par œuf à la médiane de 50 % (1,18 et 2,23 log₁₀ UFC à 5 % et à 95 % respectivement). *S. Enteritidis* peut atteindre la densité maximale de 10 log₁₀ par œuf en raison d'une durée suffisante à une

température permettant la croissance. Dans les œufs contaminés dans lesquels *S. Enteritidis* prolifère après une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf, les concentrations par œuf sont de $1,77 \log_{10}$ UFC à la médiane de 50 % (et de 1,19 et $2,33 \log_{10}$ UFC à 5 % et 95 % respectivement).

Le Tableau 4 décrit à quelle fréquence les trois conditions de croissance reconnaissables (aucune croissance, croissance $< 10^{10}$ UFC par œuf et croissance à 10^{10} UFC par œuf) varient parmi les œufs contaminés, dans un ensemble identique de conditions d'entreposage et de manipulation des œufs. Les conditions de référence n'établissent pas de distributions d'entreposage et de manipulation différentes pour les œufs consommés en milieu domestique et en établissements de services alimentaires et en institutions.

Alors que 6,8 % des œufs contaminés par *S. Enteritidis* subissent une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf avant leur consommation (Tableau 11, colonne de droite), ce phénomène se produit le plus souvent (85 % du temps où une dégradation de la membrane du jaune d'œuf se produit) pendant l'entreposage chez le consommateur. Le fait que moins d'œufs contaminés par *S. Enteritidis* (4,5 %) sont touchés par une croissance après la dégradation de la membrane du jaune d'œuf (Tableau 4) est attribuable à :

Caractéristique de la prévalence	Statistiques sommaires
SE-prévalence des troupeaux	0,53 % [0,28, 0,51, 0,84] %
SE-œuf dans SE-prévalence des troupeaux	0,31 % [0,00074, 0,13, 1,2] %
SE-prévalence des œufs	$1,7 \times 10^{-6}$ [$4,0 \times 10^{-7}$, $1,7 \times 10^{-6}$, $3,1 \times 10^{-6}$]

Tableau 3. Prévalence de référence de *S. Enteritidis* parmi les troupeaux, œufs contaminés par *S. Enteritidis* issus de troupeaux contaminés par *S. Enteritidis*. Statistiques sommaires. (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) des distributions.

Aucune croissance	Croissance à $< 10^{10}$ UFC œuf ⁻¹	Croissance à 10^{10} UFC œuf ⁻¹
95,5 [92,9, 97,6]	3,9 [2,0, 6,4]	0,57 [0,042, 1,6]

Tableau 4. Fréquence (%) des conditions de croissance pour les œufs contaminés par *S. Enteritidis*. Les entrées sont une estimation ponctuelle, des points de 5 % et 95 % à partir de sa distribution des incertitudes (par simulation).

- un entreposage à des températures inférieures à la température de croissance minimale chez le consommateur; et
- des durées d'entreposage suffisamment brèves, aux températures du réfrigérateur, pour qu'il ne se produise pas de dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf.

Aux spécifications de référence, environ 33 % des températures de réfrigérateurs domestiques et tout l'entreposage à la température ambiante (1 % des cas) excèdent la température de croissance minimale de *S. Enteritidis*. Les populations finales de *S. Enteritidis* atteignent la densité maximale chez environ 0,6 % de tous les œufs contaminés, environ 13 % des œufs contaminés qui subissent une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf.

S. Enteritidis dans une portion

Portion contaminée

La *S. Enteritidis* dans une portion contaminée aléatoire, à partir d'un œuf contaminé aléatoire, lorsque la portion contient une ou plusieurs *S. Enteritidis* (Tableau 5ab, 3^e colonne, SE ingéré | SE > 0), varie selon :

- la condition de croissance;
 - les concentrations en *S. Enteritidis* augmentent à partir des concentrations initiales de contamination lors de la ponte seulement lorsqu'une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf se produit (Tableau 4); et
 - les concentrations en *S. Enteritidis* atteignent des densités maximales de population dans seulement une petite fraction des œufs contaminés;
- les populations vulnérables et normales;
 - les spécifications de référence attribuent de petites différences dans les préférences des individus vulnérables et normaux pour les types d'œufs bouillis (à la coque, pochés et durs); autrement, les conditions de référence n'établissent pas de différence dans les distributions d'une réduction de la cuisson que les individus vulnérables et normaux appliquent à un œuf préparé de la même façon (données non montrées);

Repas ou recette		Conditions de croissance	SE ingéré SE > 0, parmi des portions de SE	Pr{SE > 0 SE-œuf} parmi des portions d'œufs contaminés par SE	Pr{SE > 0 œuf} parmi les œufs
Frits	Aucune croissance		1,1 [1, 1, 1]	0,062 [6,3×10 ⁻⁵ , 5,4×10 ⁻³ , 0,37]	1,1×10 ⁻⁷ [7,8×10 ⁻¹¹ , 7,8×10 ⁻⁹ , 5,9×10 ⁻⁷]
	Une certaine croissance		7,1×10 ⁴ [1, 1, 2]	0,083 [6,6×10 ⁻⁵ , 6,1×10 ⁻³ , 0,53]	1,4×10 ⁻⁷ [8,2×10 ⁻¹¹ , 8,9×10 ⁻⁹ , 8,6×10 ⁻⁷]
	Croissance jusqu'à saturation		1,4×10 ⁷ [1,4×10 ⁴ , 1,0×10 ⁶ , 7,3×10 ⁷]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Brouillés	Aucune croissance		1,0 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻³ [1,3×10 ⁻⁶ , 1,6×10 ⁻⁴ , 8,1×10 ⁻³]	2,9×10 ⁻⁹ [1,7×10 ⁻¹² , 2,4×10 ⁻¹⁰ , 1,4×10 ⁻⁸]
	Une certaine croissance		1,4×10 ³ [1, 1, 1]	0,016 [1,4×10 ⁻⁶ , 1,8×10 ⁻⁴ , 0,01]	2,8×10 ⁻⁸ [1,8×10 ⁻¹² , 2,7×10 ⁻¹⁰ , 2,3×10 ⁻⁸]
	Croissance jusqu'à saturation		2,8×10 ⁵ [275, 3,0×10 ⁴ , 1,3×10 ⁶]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
À la coque	Normal	Aucune croissance	3,6 [1, 1, 15]	0,44 [2,6×10 ⁻⁷ , 0,33, 1]	7,6×10 ⁻⁷ [3,4×10 ⁻¹³ , 3,9×10 ⁻⁷ , 2,5×10 ⁻⁶]
		Une certaine croissance	2,3×10 ⁶ [1, 1, 21]	0,46 [2,7×10 ⁻⁷ , 0,36, 1]	7,8×10 ⁻⁷ [3,5×10 ⁻¹³ , 4,2×10 ⁻⁷ , 2,6×10 ⁻⁶]
		Croissance jusqu'à saturation	4,2×10 ⁸ [54, 7,7×10 ⁷ , 2,0×10 ⁹]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
	Vulnérable	Aucune croissance	3,1 [1, 1, 14]	0,37 [1,8×10 ⁻⁷ , 0,12, 1]	6,3×10 ⁻⁷ [2,2×10 ⁻¹³ , 1,6×10 ⁻⁷ , 2,4×10 ⁻⁶]
		Une certaine croissance	1,9×10 ⁶ [1, 1, 19]	0,38 [1,8×10 ⁻⁷ , 0,14, 1]	6,5×10 ⁻⁷ [2,3×10 ⁻¹³ , 1,7×10 ⁻⁷ , 2,4×10 ⁻⁶]
		Croissance jusqu'à saturation	3,5×10 ⁸ [43, 2,6×10 ⁷ , 1,9×10 ⁹]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Recette, crus	Aucune croissance		2,1 [1, 1, 5]	0,66 [0,25, 0,69, 0,98]	1,1×10 ⁻⁶ [2,0×10 ⁻⁷ , 1,0×10 ⁻⁶ , 2,4×10 ⁻⁶]
	Une certaine croissance		1,9×10 ⁶ [1, 2, 6]	0,67 [0,26, 0,70, 0,99]	1,2×10 ⁻⁶ [2,1×10 ⁻⁷ , 1,0×10 ⁻⁶ , 2,5×10 ⁻⁶]
	Croissance jusqu'à saturation		2,7×10 ⁸ [1,5×10 ⁸ , 2,0×10 ⁸ , 2,9×10 ⁸]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Recette, légèrement cuits	Aucune croissance		1,0 [1, 1, 1]	0,019 [5,7×10 ⁻⁴ , 7,3×10 ⁻³ , 0,081]	3,3×10 ⁻⁸ [6,3×10 ⁻¹⁰ , 1,1×10 ⁻⁸ , 1,4×10 ⁻⁷]
	Une certaine croissance		1,9×10 ⁴ [1, 1, 1]	0,043 [5,9×10 ⁻⁴ , 8,0×10 ⁻³ , 0,13]	7,4×10 ⁻⁸ [6,5×10 ⁻¹⁰ , 1,2×10 ⁻⁸ , 2,2×10 ⁻⁷]
	Croissance jusqu'à saturation		3,5×10 ⁶ [1,5×10 ⁵ , 1,5×10 ⁶ , 9,9×10 ⁶]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Recette, bien cuits	Aucune croissance		1,0 [1, 1, 1]	5,6×10 ⁻⁸ [8,2×10 ⁻¹⁴ , 1,1×10 ⁻¹⁰ , 1,6×10 ⁻⁷]	9,4×10 ⁻¹⁴ [1,1×10 ⁻¹⁹ , 1,7×10 ⁻¹⁶ , 2,4×10 ⁻¹³]
	Une certaine croissance		1,1 [1, 1, 1]	1,9×10 ⁻³ [8,8×10 ⁻¹⁴ , 1,3×10 ⁻¹⁰ , 2,8×10 ⁻⁷]	3,5×10 ⁻⁹ [1,2×10 ⁻¹⁹ , 2,0×10 ⁻¹⁶ , 4,4×10 ⁻¹³]
	Croissance jusqu'à saturation		8,8 [1, 1, 26]	0,25 [1,6×10 ⁻⁵ , 0,016, 1]	4,3×10 ⁻⁷ [2,1×10 ⁻¹¹ , 2,5×10 ⁻⁸ , 2,2×10 ⁻⁶]

Tableau 5a. Concentration en *S. Enteritidis* dans une portion, en établissements de services alimentaires et en institutions. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) à partir des distributions.

Repas ou recette		Conditions de croissance	SE ingéré SE > 0, parmi des portions de SE	Pr{SE > 0 SE-œuf} parmi des portions d'œufs contaminés par SE	Pr{SE > 0 œuf} parmi les œufs
Frits	Aucune croissance		1,1 [1, 1, 1]	0,062 [6,3×10 ⁻⁵ , 5,4×10 ⁻³ , 0,37]	1,1×10 ⁻⁷ [7,8×10 ⁻¹¹ , 7,8×10 ⁻⁹ , 5,9×10 ⁻⁷]
	Une certaine croissance		7,1×10 ⁴ [1, 1, 2]	0,083 [6,6×10 ⁻⁵ , 6,1×10 ⁻³ , 0,53]	1,4×10 ⁻⁷ [8,2×10 ⁻¹¹ , 8,9×10 ⁻⁹ , 8,6×10 ⁻⁷]
	Croissance jusqu'à saturation		1,4×10 ⁷ [1,4×10 ⁴ , 1,0×10 ⁶ , 7,3×10 ⁷]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Brouillés	Aucune croissance		1,0 [1, 1, 1]	2,2×10 ⁻³ [1,8×10 ⁻⁵ , 4,1×10 ⁻⁴ , 0,010]	3,7×10 ⁻⁹ [2,0×10 ⁻¹¹ , 6,1×10 ⁻¹⁰ , 1,7×10 ⁻⁸]
	Une certaine croissance		1,4×10 ³ [1, 1, 1]	0,018 [1,8×10 ⁻⁵ , 4,6×10 ⁻⁴ , 0,016]	3,2×10 ⁻⁸ [2,1×10 ⁻¹¹ , 6,7×10 ⁻¹⁰ , 3,0×10 ⁻⁸]
	Croissance jusqu'à saturation		2,8×10 ⁵ [275, 3,0×10 ⁴ , 1,3×10 ⁶]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
À la coque	Normal	Aucune croissance	3,6 [1, 1, 15]	0,34 [1,6×10 ⁻⁷ , 0,067, 1]	5,9×10 ⁻⁷ [2,0×10 ⁻¹³ , 8,4×10 ⁻⁸ , 2,4×10 ⁻⁶]
		Une certaine croissance	2,3×10 ⁶ [1, 1, 21]	0,36 [1,7×10 ⁻⁷ , 0,078, 1]	6,1×10 ⁻⁷ [2,0×10 ⁻¹³ , 9,9×10 ⁻⁸ , 2,4×10 ⁻⁶]
		Croissance jusqu'à saturation	4,2×10 ⁸ [54, 7,7×10 ⁷ , 2,0×10 ⁹]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
	Vulnérable	Aucune croissance	3,1 [1, 1, 14]	0,34 [1,6×10 ⁻⁷ , 0,050, 1]	5,7×10 ⁻⁷ [2,0×10 ⁻¹³ , 6,2×10 ⁻⁸ , 2,4×10 ⁻⁶]
		Une certaine croissance	1,9×10 ⁶ [1, 1, 19]	0,35 [1,6×10 ⁻⁷ , 0,060, 1]	5,9×10 ⁻⁷ [2,0×10 ⁻¹³ , 7,6×10 ⁻⁸ , 2,4×10 ⁻⁶]
		Croissance jusqu'à saturation	3,5×10 ⁸ [43, 2,6×10 ⁷ , 1,9×10 ⁹]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Recette, crus	Aucune croissance		2,1 [1, 1, 5]	0,999 [0,999, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
	Une certaine croissance		1,9×10 ⁶ [1, 2, 6]	0,999 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
	Croissance jusqu'à saturation		2,7×10 ⁸ [1,5×10 ⁸ , 2,0×10 ⁸ , 2,9×10 ⁸]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Recette, légèrement cuits	Aucune croissance		1,0 [1, 1, 1]	0,25 [0,012, 0,15, 0,87]	4,3×10 ⁻⁷ [1,3×10 ⁻⁸ , 2,2×10 ⁻⁷ , 1,6×10 ⁻⁶]
	Une certaine croissance		1,9×10 ⁴ [1, 1, 1]	0,27 [0,012, 0,16, 0,96]	4,7×10 ⁻⁷ [1,3×10 ⁻⁸ , 2,3×10 ⁻⁷ , 1,8×10 ⁻⁶]
	Croissance jusqu'à saturation		3,5×10 ⁶ [1,5×10 ⁵ , 1,5×10 ⁶ , 9,9×10 ⁶]	1 [1, 1, 1]	1,7×10 ⁻⁶ [4,0×10 ⁻⁷ , 1,7×10 ⁻⁶ , 3,1×10 ⁻⁶]
Recette, bien cuits	Aucune croissance		1,0 [1, 1, 1]	1,1×10 ⁻⁶ [1,8×10 ⁻¹² , 2,3×10 ⁻⁹ , 3,3×10 ⁻⁶]	1,9×10 ⁻¹² [2,2×10 ⁻¹⁸ , 3,4×10 ⁻¹⁵ , 5,0×10 ⁻¹²]
	Une certaine croissance		1,1 [1, 1, 1]	3,9×10 ⁻³ [1,9×10 ⁻¹² , 2,7×10 ⁻⁹ , 5,8×10 ⁻⁶]	6,7×10 ⁻⁹ [2,4×10 ⁻¹⁸ , 4,1×10 ⁻¹⁵ , 9,2×10 ⁻¹²]
	Croissance jusqu'à saturation		8,8 [1, 1, 26]	0,48 [3,2×10 ⁻⁴ , 0,31, 1]	8,1×10 ⁻⁷ [4,2×10 ⁻¹⁰ , 3,9×10 ⁻⁷ , 2,6×10 ⁻⁶]

Tableau 5b. Taux de *S. Enteritidis* dans une portion en milieu domestique. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) à partir des distributions.

- type de repas et de recette d'œufs (données non montrées);
 - les spécifications de référence attribuent différentes réductions de \log_{10} des populations de *S. Enteritidis* à différents types de cuisson de repas d'œufs et à différents types de cuisson de recettes d'œufs;
 - les spécifications de référence attribuent différentes caractéristiques de regroupement (fréquence des repas à base d'œufs regroupés, nombre de portions à partir du plat d'œufs) à différents types de repas et de recettes d'œufs;
- le site (données non montrées);
 - les spécifications de référence attribuent de petites différences entre les préférences des individus vulnérables et normaux pour les styles d'œufs bouillis (à la coque, pochés, durs);
 - les spécifications de référence attribuent d'importantes différences entre les caractéristiques de regroupement associées à certains repas et à certaines recettes d'œufs, partageant la *S. Enteritidis* qui survit à la cuisson parmi plus (établissements de services alimentaires et institutions) ou moins (milieu domestique) pour certains repas et certaines recettes d'œufs

Quel que soit le type de repas ou de recette d'œufs, 95 % des portions contaminées contiennent moins de 20 *S. Enteritidis* lorsqu'aucune croissance n'a eu lieu ou que seulement une croissance modérée a eu lieu dans l'œuf contaminé par rapport aux concentrations initiales de contamination. Lorsqu'une croissance atteignant les concentrations maximales a lieu dans l'œuf contaminé, une portion aléatoire présente fréquemment un plus grand nombre de *S. Enteritidis*, sauf pour les recettes d'œufs bien cuits.

Portion d'un œuf contaminé

S. Enteritidis dans une portion d'un œuf contaminé aléatoire varie selon :

- la condition de la croissance (Tableau 4);
- la population vulnérable et normale (préférence pour un œuf à la coque);
- le type de repas et de recettes d'œufs (réduction de la cuisson, pratiques de regroupement); et
- le site (préférence pour un repas ou une recette d'œufs; regroupement);

et comprend certains cas pour lesquels la *S. Enteritidis* ingérée est exactement de 0 (Tableau 5ab, 4^e colonne, $\Pr\{SE > 0 \mid SE\text{-œuf}\}$) et certains cas pour lesquels la *S. Enteritidis* ingérée est de 1 ou plus, avec une distribution présentée dans la 3^e colonne du Tableau 5ab. La distribution pour le nombre de *S. Enteritidis* consommées dans une portion d'un repas ou d'une

recette d'œufs aléatoire, préparé à partir d'un œuf contaminé (Tableau 5ab, 4^e colonne) comprend une « pointe », petite ou grande, de portions avec exactement 0 *S. Enteritidis* même dans le cas d'œufs dans lesquels a eu lieu une croissance atteignant les concentrations maximales de *S. Enteritidis*, utilisés dans une recette d'œufs bien cuits. Toutefois, dans la plupart des cas décrits au Tableau 5ab les portions d'œufs contaminés dans lesquels a eu lieu une croissance atteignant les concentrations maximales contiennent au moins quelques *S. Enteritidis*. Toutefois, la concentration en *S. Enteritidis* varie avec le type de repas et de recette d'œufs, avec une probabilité aussi faible que 6×10^{-8} (Tableau 5a, 4^e colonne, Recette, bien cuits, moyenne de distribution) ou 1×10^{-6} (Tableau 5b, 4^e colonne, Recette, bien cuits, moyenne de distribution) à une probabilité de 1 (Tableau 5b, 4^e colonne, Recette, crus, croissance jusqu'à saturation) ou presque 1 (Tableau 5b, 4^e colonne, Recette crus, croissance sans saturation).

Portion d'un œuf aléatoire

Le dernier élément de la distribution de l'exposition est la fraction de portions d'œufs qui contiennent une ou plusieurs *S. Enteritidis* (Tableau 5ab, colonne de droite, $\Pr\{SE > 0 \mid \text{œuf}\}$). *S. Enteritidis* dans une portion d'un œuf aléatoire varie, comme mentionné ci-dessus, avec la condition de la croissance, la population vulnérable et normale, le type de repas et de recette d'œufs, le site et également la prévalence de l'œuf.

Il existe deux situations dans lesquelles il est possible qu'une portion d'un œuf aléatoire ne contienne aucune *S. Enteritidis* :

- toutes les portions d'œufs seuls ou d'œufs regroupés, dont aucun n'est contaminé, puisque nous ignorons la contamination croisée; la ligne sur la prévalence de *SE*-œuf du Tableau 3 décrit la mesure dans laquelle la fréquence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* varie; et,
- certaines portions d'œufs seuls ou d'œufs regroupés, dont un ou plusieurs sont contaminés, davantage lorsque la concentration en *S. Enteritidis* dans l'œuf seul ou les œufs regroupés est faible, moins lorsque la concentration en *S. Enteritidis* dans l'œuf seul ou les œufs regroupés est élevée.

Groupe de population	Repas ou recette	Établissements de services alimentaires et institutions			Milieu domestique		
		Aucune croissance	Croissance, sans l'atteinte de la saturation	Croissance jusqu'à la saturation	Aucune croissance	Croissance sans l'atteinte de la saturation	Croissance jusqu'à la saturation
Normal	Frits	27	1,2	0,17	32	1,4	0,20
	Brouillés	11	0,47	0,07	14	0,59	0,09
	À la coque	17	0,74	0,11	20	0,87	0,13
	Recette, crus	0,043	0,0018	0,00027	0,041	0,0018	0,00026
	Recette, légèrement cuits	5,6	0,24	0,035	3,7	0,16	0,023
	Recette, bien cuits	35	1,5	0,22	26	1,1	0,16
Vulnérable	Frits	17	0,76	0,11	29	1,2	0,18
	Brouillés	17	0,75	0,11	15	0,65	0,094
	À la coque	18	0,78	0,11	20	0,86	0,12
	Recette, crus	0,017	0,00074	0,00011	0,080	0,0035	0,00050
	Recette, légèrement cuits	4,6	0,20	0,029	4,1	0,18	0,026
	Recette, bien cuits	38	1,6	0,24	28	1,2	0,17

Tableau 6. Fréquences (%) de scénarios de croissance de *S. Enteritidis* parmi les œufs de table utilisés dans les repas ou les recettes d'œuf en milieu domestique et dans les établissements de services alimentaires et les institutions.

