

SÉRIE ÉVALUATION DES RISQUES MICROBIOLOGIQUES

1

ISSN 1813-3431

Évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair

RÉSUMÉ INTERPRÉTATIF



TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	v
Groupe de rédaction de l'évaluation des risques	vii
Examineurs	ix
Abréviations et sigles utilisés dans le texte	xiii
Avant-propos	xv
RÉSUMÉ ANALYTIQUE DU RAPPORT PRINCIPAL	xvii
1. EVALUATION DES RISQUES LIES A SALMONELLA DANS LES OEUFS – ET DANS LES POULETS DE CHAIR - RESUME INTERPRETATIF	1
1.1 Portée	1
1.2 Historique	1
1.3 Objectifs	3
1.4 Identification des dangers	3
1.5 Caractérisation des dangers	5
1.5.1 Sources des données	5
1.5.2 Description de la base de données	5
1.5.3 Description de la relation dose-réponse	6
1.5.4 Analyse de la relation dose-réponse	9
1.6 <i>Salmonella</i> dans les oeufs	9
1.6.1 Évaluation de l'exposition	9
1.6.2 Caractérisation des risques de <i>Salmonella</i> dans les œufs	10
1.6.3 Discussion	12
1.7 <i>Salmonella</i> dans les poulets de chair	14
1.7.1 Évaluation de l'exposition	14
1.7.2 Caractérisation des risques liés à <i>Salmonella</i> dans les poulets de chair	15
1.7.3 Résumé et recommandations	19
1.8 Principaux résultats d'ordre général	20
2. REPONSES AUX QUESTIONS POSEES PAR LE COMITE DU CODEX SUR L'HYGIENE ALIMENTAIRE	21
3. LACUNE DES DONNEES ET RECHERCHES NECESSAIRES	41
3.1 Caractérisation des dangers	41
3.2 Données pour l'évaluation de l'exposition en général	41
3.3 Évaluation de l'exposition à <i>S. Enteritidis</i> dans les œufs	42
3.4 Évaluation de l'exposition à <i>Salmonella</i> dans les poulets de chair	43
4. REFERENCES CITEES	45
5. APPLICATION DE L'EVALUATION DES RISQUES MICROBIOLOGIQUES	47

Remerciements

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation mondiale de la santé tiennent à remercier tous ceux qui ont contribué à la préparation de ce document en mettant à disposition leur temps et leur compétences, en fournissant des données et d'autres informations pertinentes, en examinant le document et en formulant des observations. Des remerciements particuliers vont au groupe de rédaction de l'évaluation des risques pour le temps et le travail qu'ils ont consacrés sans compter à l'élaboration de la présente évaluation des risques

Unités techniques responsables:

Département de la sécurité sanitaire des
aliments
Organisation mondiale de la santé

Service de la qualité des aliments et des normes
alimentaires
Division de l'alimentation et de la nutrition
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et
l'agriculture

GROUPE DE RÉDACTION SUR L'ÉVALUATION DES RISQUES

(par ordre alphabétique)

Wayne ANDERSON

Food Safety Authority of Ireland,
Irlande

Eric EBEL

Office of Public Health and Science, Service d'inspection et de sécurité sanitaire des aliments,
Département de l'agriculture des États-Unis, États-Unis d'Amérique

Aamir M. FAZIL

Branche de la protection de la santé, Santé Canada,
Canada.

Fumiko KASUGA

National Institute of Infectious Diseases, Department of Biomedical Food Research,
Japon.

Louise KELLY

Department of Risk Research, Veterinary Laboratories Agency,
Royaume-Uni

Anna LAMMERDING

Sécurité microbienne des aliments, Évaluation des risques, Branche de la protection de la santé,
Santé Canada,
Canada

Roberta MORALES

Health and Human Resource Economics, Centre for Economic Research,
Research Triangle Institute, États-Unis d'Amérique

Wayne SCHLOSSER

Service d'inspection et de sécurité sanitaire des aliments, Département de l'agriculture des États-
Unis, États-Unis d'Amérique

Emma SNARY

Department of Risk Research, Veterinary Laboratories Agency,
Royaume-Uni

Andrea VICARI

FAHRM, College of Veterinary Medicine, North Carolina State University,
Royaume-Uni

Shigeki YAMAMOTO

National Institute of Infectious Diseases, Department of Biomedical Food Research,
Japon.

EXAMINATEURS

L'évaluation des risques a été examinée à plusieurs reprises à la fois pendant et après son élaboration, y compris dans le cadre de consultations d'experts et d'examen critiques collégiaux, et par des personnes du public en réponse à une demande d'observations.

PARTICIPANTS AUX CONSULTATIONS D'EXPERTS

Amma Anandavally, Export Quality Control Laboratory, Cochin, Inde.