Fréquences des voies

Le Tableau 6 fait état de la fréquence de chaque voie dans la 1^{re} et la 2^e colonne du Tableau 5ab pour les établissements de services alimentaires et les institutions et le milieu domestique. Les fréquences des voies pour les groupes de population et les repas ou les recettes font partie de la spécification de référence (données non montrées); les fréquences des voies pour les conditions de croissance sont calculées par simulation des conditions d'entreposage et de manipulation, du rythme auquel la dégradation de la membrane du jaune d'œuf se produit et du rythme de la croissance de *S. Enteritidis* dans un œuf contaminé après une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf.

4.2.2 Cas particuliers et sensibilité

Prévalence de l'œuf à *S. Enteritidis*

Les variables influentes pour la prévalence des œufs contaminés et leur ordre d'importance restent les mêmes que dans l'évaluation des risques précédente [1]: prévalence des troupeaux, envergure des troupeaux positifs à *S. Enteritidis*, prévalence des œufs dans un troupeau.

Une prévalence différente des troupeaux (Tableau 7, 2^e colonne) pour la même prévalence des œufs dans un troupeau, que le nombre de poules dans les troupeaux qui sont positifs à *S. Enteritidis* soit fixé à une taille totale particulière ou non (Tableau 7, 3^e colonne), et une prévalence différente d'œufs dans le troupeau produisent une prévalence différente d'œufs contaminés par *S. Enteritidis* (Tableau 7, colonne de droite; Tableau 9, colonne de droite).

Le niveau de la prévalence d'œufs contaminés par *S. Enteritidis*, comme la moyenne ou la médiane, augmente lorsque:

- la prévalence des troupeaux augmente (Tableau 7, dans les lignes présentant une prévalence différente des troupeaux);
- la prévalence des œufs dans un troupeau augmente (Tableau 9, dans les lignes présentant une prévalence différente des œufs dans un troupeau); et
- le nombre de poules dans un troupeau infecté augmente (Tableau 8, entre les lignes);

et le niveau de la prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis*, comme la moyenne ou la médiane, diminue lorsque :

- la prévalence des troupeaux diminue (Tableau 7, dans les rangs présentant une prévalence différente des troupeaux);
- la prévalence des œufs dans un troupeau diminue (Tableau 9, dans les rangs présentant une prévalence différente des œufs dans un troupeau); et
- le nombre de poules dans un troupeau infecté diminue (Tableau 8, entre les rangs).

La plus faible prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* se produit lorsque la prévalence des troupeaux est plus faible, que la prévalence dans le troupeau est plus faible et que le nombre de poules dans des troupeaux positifs est plus faible.

Source de la spécification	Spécification de la prévalence des troupeaux	Prévalence des troupeaux (%)	Poules dans les troupeaux SE	Prévalence des œufs SE par 10 ⁶ œufs
Paoli (2001) [1]	Bêta (9 306)	2,9 [1,5, 2,8, 4,5]	**	8,9 [3,5, 8,8, 14]
CEMA (2007a) [39]	12/1550	0,77	154 664	3,1 [2,8, 3,1, 3,4]
			**	2,4 [1,0, 2,4, 3,8]
CEMA (2007b) [54]	4/1437	0,28	137 940	2,1 [1,8, 2,1, 2,5]
			**	0,91 [0,19, 0,89, 1,7]
<i>CEMA (2007ab) référence</i>	<i>Bêta (9,44,1766,9)</i>	<i>0,53 [0,28, 0,51, 0,84]</i>	**	<i>1,7 [0,40, 1,7, 3,1]</i>

** : Le nombre de poules dans les troupeaux SE varie selon la distribution de la taille des troupeaux, plutôt que fixé par observation..

Tableau 7. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) de la distribution de la prévalence des œufs (entre les années ou au cours des années) selon diverses spécifications de prévalence des troupeaux, avec une prévalence des œufs dans un troupeau établie à la spécification de référence. Les spécifications de référence figurent dans le rang en italique.

La variabilité dans la prévalence des œufs contaminés par 10⁶ œufs augmente lorsque:

- la prévalence des troupeaux est plus grande (Tableau 7, 1^{ère} ligne par rapport à la dernière ligne);
- la spécification de la prévalence des troupeaux couvre la variabilité [1], [39], [54] et varie davantage en soi [1] que lorsque la prévalence des troupeaux fait référence à une seule valeur fixe de cette distribution de la prévalence des troupeaux (Tableau 7, 3^e ligne par rapport à la dernière ligne; Tableau 7, 5^e ligne par rapport à la dernière ligne);
- la taille totale des troupeaux positifs à *S. Enteritidis* varie (Tableau 7, lignes contenant ** dans la 3^e colonne; Tableau 8 par rapport à la 2^e ligne du Tableau 7), ou varie davantage en soi; et
- la prévalence des œufs dans un troupeau varie davantage (Tableau 9, 3^e colonne).

D'autres commentaires décrivent comment la prévalence des œufs varie selon les caractéristiques de prévalence des troupeaux et de prévalence des œufs dans un troupeau qui ne sont pas décrites dans la documentation microbiologique et sur l'élevage.

Prévalence des troupeaux infectés à *S. Enteritidis*

Les spécifications de référence pour la prévalence des troupeaux reposent sur deux prévalences des troupeaux rapportées [39], [54] dont le Tableau 1 fait état pour décrire la manière dont la prévalence des troupeaux varie, en théorie, au fil des années. D'autres descriptions de prévalences des troupeaux (Tableau 7 et Figure 4.) proviennent :

- d'une représentation de Paoli [1] des données de Poppe et coll. [48];
- des résultats des analyses de l'environnement de l'OCCO pour une année unique [39]; et
- les résultats des analyses de l'environnement de l'OCCO pour une année unique [54].

Le point 0,28 % pour la prévalence des troupeaux de l'OCCO, pour les troupeaux analysés [54], est au point 5 % de la distribution de référence pour la prévalence des troupeaux; 0,77 % pour la prévalence des troupeaux de

l'OCCO pour les troupeaux analysés [39], est au point 91 % de la distribution de référence pour la prévalence des troupeaux; la valeur moyenne 2,9 % de la distribution de la prévalence des troupeaux de Paoli [1], est à un quantile très élevé de la distribution de référence de la prévalence des troupeaux.

Des renseignements supplémentaires tirés des résultats des analyses de l'environnement des troupeaux du Tableau 2 (le nombre total de poules dans les troupeaux positifs) établissent ce qui tient lieu d'observation unique sur la prévalence des œufs au cours d'une année théorique dans les distributions de prévalence des œufs, sous réserve d'une sensibilité inconnue des analyses.

Le Tableau 7 présente un contraste dans la prévalence des œufs avec les œufs de table consommés. À la prévalence de référence des œufs dans un troupeau, la prévalence des œufs contaminés présente une distribution avec

- 0 œuf contaminé de manière identique par 10⁶ œufs parmi les œufs de table de troupeaux non infectés;
- une prévalence moyenne de 8,9 œufs contaminés par 10⁶ œufs parmi les œufs de table d'une population de troupeaux avec une prévalence moyenne des troupeaux de 2,9 % (Paoli [1]);

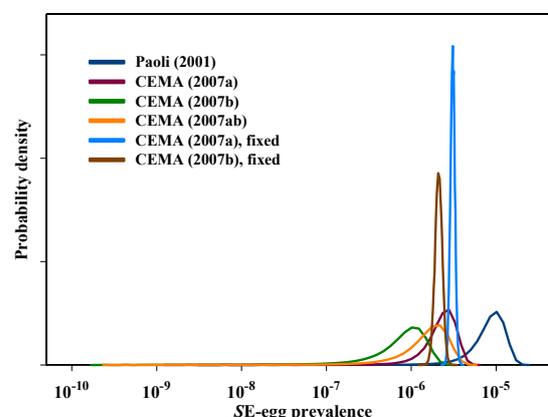


Figure 4. Prévalence des œufs contaminés selon différentes spécifications de prévalence des troupeaux.

- une prévalence moyenne de 3,1 œufs contaminés par 10⁶ œufs parmi les œufs de table d'une population de troupeaux avec une prévalence moyenne des troupeaux de 0,77 %;
- une prévalence moyenne de 2,1 œufs contaminés par 10⁶ œufs parmi les œufs de table d'une population de troupeaux avec une prévalence moyenne des troupeaux de 0,28 %;
- une prévalence moyenne de 2,4 œufs contaminés par 10⁶ œufs parmi les œufs de table d'une population de troupeaux avec une prévalence moyenne des troupeaux de 0,53 % (référence); etc.

Taille des troupeaux infectés à *S. Enteritidis*

L'effet du nombre de poules dans des troupeaux positifs sur la prévalence des œufs est illustré au Tableau 8, pour lequel nous avons sélectionné les valeurs dans la colonne de gauche de sorte qu'elles correspondent aux quantiles de la distribution de la somme de douze tailles de troupeaux à partir de la distribution théorique des tailles de troupeaux. Le point 5 % de la distribution de la somme des 12 tailles de troupeaux aléatoires est d'environ 88 000 poules; le point aléatoire de 95 % de la distribution de la somme des 12 tailles de troupeaux est d'environ 225 000 poules. Les 12 tailles correspondent au nombre de troupeaux positifs déterminés en 2005 (Tableau 7). Pour le calcul dans le Tableau 8, nous avons simplement fixé la prévalence des troupeaux au niveau dont l'OCCO fait état, soit 0,77 % [39].

Par exemple, les résultats du Tableau 8 illustrent la manière dont la prévalence des œufs varie alors que la probabilité d'infection des troupeaux varie parmi la population de troupeaux. Lorsque la prévalence des troupeaux augmente avec la taille des troupeaux, la distribution des tailles des troupeaux infectés à *S. Enteritidis* prend alors des valeurs plus importantes avec une probabilité croissante. La distribution de toutes les poules dans des troupeaux positifs atteint une densité accrue à des valeurs supérieures, et la prévalence des œufs prend des valeurs plus semblables à celles au bas du Tableau 8. Lorsque la prévalence des troupeaux diminue

Poules dans les troupeaux positifs à SE	Prévalence SE des œufs ×10 ⁻⁶
88 000	1,8 [1,4, 1,8, 2,0]
100 000	2,0 [1,6, 2,0, 2,3]
140 000	2,8 [2,3, 2,8, 3,2]
175 000	3,5 [2,9, 3,5, 4,0]
200 000	4,0 [3,3, 4,1, 4,5]
225 000	4,5 [3,7, 4,6, 5,1]

Tableau 8. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) sur l'effet sur la distribution de la prévalence des œufs infectés à *S. Enteritidis* (entre les années ou au cours des années) de la variation du nombre de poules dans les douze troupeaux positifs à *S. Enteritidis*.

avec la taille des troupeaux, la distribution des tailles des troupeaux infectés à *S. Enteritidis* prend des valeurs plus faibles avec une probabilité croissante. La distribution de toutes les poules dans des troupeaux positifs atteint une densité accrue à des valeurs inférieures, et la prévalence des œufs adopte des valeurs correspondant davantage à celles au haut du Tableau 8.

La documentation sur l'élevage et la microbiologie est peu concluante sur la question de savoir si la prévalence des troupeaux varie avec la taille des troupeaux.

Prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* dans un troupeau

D'autres descriptions de la manière dont la prévalence des œufs contaminés dans un troupeau varie proviennent de :

- Paoli [1], représentation de données provenant du projet pilote de la Pennsylvanie aux États-Unis [8], [59];
- Paoli [1], représentation de données de Poppe et coll. [49]; et
- une description de la variabilité dans ces ensembles de données

et produisent une prévalence différente des œufs (Tableau 9).

Les programmes d'analyse et de détournement, lesquels limitent également la prévalence des œufs dans un troupeau, sont traités plus en détail à titre d'option de gestion des risques (section 6.1.2).

Le Tableau 9 compare également la prévalence des œufs dans les œufs de table consommés. La prévalence des œufs est :

- de façon identique de 0 œuf contaminé par 10⁶ œufs parmi les œufs de table de troupeaux non infectés;
- une prévalence moyenne de 3 œufs contaminés par 10⁴ œufs parmi les œufs de table de troupeaux infectés (la prévalence des œufs contaminés dans un troupeau); et

Source de la spécification	Prévalence dans un troupeau (%)	Prévalence des œufs SE par 10 ⁶ œufs
Projet pilote de la Pennsylvanie	0,034 [0,025, 0,034, 0,044]	1,9 [0,44, 1,8, 3,4]
Canadienne	0,012 [0,0021, 0,010, 0,029]	0,69 [0,13, 0,67, 1,3]
<i>Canadienne-PA combinée, avant référence (Paoli, 2001)</i>	<i>0,031 [0,023, 0,031, 0,040]</i>	<i>1,7 [0,40, 1,7, 3,1]</i>

Tableau 9. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) de la distribution de la prévalence des œufs (entre les années ou au cours des années) selon d'autres spécifications de prévalence dans un troupeau, avec une prévalence des troupeaux à la spécification de référence. Les spécifications de référence figurent dans la dernière ligne en italique.

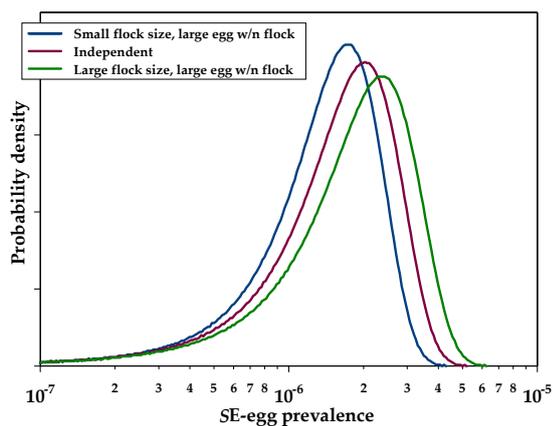


Figure 5. Prévalence des œufs contaminés dans différentes spécifications de prévalence des œufs dans un troupeau.

- une prévalence moyenne de 1,7 œuf contaminé par 10^6 œufs parmi les œufs, aléatoirement, en ignorant l'état d'infection d'un troupeau.

Selon les mêmes spécifications de référence pour les distributions de la prévalence des troupeaux, des œufs dans un troupeau et de la taille du troupeau, la distribution de la prévalence des œufs change lorsque l'œuf dans un troupeau et la taille du troupeau sont liés (Figure 5). Par exemple, lorsque de grands troupeaux infectés présentent une plus forte prévalence dans un troupeau et que de plus petits troupeaux infectés présentent une plus faible prévalence dans un troupeau, la distribution de la prévalence des œufs se déplace vers des valeurs plus élevées; des valeurs de prévalence des œufs plus faibles se produisent moins fréquemment et de plus fortes valeurs de prévalence des œufs se produisent plus fréquemment que dans les spécifications de référence. Lorsque de petits troupeaux infectés présentent une plus forte prévalence dans le troupeau et que de grands troupeaux infectés présentent une plus faible prévalence dans le troupeau, la distribution de la prévalence des œufs se déplace vers des valeurs plus faibles; des valeurs de prévalence des œufs plus petites se produisent plus fréquemment et de plus grandes valeurs de prévalence des œufs se produisent moins fréquemment que dans les spécifications de référence.

La documentation sur l'élevage et la microbiologie est peu concluante sur la question de savoir si la prévalence des œufs dans un troupeau varie selon la taille du troupeau infecté. Si la prévalence des œufs dans un troupeau augmente dans de plus grands troupeaux infectés, alors la distribution de la prévalence des œufs présente des statistiques sommaires plus près de celles au bas du Tableau 8. Si la prévalence des œufs dans un troupeau diminue dans de plus grands troupeaux infectés, alors la distribution de la prévalence des œufs se déplace vers celles au haut du Tableau 8.

S. Enteritidis initiale dans un œuf

D'autres spécifications pour un dépôt de *S. Enteritidis* lors de la ponte [5] et pour la croissance immédiatement après la ponte [8] mènent à des concentrations moyennes stables de *S. Enteritidis* de 17 % plus élevée et de 41 % plus faible dans le blanc d'œuf, et de 13 % plus élevée théoriquement à la moyenne, et de 7 % plus faible, théoriquement à la moyenne, par rapport à la distribution des concentrations en *S. Enteritidis* dans un œuf au moment de sa préparation, plutôt que dans les spécifications de référence utilisées ici.

L'USDA a produit une distribution des emplacements dans l'œuf où *S. Enteritidis* est déposée lors de la ponte, une partie dans le blanc de l'œuf loin du jaune d'œuf, une partie dans le blanc de l'œuf près du jaune d'œuf, une partie dans le blanc d'œuf sur la membrane vitelline et une partie (rarement) dans le jaune d'œuf [8]. Cette méthode de modélisation de la concentration de *S. Enteritidis* lors de la ponte produit une concentration de *S. Enteritidis* dans l'œuf contaminé moins prudente que la spécification de référence utilisée ici.

Incidence des conditions d'entreposage et de manipulation

Dans les conditions de référence

Le temps requis pour la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf varie d'un œuf à l'autre : le rythme de la dégradation de la membrane du jaune d'œuf à une même température varie d'un œuf à l'autre et la température d'entreposage et de manipulation varie d'un œuf à l'autre. Parmi les œufs, une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf se produit rarement avant cinq jours, sauf lorsque l'œuf est entreposé à des températures supérieures à 25 °C (Tableau 10, 2^e colonne; Tableau 10, colonnes 3 à 6). Toutefois, même à 10 °C, la moyenne sur la distribution du pourcentage de dégradation de la membrane du jaune d'œuf est supérieure à 50 % après environ 24 jours (Tableau 10). Une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf se produit rarement dans les conditions de référence d'entreposage et de manipulation des œufs et se produit rarement avant l'entreposage chez le consommateur (Tableau 11, colonne de droite). Environ 5 % des œufs subissent une altération de leur membrane supérieure ou égale à 71 % avant la fin de l'entreposage au détail (Tableau 11, 4^e colonne), au moment de l'achat par le consommateur. Toutefois, dans des conditions où un œuf a été entreposé ou manipulé à des températures assez élevées pendant des périodes assez longues, une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf peut se produire à brève échéance si le consommateur prolonge l'entreposage de l'œuf à des températures élevées.

Température (°C)	Jours avant la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf	Durée avant la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf inférieure à				Pourcentage moyen de la dégradation de la membrane du jaune d'œuf en			
		2 jours	5 jours	10 jours	15 jours	5 jours	10 jours	15 jours	20 jours
5	78 [44, 74, 125]					7	14	21	28
10	49 [28, 47, 79]				0,013	11	22	34	45
15	31 [18, 30, 50]			0,033	1,6	18	36	53	71
20	20 [11, 19, 31]			2,4	25	28	56	85	100
25	12 [7, 12, 20]		0,34	30	78	45	89	100	100
30	7,8 [4,4, 7,4, 12]		11	83	99	71	100	100	100
45	2,0 [1,1, 1,9, 3,1]	59	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 10. Caractéristiques dépendant de la température, alors qu'elles varient selon les œufs, de la durée jusqu'à la dégradation de la membrane du jaune d'œuf. Les entrées pour *Journées jusqu'à la dégradation de la membrane du jaune d'œuf* sont des points moyens [5 %, 50 %, 100 %] à partir de cette distribution et écartent la durée maximale jusqu'à la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf.

La dégradation de la membrane du jaune d'œuf ne se poursuit que dans une faible mesure si le consommateur l'entrepose à basse température. La dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf ne se produit pas si le consommateur mange l'œuf peu après l'achat.

Les conditions d'entreposage et de manipulation examinées dans une expérience de simulation ont montré que la fréquence de la dégradation de la membrane du jaune d'œuf n'est pas sensible à l'erreur de spécification des conditions de référence de l'entreposage et de la manipulation ni des éléments plus influents que sont durée et la température de l'étape:

- les milieux dont la température est plus élevée par rapport à une température plus basse pendant les étapes les plus importantes (poulailler, exploitation agricole, vente au détail, consommateur) et les durées plus longues par rapport aux durées plus courtes de la plupart des étapes importantes (classement, postclassement, consommateur) produisent une augmentation de moins de 5 % (plus élevées) ou une diminution de 5 % (plus faibles) dans les conditions de dégradation de la membrane du jaune d'œuf et de croissance jusqu'à la concentration la plus élevée de *S. Enteritidis* dans un œuf contaminé;
- la durée et la température d'entreposage au cours des dernières étapes (vente au détail, consommateur) sont les plus importantes et encore davantage lorsque les conditions de durée et de température des étapes précédentes d'entreposage et de manipulation ont entraîné une certaine dégradation de la membrane du jaune d'œuf; et
- la durée et la température d'entreposage chez le détaillant et le consommateur sont plus importantes pour la concentration en *S. Enteritidis* d'un œuf contaminé lorsque l'entreposage et la manipulation avant ces étapes ont entraîné la dégradation presque complète de la membrane du jaune d'œuf; la durée et la température d'entreposage lors des étapes chez le

détaillant et le consommateur sont moins importantes pour la concentration en *S. Enteritidis* d'un œuf contaminé lorsque l'entreposage et la manipulation avant ces étapes ont entraîné une dégradation de loin inférieure à 100 % de la membrane du jaune d'œuf.

Les spécifications de référence limitent la durée jusqu'à la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf, à toute température ou dans toute combinaison de durées et de températures des étapes, à une durée maximale fixe, mais incertaine, comme jours Pert (42,50,62). Le temps cumulatif de la production à la consommation excède la durée maximale incertaine pour 0,91 % [0,36 %, 2,0 %] (points de 2,5 % et 97,5 % d'une distribution d'incertitudes, par simulation) des œufs de table selon les conditions de référence. Le maximum incertain limite la durée jusqu'à la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf, d'une manière prudente, mais seulement dans une faible mesure.

La croissance de *S. Enteritidis* ne se produit pas avant la dégradation de la membrane vitelline du jaune d'œuf (section 2.6) et après une période de latence supplémentaire après la dégradation de la membrane vitelline [78]. Par conséquent, l'essentiel de la croissance se produit pendant l'entreposage des œufs chez le consommateur [1], [4], [6], [8], [78] puisqu'il est rare que suffisamment de temps s'écoule (à une température) pour que la dégradation de la membrane du jaune d'œuf se produise avant l'entreposage chez le consommateur.

Autres durées et températures d'entreposage

Renseignements sur l'utilisation d'autres températures de réfrigération chez le consommateur :

- aux températures des réfrigérateurs attribuées aux foyers américains [98], une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf se produirait moins fréquemment et des températures qui permettraient la croissance de *S. Enteritidis* seraient atteintes

Étape	Durée de l'étape (h)	% de la dégradation de la membrane du jaune d'œuf à l'étape	% cumulatif de la dégradation de la membrane du jaune d'œuf, dernière étape	Fréquence de la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf à la fin de l'étape (%)
Poulailler	8,1 [1,6, 7,4, 20]	3,7 [1,9, 3,5, 6,1]	3,7 [0,55, 2,8, 9,9]	0
Exploitation agricole	43 [3,9, 40, 104]	6,0 [3,6, 5,6, 9,8]	9,6 [2,4, 8,2, 21]	0
Transport 1	2,7 [0,94, 2,6, 5,2]	0,38 [0,24, 0,36, 0,61]	10 [2,7, 8,5, 22]	0
Préclassement	13 [2,2, 13, 23]	1,3 [0,95, 1,2, 1,8]	11 [3,7, 10, 23]	0
Classement	0,23 [0,13, 0,23, 0,36]	0,056 [0,031, 0,053, 0,091]	11 [3,8, 10, 23]	0
Postclassement	62 [23, 59, 112]	6,4 [4,8, 6,1, 8,9]	17 [8,0, 16, 32]	$2,0 \times 10^{-3}$
Transport 2	3,5 [1,3, 3,5, 5,7]	0,36 [0,27, 0,35, 0,50]	18 [8,3, 16, 32]	$2,0 \times 10^{-3}$
Vente en gros	41 [0, 0, 213]	4,1 [1,7, 3,9, 7,2]	22 [8,9, 19, 43]	0,022
Écart au détail	0,049 [0, 0, 0]	0,012 [0, 0, 0,077]	22 [8,9, 19, 43]	0,022
Entreposage au détail	142 [21, 96, 437]	15 [9,6, 14, 22]	36 [15, 32, 71]	1,1
Entreposage chez le consommateur	164 [12, 119, 466]	18 [11, 17, 28]	53 [22, 47, 102]	6,8

Tableau 11. Caractéristiques d'une dégradation de la membrane du jaune d'œuf pendant les étapes d'entreposage et de manipulation parmi les statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) sur la distribution des œufs.

nettement moins souvent qu'actuellement en conditions d'entreposage et de manipulation de référence (7 % des températures de réfrigérateur par rapport à 33 % des cas excédant 8 °C; 2 % par rapport à 4,4 % excédant 10 °C); et

- d'autres renseignements qui indiquent une température d'entreposage supérieure plus fréquente chez le consommateur dans plusieurs pays européens [99], [102], laquelle entraînerait une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf plus fréquente chez le consommateur et à plus de *S. Enteritidis* dans les œufs contaminés, sont jugés non applicables au consommateur canadien.

Utilisation de renseignements différents sur la durée d'entreposage d'un œuf de table en milieu domestique :

- au sujet des consommateurs américains pour un œuf individuel [6], [8], [10] : présente environ le même pic supérieur moyen, mais plus court, et cela entraînerait une dégradation du jaune d'œuf légèrement moins fréquente et une croissance de *S. Enteritidis* moins fréquente dans un œuf contaminé avant la consommation; et
- au sujet des consommateurs finlandais pour une douzaine d'œufs [102] : présente un pic supérieur moyen plus large et plus long et cela entraînerait une dégradation du jaune d'œuf plus fréquente et une croissance de *S. Enteritidis* plus fréquente, et ce, à des concentrations élevées avant la consommation.

Les estimations de l'effet sur les risques dans les établissements de services alimentaires et les institutions en présence de spécifications de durée d'entreposage différentes sont examinées dans le cadre des options de gestion des risques étudiées à la section 6.2.1.

Autres caractéristiques de la dégradation de la membrane du jaune d'œuf

La durée à la température d'entreposage pour une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf dans Whiting et coll. [5] est presque identique à celle de la présente évaluation des risques. L'USDA [8] a calculé une distribution pour la durée jusqu'à la dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf comme une fonction de la température d'entreposage qui représente une durée moyenne plus longue jusqu'à la dégradation de la membrane du jaune d'œuf que celle calculée ici. Avec une période moyenne plus longue avant la dégradation de la membrane du jaune d'œuf, une croissance moindre de *S. Enteritidis* se produit, et ce, dans moins de scénarios d'entreposage et de manipulation, et cela entraîne des concentrations inférieures de contamination dans les œufs contaminés au point de consommation.

Autres caractéristiques de la croissance de S. Enteritidis

Seules de légères différences sont observées dans la mesure de croissance de *S. Enteritidis* après une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf en présence d'autres taux de croissance de *S. Enteritidis* dans Whiting et coll. [5], en présence d'autres taux de croissance dans l'USDA [8] et en présence d'un remplacement par *S. Typhimurium* [10], [11].

Les spécifications de densité maximale de population issues des autres données permettent les densités maximales de population identiques [5], légèrement supérieures [8] et légèrement inférieures [10] dans un œuf contaminé que ne le permet la spécification de référence.

Réduction par la cuisson

La Figure 6 illustre l'effet assez différent de la cuisson que la préparation de différents types de repas et de recettes

d'œufs a sur la concentration en *S. Enteritidis* d'un œuf contaminé pour un individu normal en milieu domestique. Les réductions de \log_{10} de cuisson varient à la fois selon le type de repas (œufs au plat, œufs brouillés, œufs à la coque) et le type de recettes (cru, légèrement cuit, bien cuit) et selon le type de repas et de recettes.

La réduction de la cuisson pour les œufs à la coque tient aussi compte des différences assez importantes entre les effets de la cuisson sur les œufs à la coque, les œufs pochés et les œufs durs : sa distribution des réductions de \log_{10} est le mélange de deux distributions, une centrée à environ $8 \log_{10}$ pour les œufs durs et l'autre centrée à environ $2 \log_{10}$ pour les œufs à la coque et les œufs pochés. Pour les œufs consommés crus, il n'y a pas de réduction par la cuisson.

De petites différences existent entre le milieu domestique et les établissements de services alimentaires et les institutions et entre les individus vulnérables et normaux : les préférences pour les œufs à la coque et les recettes d'œufs dans la spécification de référence varient entre les groupes de population et entre les sites. Étant donné les importantes différences dans la réduction par la cuisson pour différents types de repas d'œufs et types de recettes d'œufs, de petites modifications dans les préférences de cuisson produiraient des changements de *S. Enteritidis* dans les portions d'œufs contaminés. La modification de la distribution des préférences de repas et de recettes d'œufs en remplaçant celles avec des effets de cuisson faible par celles avec des effets de cuisson élevée réduit la fréquence des portions contaminées par *S. Enteritidis*; l'élimination de toute consommation d'œuf cru et de toute consommation de recettes d'œufs faiblement cuits, par exemple, élimine deux des sources les plus importantes de portions avec des effets de cuisson faible.

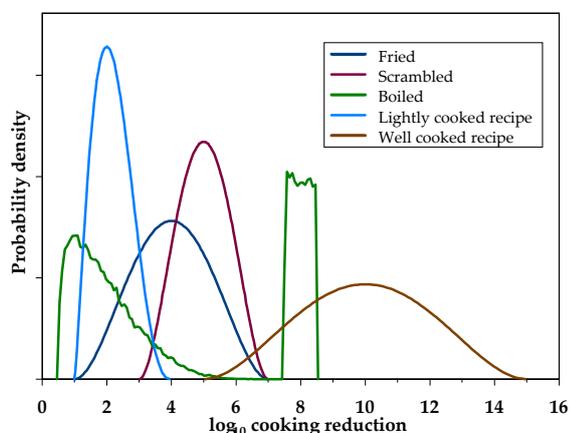


Figure 6. Taux de *S. Enteritidis* dans un œuf contaminé selon les effets de la cuisson de différents types de repas ou de recette.

Pratiques de préparation des œufs

Des inférences déduites à partir des données relatives aux rappels de 24 h dans une série d'enquêtes fédérales-provinciales sur la nutrition réalisées entre 1991 et 1999 [97] éclairent la spécification de référence sur la manière dont les préférences des individus quant à la préparation et à la consommation des œufs varient pour les repas d'œufs par rapport aux recettes d'œufs, parmi les types de repas d'œufs et parmi les recettes d'œufs chez les individus dans des groupes de population et entre le milieu domestique et les établissements de services alimentaires et les institutions. D'autres pratiques de préparation présentées dans les évaluations des risques précédentes décrivent les préférences de préparation de populations d'autres pays qui ne sont pas jugées appropriées en contexte canadien.

Le volet *Nutrition* de l'Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes [103] fournit des renseignements issus d'un sondage plus récent que les enquêtes fédérales-provinciales sur la nutrition [97] utilisées ici.

Caractéristiques d'un regroupement

Les autres caractéristiques du regroupement (données non montrées) en milieu domestique et dans les établissements de services alimentaires et les institutions provenant de l'USDA [8] établissent la fréquence du regroupement en milieu domestique à 10 % et la fréquence du regroupement dans les établissements de services alimentaires et les institutions à 20 % des références utilisées ici. La spécification de l'USDA [8] pour les repas et les recettes d'œufs domestiques lorsque les œufs sont regroupés met en cause jusqu'à environ deux fois plus de portions (valeur moyenne) par rapport à la spécification de référence établie ici et la spécification de l'USDA [8] pour les repas et les recettes d'œufs dans les établissements de services alimentaires et les institutions lorsque les œufs sont regroupés met en cause la moitié du nombre de portions (valeur moyenne) par rapport à la spécification de référence établie ici.

5. Caractérisation des risques

Les principaux résultats du modèle de l'évaluation des risques sont des distributions de la prévalence des œufs contaminés, du nombre de maladies causées par un œuf contaminé par *S. Enteritidis* et du nombre de maladies qui surviendraient dans ces conditions. Les résultats sont des distributions : elles décrivent comment les résultats des risques varient selon les conditions établies dans l'ensemble de conditions de référence.

Afin de faciliter la communication de l'information et de décrire comment les résultats des risques varient, nous :

- établissons la différence entre les distributions en milieu domestique et dans les établissements de

services alimentaires et les institutions; entre les distributions pour les types de repas ou de recettes; entre les distributions pour les conditions de croissance et entre les distributions pour les groupes de population;

- faisons état des statistiques sommaires des distributions qui décrivent comment le risque varie dans ces analyses;

en outre, nous faisons état de quelques autres sommaires (Tableau 12).

Les résultats font référence à l'ensemble des conditions de référence établi dans l'évaluation de l'exposition (section 4.1). Pour ces conditions de référence, la *prévalence moyenne des œufs contaminés* est de 1,7 par million d'œufs et le *nombre moyen de maladies* est de 120 par année, dont 95 % sont des maladies bénignes (Tableau 12).

Les risques varient selon:

- la prévalence des troupeaux et la prévalence des œufs dans un troupeau, la taille totale des troupeaux infectés;
- la concentration en *S. Enteritidis* d'un œuf contaminé : la contamination initiale et la croissance à court terme, la dégradation de la membrane du jaune d'œuf en fonction de la durée et de la température d'entreposage et de manipulation et de la croissance de *S. Enteritidis*;
- la réduction par la cuisson : selon le type de repas à base d'œufs (frits, brouillés, à la coque) et selon le type de recette (crus, légèrement cuits, bien cuits), entre les repas et les recettes du même type et selon la fréquence relative des repas et des recettes consommés en milieu domestique et dans les

établissements de services alimentaires et les institutions;

- la maladie découlant de la consommation de *S. Enteritidis* dans une portion d'œuf : *S. Enteritidis* dans une de plusieurs portions provenant d'une préparation à partir d'un œuf contaminé et de la réponse d'un groupe parmi une population (normale, vulnérable) à *S. Enteritidis* consommée.

Les résultats des risques sont sujets à une incertitude relative aux éléments suivants :

- la prévalence des troupeaux, la prévalence dans un troupeau, la prévalence des œufs dans un troupeau, la prévalence de l'environnement et la sensibilité de l'analyse;
- les pratiques actuelles de gestion des risques contre la prévalence et la manière dont ces pratiques sont observées;
- la contamination initiale à *S. Enteritidis* et la dynamique de croissance (dégradation de la membrane du jaune d'œuf, température minimale de croissance, rythme de croissance et densité maximale de population comme une fonction de la température);
- la réduction par la cuisson, la proportion relative des repas d'œufs, les recettes d'œufs, les types de repas parmi les repas d'œufs et les types de recettes parmi les recettes;
- plusieurs portions provenant d'une préparation à partir d'un œuf contaminé par *S. Enteritidis*; et
- la dose-réponse pour une population d'individus normaux et une population d'individus vulnérables,

parmi lesquels aucun élément n'est entièrement quantifiable étant donné les renseignements disponibles.

Prévalence des œufs	$1,7 \times 10^{-6}$ [$4,0 \times 10^{-7}$, $1,7 \times 10^{-6}$, $3,1 \times 10^{-6}$]	
Maladies causées par un œuf contaminé	0,014 [$5,1 \times 10^{-3}$, $8,2 \times 10^{-3}$, 0,046]	
Milieu domestiques	$8,9 \times 10^{-3}$ [$1,6 \times 10^{-3}$, $4,0 \times 10^{-3}$, 0,017]	
Établissements de services alimentaires et institutions	0,029 [0,012, 0,021, 0,067]	
Pr{maladie œuf SE }	Normal	Vulnérable
Milieu domestiques	$7,0 \times 10^{-3}$ [$6,2 \times 10^{-13}$, $1,6 \times 10^{-5}$, 0,035]	,012 [$1,2 \times 10^{-12}$, $1,8 \times 10^{-5}$, ,063]
Établissements de services alimentaires et institution	$7,5 \times 10^{-3}$ [$2,0 \times 10^{-14}$, $5,6 \times 10^{-6}$, 0,037]	$9,2 \times 10^{-3}$ [$2,5 \times 10^{-14}$, $7,4 \times 10^{-7}$, ,055]
Pr{maladie œuf }	Normal	Vulnérable
Milieu domestiques	$1,4 \times 10^{-8}$ [$1,4 \times 10^{-18}$, $2,2 \times 10^{-11}$, $5,7 \times 10^{-8}$]	$1,9 \times 10^{-8}$ [$2,0 \times 10^{-18}$, $2,7 \times 10^{-11}$, $9,6 \times 10^{-8}$]
Établissements de services alimentaires et institution	$1,2 \times 10^{-8}$ [$2,6 \times 10^{-20}$, $8,9 \times 10^{-12}$, $5,5 \times 10^{-8}$]	$1,6 \times 10^{-8}$ [$3,7 \times 10^{-20}$, $1,0 \times 10^{-12}$, $8,6 \times 10^{-8}$]
Nombre de maladies par année	120 [20, 102, 280]	
Bénignes, graves, décès	115 [20, 97, 268]; 5,3 [0, 4, 14]; 0,050 [0, 0, 0]	

Tableau 12. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) des distributions aux conditions de référence.

5.1 Conditions de référence

5.1.1 Résultats des risques fondamentaux

Prévalence des œufs contaminés

La prévalence des œufs contaminés parmi tous les œufs de table varie, en théorie, au fil de la production d'une année. La prévalence moyenne de cette distribution est de 1,7 œuf contaminé par million d'œufs de table consommés; 5 % du temps, la prévalence des œufs sera de ≤ 4 œufs contaminés par 10 millions d'œufs de table et 5 % du temps, la prévalence des œufs sera de $\geq 3,1$ œufs contaminés par million d'œufs de table consommés, et ce, dans les mêmes conditions de référence (Tableau 12).

Les résultats indiqués dans les sections 4.2.1 et 4.2.2 on aussi présenté des différences entre la prévalence des œufs parmi les œufs de table consommés. La prévalence des œufs est

- de façon identique de 0 œuf contaminé par 10^6 œufs parmi les œufs de table de troupeaux non infectés;
- la prévalence moyenne de trois œufs contaminés par 10^4 œufs parmi les œufs de table de troupeaux infectés (la prévalence des œufs contaminés dans un troupeau); cette prévalence se maintient dans la production d'œufs de table provenant du 0,53 % (moyenne de la distribution de la prévalence des troupeaux) des troupeaux qui sont infectés; et
- une prévalence moyenne de 1,7 œuf contaminé par 10^6 œufs parmi les œufs, aléatoirement, en ignorant l'état d'infection d'un troupeau.

Maladies causées par chaque œuf contaminé

Nous faisons la distinction entre le *nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé* selon que les œufs sont consommés en milieu domestique ou dans les établissements de services alimentaires et les institutions. Le *nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé* en milieu domestique varie en théorie entre les œufs contaminés, indépendamment de la prévalence des œufs. En milieu domestique, le *nombre moyen de maladies causées par chaque œuf contaminé* est de 0,0089, soit environ 9 maladies par 1 000 œufs de table contaminés consommés. Pour environ 5 % des œufs contaminés, le *nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé* est égal ou supérieur à 17 par 1 000 œufs contaminés. Le *nombre moyen de maladies causées par chaque œuf contaminé* dans les établissements de services alimentaires et les institutions est de 29 par 1 000 œufs contaminés. Pour 5 % des œufs contaminés, le *nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé* est ≤ 12 par 1 000 œufs contaminés et pour 5 % des œufs contaminés, le *nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé* est ≥ 67 par 1 000 œufs contaminés.

Probabilité d'une maladie provenant d'un œuf contaminé

La probabilité d'une maladie après avoir consommé une portion, aléatoirement, à base d'un œuf contaminé, aléatoirement (soit l'œuf au complet ou une partie d'un œuf lorsque l'œuf est mis en commun et partagé parmi plusieurs portions), varie selon des ordres de grandeur de 11 ou 12. Dans environ 5 % des cas, la probabilité d'une maladie provenant d'un seul œuf contaminé est inférieure à environ 10^{-13} ou 10^{-14} ; dans environ 5 % des cas, la probabilité d'une maladie provenant d'un seul œuf contaminé est supérieure à 0,04 (individu normal) ou à 0,06 (individu vulnérable). Une *portion contaminée, aléatoirement*, comprend tous les cas décrits par les types de repas et de recette d'œufs, leurs réductions par la cuisson et leurs caractéristiques de mise en commun des œufs. Un *œuf contaminé, aléatoirement*, couvre tous les cas décrits par l'entreposage et la manipulation, la dégradation de la membrane du jaune d'œuf et la croissance et le dépôt initial lors de la ponte.

La probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion d'un œuf contaminé, aléatoirement, est de 1,2 fois (dans les établissements de services alimentaires et les institutions) et de 1,7 fois (en milieu domestique) plus élevée (à la moyenne, Tableau 12) pour les individus vulnérables que pour les individus normaux. Les individus vulnérables ont des habitudes de consommation des œufs différentes de celles des individus normaux; les individus vulnérables présentent une plus grande possibilité de tomber malade après avoir consommé le même nombre de *S. Enteritidis* qu'un individu normal.

Probabilité de maladie provoquée par un œuf aléatoirement

La probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion d'un œuf aléatoire explique à la fois la probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion aléatoire d'un œuf aléatoire et la prévalence des œufs contaminés. La probabilité d'une maladie après avoir consommé une portion provenant d'un œuf aléatoire (soit l'œuf entier, soit une partie d'un œuf lorsque l'œuf fait partie d'un regroupement et qu'il a été partagé entre plusieurs portions), varie de plusieurs ordres de grandeur. La probabilité moyenne d'une maladie varie de $1,2 \times 10^{-8}$ (individu normal, dans les établissements de services alimentaires et les institutions) à $1,9 \times 10^{-8}$ (individu vulnérable, en milieu domestique). Dans environ 5 % des cas, la probabilité d'une maladie est inférieure à environ 10^{-18} à 10^{-19} ; dans environ 5 % des cas, la probabilité d'une maladie est supérieure à environ 10^{-7} .

Nombre de maladies par année

Dans les conditions de référence pour la prévalence des œufs contaminés à *S. Enteritidis*, avec la concentration en *S. Enteritidis* d'un œuf contaminé (sections 4.1 et 4.2), le nombre de maladies associées à un œuf contaminé par *S. Enteritidis* varie. La distribution présente une moyenne de 120 maladies par année théorique. Dans 5 % des années théoriques, le nombre de maladies est inférieur à 20 et dans 5 % des années théoriques, le nombre de maladies est supérieur à 280.

Selon la spécification de la section 3.4, la plupart des maladies sont bénignes. Le nombre moyen de maladies graves est de 5,3 par année; le nombre moyen de décès est de 0,05 par année.

5.1.2 Conditions parmi les sites, les types de repas et de recettes et la croissance

Les distributions pour le nombre de maladies parmi les sites (Tableau 13), parmi les types de repas et de recettes d'œufs (Tableau 14, Tableau 15) et parmi les scénarios de croissance de *S. Enteritidis* (Tableau 16, Tableau 17) indiquent les facteurs à la source d'une plus grande part de maladies que d'exposition à des œufs contaminés. Ces écarts sont causées par des (combinaisons de) différences dans les réductions par la cuisson de la contamination des œufs par *S. Enteritidis* avant la consommation (Tableau 13, Tableau 15), l'exposition parmi les individus à *S. Enteritidis* dans un œuf contaminé (Tableau 13, Tableau 15) et des conditions de croissance de *S. Enteritidis* (Tableau 17).

Entre les sites

La consommation d'un repas et d'une recette d'œufs dans les établissements de services alimentaires et les institutions constitue 24 % de la consommation des œufs de table, comparativement à de plus grandes proportions (42 %) du nombre maladies associées à la présence de *S. Enteritidis* dans des œufs (Tableau 13).