Robert Buchanan, Centre pour la sécurité sanitaire des aliments et la nutrition appliquée, Administration des États-Unis chargée des aliments et des médicaments, États-Unis d'Amérique.

Olivier Cerf, École Nationale Vétérinaire d'Alfort (ENVA), France.

Jean-Yves D'Aoust, Branche de la protection de la santé, Santé Canada, Canada.

Paw Dalgaard, Department of Seafood Research, Danish Institute for Fisheries Research, Ministry of Food Agriculture and Fisheries, Danemark.

Michael Doyle, Centre pour la sécurité sanitaire des aliments, University of Georgia, États-Unis d'Amérique.

Emilio Esteban, Food Safety Initiative Activity, Centres for Disease Control and Prevention, États-Unis d'Amérique.

Lone Gram, Department of Seafood Research, Danish Institute for Fisheries Research, Ministry of Food Agriculture and Fisheries, Danemark.

Steve Hathaway, MAF Regulatory Authority (Meat and Seafood), Nouvelle-Zélande.

Matthias Hartung, Laboratoire national de référence sur l'épidémiologie des zoonoses, Centre conjoint de collaboration FAO/OMS de Berlin, Institut fédéral pour la protection de la santé des consommateurs et la médecine vétérinaire, Allemagne.

Inocencio Higuera Ciapara, Research Centre for Food and Development (CIAD), Mexique.

John Andrew Hudson, The Institute of Environmental Science and Research Ltd, Nouvelle-Zélande.

David Jordan, New South Wales Agriculture, Wollongbar Agricultural Institute, Australie.

Julia A. Kiehlbauch, Consultant en microbiologie, États-Unis d'Amérique.

Günter Klein, Division de l'hygiène alimentaire, Centre conjoint de collaboration FAO/OMS de Berlin, Institut fédéral pour la protection de la santé des consommateurs et la médecine vétérinaire, Allemagne.

Susumu Kumagai, Graduate School of Agriculture and Life Sciences, The University of Tokyo, Japon.

Roland Lindqvist, National Food Administration, Suède.

Xiumei Liu, Département de microbiologie et des toxines naturelles, Institut de la nutrition et de l'hygiène alimentaire, Académie chinoise de médecine préventive, Ministère de la santé, Chine.

Carol Maczka, Bureau de la santé publique et des sciences, Service de la sécurité sanitaire et de l'inspection des aliments, Département de l'agriculture des États-Unis d'Amérique, États-Unis d'Amérique.

Patience Mensah, Noguchi Memorial Institute for Medical Research, University of Ghana, Ghana.

George Nasinyama, Department of Epidemiology and Food Safety, Faculty of Veterinary Medicine, Makerere University, Ouganda.

Gregory Paoli, Decisionalysis Risk Consultants Inc., Canada.

Irma N.G. Rivera, Departamento de Microbiologia, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, Brésil.

Son Radu, Department of Biotechnology, Faculty of Food Science and Biotechnology, University Putra Malaysia, Malaisie.

Tom Ross, School of Agricultural Science, University of Tasmania, Australie.

Dulce Maria Tocchetto Schuch, Laboratorio Regional de Apoio Animal - Lara / RS, Agriculture Ministry, Brésil.

Eystein Skjerve, Department of Pharmacology, Microbiology and Food Hygiene, The Norwegian School of Veterinary Science, Norvège.

Ewen C.D. Todd, The National Food Safety and Toxicology Center, Michigan State University, États-Unis d'Amérique.

Robert Bruce Tompkin, ConAgra Inc., États-Unis d'Amérique.

Suzanne Van Gerwen, Microbiology and Preservation Unit, Unilever Research, The Netherlands.

Michiel Van Schothorst, Wageningen University, Pays-Bas.

Kaye Wachsmuth, Bureau de la santé publique et des sciences, Service d'inspection et de sécurité sanitaire des aliments, Département de l'agriculture des États-Unis d'Amérique, États-Unis d'Amérique.

Helene Wahlström, National Veterinary Institute, Suède.

Richard C. Whiting, Centre pour la sécurité sanitaire des aliments et la nutrition appliquée, Administration des États-Unis chargée des aliments et des médicaments, États-Unis d'Amérique.

Charles Yoe, Département des sciences économiques, College of Notre Dame of Maryland, États-Unis d'Amérique.

EXAMINATEURS EN RÉPONSE À UNE DEMANDE D'OBSERVATIONS PUBLIQUES

Administration des États-Unis chargée des aliments et des médicaments.

Conseil de l'industrie pour le développement.

Professor O.O. Komolafe, Département de microbiologie, Collège de médecine, Malawi.

ÉVALUATEURS-EXPERTS

Fred Angulo, Centers for Disease Control and Protection, États-Unis d'Amérique.