Site	% de maladies	% d'exposition
Dans les établissements de services alimentaires et les institutions	42 [13, 39, 78]	24 [22, 24, 27]
En milieu domestique	58 [22, 61, 87]	76 [73, 76, 78]

Tableau 13. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) pour les distributions par site des fractions de maladies et d'expositions.

Pour certains types de repas et de recettes d'œufs, les intrants du modèle indiquent de petits regroupements (\leq trois portions en cause par œuf) en milieu domestique et de plus grands regroupements (25 à 75 portions en cause par œuf) dans les établissements de services alimentaires et les institutions. Dans les établissements de services alimentaires et les institutions, plusieurs maladies pourraient découler d'un seul œuf contaminé lorsque celui-ci est utilisé dans une recette ou un repas d'œufs regroupés produisant un grand nombre de portions et

- dans des conditions sans croissance de *S. Enteritidis* : très rarement à partir d'un repas ou d'une recette d'œufs bien cuits, rarement à partir d'un repas ou d'une recette d'œufs légèrement cuits, mais occasionnellement à partir d'une recette non cuite;
- dans des conditions de croissance modérée de *S. Enteritidis* : rarement à partir d'un repas ou d'une recette bien cuite, occasionnellement à partir d'une recette d'œufs légèrement cuits et fréquemment à partir d'une recette crue; et
- dans des conditions de croissance maximale de *S. Enteritidis* : occasionnellement à partir d'une recette d'œufs bien cuits et fréquemment à presque toujours à partir d'un repas d'œufs ou d'une recette d'œufs légèrement cuits ou crus.

Repas et recettes			Pr{maladie SE-œuf}	Maladies par œuf SE
Repas	Frits	Normal	$6,5 \times 10^{-3}$ [$1,8 \times 10^{-6}$, $1,6 \times 10^{-4}$, 0,013]	0,0064 [0, 0,0056, 0,0056]
		Vulnérable	$9,1 \times 10^{-3}$ [$3,3 \times 10^{-6}$, $2,9 \times 10^{-4}$, 0,022]	
	Brouillés	Normal	$3,4 \times 10^{-3}$ [$2,4 \times 10^{-7}$, $1,1 \times 10^{-5}$, $3,3 \times 10^{-4}$]	0,012 [0, 0,0056, 0,036]
		Vulnérable	$4,7 \times 10^{-3}$ [$3,8 \times 10^{-7}$, $1,8 \times 10^{-5}$, $5,7 \times 10^{-4}$]	
	À la coque	Normal	0,021 [$5,1 \times 10^{-9}$, $3,4 \times 10^{-3}$, 0,066]	0,021 [0, 0,0056, 0,038]
		Vulnérable	0,031 [$8,2 \times 10^{-9}$, $3,3 \times 10^{-3}$, 0,11]	
Recettes	Crus	Normal	0,068 [0,013, 0,063, 0,11]	0,50 [0,061, 0,31, 1,4]
		Vulnérable	0,13 [0,058, 0,12, 0,20]	
	Légèrement cuits	Normal	0,011 [$4,0 \times 10^{-5}$, $1,9 \times 10^{-3}$, 0,028]	0,12 [0,057, 0,086, 0,25]
		Vulnérable	0,017 [$1,1 \times 10^{-4}$, $4,5 \times 10^{-3}$, 0,051]	
	Bien cuits	Normal	$1,4 \times 10^{-4}$ [$1,2 \times 10^{-14}$, $2,7 \times 10^{-11}$, $6,8 \times 10^{-8}$]	0,020 [0, 0, 0,011]
		Vulnérable	$3,3 \times 10^{-4}$ [$2,7 \times 10^{-14}$, $5,6 \times 10^{-11}$, $1,3 \times 10^{-7}$]	

Tableau 14. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) pour les distributions de repas et de recettes d'œufs de la probabilité de maladies après consommation d'un œuf contaminé par *S. Enteritidis* et de maladies causées par un œuf contaminé par *S. Enteritidis*.

Repas et recettes		% de maladies	% d'exposition
Repas	Frits	17 [5,8, 17, 31]	31 [29, 31, 34]
	Brouillés	9,8 [0, 6,9, 30]	14 [12, 14, 16]
	À la coque	39 [16, 38, 64]	20 [17, 20, 24]
Recettes	Crus	1,8 [0, 0,85, 6,7]	0,048 [0, 0,044, 0,11]
	Légèrement cuits	28 [6,7, 22, 63]	4,4 [3,4, 4,4, 5,4]
	Bien cuits	3,8 [0, 2,4, 13]	30 [28, 30, 32]

Tableau 15. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) pour les distributions de repas et de recettes d'œufs des fractions des maladies et des expositions.

Les résultats du Tableau 13 montrent également à quel point la fraction des maladies attribuables aux établissements de services alimentaires et aux institutions varie, en théorie, au fil des années. Dans quelque 5 % des années théoriques, moins de 13 % des maladies sont attribuables aux établissements de services alimentaires et aux institutions; dans quelque 5 % des années théoriques, plus de 78 % des maladies sont attribuables aux établissements de services alimentaires et aux institutions.

Parmi les types de repas et de recette d'œufs

Selon le Tableau 14, en tenant compte des pratiques de préparation, des pratiques de regroupement, des pratiques de cuisson (maladies causées par un œuf contaminé, consommation) et des pratiques de consommation (maladies):

- les repas d'œufs (frits, brouillés, à la coque ou pochés) comptent pour des proportions plus élevées de maladies associées à la présence de *S. Enteritidis* dans les œufs que les recettes d'œufs pour la consommation domestique, mais les recettes d'œufs comptent pour des proportions plus élevées de maladies associées à la présence de *S. Enteritidis* dans les œufs que les repas d'œufs pour la consommation en établissements de services alimentaires et en institutions;
- les repas et les recettes d'œufs qui nécessitent moins de cuisson et dans lesquels la réduction de *S. Enteritidis* est plus faible (œufs à la coque, recettes d'œufs crus et légèrement cuits) et le regroupement des œufs plus important (repas et recettes d'œufs voués à la consommation dans les établissements de services alimentaires et les institutions) causent un plus grand nombre de maladies provoquées par un œuf contaminé; et
- les repas et les recettes d'œufs qui constituent de plus petites proportions de la consommation totale d'œufs en coquille (recettes d'œufs crus, repas d'œufs brouillés, population vulnérable) entraînent moins de maladies, bien que parfois, de manière disproportionnée à la fréquence de la consommation (recettes d'œufs crus et légèrement cuits, repas

d'œufs à la coque à en milieu domestique, repas d'œufs brouillés dans les établissements de services alimentaires et les institutions).

Le Tableau 15 montre également à quel point la fraction des maladies attribuables aux différents repas et recettes d'œufs varie, en théorie, au fil des années. Dans quelque 5 % des années théoriques, 0 % des maladies sont attribuables à des œufs consommés crus, en raison d'une faible exposition aux repas et aux recettes d'œufs préparés avec des œufs crus; dans quelque 5 % des années théoriques, plus de 6,7 % des maladies sont attribuables à des œufs consommés crus, malgré une faible exposition aux repas et aux recettes d'œufs préparés avec des œufs crus. Dans quelque 5 % des années théoriques, moins de 16 % des maladies sont attribuables à des œufs à la coque; dans quelque 5 % des années théoriques, plus de 64 % des maladies sont attribuables à des œufs à la coque.

Le Tableau 15 montre également comment l'effet de la cuisson réduit le risque de maladie lors de la consommation d'un œuf contaminé par *S. Enteritidis*. Toutefois, certaines maladies découlent, tout de même, de ces repas et de ces recettes d'œufs auxquels on attribue la plus grande protection.

Parmi les conditions de croissance

Selon les spécifications de référence pour la durée et la température d'entreposage et de manipulation, une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf se produit rarement, une croissance de *S. Enteritidis* se produit rarement (4,5 %) et une croissance de *S. Enteritidis* jusqu'à saturation se produit rarement (0,6 %). Toutefois, les œufs contaminés entreposés et manipulés dans des conditions qui permettent une croissance de *S. Enteritidis* en des concentrations plus élevées expliquent les fractions supérieures de manière disproportionnée du nombre de maladies (Tableau 17).

Un contrôle absolu de la durée et de la température d'entreposage des œufs afin de contrer la croissance de *S. Enteritidis* dans des œufs contaminés réduirait le nombre de maladies associées à la présence de *S. Enteritidis* dans les œufs, mais en limitant l'effet aux concentrations de référence indiquées dans la ligne *Aucune croissance* du Tableau 17. Ceci est en partie causé par l'élimination de l'occurrence de grands nombres de maladies provoquées par un seul œuf contaminé par *S. Enteritidis* dans un repas ou une recette d'œufs mis en commun.

5.1.3 Sensibilité

Les variables qui influent sur le nombre de maladies, les maladies causées par un œuf contaminé et la prévalence des œufs et leur ordre d'importance sont:

Conditions de croissance		Pr{maladie SE-œuf}	Maladies par œuf SE
Aucune croissance	Normal	$4,4 \times 10^{-3}$ [$2,6 \times 10^{-13}$, $1,2 \times 10^{-5}$, 0,033]	$5,4 \times 10^{-3}$ [0, $1,9 \times 10^{-4}$, 0,031]
	Vulnérable	$7,2 \times 10^{-3}$ [$4,2 \times 10^{-13}$, $1,2 \times 10^{-5}$, 0,056]	
Une certaine croissance	Normal	$9,4 \times 10^{-3}$ [$2,4 \times 10^{-13}$, $1,4 \times 10^{-5}$, 0,017]	0,019 [0, $1,9 \times 10^{-4}$, 0,044]
	Vulnérable	0,013 [$2,2 \times 10^{-5}$, 0,0023, 0,040]	
Croissance jusqu'à saturation	Normal	0,51 [$4,4 \times 10^{-5}$, 0,56, 1]	1,4 [0,86, 1,3, 2,2]
	Vulnérable	0,56 [$7,8 \times 10^{-5}$, 0,71, 1]	

Tableau 16. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) pour les distributions des conditions de croissance de la probabilité de maladies après consommation d'un œuf contaminé par *S. Enteritidis* et de maladies causées par un œuf contaminé par *S. Enteritidis*.

- nombre de maladies : prévalence des œufs, maladies causées par un œuf contaminé par *S. Enteritidis*;
- maladies causées par un œuf contaminé par *S. Enteritidis* : portions par œuf et Pr{maladie|œuf SE}; et
- prévalence des œufs (section 4.2.2) : prévalence des troupeaux, tailles des troupeaux positifs à *S. Enteritidis*, prévalence des œufs dans un troupeau.

La prévalence des œufs infectés à *S. Enteritidis* et le nombre de maladies causées par un œuf contaminé par *S. Enteritidis* ont un effet multiplicateur sur le nombre de maladies : deux fois la prévalence des œufs produit deux fois le nombre de maladies; deux fois le nombre de maladies causées par un œuf contaminé produit deux fois le nombre de maladies.

Prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis*

Le nombre de maladies est proportionnel à la prévalence des œufs de sorte que lorsque la prévalence des œufs diminue d'un certain pourcentage, le nombre de maladies diminue du même pourcentage; lorsque la prévalence des œufs augmente d'un certain pourcentage, le nombre de maladies augmente du même pourcentage. Figure 7 illustre la distribution conditionnelle du nombre de maladies selon la prévalence des œufs dans la partie du 20 % inférieur de la distribution de la prévalence des œufs, du 20 % suivant de la distribution de la prévalence des œufs, etc.

Une plus forte prévalence des œufs déplace la distribution du nombre de maladies vers des valeurs plus élevées, mais rend le nombre de maladies, en théorie en un an, également plus variable. Opposer l'étendue de la distribution pour le nombre de maladies conditionnelles au cinquième inférieur de la distribution de la prévalence des œufs et l'étendue de la distribution pour le nombre de maladies conditionnelles au cinquième supérieur de la distribution de la prévalence des œufs.

Toutes les caractéristiques suivantes qui ont un effet multiplicateur sur la prévalence des œufs (section 4.2.2)

- doubler la prévalence des troupeaux double la prévalence des œufs; réduire de moitié la prévalence des troupeaux réduit de moitié la prévalence des œufs;
- doubler la prévalence des œufs dans un troupeau double la prévalence des œufs; réduire de moitié la

prévalence des œufs dans un troupeau réduit de moitié la prévalence des œufs; et

- doubler la taille des troupeaux infectés double le nombre de maladies; réduire de moitié la taille des troupeaux infectés réduit de moitié la prévalence des œufs

ont également un effet multiplicateur sur le nombre de maladies

- doubler la prévalence des troupeaux double le nombre de maladies; réduire de moitié la prévalence des troupeaux réduit de moitié le nombre de maladies;
- doubler la prévalence des œufs dans un troupeau double le nombre de maladies; réduire de moitié la prévalence des œufs dans un troupeau réduit de moitié le nombre de maladies; et
- doubler la taille des troupeaux infectés double le nombre de maladies; réduire de moitié la taille des troupeaux infectés réduit de moitié le nombre de maladies.

Maladies causées par un œuf contaminé

Le nombre de maladies est également proportionnel au nombre de maladies causées par un œuf contaminé de sorte que lorsque le nombre de maladies causées par un œuf contaminé diminue d'un certain pourcentage, le nombre de maladies diminue du même pourcentage. L'influence du site, des repas et des recettes et des conditions de croissance sur le nombre de maladies causées par un œuf contaminé est précisée à la section 5.1.2.

Conditions de croissance	% de maladies	% d'exposition
Aucune croissance	49 [19, 47, 86]	95,6 [93,5, 95,7, 97,3]
Une certaine croissance	5,5 [0, 3,6, 17]	3,8 [2,2, 3,7, 5,8]
Croissance jusqu'à saturation	46 [6,7, 48, 79]	0,56 [0,080, 0,45, 1,4]

Tableau 17. Statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) pour les distributions des conditions de croissance des fractions de maladies et d'expositions.

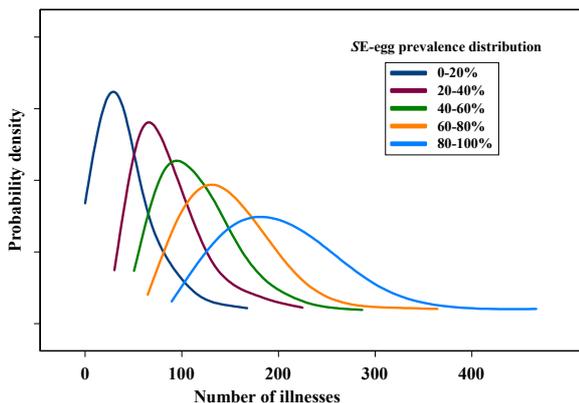


Figure 7. Distribution du nombre de maladies selon différentes spécifications de prévalence des œufs

Site

Dans les établissements de services alimentaires et les institutions, la réduction de la fréquence du regroupement des œufs (c'est-à-dire, réduire la fréquence des repas et des recettes qui regroupent de grands nombres d'œufs pour un grand nombre de portions), en particulier pour des repas et des recettes crus ou légèrement cuits, réduit le nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé.

En milieu domestique, la réduction de la fréquence des repas et des recettes crus ou légèrement cuits réduit également le nombre de maladies causées par un œuf contaminé. Les regroupements d'œufs en milieu domestique servent de plus petits nombres de personnes que dans les établissements de services alimentaires et les institutions.

Le pourcentage de maladies attribuables à la consommation dans les établissements de services alimentaires et les institutions diminue par rapport au milieu domestique alors que :

- les pratiques de regroupement des œufs dans les établissements de services alimentaires et les institutions changent, pour réduire la fréquence à laquelle plusieurs portions de repas et de recettes d'œufs sont contaminées à *S. Enteritidis* ou pour réduire le nombre de portions qui sont contaminées par un seul œuf contaminé;
- différents scénarios pour les sources dans les établissements de services alimentaires et les institutions (producteur local, vente en gros, détail) d'œufs de table entraînent des durées d'entreposage plus courtes, une dégradation moins fréquente de la membrane du jaune d'œuf et moins de *S. Enteritidis* dans les œufs en coquille contaminés à la consommation.

Repas et recettes

Deux caractéristiques en particulier déterminent l'effet des repas et des recettes sur les maladies causées par

chaque œuf contaminé : la réduction \log_{10} par la cuisson et le regroupement.

La réduction de la fréquence du regroupement des œufs, c'est-à-dire la réduction de la fréquence des repas et des recettes qui mettent en commun de grands nombres d'œufs pour un grand nombre de portions, en particulier pour des repas et des recettes crues ou légèrement cuites, réduit le nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé.

L'augmentation de la fréquence des repas et des recettes qui donnent lieu à une grande réduction de \log_{10} des populations de *S. Enteritidis* ou la diminution de la fréquence des repas et des recettes qui comprennent seulement de faibles réductions de \log_{10} des populations de *S. Enteritidis* réduit le nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé.

Conditions de croissance

Dans le Tableau 4, les conditions de croissance sont représentées par trois parties distinctes : des œufs contaminés, mais sans qu'une croissance ne se produise (environ 95,6 % aux conditions de référence); ceux dans lesquels une certaine croissance a lieu (environ 3,8 % aux conditions de référence); et ceux dans lesquels une croissance à densité maximale de *S. Enteritidis* a lieu (environ 0,6 % aux conditions de référence). Lorsque les conditions qui mènent à la croissance de *S. Enteritidis* se produisent moins fréquemment, la distribution de $\Pr\{\text{maladie} \mid \text{œuf contaminé par } S. \text{Enteritidis}\}$ se déplace alors vers de plus faibles valeurs et s'éloigne des valeurs plus élevées attribuées à la consommation d'œufs comportant des concentrations très élevées de *S. Enteritidis*. L'élimination de toutes les conditions favorisant la croissance déplace la distribution de $\Pr\{\text{maladie} \mid \text{œuf contaminé par } S. \text{Enteritidis}\}$ vers un ensemble de valeurs les plus petites possible, c'est-à-dire, celui associé aux concentrations de *S. Enteritidis* lors de la ponte. D'autres réductions en maîtrisant seulement les conditions de croissance sont impossibles.

Prévalence des œufs contaminés par *S. Enteritidis* par rapport aux maladies causées par chaque œuf contaminé

Dans des conditions qui permettent ne serait-ce qu'une croissance occasionnelle de la contamination par *S. Enteritidis* jusqu'à des taux de saturation ou à des taux moindres, les maladies causées par chaque œuf contaminé sont plus influentes que la prévalence des œufs pour le nombre de maladies. Toutefois, alors que la fraction des œufs contaminés dans lesquels une certaine croissance se produit diminue, l'influence de la prévalence des œufs par rapport au nombre de maladies causées par un œuf contaminé augmente. Dans des conditions où aucune croissance de *S. Enteritidis* ne se produit par rapport à la contamination initiale, les maladies causées par chaque œuf

contaminé et la prévalence des œufs exercent la même influence relative sur le nombre de maladies.

Sensibilité du modèle

D'autres choix antérieurs d'évaluation des risques pour la modélisation peuvent être utilisés pour offrir une mesure de la sensibilité des conclusions des sections 5.1.1 à 5.1.3 pour cette mise en œuvre.

Autres contaminations à, et croissance de, S. Enteritidis

D'autres spécifications pour un dépôt de *S. Enteritidis* lors de la ponte [5] et la croissance immédiatement après la ponte [8] mènent à des concentrations moyennes stables de 17 % plus élevées et de 41 % plus faibles de *S. Enteritidis* dans les œufs après la ponte et à un nombre de 13 % plus élevé et de 7 % plus faible de maladies causées par chaque œuf contaminé que le cas de référence utilisé ici (données non montrées).

D'autres spécifications pour la croissance après une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf et le maximum de *S. Enteritidis* dans un œuf contaminé n'entraînent que de très petites différences dans le nombre de maladies causées par chaque œuf (données non montrées).

Autres caractéristiques du regroupement

D'autres caractéristiques du regroupement en milieu domestique et dans les établissements de services alimentaires et les institutions de l'USDA [8] entraînent 19 % de moins de maladies causées par chaque œuf contaminé (rapport des moyennes de la distribution), 2 % de moins de probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion préparée à partir d'un œuf contaminé (rapport des moyennes de la distribution) et 19 % de moins de maladies (rapports des moyennes de la distribution) que dans les conditions de référence (données non montrées).

Des caractéristiques de regroupement comme celles de l'USDA [8], avec de plus petits regroupements des œufs pour les repas et les recettes d'œufs dans les établissements de services alimentaires et les institutions, de plus grands regroupements des œufs pour les repas et les recettes d'œufs en milieu domestique, et une utilisation moins fréquente des œufs en coquille regroupés, déplacent la distribution des pourcentages de maladies attribuables aux établissements de services alimentaires et aux institutions dans le Tableau 13 vers de plus petites valeurs.

Autres modèles de dose-réponse

Le choix du modèle de dose-réponse touche les résultats de risques pour les maladies causées par chaque œuf contaminé (Tableau 18). Tel que discuté à la section 3.3, par rapport au modèle de dose-réponse Bêta-Poisson de l'USDA [8], par exemple, le modèle de dose-réponse de Weibull attribue une probabilité de maladie supérieure à

Modèle de dose-réponse	Maladies causées par chaque œuf contaminé
Modèle de Weibull	$1,4 \times 10^{-2}$ [$5,1 \times 10^{-3}$, $8,2 \times 10^{-3}$, $4,6 \times 10^{-2}$]
Bêta-Poisson, normal USDA [5]	$1,9 \times 10^{-2}$ [$2,2 \times 10^{-3}$, $9,6 \times 10^{-3}$, $6,1 \times 10^{-2}$]
Bêta-Poisson, vulnérable USDA [5]	$4,2 \times 10^{-2}$ [$3,4 \times 10^{-3}$, $,016$, $2,0 \times 10^{-1}$]
Bêta-Poisson, Milieu FAO/OMS [7]	$9,1 \times 10^{-3}$ [$1,3 \times 10^{-3}$, $6,1 \times 10^{-3}$, $2,3 \times 10^{-2}$]
Bêta-Poisson, Inférieur FAO/OMS [7]	$7,0 \times 10^{-3}$ [$8,5 \times 10^{-4}$, $4,4 \times 10^{-3}$, $1,7 \times 10^{-2}$]
Bêta-Poisson, Supérieur FAO/OMS [7]	$1,2 \times 10^{-2}$ [$1,7 \times 10^{-3}$, $7,7 \times 10^{-3}$, $3,2 \times 10^{-2}$]
Bêta-Poisson, emv USDA FAO/OMS [8]	$9,1 \times 10^{-3}$ [$1,3 \times 10^{-3}$, $6,0 \times 10^{-3}$, $2,3 \times 10^{-2}$]

Tableau 18. Effet des autres modèles de doses-réponses sur la distribution pour le nombre de maladies causées par chaque œuf contaminé. Les entrées sont des statistiques sommaires (moyenne [5 %, 50 %, 95 %]) à partir d'une distribution (parmi des œufs contaminés) pour les maladies causées par chaque œuf contaminé.

de faibles doses et à des doses élevées pour les individus d'une population normale et à toutes les doses de *S. Enteritidis* pour les individus d'une population vulnérable (section 6.2).

5.2 Données manquantes et besoins en matière de recherche

La liste suivante de données manquantes s'applique à la présente évaluation et à d'autres évaluations des risques que comportent les œufs en coquille contaminés par *S. Enteritidis* [1], [4], [13] :

- prévalence de *S. Enteritidis* parmi un troupeau et œufs parmi un troupeau positif;
- conception en pratique du contrôle et de la surveillance, sensibilités et spécificités des tests;
- prévalence de *S. Enteritidis* dans les troupeaux de poules et de poulettes, leur environnement et leur alimentation;
- lieu de contamination dans les œufs;
- rythme de la dégradation de la membrane vitelline du jaune d'œuf et taux de croissance de *S. Enteritidis* à des températures d'entreposage théoriques et dans des conditions d'abus;
- cinétique de la croissance de *S. Enteritidis*, y compris des périodes de latence et des taux de croissance, puisqu'ils changent selon les différents états physiologiques de l'agent pathogène;
- durées et températures d'entreposage et de manipulation des œufs;
- pratiques de cuisson, attribution de repas et de recettes, pratiques de consommation et comportement lors de la manipulation et de la préparation des aliments selon les gens et les milieux;
- réduction par la cuisson, durée de la cuisson, méthode et effets de la température sur *S. Enteritidis*; et

- dose-réponse, y compris les mécanismes de virulence et les doses infectieuses, données épidémiologiques pour le nombre de maladies causées par *S. Enteritidis* dans les œufs en coquille et variabilité chez les humains de la réponse à une exposition à *S. Enteritidis*.

La portée la présente évaluation des risques (excluant certaines sources d'œufs en coquille, d'ovoproduits et d'œufs contaminés à l'extérieur) exclut un grand nombre des données manquantes et de besoins en matière de recherche dont ont fait état les évaluations des risques précédentes pour d'autres catégories d'œufs en coquille, d'autres sources d'œufs en coquille et d'autres voies de contamination.

5.3 Points à discuter

5.3.1 Portée

La présente évaluation des risques décrit les risques de maladies qui découlent de la consommation d'œufs de table canadiens de catégorie A touchés par une contamination interne par *S. Enteritidis*, où les œufs proviennent de troupeaux régis par le système de gestion de l'approvisionnement utilisé au Canada.

Les œufs de table de catégorie A offerts en vente au Canada peuvent provenir de plusieurs autres sources : les importations d'œufs en coquille des États-Unis, les œufs en surplus des couvoirs de troupeaux de poules et de poulets à griller et des œufs en coquille provenant de plus petits troupeaux qui ne sont pas réglementés par le système de gestion de l'approvisionnement. D'autres catégories d'œufs peuvent également provenir de toutes ces sources. Bien que les œufs produits à l'extérieur du système de gestion de l'approvisionnement soient un important facteur dans le fardeau des maladies causées par *S. Enteritidis* dans les œufs de table, ils n'ont pas pu être inclus dans la présente évaluation en raison d'un manque de renseignements sur la prévalence des troupeaux et des pratiques de gestion des troupeaux.

En outre, les maladies associées aux œufs contaminés par *S. Enteritidis* provoqués par ce qui suit sont hors de la portée :

- œufs contaminés à l'extérieur (coquille) et pénétration ultérieure de la coquille par *S. Enteritidis*;
- autres catégories d'œufs, œufs sales et fêlés;
- ventes à la ferme et ventes aux marchés agricoles;
- ovoproduits transformés; et
- contamination croisée dans les pratiques de cuisson et de préparation des aliments qui se traduit par une maladie.

5.3.2 Changement dans la prévalence des troupeaux

Les données de l'OCCO [39], [54] permettent de présumer que la prévalence des troupeaux contaminés à *S. Enteritidis*

est plus faible à l'heure actuelle qu'au début des années 1990, sous réserve des mises en garde suivantes:

- Poppe et coll. [48] ont décrit une seule enquête ponctuelle sur l'infection des troupeaux, assortie d'une analyse de l'environnement pour la détection de *S. Enteritidis* (et autres *Salmonella* spp.); toutefois, le résultat publié ne permet pas d'interférences au-delà des 295 troupeaux que ces auteurs ont analysés, sous sa forme présentée (aucun estimateur sans biais de conception), malgré la présence d'un échantillonnage d'une population de référence bien défini (troupeaux commerciaux de poules), (liste de 1682 exploitations commerciales de ponte) et d'un plan d'échantillonnage, sauf par extrapolation; aucune mesure d'incertitude, même pour le seul moment donné, ne peut être élaborée.
- Les données de prévalence des troupeaux de l'OCCO [39], [54] utilisées ici représentent deux ensembles de données chacun pour une seule année sur des troupeaux assortis d'analyses de l'environnement pour la détection de *S. Enteritidis*; toutefois, les résultats ne permettent pas d'inférence au-delà des troupeaux analysés pour la population de référence (en principe, des troupeaux commerciaux de poules), sous leur forme présentée, en raison du manque de renseignements sur le concept (autosélection), d'un l'estimateur approprié et d'une sensibilité inconnue des analyses.

Des changements découlant de l'activité de l'industrie (section 2.3) et d'une sensibilisation accrue de l'industrie pourraient constituer les raisons à la source de la réduction observée dans la prévalence des troupeaux.

5.3.3 Conditions de référence telles qu'appropriées pour l'examen des options de gestion des risques

La section 1 a présenté certains des problèmes rencontrés en utilisant l'opinion d'experts, des renseignements anecdotiques et des renseignements extrapolés à partir de pratiques d'autres pays pour caractériser les risques de maladies provoquées par la présence de *S. Enteritidis* dans les œufs en coquille. La caractérisation des risques compense une partie de ce manque de renseignements en décrivant la manière dont le risque varie selon les conditions de référence établies et la manière dont les risques varient selon d'autres descriptions de pratiques actuelles qui sont jugées valables dans d'autres pays, mais qui peuvent ou non l'être au Canada.

5.3.4 Manque de renseignements pour décrire l'incertitude

L'absence de toute déclaration officielle de l'incertitude que nous associerions aux résultats des risques produits aux sections 5.1.1 à 5.1.3 constitue une lacune notable. La plupart des données utilisées pour éclairer le modèle des

risques viennent sans déclaration officielle de l'incertitude; des déclarations officielles de l'incertitude des données ne peuvent être réalisées pour un grand nombre des autres données utilisées pour éclairer le modèle du risque.

5.3.5 Incidence de la variabilité des résultats sur les initiatives en matière de politique

Les résultats des conditions de référence (section 5.1.1,5.1.2) et l'étude de la sensibilité des résultats des risques à diverses variables influentes (section 5.1.3) pointent vers des possibilités pour des options de gestion des risques : prévalence des œufs, réduction par la cuisson, pratiques de regroupement et entreposage et manipulation.

Les facteurs qui maintiennent la faiblesse de la probabilité d'une maladie après la consommation d'une portion aléatoire d'un œuf contaminé aléatoire sont :

- une croissance contrôlée de sorte qu'une dégradation complète de la membrane du jaune d'œuf ne se produit pas et qu'une croissance à partir du dépôt initial à la ponte ne se produit pas;
- une faible fréquence de regroupements d'œufs pour des repas et des recettes à base d'œufs ou seulement un petit nombre d'œufs sont utilisés dans des repas et des recettes d'œufs partagés; et
- une faible fréquence de mets préparés crus ou légèrement cuits.

Les facteurs qui maintiennent la faiblesse de la probabilité d'une maladie après la consommation d'une portion, aléatoire d'un œuf aléatoire sont les mêmes que ci-dessus, plus:

- une faible prévalence des œufs, par une faible prévalence des troupeaux, une faible prévalence des œufs dans un troupeau et le contrôle du nombre total de poudeuses qui pondent dans des troupeaux positifs.

5.3.6 Nombre de maladies

Le nombre annuel modélisé de maladies associées à des œufs contaminés par *S. Enteritidis* (section 5.1.1) selon les conditions de référence est d'environ 1 % de l'estimation basée sur des données épidémiologiques pour le nombre de maladies associées à *S. Enteritidis* par année à la section 2.2.1, aux valeurs moyennes de deux résultats. Plusieurs facteurs mettent la comparaison en contexte :

- le nombre modélisé de maladies respecte la portée (0), ce qui limite à la fois la source des œufs (œufs de catégorie A de troupeaux régis par le système de gestion de l'approvisionnement) et la nature de la contamination (contamination interne par *S. Enteritidis*);
- le nombre modélisé de maladies représente ce nombre selon un ensemble de conditions de référence; ces conditions de référence sont jugées semblables aux pratiques actuelles, sauf indication contraire, mais sans que cela puisse être démontré; et

- les limites des données ne nous permettent pas d'attribuer de mesure d'incertitude au nombre modélisé de maladies pour les maladies associées à un œuf contaminé par *S. Enteritidis*.

5.3.7 Comparaisons à d'autres évaluations des risques que comporte la présence de *S. Enteritidis* dans des œufs

La distribution de la prévalence des œufs issus de troupeaux réglementés contaminés de manière interne par *S. Enteritidis* a une moyenne de 1,7 par million d'œufs de table, un point de 5 % de 4 par 10 million d'œufs et un point de 95 % de 3,1 par million d'œufs (section 4.2.1). Des comparaisons aux résultats d'autres évaluations des risques sont ajoutées pour le contexte. Les résultats reflètent différentes pratiques de gestion de troupeaux dans différents pays, différentes pratiques de détection dans différents pays ou d'autres différences telles que notées.

- L'USDA [8] (par simulation) a fait état d'environ 278 œufs contaminés à l'intérieur ou à l'extérieur par million d'œufs en coquille de tout type et de toute source pour les États-Unis.
- Kelly et coll. [12] (par simulation) ont fait état d'environ 89 œufs contaminés à l'intérieur ou à l'extérieur par million d'œufs en coquille produits sur l'île de l'Irlande, [21, 240] par million d'œufs en coquille (intervalle postérieur de 95 % de Bayésien).
- L'ESFA [14] a fait état d'une prévalence positive des troupeaux (environnement) pour *S. Enteritidis* qui variait de 0 (0 de 676 analysés, 0 de 626 analysés, 0 de 590 analysés, 0 de 40 analysés, 0 de 10 analysés, 0 de 1 testé) à 25 % (2 de 8 analysés), variant parmi les états membres de l'UE pour l'année de référence 2007, avec une valeur médiane de 3,5 %, parmi les 21 états membres.

6. Examen des options de gestion des risques

Le nombre de maladies est déterminé principalement par la prévalence des œufs et le nombre de maladies par œuf contaminé. Celles-ci, par ricochet, constituent la base de l'examen des options de gestion des risques, l'effet que deux pratiques de gestion de troupeaux ont sur la prévalence des œufs contaminés (section 6.1) et l'effet que les pratiques d'entreposage, de manipulation et de préparation des œufs ont sur le nombre de maladies par œuf contaminé (section 6.2).

Les résultats des risques à partir des options de gestion des risques font l'objet des mêmes sources de variabilité et d'incertitude que les résultats des risques calculés selon un ensemble désigné de conditions de référence auquel les options de gestion des risques sont comparées, bloquées dans la même condition de référence. Les effets calculés sont une distribution de réductions obtenues par la gestion des risques sur la distribution des conditions de référence.

6.1 Pratiques de gestion des troupeaux entraînant une prévalence réduite des œufs

Selon la section 5.1.3, le nombre de maladies est proportionnel à la prévalence des œufs (prévalence du troupeau ou prévalence dans un troupeau) de sorte que lorsque la prévalence des œufs positifs à *S. Enteritidis* diminue, le nombre de maladies diminue du même pourcentage. Les options de gestion des risques visent à réduire la prévalence de *S. Enteritidis*.

6.1.1 Programmes de vaccination

Introduction

Au Canada, les troupeaux de poules ne sont pas systématiquement vaccinés. En 2006, par exemple, environ 4 % des poules des troupeaux de poules réglementés se trouvaient dans des troupeaux vaccinés [39]. Sous certaines autorités, il peut y avoir une vaccination ciblée pour protéger un troupeau jugé à risque plus élevé d'infection, disons, si le troupeau précédemment hébergé était positif à *S. Enteritidis*, si *S. Enteritidis* n'avait pas été complètement éliminé de l'environnement par des procédures de nettoyage et de désinfection ou si l'organisme peut être introduit de nouveau par un vecteur ou une autre source.

Méthodes

Les stratégies de vaccination sont simplifiées à :

- la fraction des troupeaux dans la population des troupeaux qui sont vaccinés; et
- la manière dont les troupeaux à vacciner sont choisis : au hasard, par taille (les plus grands troupeaux) et les troupeaux plus susceptibles d'être infectés.

Nous évaluons l'efficacité des stratégies de vaccination en comparant la prévalence générale d'œufs d'une population soumise à la stratégie de vaccination à la prévalence générale d'œufs dans une population générale soumise aux conditions de référence, laquelle n'inclut aucune vaccination (section 4.2.1,5.1.1). La section 5.1.3 établit un lien entre la prévalence des œufs et le nombre de maladies.

Pour simplifier la comparaison, nous simplifions la conclusion pour l'effet de la vaccination à ce qui suit :

- la prévalence des œufs dans un troupeau pour un troupeau vacciné est de 4 % de celle d'un troupeau non vacciné (section 2.5.2; Figure 8); et
- aucune variabilité n'est observée dans l'efficacité de la vaccination entre les troupeaux, dans le calendrier de la vaccination par rapport à l'âge auquel une exposition possible survient, dans les protocoles de vaccination ou dans les types de vaccin;

de sorte que la distribution de la prévalence des œufs dans un troupeau selon une stratégie de vaccination de certains troupeaux devient un mélange de deux distributions de la prévalence des œufs dans un troupeau (données non montrées).

Résultats

Si les stratégies de vaccination n'ont aucun effet, la prévalence des œufs en présence de la stratégie de vaccination sera d'exactly 100 % de la prévalence des œufs selon les conditions de référence. Cela sera toujours le cas lorsqu'aucun troupeau n'est vacciné et ne sera jamais le cas lorsque tous les troupeaux sont vaccinés. Dans les cas où seulement certains troupeaux sont vaccinés, une stratégie de vaccination n'aurait aucun effet.

- presque toujours : lorsque peu de troupeaux sont vaccinés et que la prévalence parmi un troupeau est très faible;
- moins fréquente : lorsque davantage de troupeaux sont vaccinés, même lorsque la vaccination n'est pas ciblée ou que le ciblage est inefficace; et
- presque jamais : lorsque la plupart des troupeaux sont vaccinés.

Si les stratégies de vaccination produisent au moins un certain effet, la prévalence des œufs sera inférieure à 100 % de celle des conditions de référence. Cela sera toujours le cas lorsque tous les troupeaux sont vaccinés et ne sera jamais le cas lorsqu'aucun troupeau n'est vacciné. Dans les cas où seulement certains des troupeaux sont vaccinés, une stratégie de vaccination aurait au minimum un certain effet :

- presque jamais : lorsque peu de troupeaux sont vaccinés ou lorsque la prévalence parmi un troupeau est très basse;
- plus souvent : lorsque davantage de troupeaux sont vaccinés, même lorsque la vaccination n'est pas ciblée ou lorsque le ciblage est inefficace; et

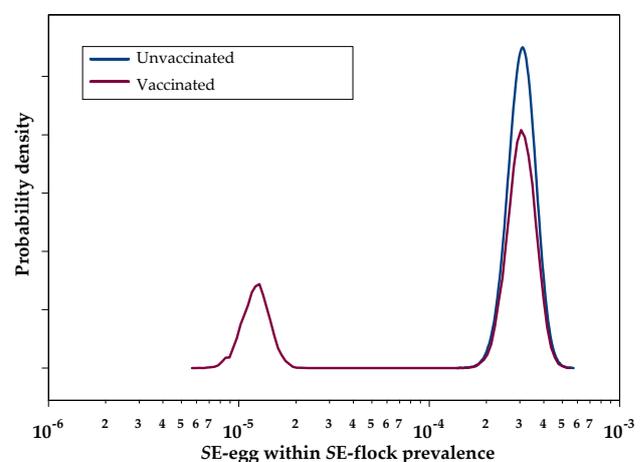


Figure 8. Distribution de la prévalence des œufs contaminés dans un troupeau vacciné ou non vacciné.

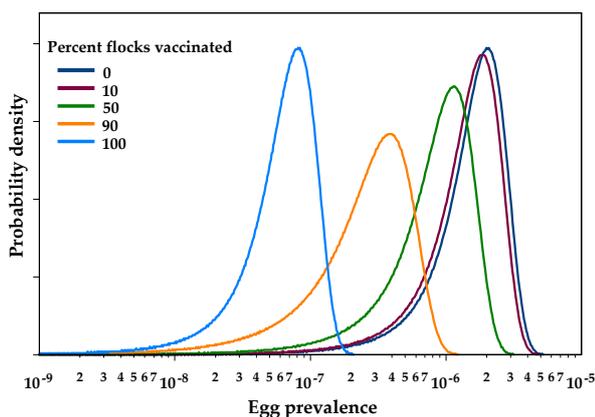


Figure 9. Distribution de la prévalence moyenne des œufs lorsqu'un troupeau est vacciné

Cas	Application	% de troupeaux vaccinés				
		0	10	50	90	100
1	Sans tenir compte de la taille, état d'infection	100	90	55	17	4
2	Troupeaux de plus grande envergure	100	86	30	13	4
3	Troupeaux infectés	100	91	55	18	4

Tableau 19. Prévalence moyenne des œufs (% de la référence, aucune vaccination) selon les stratégies vaccination.

- presque toujours : lorsque la plupart des troupeaux sont vaccinés.

La densité dans la distribution de la prévalence des œufs passe de valeurs supérieures à des valeurs inférieures de prévalence des œufs, en particulier lorsque certains troupeaux sont vaccinés, réduisant la fréquence d'une prévalence des œufs élevée (illustré à la Figure 9 pour le Cas 1 du Tableau 19).

L'effet est plus marqué lorsqu'un pourcentage supérieur de troupeaux infectés sont vaccinés, lorsqu'un pourcentage supérieur de plus grands troupeaux sont vaccinés et lorsqu'un pourcentage supérieur de poules infectées sont vaccinées. En illustrant la prévalence moyenne des œufs des distributions, la diminution de la prévalence des œufs varie, allant d'aussi peu qu'aucune diminution (la même que celle de la prévalence des œufs de référence) jusqu'à plus de 4 % de la prévalence des œufs de référence (Tableau 19). La prévalence moyenne des œufs soumis aux stratégies de vaccination varie de 4 à 91 %, sous forme d'une fraction de la prévalence moyenne des œufs dans les conditions de référence (aucune vaccination). La prévalence moyenne des œufs diminue alors que la fraction de troupeaux vaccinés dans la population des troupeaux augmente (dans les colonnes du Tableau 19 de gauche à droite sur n'importe quelle ligne) et diminue alors que l'application de la stratégie de vaccination comporte

des pourcentages plus élevés de plus grands troupeaux (Tableau 19, Cas 2 par rapport au Cas 1, toutes les colonnes), sauf lorsque 0 ou 100 % des troupeaux sont vaccinés.

Les stratégies de vaccination qui ciblent des troupeaux de plus grande envergure réduisent la prévalence des œufs dans un troupeau pour une plus grande proportion des œufs de table; une plus grande proportion de la production d'œufs de table est ciblée lorsque la vaccination est appliquée aux 10 %, 50 % ou 90 % des troupeaux de plus grande envergure (Tableau 19, Cas 2) que lorsque les troupeaux sont vaccinés ou non vaccinés sans tenir compte de la taille des troupeaux (Tableau 19, Cas 1). Toutefois, les stratégies de vaccination ciblant de plus grands troupeaux, mais sans s'appliquer à tous les troupeaux, peuvent tout de même entraîner une réduction de la prévalence des œufs lorsqu'aucun des troupeaux qui deviennent infectés ne se retrouve également parmi les troupeaux vaccinés.

Le Cas 3 du Tableau 19, reproduit des stratégies de vaccination ciblée qui peuvent être utilisées pour procurer une protection à un nouveau troupeau de poules dont le risque d'infection est jugé plus élevé. L'efficacité des stratégies varie de parfaitement efficaces pour repérer les troupeaux qui deviendront infectés (Tableau 19, Cas 3, 100 % des troupeaux *infectés* vaccinés) à complètement inefficaces pour repérer des troupeaux qui deviendront infectés (Tableau 19, Cas 3, 0 % des troupeaux *infectés* vaccinés).

Une stratégie théorique qui pourrait cibler parfaitement tous les troupeaux infectés (*p. ex.*, un troupeau qui se déplace dans un poulailler qui était occupé par un troupeau positif) peut atteindre les mêmes taux de réduction de la prévalence moyenne des œufs que les stratégies de vaccination de 100 % des troupeaux, mais l'efficacité des stratégies ciblées diminue alors que les stratégies de vaccination ciblée manquent certains troupeaux infectés. La vaccination ciblée entraîne environ la même réduction que la vaccination du même pourcentage de la population entière des troupeaux de poules (Tableau 19, Cas 3 par rapport au Cas 1).