Dane Bernard, Keystone Foods, États-Unis d'Amérique.

Tine Hald, Danish Veterinary Laboratory, Danemark.

Thomas Humphrey, University of Bristol, Royaume-Uni.

Hilde Kruse, National Veterinary Institute, Norvège.

Geoffrey Mead, Food Hygiene consultant, Royaume-Uni.

Robert T. Mitchell, Public Health Laboratory Service, Royaume-Uni.

Maarten Nauta, Institut national de santé publique et environnementale (RIVM), Pays-Bas.

Terry A. Roberts, Consultant, Food Hygiene and Safety, Royaume-Uni.

John Sofos, Colorado State University, États-Unis d'Amérique.

Katharina Stark, Bureau fédéral suisse de médecine vétérinaire, Suisse.

Isabel Walls, International Life Sciences Institute, États-Unis d'Amérique.

LE SECRÉTARIAT MIXTE FAO/OMS SUR LES DANGERS MICROBIOLOGIQUES DANS LES ALIMENTS

Lahsen Ababouch, FAO

Peter Karim Ben Embarek, OMS

Sarah Cahill, FAO

Maria de Lourdes Costarrica, FAO

Françoise Fontannaz, OMS

Allan Hogue, OMS

Jean-Louis Jouve, (à partir de juin 2001) FAO

Hector Lupin, FAO

Jeronimas Maskeliunas, FAO

Jocelyne Rocourt, OMS

Jørgen Schlundt, OMS

Hajime Toyofuku, OMS

ÉDITEUR

Thorgerir Lawrence, Éditeur technique, Islande.

ABBREVIATIONS ET SIGLES UTILISÉS DANS LE TEXTE

SIDA	Syndrome de l'immunodéficience acquise
CCFH	Comité du Codex sur l'hygiène alimentaire
CDC	United States Center for Disease Control and Prevention
CFIA	Canadian Food Inspection Agency
UFC	Unité formant des colonies
UE	Union européenne
FDA	Administration des États-Unis chargée des aliments et des médicaments
FSIS	Service d'inspection et de sécurité sanitaire des aliments des États-Unis [USDA]
VIH	Virus de l'immunodéficience humaine
HLA-B27	Antigène HLA B27
MPN	Nombre le plus probable
SE	<i>Salmonella enterica</i> sérotype Enteritidis (<i>S. Enteritidis</i>)
USDA	Département de l'agriculture des États-Unis

AVANT-PROPOS

Les membres de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont exprimé leurs inquiétudes en ce qui concerne la sécurité sanitaire des aliments aux niveaux national et international. L'incidence croissante des maladies d'origine alimentaire ces dernières décennies semble liée, dans de nombreux pays, à une augmentation des maladies causées par la présence de microorganismes dans les aliments. Cette inquiétude a été exprimée à des réunions des organes directeurs des deux Organisations et au sein de la Commission du Codex Alimentarius. Il n'est pas facile de déterminer si cette augmentation présumée est réelle ou si elle n'est qu'un artefact de changements dans d'autres domaines, tel le renforcement de la surveillance des maladies ou l'amélioration des méthodes de détection des microorganismes dans les aliments. Toutefois, l'important est de savoir si de nouveaux instruments ou des mesures plus efficaces peuvent nous aider à réduire le poids de la morbidité et à fournir des aliments plus sûrs. Fort heureusement, il semble que de nouveaux instruments propres à faciliter les mesures à prendre soient à portée de main.

Cette dernière décennie, l'analyse des risques, un processus qui comprend l'évaluation des risques, la gestion des risques et la communication sur les risques, est apparue comme un modèle structuré pour améliorer nos systèmes de contrôle des aliments ayant pour objectifs de produire des aliments plus sûrs, de réduire le nombre de maladies d'origine alimentaire et de faciliter le commerce national et international de produits alimentaires. Par ailleurs, nous nous orientons vers une approche plus holistique de la sécurité sanitaire des aliments qui exige que toute la chaîne alimentaire soit prise en considération dans les initiatives visant à produire des aliments plus sûrs.

Comme pour tout modèle, des instruments sont nécessaires pour appliquer le paradigme de l'analyse des risques. L'évaluation des risques est l'élément scientifique de l'analyse des risques. La science fournit aujourd'hui des informations approfondies sur la vie du monde que nous habitons. Elle nous a permis d'accumuler une masse de connaissances sur les organismes microscopiques, leur croissance, leur survie et leur mort, et même sur leur caractéristique génétique. Elle nous a permis de comprendre la production, la transformation et la conservation des aliments ainsi que le lien existant entre les mondes microscopique et macroscopique, et les effets positifs et négatifs que ces microorganismes peuvent avoir sur notre santé. L'évaluation des risques nous offre un cadre pour organiser toutes ces données et ces informations et mieux comprendre l'interaction entre les microorganismes, les aliments et les maladies humaines. Elle nous donne les moyens d'estimer les risques pour la santé humaine liés à des microorganismes spécifiques dans les aliments et nous fournit un instrument pour comparer et évaluer différents scénarios et identifier les types de données nécessaires pour évaluer et optimiser les interventions visant à atténuer ces risques.