Sensibilité

Les résultats présentés dans le Tableau 19 reposent sur des hypothèses qui sous-tendent les conditions de référence. En particulier, si la prévalence des troupeaux augmente selon la taille du troupeau, la prévalence des œufs est donc plus élevée pour la même prévalence des troupeaux à la fois dans les conditions de référence et dans les résultats simulés de l'application de la stratégie de vaccination. Un changement relatif de la prévalence des œufs entre une stratégie de vaccination particulière et les résultats de référence demeure identique à celle montrée.

Si l'efficacité de la vaccination d'un troupeau varie et que la prévalence des œufs dans un troupeau vacciné constitue 4 % de la prévalence des œufs dans un troupeau non vacciné, les effets moyens restent alors en théorie tels que présentés au Tableau 19, mais la distribution des résultats de l'efficacité en pourcentage devient plus variable.

La variabilité de la réduction augmente, même lorsque la réduction de la prévalence moyenne des œufs reste la même, alors que la prévalence des troupeaux diminue et que la variabilité de la prévalence des œufs dans un troupeau augmente. Les réductions de la prévalence des œufs dont le Tableau 19 fait état sont plus faibles, comme un pourcentage de référence, si la vaccination appliquée est moins efficace à réduire la prévalence dans un troupeau; les réductions de la prévalence des œufs dont le Tableau 19 fait état sont plus importantes, comme un pourcentage de la valeur de référence, si la vaccination est plus efficace que prévue à réduire la prévalence dans un troupeau.

L'efficacité des stratégies de vaccination, même avec des stratégies qui ne ciblent pas des troupeaux jugés à risque plus élevé d'infection, s'améliore environ 4 % plus rapidement avec des augmentations du pourcentage des troupeaux vaccinés alors que la prévalence des troupeaux augmente, et s'améliore environ 4 % plus lentement avec des augmentations du pourcentage de troupeaux vaccinés alors que la prévalence des troupeaux diminue.

La documentation disponible permet une inférence sur le rapport *moyen* de la prévalence des œufs contaminés dans un troupeau non vacciné aux œufs contaminés dans un troupeau vacciné de 25, avec un intervalle de confiance de 95 % [2,58, 254,7], environ 1/10 à la limite inférieure et environ dix fois plus élevé à la limite supérieure du rapport théorique (données non montrées).

Points de discussion

Une vaccination ciblée se distingue d'une vaccination systématique, ce que reproduisent les Cas 1 et 2 du Tableau 19. Les exploitations agricoles qui recourent à une démarche d'arrivées et de départs en un temps pourront plus vraisemblablement maîtriser *S. Enteritidis* en utilisant le nettoyage et la désinfection, mais les nouveaux troupeaux resteront vulnérables aux sources de *S. Enteritidis* autres qu'un environnement contaminé par le troupeau positif hébergé précédemment. Si la source de l'infection ne peut être établie, il est possible que la même source puisse se traduire par une réapparition de l'infection dans le troupeau de poudeuses suivant. Par conséquent, une

vaccination ciblée peut procurer un degré de protection supplémentaire au troupeau ultérieur.

Les renseignements sur les pratiques actuelles de vaccination de troupeaux sont limités (section 2.3). Toutefois, les pratiques actuelles sont incluses dans la gamme des autres options examinées dans cette section.

6.1.2 Analyse de troupeaux et détournement des œufs de troupeaux positifs

Introduction

Certaines autorités exigent l'analyse des troupeaux pour *S. Enteritidis* et détournent les œufs d'un troupeau détecté comme positif du marché des œufs de table.

Méthodes

Nous évaluons l'effet qu'une analyse de l'environnement d'un troupeau et que le détournement des œufs d'un troupeau vivant dans un environnement positif a sur le nombre de maladies en comparant la prévalence des œufs soumis à plusieurs schémas d'analyse et de détournement à la prévalence des œufs dans les conditions de référence, lesquelles ne comprennent aucun détournement d'œuf. La section 5.1.3 établit un lien entre la prévalence des œufs et le nombre de maladies.

Nous avons utilisé les quatre schémas d'analyse suivants avec différents degrés d'application parmi les troupeaux :

1. analyse avant le début du cycle de ponte pour que toute la production d'un troupeau dans un environnement positif à *S. Enteritidis* soit détournée;
2. analyse avant la fin du cycle de ponte pour que la production de huit à dix semaines d'un troupeau dans un environnement positif à *S. Enteritidis* soit détournée;
3. à la fois le schéma 1 et le schéma 2;
4. schéma 3 et une analyse supplémentaire entre les deux.

Résultats

La densité dans la distribution de la prévalence des œufs, laquelle varie entre les années théoriques, passe de valeurs supérieures à des valeurs inférieures de prévalence des œufs et réduit la fréquence des prévalences générales élevées des œufs d'une population, en particulier lorsqu'une gestion des analyses et du détournement est appliquée à certains troupeaux (illustré à la Figure 10 pour le Cas 3 du Tableau 20).

L'effet est plus marqué lorsqu'une gestion des analyses et du détournement est appliquée à un pourcentage supérieur de troupeaux et lorsqu'une telle gestion est appliquée à un pourcentage supérieur de plus grands troupeaux.

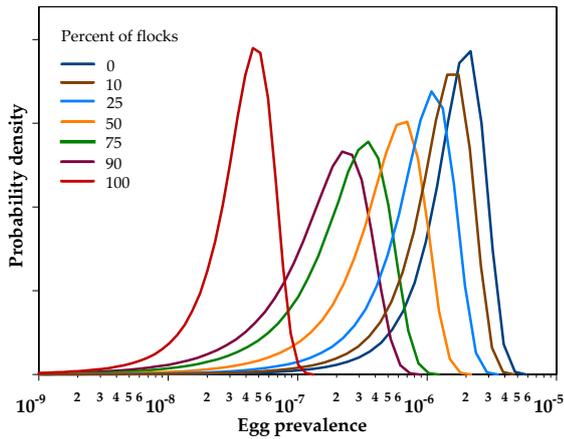


Figure 10. Distribution de la prévalence des œufs en présence de stratégies de gestion d’analyses et de détournement d’un troupeau assorties d’une analyse de l’environnement au début et d’une autre à 8 à 10 semaines avant la fin du cycle de ponte. L’apparition de l’infection précède le début du cycle de ponte.

Cas	Schéma d’analyse	Pourcentage de troupeaux auxquels le schéma est appliqué (%)					
		10	25	50	75	90	100
1	Début	91	78	54	31	16	3
2	8 à 10 semaines avant la fin	98	96	92	88	85	84
3	Début et 8 à 10 semaines avant la fin	91	78	54	31	16	2
4	Début, 1 entre et 8 à 10 semaines avant la fin	91	77	54	31	16	2

Tableau 20. Prévalence des œufs comme un pourcentage d’une valeur de référence pour quatre schémas d’analyse et niveaux de pratique, lorsque l’infection d’un troupeau se produit avant le début de la ponte. Calculée aux moyennes de distribution de la prévalence des œufs.

Illustrée à la prévalence moyenne des œufs des distributions, la prévalence moyenne des œufs :

- varie entre les schémas d’analyse (Tableau 20, lignes); elle diminue comme un pourcentage de la prévalence du cas de référence, généralement, alors que le nombre d’analyses dans le cycle de ponte augmente et que les analyses ont lieu plus tôt dans la séquence de production des œufs; et
- diminue alors que la fraction des troupeaux mettant en œuvre le schéma augmente (Tableau 20, colonnes);

selon les hypothèses voulant que:

- l’infection d’un troupeau se produise tôt dans la vie d’un troupeau, avant que ne commence la production des œufs;
- la décision de mettre en œuvre le schéma ne dépend pas de la taille du troupeau; et

Cas	Schéma d’analyse	Pourcentage de troupeaux auxquels le schéma est appliqué (%)		
		25	50	90
1	Début	67	46	14
2	8 à 10 semaines avant la fin	94	90	85
3	Début et 8 à 10 semaines avant la fin	67	45	13

Tableau 21. Prévalence des œufs comme un pourcentage de la valeur de référence lorsque les niveaux de pratique augmentent avec la taille du troupeau. Calculée aux moyennes de distribution de la prévalence des œufs.

- l’analyse de l’environnement détecte un environnement positif à *S. Enteritidis* 90 % du temps (moyenne).

Une analyse de l’environnement des troupeaux et le détournement de la production d’œufs de troupeaux dans un environnement positif à *S. Enteritidis* réduit la prévalence moyenne des œufs d’une population par rapport à la référence, sans stratégie d’analyse et de détournement :

- l’analyse de tous les troupeaux avant le début de la ponte et le détournement des œufs de troupeaux positifs à *S. Enteritidis* réduisent la prévalence moyenne des œufs d’une population à 3 % des niveaux de référence (Tableau 20, Cas 1);
- l’ajout d’une autre analyse 8 à 10 semaines avant la fin de la ponte réduit la prévalence moyenne des œufs à 2 % des niveaux de référence (Tableau 22, Cas 3); toutefois, une analyse seulement 8 à 10 semaines avant la fin de la ponte donne lieu à moins de détournements d’œufs d’un troupeau positif à *S. Enteritidis* qu’une analyse au début de la ponte et elle réduit la prévalence moyenne des œufs à 84 % des niveaux de référence (Tableau 20, Cas 2);
- une fréquence accrue de l’analyse de l’environnement pendant le cycle de ponte se traduit par de plus grandes réductions cumulatives, mais de plus faibles réductions progressives; et
- même lorsque la participation à l’analyse et au détournement est de 100 %, il reste des œufs contaminés en raison des fausses analyses négatives de l’environnement et des analyses qui sont prévues seulement à un certain moment après le début de la ponte d’œufs contaminés par le troupeau infecté.

Une pratique d’analyses et de détournement se traduit par de plus grandes réductions dans la moyenne de la prévalence des œufs lorsqu’elle se produit à un taux plus élevé parmi de plus grands troupeaux (Tableau 21). Le nombre d’œufs contaminés provenant de plus grands troupeaux serait plus élevé lorsque la prévalence des œufs dans un troupeau ne varie pas selon la taille du troupeau et l’effet du détournement d’un plus grand

nombre d'œufs du marché de consommation est également plus important. L'effet disparaît alors que la pratique d'analyse augmente pour couvrir 100 % des troupeaux puisque tous les œufs pondus dans un environnement positif à *S. Enteritidis* seraient détournés du marché de consommation, peu importe la taille du troupeau. Si la prévalence des troupeaux augmente avec la taille du troupeau ou si la prévalence des œufs dans un troupeau augmente avec la taille du troupeau, l'effet de cibler de plus grands troupeaux est alors plus important. Si la prévalence des troupeaux diminue avec la taille du troupeau ou si la prévalence des œufs dans un troupeau diminue avec la taille du troupeau, l'effet de cibler de plus grands troupeaux est alors moins important.

Les réductions de la prévalence moyenne des œufs sont plus importantes lorsque la sensibilité de l'analyse de l'environnement est plus élevée (Tableau 22). L'efficacité perdue en utilisant une analyse de l'environnement avec une faible sensibilité à *S. Enteritidis* est compensée lorsque le schéma d'analyse comprend des analyses multiples.

Au Canada, des sources d'infection des troupeaux qui émergent avant le début du cycle de ponte (exposition à une infection à *S. Enteritidis* des poussins ou poulettes) sont considérées moins importantes que des sources d'infection qui émergent pendant le cycle de ponte (section 1). Si c'est le cas, le Tableau 23 (par rapport au Tableau 20) démontre alors que les réductions par rapport aux conditions de référence en utilisant la stratégie d'analyse et de détournement diminuent (illustré à la Figure 11 pour le Cas 3 du Tableau 23). Les réductions par rapport aux valeurs de référence dépendent également de la capacité à coordonner une analyse de l'environnement avec le début d'une infection du troupeau (Tableau 23 par rapport au Tableau 20).

Cas	Schéma d'analyse	Sensibilité d'analyse à 70 %			Sensibilité d'analyse à 90 %		
		% de troupeaux auxquels le schéma est appliqué			% de troupeaux auxquels le schéma est appliqué		
		25	50	90	25	50	90
1	Début	81	63	30	78	54	16
2	8 à 10 semaines avant la fin	97	93	88	96	92	85
3	Début et 8 à 10 semaines avant la fin	81	61	28	78	54	16

Tableau 22. Prévalence des œufs comme un pourcentage de la valeur de référence (aucune analyse) pour une sensibilité différente d'analyse de l'environnement d'un troupeau. Calculée aux moyennes de distribution de la prévalence des œufs.

Cas	Schéma d'analyse	Pourcentage de troupeaux auxquels le schéma est appliqué (%)						
		0	10	25	50	75	90	100
1	Début	100	94	85	71	55	46	40
2	8 à 10 semaines avant la fin	100	95	88	75	62	55	49
3	Début et 8 à 10 semaines avant la fin	100	93	83	66	48	37	29
4	Début, 1 entre et 8 à 10 semaines avant la fin	100	92	79	59	38	25	15

Tableau 23. Prévalence des œufs comme un pourcentage des valeurs de référence (aucune analyse) lorsque l'infection d'un troupeau se produit à tout moment entre l'âge d'une semaine (stade de poulette) à 72 semaines (fin de la ponte). Calculée aux moyennes de distribution de la prévalence des œufs.

Sensibilité

Les résultats dans les Tableau 20-Tableau 22 et dans le Tableau 23 de cette section reposent sur des hypothèses qui sous-tendent les conditions de référence également.

En particulier,

- si la prévalence des troupeaux augmente avec la taille du troupeau, alors la prévalence des œufs est plus élevée pour la même prévalence des troupeaux à la fois dans les conditions de référence et dans les résultats simulés de la mise en œuvre de la stratégie d'analyse et de détournement. Un changement relatif de la prévalence des œufs entre une stratégie d'analyse et de détournement particulière et les résultats de référence reste identique tel que montré dans cette section;
- si la sensibilité de l'analyse de l'environnement augmente alors que la taille du troupeau augmente [104], les réductions de la prévalence des œufs s'approchent des résultats du Tableau 21, lequel montre des réductions plus importantes de la prévalence pour le même pourcentage d'application que le Tableau 20.

Points de discussion

Les résultats ne rendent pas compte de la variabilité du taux de production d'œufs contaminés à *S. Enteritidis* pendant le cycle de ponte que l'on pourrait attribuer au taux d'infection parmi les poules pondeuses dans un environnement de ponte positif. L'application simplifie plutôt ces dynamiques à celles qui font une distinction à seulement un point pendant le cycle de vie du troupeau avant lequel l'environnement est négatif et après lequel l'environnement est positif.

La prévalence des œufs selon différents niveaux de mise en œuvre de stratégies d'analyse et de détournement est presque identique à la prévalence des œufs selon différents niveaux de mise en œuvre de stratégies de

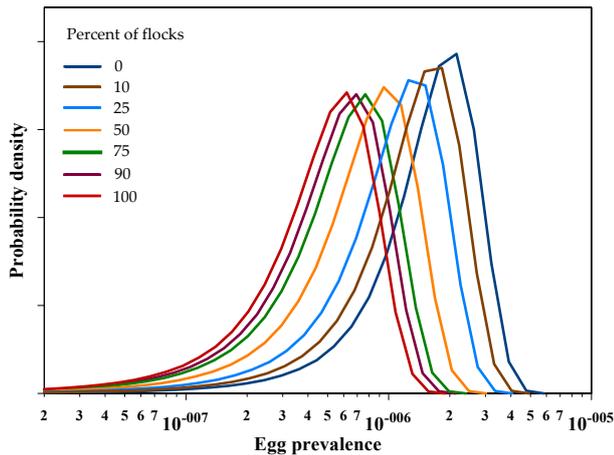


Figure 11. Distribution de la prévalence des œufs en présence de stratégies de gestion d'analyse et de détournement d'un troupeau assorties d'une analyse de l'environnement au début et d'un autre à 8 à 10 semaines avant la fin du cycle de ponte. L'apparition de l'infection survient à n'importe quel âge.

vaccination (section 6.1.1). En se basant sur la présente analyse, la réduction des œufs contaminés à *S. Enteritidis* d'une certaine fraction de troupeaux contaminés à *S. Enteritidis* du marché des œufs de table par toute méthode semble susciter le même effet sur la prévalence des œufs dans la population parmi les œufs de table consommés.

Les pratiques actuelles d'analyse de troupeaux et de détournement des œufs varient selon les autorités provinciales (section 2.3, Tableau 1). Toutefois, les pratiques actuelles sont incluses dans la gamme des options examinées dans cette section.

6.1.3 Sensibilité

Les résultats des sections 6.1.1 et 6.1.2 pour la prévalence des œufs soumis aux options de gestion des risques comme fraction de la prévalence de référence des œufs sont valables pour toute autre spécification de prévalence entre des troupeaux et de prévalence dans un troupeau. Toutefois, les résultats des sections 6.1.1 et 6.1.2, lesquels reflètent une prévalence de référence entre des troupeaux, changeraient d'emplacement (vers une prévalence des œufs plus élevée ou plus basse) ou changeraient de forme (deviendrait plus ou moins variable, plus ou moins asymétrique) selon des modifications apportées à la prévalence de référence de troupeaux.

6.2 Pratiques de préparation et de manipulation des œufs qui réduisent le nombre de maladies par œuf contaminé

Dans la section 5.1.3, le nombre de maladies est proportionnel au nombre de maladies par œuf contaminé de sorte que lorsque le nombre de maladies causées par un œuf contaminé diminue d'un certain pourcentage, le nombre de maladies diminue du même pourcentage.

Les options de gestion des risques visent à réduire les concentrations en *S. Enteritidis* dans les œufs contaminés et à réduire le nombre de portions provenant d'un œuf contaminé, en particulier par :

- des modifications apportées aux conditions d'entreposage et de manipulation des œufs pour réduire les possibilités de croissance et pour déplacer la distribution de la croissance de valeurs élevées vers des valeurs plus basses (section 6.2.1);
- des modifications apportées aux pratiques de préparation des œufs pour réduire le regroupement des œufs (section 6.2.2); et
- des modifications apportées à la distribution des pratiques de préparation des œufs pour diminuer la fraction des repas et des recettes d'œufs crus ou légèrement cuits parmi tous les plats et toutes les recettes (section 6.2.3).

6.2.1 Conditions d'entreposage et de manipulation

Introduction

Le Tableau 17 de la section 5.1.3 indiquait que presque la moitié des maladies causées par *S. Enteritidis* sont associées à des œufs contaminés avec des concentrations maximales de *S. Enteritidis* (œufs manipulés dans des conditions d'abus) malgré le fait qu'ils ne comptent que pour 0,6 % des expositions, de sorte que les durées et les températures d'entreposage des œufs deviennent importantes pour les stratégies de gestion des risques. En général, la gestion de l'entreposage et de la manipulation des œufs pour de plus courtes périodes à des températures plus froides réduit la fréquence de dégradation de la membrane du jaune d'œuf et la fréquence à laquelle *S. Enteritidis* prolifère à des taux élevés dans un œuf contaminé.

Méthodes

Nous évaluons l'effet que des changements ont sur le nombre de maladies en comparant le nombre de maladies par œuf contaminé selon diverses stratégies de manipulation et d'entreposage à ce nombre dans les conditions de référence. La section 5.1.3 établit un lien entre le nombre de maladies par œuf contaminé et le nombre de maladies et détermine l'influence de :

- l'entreposage à la température ambiante dans un environnement domestique;
- la croissance à des taux intermédiaires et élevés; et
- la durée d'entreposage dans les établissements de services alimentaires et les institutions.

De plus courtes durées d'entreposage pour les établissements de services alimentaires et les institutions sont établies en utilisant les distributions de durées d'entreposage lors de la vente en gros et au détail, mais avec les fractions d'achat d'un producteur local, en gros et au détail, dont Lee et coll. [105] font état pour un groupe de restaurants (données non montrées).

Résultats

La densité dans la distribution du nombre de maladies par œuf contaminé déplace le nombre de maladies par œuf contaminé de valeurs élevées à des valeurs plus faibles lorsque la distribution des trois facteurs influents comporte une fréquence plus faible de valeurs élevées, réduisant la fréquence de nombres élevés de maladies à partir d'un seul œuf contaminé.

En illustrant le nombre moyen de maladies par œuf contaminé des distributions, plusieurs options différentes des conditions de référence mènent à la réduction du nombre de maladies par œuf contaminé (Tableau 24):

- dans les établissements de services alimentaires et les institutions, l'entreposage pour de plus courtes périodes que celles des conditions de référence mène moins souvent à des conditions qui favorisent la croissance de *S. Enteritidis* et réduit le nombre de maladies par œuf contaminé à 70 % des valeurs de référence;
- l'élimination de l'entreposage des œufs à la température ambiante des valeurs de référence (1,1 %) à 0 % réduit le nombre de maladies par œuf contaminé à 83 % des valeurs de référence en milieu domestique et à 67 % des valeurs de référence dans les établissements de services alimentaires et les institutions; et
- l'élimination de toutes les conditions qui mènent à la dégradation de la membrane du jaune d'œuf ou à la croissance de *S. Enteritidis* réduit le nombre de maladies par œuf contaminé à 56 % des valeurs de référence en milieu domestique et à 24 % des valeurs de référence dans les établissements de services alimentaires et les institutions.

La plus grande réduction possible du nombre de maladies par œuf contaminé, obtenue par les modifications des conditions de référence de l'entreposage et de la manipulation, est représentée par le cas modélisé *Aucune croissance*.

Points de discussion

L'ensemble de données établi par Lee et coll. [105] est assorti de plusieurs mises en garde :

- l'échantillon était décrit comme un « échantillon de commodité », sans inférence sur la population à laquelle il fait référence; des échantillons de commodité ne peuvent prétendre procurer la protection que fournit la sélection aléatoire contre les biais;
- la population de référence possible est constituée de restaurants qui préparent des petits-déjeuners pendant toutes les heures d'ouverture, situés dans treize régions métropolitaines dans sept États des États-Unis;

Conditions		% de référence, à la moyenne
Milieu domestique	Durée et température de référence	100
	Aucun entreposage à la température ambiante	83
	Aucune croissance	56
Établissements de services alimentaires et institutions	Durée et température de référence	100
	Plus courte durée d'entreposage	70
	Aucun entreposage à la température ambiante	67
	Aucune croissance	24

Tableau 24. Maladies par œuf contaminé comme un pourcentage des conditions de référence selon les modifications apportées aux pratiques du consommateur.

- aucun des renseignements recueillis par déclaration volontaire n'a été confirmé par une observation directe;
- même l'applicabilité des renseignements démographiques à propos des établissements est lacunaire par manque de renseignements sur le nombre d'œufs ou de repas auxquels les renseignements s'appliquent.

Donc, bien que nous ne considérons pas ces données à titre d'option de spécification appropriée pour les pratiques d'entreposage et de manipulation dans les établissements de services alimentaires et les institutions (aucune population de référence claire, aucune population d'échantillonnage claire, aucune conclusion à partir des données pour la population d'échantillonnage), nous les utilisons comme exemple pour une durée d'entreposage plus courte que celle de la référence. Elles démontrent l'effet de durées d'entreposage plus courtes sur les principaux résultats des risques en réduisant la fréquence de la croissance de *S. Enteritidis* à des concentrations plus élevées dans un œuf contaminé.

La gestion des risques axée sur les conditions d'entreposage et de manipulation n'influe pas la prévalence des œufs. Ainsi, l'effet le plus important possible est limité par la prévalence des œufs contaminés manipulés et entreposés de manière à limiter les concentrations dans les œufs, lors de la préparation, aux concentrations lors de la ponte.

6.2.2 Regroupement des œufs

Introduction

La réduction de la fréquence des repas et des recettes qui regroupent des œufs pour un grand nombre de portions réduit l'exposition à *S. Enteritidis* et le nombre de maladies causées par un œuf contaminé.

Méthodes

Nous évaluons l'efficacité des stratégies en comparant le nombre de maladies causées par un œuf contaminé lorsque certains repas et certaines recettes à base d'œufs regroupés sont éliminés aux résultats de référence pour le nombre de maladies causées par un œuf contaminé.

Résultats

Dans les établissements de services alimentaires et les institutions, l'élimination de l'utilisation d'œufs de table de tous les repas et de toutes les recettes à base d'œufs regroupés modifie la distribution du nombre de maladies causées par œuf contaminé, en particulier en réduisant la fréquence d'un grand nombre de maladies à partir d'un seul œuf contaminé à exactement 0. Le Tableau 25 illustre l'effet en comparant la moyenne de la distribution des maladies causées par œuf contaminé selon cette pratique à celle de la référence.

L'élimination de tous les repas et de toutes les recettes à base d'œufs regroupés réduit le nombre de maladies causées par œuf contaminé associées aux œufs de table à 29 % de la valeur de référence, mais seuls de faibles gains sont réalisés avec des réductions modestes ($\leq 25\%$) de l'utilisation d'œufs regroupés. De telles réductions importantes du nombre de maladies se produisent seulement dans les repas et les recettes à base d'œufs qui n'ont pas été suffisamment cuits pour inactiver les salmonelles présentes. De plus faibles réductions surviennent lorsque les repas et les recettes d'œufs sont normalement bien cuits. Les réductions dont le Tableau 25 fait état découlent de la réduction du nombre de personnes exposées à *S. Enteritidis* à partir d'œufs contaminés, et non de la réduction de la prévalence des œufs contaminés.

Sensibilité

La fréquence des repas et des recettes à base d'œufs regroupés dans les établissements de services alimentaires et les institutions et le nombre de portions de tels repas et de telles recettes à base d'œufs regroupés sont inconnus. Les conditions de référence impliquent un jugement expert et des renseignements anecdotiques.

Élimination des repas et des recettes à base d'œufs regroupés (%)	% de référence, à la moyenne
0	100
25	83
50	65
75	48
100	29

Tableau 25. Effet de l'élimination de repas et de recettes à base d'œufs regroupés dans les établissements de services alimentaires et les institutions sur le nombre de maladies par œuf de table contaminé.

Discussion

Ces résultats du regroupement des œufs démontrent les effets de la réduction de la prévalence des œufs sur le nombre de maladies causées par œuf contaminé. Un moyen de réduction de la fréquence des repas et des recettes à base d'œufs de table regroupés consiste à remplacer les œufs en coquille par des ovoproduits transformés. Le risque associé à *S. Enteritidis* dans les ovoproduits pasteurisés, un moyen de parvenir au remplacement des œufs de table dans les repas à base d'œufs regroupés, se trouve hors de la portée de la présente évaluation des risques.

En milieu domestique, les repas et les recettes à base d'œufs regroupés sont servis plus rarement et comportent de plus petits nombres de portions, de sorte que les réductions par rapport aux conditions de référence sont plus faibles que dans les établissements de services alimentaires et les institutions (résultats non montrés) et les maladies causées par œuf contaminé sont fidèlement représentées par la probabilité d'une maladie causée par une seule portion (section 5.1.2, Tableau 14).

6.2.3 Cuisson

Introduction

Le Tableau 15 de la section 5.1.2, fait état des différences de risque par œuf contaminé (probabilité de maladies à partir d'une portion et nombre de maladies causées par un œuf contaminé) pour différents repas et différentes recettes à base d'œufs.

Méthodes

Nous évaluons à quel point la réduction de la fraction de repas et de recettes d'œufs crus et légèrement cuits est efficace dans la réduction des risques en comparant le nombre de maladies causées par œuf contaminé selon diverses stratégies par rapport aux conditions de référence.

Élimination des repas et des recettes d'œufs crus et légèrement cuits (%)	% de la référence, à la moyenne	
	Établissements de services alimentaires et les institutions	Milieu domestique
0	100	100
25	86	96
50	72	92
75	58	88
100	44	83

Tableau 26. Nombre de maladies causées par œuf contaminé comme le pourcentage de la valeur de référence obtenu par la réduction du pourcentage de la consommation de repas et de recettes d'œufs crus et légèrement cuits.

Résultats

La réduction de la fréquence des repas et des recettes d'œufs qui sont consommés crus ou légèrement cuits réduit le nombre de maladies causées par œuf contaminé (Tableau 26).

En milieu domestique, de plus faibles réductions (96 à 83 % de la valeur de référence) du nombre de maladies causées par œuf contaminé découlent de faibles réductions de la fréquence des repas et des recettes d'œufs crus ou légèrement cuits. Des études sur la consommation indiquent une faible fréquence de repas et de recettes d'œufs crus ou légèrement cuits en milieu domestique (données non montrées).

Dans les établissements de services alimentaires et les institutions, les réductions sont plus importantes. Réduire de moitié la fréquence des repas et des recettes d'œufs crus ou légèrement cuits réduit le nombre de maladies causées par œuf contaminé de 72 % par rapport à la valeur de la référence.

Éliminer l'ensemble des repas et des recettes d'œufs crus ou légèrement cuits réduit le nombre de maladies à 44 % de celui des conditions de référence. En particulier, la réduction de la fréquence des recettes d'œufs crus partagées parmi de nombreux consommateurs réduit la fréquence des grands nombres de maladies à partir d'un seul œuf contaminé (pic supérieur, Figure 12). Les pics dans la densité de la probabilité sont centrés à différents effets de cuisson pour divers types de repas et de recettes d'œufs.

Discussion

Modifier les pratiques de cuisson pour un type de repas (abandonner les œufs au miroir moins bien cuits, brouillés baveux, à la coque et pochés) réduit également le nombre de maladies causées par œuf contaminé. Aucune stratégie particulière ne faisait partie des options de gestion des risques évaluées.

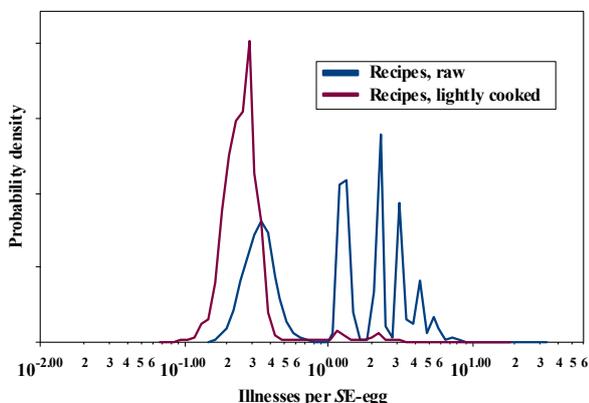


Figure 12. Distribution du nombre de maladies par œuf contaminé pour les recettes sans cuisson et cuites légèrement.

6.2.4 Combinaison des stratégies

Les atténuations individuelles des risques produisent des réductions d'envergures particulières dans les maladies causées par un œuf contaminé lorsqu'elles sont mesurées isolément (sections 6.2.1 à 6.2.3). Le Tableau 27 démontre l'importance des réductions par rapport aux conditions de référence en présence de combinaisons de quatre options de gestion des risques (élimination de 50 % des repas à base d'œufs de table regroupés; aucune croissance; entreposage et manipulation plus brefs à des températures plus basses chez le consommateur; et réduction de moitié de la fréquence des repas et des recettes à base d'œufs crus ou légèrement cuits).

Chaque mesure d'atténuation des risques se traduit par une certaine réduction progressive du nombre de maladies causées par œuf contaminé, peu importe la référence par rapport à laquelle elle est mesurée, mais l'importance de la réduction progressive dépend des atténuations des risques dont on tient déjà compte :

- le remplacement des œufs regroupés (50 %) se traduit par une plus grande réduction progressive par rapport au remplacement des œufs regroupés de référence (0 %) si aucune mesure n'a été prise pour empêcher la croissance (79 % par rapport à 100 % de référence; 65 % par rapport à 81 % de référence; 67 % par rapport à 82 %; 56 % par rapport à 62 %), mais seulement une faible réduction progressive si la mesure d'atténuation empêche déjà la croissance (37 % par rapport à 38 % de référence; 37 % par rapport à 38 % de référence; 33 % par rapport à 34 %; 33 % par rapport à 34 %);
- une mesure d'atténuation qui empêche la croissance de *S. Enteritidis* se traduit par une importante réduction progressive indépendamment des autres mesures d'atténuation (38 % par rapport à 100 % de référence; 38 % par rapport à 81 % de référence; 34 % par rapport à 82 %; 34 % par rapport à 62 %; 37 % par rapport à 79 %; 37 % par rapport à 65 %; 33 % par rapport à 65 %; 33 % par rapport à 56 %);
- réduire de moitié la proportion des mets d'œufs crus ou légèrement cuits donne lieu à une plus grande réduction progressive lorsqu'aucune mesure d'atténuation n'est en place pour empêcher la croissance dans des œufs contaminés à *S. Enteritidis* ou pour conserver les œufs à des températures plus basses pendant de plus brèves périodes chez le consommateur (82 % par rapport à 100 % de référence; 67 % par rapport à 79 % de référence) que lorsque des mesures d'atténuation sont en place pour empêcher la croissance ou pour conserver les œufs à des températures plus basses pendant de plus brèves périodes (62 % par rapport à 81 % de référence; 34 % par rapport à 38 %; 34 % par rapport à 38 %; 56 % par rapport à 65 %; 33 % par rapport à 37 %; 33 % par rapport à 37 %); et

- la conservation des œufs à des températures plus froides pendant de plus courtes périodes à l'étape du consommateur mène à une plus grande réduction lorsqu'aucune autre atténuation n'empêche la croissance de *S. Enteritidis* dans les œufs contaminés (81 % par rapport à 100 % de référence; 62 % par rapport à 82 % de référence; 65 % par rapport à 79 %; 56 % par rapport à 57 %) que lorsque d'autres mesures d'atténuation empêchent déjà la croissance (38 % par rapport à 38 % de référence; 34 % par rapport à 34 %; 37 % par rapport à 37 %; 33 % par rapport à 33 %).

En d'autres termes, les effets progressifs de plusieurs stratégies de gestion des risques sont plus faibles que la somme de leurs effets minimales. En outre, les résultats indiquent les circonstances dans lesquelles une mesure d'atténuation particulière aurait le plus grand et le plus petit effet progressif.

6.2.5 Sensibilité

Taux initiaux alternatifs de contamination à *S. Enteritidis*

La contamination initiale à *S. Enteritidis* a peu d'influence sur les résultats des risques comme le nombre de maladies causées par œuf contaminé et la probabilité d'une maladie causée par une portion d'œufs contaminés.

Autres modèles de dose-réponse

Le choix de modèles de doses-réponses influe sur les résultats de risques pour les maladies causées par œuf contaminé (Tableau 18) ainsi que sur l'influence relative des options de gestion des risques qui ciblent la prévalence, les maladies causées par œuf contaminé ou les concentrations en *S. Enteritidis* d'une portion d'œuf. Par rapport aux modèles de dose-réponse Bêta-Poisson de la FAO/l'OMS [7], de l'USDA [8], ou de Thomas et coll. [11] par exemple, le modèle de dose-réponse de Weibull attribue une probabilité de maladie plus élevée à de faibles doses et à des doses élevées pour les individus d'une population normale et à toutes les doses de *S. Enteritidis* pour les individus d'une population vulnérable (section 6.2).

Par rapport à ce modèle Bêta-Poisson, l'utilisation du modèle de dose-réponse de Weibull pour évaluer les options de gestion des risques déplace l'emphase :

- pour la population normale, passant des options qui ciblent la prévalence à celles qui ciblent les concentrations élevées de *S. Enteritidis* dans une portion d'œufs lors de la consommation;
- pour la population vulnérable, passant à des options qui ciblent la prévalence en écartant celles qui ciblent des concentrations élevées en *S. Enteritidis* dans une portion d'œufs lors de la consommation; et

- parmi les options qui ciblent les concentrations de *S. Enteritidis* dans une portion d'œufs, à celles qui atténuent même une croissance modérée; si le modèle de l'USDA [8] procure le lien entre *S. Enteritidis* et la maladie humaine, la fonction de dose-réponse autolimite efficacement la probabilité d'une maladie avec une dose accrue, de sorte que la réduction de l'utilisation d'œufs pour des repas à base d'œufs regroupés parmi plusieurs individus perdrait son importance comme option de gestion des risques par rapport aux options de gestion des risques qui réduisent la fréquence de concentrations élevées de *S. Enteritidis*.

6.3 Points de discussion

Les résultats obtenus dans les conditions de référence (section 5.1.1, 5.1.2) et l'étude de la sensibilité des résultats des risques à diverses variables influentes (section 5.1.3) pointaient vers des possibilités de gestion des risques : prévalence des œufs, réduction par la cuisson, pratiques de regroupement, entreposage et manipulation.

Les facteurs qui font en sorte que la probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion d'œufs contaminés demeure faible sont :

- une croissance maîtrisée de sorte qu'une dégradation de 100 % de la membrane du jaune d'œuf ne se produise pas et qu'une croissance à partir du dépôt initial à la ponte ne se produise pas;
- une faible fréquence de regroupements d'œufs pour des repas et des recettes d'œufs ou seulement un petit nombre d'œufs utilisés dans des repas et des recettes d'œufs partagés;
- une faible fréquence de mets préparés crus ou légèrement cuits.

La section 6.2 aborde les effets des pratiques de préparation et des conditions d'entreposage et de manipulation sur les maladies causées par œuf contaminé.

Les facteurs qui font en sorte que la probabilité d'une maladie à la suite de la consommation d'une portion d'œufs aléatoire demeure faible sont :

- une croissance maîtrisée de sorte qu'une dégradation de 100 % de la membrane du jaune d'œuf ne se produise pas et qu'une croissance à partir du dépôt initial à la ponte ne se produise pas;
- une faible fréquence de regroupements d'œufs pour des repas et des recettes d'œufs ou seulement un petit nombre d'œufs utilisés dans des repas et des recettes d'œufs partagés;
- une faible fréquence de mets préparés crus ou légèrement cuits; et

Remplacement des œufs regroupés (%)	Croissance de <i>S. Enteritidis</i> pendant l'entreposage et la manipulation	Cuisson	Entreposage chez le consommateur	% de référence
Référence	Référence	Référence	Référence	100
		½ légèrement cuit, ½ cru	Plus froid, plus court	81
			Référence	82
	Aucune croissance	Référence	Plus froid, plus court	62
		½ légèrement cuit, ½ cru	Référence	38
			Plus froid, plus court	38
50	Référence	Référence	Référence	79
		½ légèrement cuit, ½ cru	Plus froid, plus court	65
			Référence	67
	Aucune croissance	Référence	Plus froid, plus court	56
		½ légèrement cuit, ½ cru	Référence	37
			Plus froid, plus court	37
			Référence	33
			Plus froid, plus court	33

Tableau 27. Effet des combinaisons des mesures d'atténuation des risques sur le nombre de maladies causées par œuf contaminé à *S. Enteritidis*.

- une faible prévalence des œufs, au moyen d'une faible prévalence des troupeaux, une faible prévalence des œufs parmi les troupeaux et la maîtrise du nombre total de poules pondeuses évoluant dans des troupeaux positifs.

La section 6.1 aborde les effets de deux stratégies de gestion des risques sur la prévalence des œufs, alors que la section 6.2. examine les effets des pratiques de préparation et des conditions d'entreposage et de manipulation sur les maladies causées par œuf contaminé.

Dans des conditions qui permettent même une croissance occasionnelle de *S. Enteritidis*, les maladies causées par œuf contaminé sont plus influentes que la prévalence des œufs pour le nombre de maladies. Toutefois, comme la fraction d'œufs contaminés qui subit une certaine croissance diminue, l'influence de la prévalence des œufs par rapport au nombre de maladies causées par œuf contaminé augmente. Dans des conditions où aucune croissance de *S. Enteritidis* ne se produit à partir des niveaux initiaux de contamination, les maladies causées par œuf contaminé et la prévalence des œufs exercent la même influence relative sur le nombre de maladies.

7. Remerciements

Ce rapport a été préparé en collaboration avec le Bureau de la surveillance des aliments et de l'intégration scientifique et le Bureau des dangers microbiens de la Direction des aliments de la Direction générale des produits de santé et des aliments de Santé Canada. Les membres de l'équipe scientifique étudiant *S. Enteritidis* comprenaient : Normand Boucher (ACIA), Diane Brodeur (POC), Spencer Collins (POC), Hélène Couture (SC),

Walter Demczuk (ASPC), Leanne DeWinter (SC), Aamir Fazil (ASPC), Thomas Gleeson (SC), Rebecca Irwin (ASPC), Anna Lammerding (ASPC), Steve Matusiak (ACIA), Biljana Mihajlovic (SC), Rachel Ouckama (industrie/CCTOV), Frank Pollari (ASPC), William Ross (SC), Judy Scaife (ACIA) et Victoria Sikur (PECH). Des remerciements particuliers à Bernadette Cox et aux Producteurs d'œufs du Canada (POC) qui ont joué un rôle-clé en donnant accès aux données concernant les troupeaux commerciaux de pondeuses réglementées. Des remerciements particuliers à Angela Catford pour des discussions utiles sur la présente évaluation des risques.

8. Références

- [1] Paoli G (2001), "Risk assessment of *Salmonella* Enteritidis in Canadian shell eggs", Health Canada, non publié, Decisionalysis.
- [2] Health Canada (2000), "Health Canada's Decision Making Framework". Disponible à: http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/pubs/hpfb-dgpsa/risk-risques_cp-pc_e.html (Accédé le 25 fév. 2008).
- [3] Codex Alimentarius Commission (1999), "Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment". Disponible à: www.codexalimentarius.net/download/standards/357/CXG_030e.pdf (Accédé le 25 fév. 2008).
- [4] Whiting RC & RL Buchanan (1997), "Development of a quantitative risk assessment model for *Salmonella* Enteritidis in pasteurized liquid eggs", *Intl J. Food Microbiol.* **36**, 111-125.
- [5] Whiting RC, A Hogue, WD Schlosser, ED Ebel, RA Morales, A Baker & RM McDowell (2000), "A quantitative process model for *Salmonella* Enteritidis in shell eggs", *J Food Sci.* **65** (5), 864-869.

- [6] Hope BK, AR Baker, ED Ebel, AT Hogue, WD Schlosser, R Whiting, RM McDowell & RA Morales (2002), "An overview of the *Salmonella* Enteritidis risk assessment for shell eggs and egg products", *Risk Anal.* **22** (2), 203-218.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization (FAO/WHO) (2002), "Risk assessments of *Salmonella* in eggs and broiler chickens", ISBN 92 9 156229 3 (WHO), ISBN 92 5 104872 X (FAO) ISSN 1726-5274.
- [8] US Department of Agriculture, Food Safety & Inspection Service (USDA) (2005), "Risk assessments of *Salmonella* Enteritidis in shell eggs and *Salmonella* spp. in egg products".
- [9] Lievonen S, J Ranta & R Maijala (2006), "*Salmonella* in egg production in Finland – a quantitative risk assessment", publication 04/2006, National Veterinary and Food Research Institute, Helsinki, Finland.
- [10] Mokhtari A, CM Moore, H Yang, L-A Jaykus, R Morales, SC Cates & P Cowen (2006), "Consumer-phase *Salmonella enterica* serovar Enteritidis risk assessment for egg-containing food products", *Risk Anal.* **26** (3), 753-768.
- [11] Thomas C, B Daughtry, D Padula, D Jordan, G Arzey, K Davey, G Holds, J Slade & A Pointon (2006c), "An egg:Salmonella quantitative risk assessment model for the Australian egg industry", AECL Publication No 06/AECL Project SAR-42A, ISSN 1448-1316.
- [12] Kelly L, L Murchie, B Xia, P Whyte & RH Madden (2009), "Probabilistic model for contamination of egg dishes with *Salmonella* spp. Made from shell eggs produced on the island of Ireland", *Intl J. Food Microbiol.* **135**, 187-192.
- [13] European Food Safety Authority (2010a), "Quantitative risk assessment of *Salmonella* Enteritidis in shell eggs in Europe", *EFSA J.* **8** (4), 1588, EFSA-Q-2009-00790, <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/scdoc/1588.htm> [Accédé le 01 mai 2010].
- [14] European Food Safety Authority (2010b), "Scientific opinion on the quantitative estimation of the public impact of setting a new target for the reduction of *Salmonella* in laying hens", *EFSA J.* **8** (4), 1546, EFSA-Q-2008-292, <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/scdoc/1546.htm> [Accédé le 01 mai 2010].
- [15] Mead PS, Slutsker L, Dietz V, McCaig LF, Bresee JS, Shapiro C, Griffin PM & RV Tauxe (1999), "Food-related illness and death in the United States", *Emerg Infect Dis.* **5** (5), 607-25.
- [16] Department of Justice Canada (2009), "Egg Regulations C.R.C., c.284", Part 1, Section 9 (31) to (33). Disponible à: <http://laws.justice.gc.ca/en/showdoc/cr/C.R.C.-c.284//en?page=1> (Accédé le 25 fév. 2008).
- [17] Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2010), "Investigation update: multistate outbreak of human *Salmonella* Enteritidis infections associated with shell eggs". Disponible à: <http://www.cdc.gov/print.do?url=http%3A//www.cdc.gov/salmonella/enteritidis/> (Accédé le 7 déc. 2010).
- [18] Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2003), "*Salmonella* serotype Enteritidis outbreak summaries". Disponible à: http://www.cdc.gov/foodborneoutbreaks/outbreak_data.htm (Accédé le 25 fév. 2008).
- [19] Patrick ME, Adcock PM, Gomez TM, Altekruze SF, Holland BH, Tauxe RV & DL Swerdlow (2004), "*Salmonella* Enteritidis infections, United States, 1985-1999", *Emerg Infect Dis.* **10** (1), 1-7.
- [20] Voetsch AC, Poole C, Hedberg CW, Hoekstra RM, Ryder RW, Weber DJ & FJ Angulo (2008), "Analysis of the FoodNet case-control study of sporadic *Salmonella* serotype Enteritidis infections using persons infected with other *Salmonella* serotypes as the comparison group", *Epidemiol Infect.* **137**, 408-416.
- [21] Public Health Agency of Canada (PHAC) (2004), "Laboratory Surveillance Data for Enteric Pathogens in Canada, Annual Summary 2001". Disponible à: <http://www.nml-lnm.gc.ca/english/NESP.htm> (Accédé le 3 mars 2008)
- [22] Public Health Agency of Canada (PHAC) (2008), "National Notifiable Diseases On-Line". Disponible à: http://dsol-smed.phac-aspc.gc.ca/dsol-smed/ndis/list_e.html (Accédé le 3 mars 2008).
- [23] Medaglia A (2008), *personal communication*, e-mail Feb. 26, 2008; Database Manager, Notifiable Diseases Section, Surveillance and Risk Assessment Division, Public Health Agency of Canada.
- [24] Khakhria R, Woodward D, Johnson WM & C Poppe (1997), "*Salmonella* isolated from humans, animals and other sources in Canada, 1983-92", *Epidemiol Infect.* **119** (1), 15-23.
- [25] Health Canada (2003), "Canadian Integrated Surveillance Report: *Salmonella*, *Campylobacter*, pathogenic *E. coli*, and *Shigella*, from 1996 to 1999". *Can. Commun. Dis. Rep.* **29S1**.
- [26] Public Health Agency of Canada (PHAC) (2005), "Laboratory Surveillance Data for Enteric Pathogens in Canada, Annual Summary 2002 and 2003". Disponible à: <http://www.nml-lnm.gc.ca/english/NESP.htm> (Accédé le 3 mars 2008).
- [27] Public Health Agency of Canada (PHAC) (2007a), "Laboratory Surveillance Data for Enteric Pathogens in Canada, Annual Summary 2005". Disponible à: <http://www.nml-lnm.gc.ca/english/NESP.htm> (Accédé le 3 mars 2008).
- [28] Public Health Agency of Canada (PHAC) (2007b), "Laboratory Surveillance Data for Enteric Pathogens in Canada, Annual Summary 2006". Disponible à:

<http://www.nml-lnm.gc.ca/english/NESP.htm> (Accédé le 3 mars 2008).

- [29] Thomas MK, SE Majowicz, L MacDougall, PN Sockett, SJ Kovacs, M Fyfe, VL Edge, K Doré, JA Flint, S Henson & AQ Jones (2006a), "Population distribution and burden of acute gastrointestinal illness in British Columbia, Canada", *BMC Pub Health* **6**, 307.
- [30] Thomas MK, Majowicz SE, Sockett PN, Fazil A, Pollari F, Doré K, Flint JA & VL Edge (2006b), "Estimated numbers of community cases of illness due to *Salmonella*, *Campylobacter* and verotoxigenic *Escherichia coli*: pathogen-specific community rates", *Can J Infect Dis Med Microbiol.* **17** (4), 229-234.
- [31] Public Health Agency of Canada (PHAC) (2002a), "Results of a Physician Study Pilot in the New City of Hamilton Region". Disponible à: http://www.phac-aspc.gc.ca/nsagi-enmga/pdf/phys_pilot_e.pdf (Accédé le 13 août 2008).
- [32] Public Health Agency of Canada (PHAC) (2002b), "Report of the 2001 Canadian Laboratory Survey, National Studies on Acute Gastrointestinal Illness", http://www.phac-aspc.gc.ca/nsagi-enmga/pdf/labstudyreport_e.pdf (Accédé le 13 août 2008).
- [33] Flint JA, K Doré, SE Majowicz, VL Edge & P Sockett (2004), "From stool to statistics. Reporting of acute gastrointestinal illnesses in Canada", *Can. J Publ Health* **95** (4), 309-313.
- [34] Majowicz SE, K Doré, JA Flint, VL Edge, S Read, MC Buffett, S McEwen, WB McNab, D Stacey, P Sockett & JB Wilson (2004), "Magnitude and distribution of acute, self-reported gastrointestinal illness in a Canada community", *Epidemiol Infect.* **132**, 607-617.
- [35] Majowicz SE, VL Edge, A Fazil, WB McNab, KA Doré, PN Sockett, JA Flint, D Middleton, SA McEwen & JB Wilson (2005), "Estimating the under-reporting rate for infectious gastrointestinal illness in Ontario", *Can. J. Publ. Health* **96** (3), 178-181.
- [36] Boucher, N. Chief, Hatchery Program, CFIA. Personal communication. April 18, 2008.
- [37] Canadian Egg Marketing Agency (2002), "Beyond 30 Years - 2002 Annual Report". Disponible à: <http://publications.gc.ca/site/eng/344664/publication.html> (Accédé le 13 avril 2011).
- [38] Egg Farmers of Canada. 19 March 2009. Personal communication [Conference call].
- [39] Canadian Egg Marketing Agency (CEMA) (2007a), *personal communication*, e-mails 2007.February.19, 2007.March.20, 2008.April.04, 2008.April.23.
- [40] Davies R & M Breslin (2003b), "Effects of vaccination and other preventive methods for *Salmonella* Enteritidis on commercial laying chicken farms", *Vet Rec.* **153** (22), 673-677.
- [41] Cogan TA & TJ Humphrey (2003), "The rise and fall of *Salmonella* Enteritidis in the UK", *J Appl Microbiol.* **94** Suppl, 114S-119S.
- [42] Gast RK (2007), "Serotype-specific and serotype-independent strategies for preharvest control of food-borne *Salmonella* in poultry", *Avian Dis.* **51**, 817-28.
- [43] Gast RK & PS Holt (2001), "Assessing the frequency and consequences of *Salmonella enteritidis* deposition on the egg yolk membrane", *Poult Sci.* **80** (7), 997-1002.
- [44] Gast RK, Guraya R, Guard-Bouldin J, Holt PS & RW Moore (2007), "Colonization of specific regions of the reproductive tract and deposition at different locations inside eggs laid by hens infected with *Salmonella enteritidis* or *Salmonella heidelberg*", *Avian Dis.* **51** (1), 40-4.
- [45] Gantois I, Ducatelle R, Pasmans F, Haesebrouck F, Gast R, Humphrey TJ & F Van Immerseel (2009), "Mechanisms of egg contamination by *Salmonella* Enteritidis", *FEMS Microbiol Rev.* **33** (4), 718-38.
- [46] Fleischman GJ, Napier CL, Stewart D & SA Palumbo (2003), "Effect of temperature on the growth response of *Salmonella enteritidis* inoculated onto the vitelline membranes of fresh eggs", *J Food Prot.* **66** (8), 1368-73.
- [47] Chen J, Shallo Thesmar H & WL Kerr (2005), "Outgrowth of salmonellae and the physical property of albumen and vitelline membrane as influenced by egg storage conditions", *J Food Prot.* **68** (12), 2553-8.
- [48] Poppe C, Irwin RJ, Forsberg CM, Clarke RC & J Oggel (1991a), "The prévalence of *Salmonella enteritidis* and other *Salmonella* spp. among Canadian registered commercial layer flocks", *Epidemiol Infect.* **106**, 259-70.
- [49] Poppe C, RP Johnson, CM Forsberg & RJ Irwin (1992), "*Salmonella enteritidis* and other *Salmonella* in laying hens and eggs from flocks with *Salmonella* in their environment", *Can. J. Vet. Res.* **56** (3), 226-232.
- [50] Saskatchewan Egg Producers (SEP) (2003), "Annual Report". Disponible à: <http://www.agr.gov.sk.ca/agrifood/boards/SKEggProducers.htm> (Accédé le 15 août 2008).
- [51] Ontario Egg Producers (OEP) (2004), "2004 Annual Report". Disponible à: http://www.getcracking.ca/PDF/2004_Annual_Report_FINAL.pdf (Accédé le 9 déc. 2010)
- [52] Ontario Egg Producers (OEP) (2005), "2005 Annual Report". Disponible à: <http://www.getcracking.ca/PDF/OEPAnnualReport2005FINAL.pdf> (Accédé le 15 août 2008)
- [53] Fédération des Producteurs d'Œufs de Consommation du Québec. 2006. Rapport annuel 2005-2006 de la Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec. À l'heure des défis. http://www.œufs.ca/en/publications/documents/detail_s/index.asp?RubriqueID=10&DocID=37 (Accédé le 11 sept. 2006).
- [54] Canadian Egg Marketing Agency (CEMA) (2007b), *personal communication*, e-mail 2007.December.20
- [55] Poppe C, Irwin RJ, Messier S, Finley GG & J Oggel (1991b), "The prévalence of *Salmonella enteritidis* and other *Salmonella* sp. among Canadian registered

- commercial chicken broiler flocks", *Epidemiol Infect.* **107**, 201-11.
- [56] Guerin MT, Martin SW, Darlington GA & A Rajic (2005), "A temporal study of *Salmonella* serovars in animals in Alberta between 1990 and 2001", *Can J Vet Res.* **69** (2), 88-99.
- [57] Ouckama R (2006), *personal communication*, e-mail Oct. 13, 2006.
- [58] Davies R & M Breslin (2001), "Environmental contamination and detection of *Salmonella enterica* serovar *enteritidis* in laying flocks", *Vet Rec.* **149** (23), 699-704.
- [59] Henzler DJ, Ebel E, Sanders J, Kradel D & J Mason (1994), "*Salmonella enteritidis* in eggs from commercial chicken layer flocks implicated in human outbreaks", *Avian Dis.* **38** (1), 37-43.
- [60] Kinde H, Castellan DM, Kerr D, Campbell J, Breitmeyer R & A Ardans (2005), "Longitudinal monitoring of two commercial layer flocks and their environments for *Salmonella enterica* serovar *enteritidis* and other *Salmonellae*", *Avian Dis.* **49** (2), 189-94.
- [61] Henzler DJ, Kradel DC & WM Sischo (1998), "Management and environmental risk factors for *Salmonella enteritidis* contamination of eggs", *Am J Vet Res.* **59** (7), 824-9.
- [62] Lister SA (1988), "*Salmonella enteritidis* infection in broilers and broiler breeders", *Vet Rec.* **123** (13), 350.
- [63] Bygrave AC & J Gallagher (1989), "Transmission of *Salmonella enteritidis* in poultry", *Vet Rec.* **124** (21), 571.
- [64] Saskatchewan Egg Producers (SEP) (2004), "Annual Report". Disponible à: <http://www.agr.gov.sk.ca/agrifood/boards/SKEggProducers.htm> (Accédé le 15 août 2008).
- [65] Humphrey TJ, Baskerville A, Mawer S, Rowe B & S Hopper (1989), "*Salmonella enteritidis* phage type 4 from the contents of intact eggs: a study involving naturally infected hens", *Epidemiol Infect.* **103** (3), 415-23.
- [66] Humphrey TJ (1994), "Contamination of egg shell and contents with *Salmonella Enteritidis*: a review", *Intl J. Food Microbiol.* **21** (1-2), 31-40.
- [67] Mason (1994), "*Salmonella Enteritidis* control programs in the United States", *Intl J. Food Microbiol.* **21** (1-2), 155-169.
- [68] Ebel E & W Schlosser (2000), "Estimating the annual fraction of eggs contaminated with *Salmonella Enteritidis* in the United States", *Intl J. Food Microbiol.* **61** (1), 51-62.
- [69] Davies R & M Breslin (2004), "Observations on *Salmonella* contamination of eggs from infected commercial laying flocks where vaccination for *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* had been used" *Avian Pathol.* **33** (2), 133-144.
- [70] Piao Z, Toyota-Hanatani Y, Ohta H, Sasai K, Tani H & E Baba (2007), "Effects of *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar *Enteritidis* vaccination in layer hens subjected to *S. Enteritidis* challenge and various feed withdrawal regimens", *Vet Microbiol.* **125** (1-2), 111-9.
- [71] Humphrey TJ, Whitehead A, Gawler AH, Henley A & B Rowe (1991), "Numbers of *Salmonella enteritidis* in the contents of naturally contaminated hens' eggs", *Epidemiol Infect.* **106** (3), 489-96.
- [72] Gast RK & CW Beard (1992), "Evaluation of a chick mortality model for predicting the consequences of *Salmonella enteritidis* infections in laying hens", *Poult Sci.* **71** (2), 281-7.
- [73] Humphrey TJ & A Whitehead (1993), "Egg age and the growth of *Salmonella enteritidis* PT4 in egg contents", *Epidemiol Infect.* **111** (2), 209-19.
- [74] Cogan TA, Domingue G, Lappin-Scott HM, Benson CE, Woodward MJ & TJ Humphrey (2001), "Growth of *Salmonella enteritidis* in artificially contaminated eggs: the effects of inoculum size and suspending media", *Int J Food Microbiol.* **70** (1-2), 131-41.
- [75] Gast RK, Holt PS & R Guraya (2006), "Effect of refrigeration on in vitro penetration of *Salmonella enteritidis* through the egg yolk membrane", *J Food Prot.* **69** (6), 1426-9.
- [76] Bradshaw JG, DB Shah, E Forney & JM Madden (1990), "Growth of *Salmonella Enteritidis* in yolk of shell eggs from normal and seropositive hens", *J Food Protect.* **53** (12), 1033-1036.
- [77] Schoeni JL, Glass KA, McDermott JL & AC Wong (1995), "Growth and penetration of *Salmonella enteritidis*, *Salmonella heidelberg* and *Salmonella typhimurium* in eggs", *Int J Food Microbiol.* **24** (3), 385-396.
- [78] Latimer HK, L-A Jaykus, RA Morales, P Cowen & D Crawford-Brown (2002), "Sensitivity analysis of *Salmonella Enteritidis* levels in contaminated shell eggs using a biphasic growth model", *Int J Food Microbiol.* **75**, 71-87.
- [79] Sockett PN, Cowden JM, Le Baigue S, Ross D, Adak GK & H Evans (1993), "Foodborne disease surveillance in England and Wales: 1989-1991", *Commun Dis Rep CDR Rev.* **3** (12), R159-73.
- [80] Palumbo MS, SM Beers, S Bhaduri & SA Palumbo (1995), "Thermal resistance of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* in liquid egg yolk and egg yolk products", *J Food Prot.* **58** (9), 960-6.
- [81] Blackburn C, LM Curtis, L Humpheson, C Billon & PJ McClure (1997), "Development of thermal inactivation models for *Salmonella Enteritidis* and *Escherichia coli* O157:H7 with temperature, pH and NaCl as controlling factors", *Int J Food Microbiol.* **38**, 31-44.
- [82] Chantarapanont W, Slutsker L, Tauxe RV & LR Beuchat (2000), "Factors influencing inactivation of *Salmonella Enteritidis* in hard-cooked eggs", *J Food Protect.* **63** (1), 36-43.
- [83] Grijpspeerd K & L Herman (2003), "Inactivation of *Salmonella enteritidis* during boiling of eggs", *Int J Food Microbiol.* **82** (1), 13-24.

- [84] Mañas P, Pagán R, Raso J & S Condón (2003), "Predicting thermal inactivation in media of different pH of *Salmonella* grown at different temperatures", *Int J Food Microbiol.* **87** (1-2), 45-53.
- [85] De Paula CMD, RF Mariot & EC Tondo (2005), "Thermal inactivation of *Salmonella* Enteritidis by boiling and frying egg methods", *J Food Safety* **25**, 43-57.
- [86] Agriculture and Agri-Foods Canada (AAFC) (2006), "Canada's Egg Industry", <http://www.agr.gc.ca/poultry>, [Accédé le 25 fév. 2008].
- [87] Kennedy M, Villar R, Vugia DJ, Rabatsky-Ehr T, Farley MM, Pass M, Smith K, Smith P, Cieslak PR, Imhoff B, Griffin PM, & Emerging Infections Program FoodNet Working Group (2004), "Hospitalizations and deaths due to *Salmonella* infections, FoodNet, 1996-1999", *Clin Infect Dis.* **38** (Suppl 3), S142-8.
- [88] Vugia DJ, Samuel M, Farley MM, Marcus R, Shiferaw B, Shallow S, Smith K, Angulo FJ & Emerging Infections Program FoodNet Working Group (2004), "Invasive *Salmonella* infections in the United States, FoodNet, 1996-1999: incidence, serotype distribution, and outcome", *Clin Infect Dis.* **38** (Suppl 3), S149-56.
- [89] Weinberger M, Andorn N, Agmon V, Cohen D, Shohat T & SD Pitlik (2004), "Blood invasiveness of *Salmonella enterica* as a function of age and serotype", *Epidemiol Infect.* **132** (6), 1023-8.
- [90] Arshad MM, Wilkins MJ, Downes FP, Rahbar MH, Erskine RJ, Boulton ML, Younus M, & AM Saeed (2008), "Epidemiologic attributes of invasive nontyphoidal *Salmonella* infections in Michigan, 1995–2001", *Int J Infect Dis.* **12** (2), 176-82.
- [91] Jones TF, Ingram LA, Cieslak PR, Vugia DJ, Tobin-D'Angelo M, Hurd S, Medus C, Cronquist A & FJ Angulo (2008), "Salmonellosis outcomes differ substantially by serotype", *J Infect Dis.* **198** (1), 109-14.
- [92] Rajda Z & D Middleton (2006), "Descriptive epidemiology of enteric illness for selected reportable diseases in Ontario, 2003", *Can Commun Dis Rep.* **32** (23), 275-85.
- [93] Ross et al. Personal communication. 2000.
- [94] Hennessy TW, Hedberg CW, Slutsker L, White KE, Besser-Wiek JM, Moen ME, Feldman J, Coleman WW, Edmonson LM, MacDonald KL, Osterholm MT (1996), "A national outbreak of *Salmonella enteritidis* infections from ice cream. The Investigation Team", *N Engl J Med.* **334**(20), 1281-6.
- [95] Vought KJ & SR Tatini, (1998), "*Salmonella enteritidis* contamination of ice cream associated with a 1994 multistate outbreak", *J. Food Protect.* **61**, 5-10.
- [96] Anonymous (1971), "A collaborative report: A waterborne epidemic of salmonellosis in Riverside, California, 1965. Epidemiologic aspects", *Amer. J. Epidemiol.* **93** (1), 33-48.
- [97] Federal-Provincial Nutrition Surveys (1991-1999), Health Canada, Food Directorate, Bureau of Nutritional Sciences and Bureau of Food Policy and Science Integration.
- [98] Audits International (1999), "U.S. food temperature evaluation". Disponible à : http://www.foodrisk.umd.edu/exclusives/audits/downloads/Audits-FDA_temp_study.pdf (Accédé le 25 fév. 2008).
- [99] O'Brien (1997), "Domestic refrigerator air temperatures and the public's awareness of refrigerator use", *Int J Environ Health Res.* **7**, 141-148.
- [100] Sergelidis D, Abraham A, Sarimvei A, Panoulis C, Karaioannoglou P & C Genigeorgis (1997), "Temperature distribution and prevalence of *Listeria* spp. in domestic, retail and industrial refrigerators in Greece", *Int J Food Microbiol.* **34** (2), 171-7.
- [101] Johnson, Donkin, Morgan, Lilley, Neale, Page & Silburn (1998), "Food safety knowledge and practice among elderly people living at home", *J Epidemiol Community Health* **52**, 745-748.
- [102] Lievonen S, Havulinna AS & R Maiala (2004), "Egg consumption patterns and *Salmonella* risk in Finland", *J Food Prot.* **67** (11), 2416-23.
- [103] Statistics Canada (2004), Canadian Community Health Survey 2.2, 24-hour dietary recall component, <http://www.statcan.gc.ca/cgi-bin/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&SDDS=5049&lang=en&db=imdb&adm=8&dis=2> [Accédé le 04 janv. 2010].
- [104] Namata H, E Méroc, M Aerts, C Faes, JC Abrahantes, H Imberechts & K Mintiens (2008), "*Salmonella* in Belgian laying hens: an identification of risk factors", *Prev. Vet. Med.* **83** (3-4), 323-336.
- [105] Lee R, ME Beatty, AK Bogard, M-P Esko, FJ Angulo, C Selman & EHS-NET Working Group (2004), "Prevalence of high-risk egg-preparation practices in restaurants that prepare breakfast egg entrees: an EHS-Net study", *J. Food Protect.* **67** (7), 1444-1450.