L'évaluation des risques microbiologiques peut être considérée comme un instrument utile pour gérer les risques liés aux pathogènes d'origine alimentaire et élaborer des normes pour les aliments faisant l'objet d'un commerce international. La réalisation d'une évaluation des risques microbiologiques (ERM), notamment quantitative, est toutefois reconnue comme une tâche à

forte intensité de ressources nécessitant une approche pluridisciplinaire. Cependant, les maladies d'origine alimentaire font partie des problèmes de santé publique les plus répandus; elles génèrent un fardeau social et économique et sont une source de souffrances humaines, ce qui en fait un problème que tous les pays doivent traiter. Étant donné que l'évaluation des risques peut aussi être utilisée pour justifier l'introduction de normes plus rigoureuses pour l'importation de produits alimentaires importés, il importe de savoir ce qu'est une ERM dans le cadre des échanges commerciaux et de fournir aux pays les moyens de la comprendre et, si possible, de l'effectuer. En conséquence, et compte tenu des besoins du Codex Alimentarius en matière d'avis scientifiques reposant sur le risque, la FAO et l'OMS ont mis en œuvre un programme d'activités sur l'évaluation des risques microbiologiques au niveau international.

Le Service de la qualité des aliments et des normes alimentaires (FAO) et le Département de sécurité sanitaire des aliments (OMS) sont les unités chef de file chargées de cette initiative. Les deux groupes ont collaboré pour développer la composante EMR à l'échelle internationale, afin de l'appliquer tant au niveau national qu'international. Ce travail a été grandement facilité par la contribution de spécialistes, venus du monde entier, dans les domaines de la microbiologie, de la modélisation mathématique, de l'épidémiologie et des technologies alimentaires pour n'en citer que quelques uns.

La présente série Évaluation des risques microbiologiques fournit de nombreuses données et informations à ceux qui ont besoin de comprendre ou de réaliser une ERM. Elle comprend des évaluations des risques liés à des combinaisons particulières de pathogènes, des résumés interprétatifs des évaluations des risques, des directives pour la réalisation et l'utilisation des évaluations des risques et des rapports sur d'autres aspects pertinents des ERM.

Nous espérons que cette série aidera à mieux comprendre l'EMR, la manière de la réaliser et de l'utiliser. Nous avons la ferme conviction que ce domaine devrait être développé au niveau international; les présents travaux montrent déjà clairement qu'une approche internationale et une entente rapide dans ce secteur renforceront le potentiel d'utilisation de cet instrument dans toutes les régions du monde, ainsi que dans le domaine de l'établissement des normes internationales. Nous souhaiterions recevoir vos observations et réactions sur les documents de cette série afin que puissions fournir aux États membres, au Codex Alimentarius et aux autres utilisateurs de ce matériel les informations dont ils ont besoin pour utiliser des instruments reposant sur le risque, le but ultime étant de garantir à tous les consommateurs des aliments sûrs.

Ezzeddine Boutrif
Service de la qualité des aliments et des
normes alimentaires
FAO

Jørgen Schlundt
Département de la sécurité sanitaire des
aliments
OMS

RÉSUMÉ ANALYTIQUE DU RAPPORT PRINCIPAL

HISTORIQUE

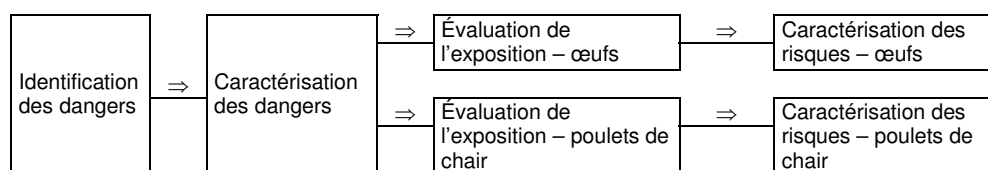
La FAO et l'OMS ont entrepris une évaluation des risques liés à la présence de *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair pour répondre aux demandes d'avis d'experts émises par les États membres et par la Commission du Codex Alimentarius à ce sujet. Des directives sont nécessaires car, dans de nombreux pays, la salmonellose est l'une des causes principales de maladie d'origine alimentaire, les œufs et les poulets de chair étant des vecteurs importants de transmission.

L'évaluation des risques avait plusieurs objectifs.

1. Élaborer un document de référence contenant toutes les informations disponibles actuellement relatives à l'évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair et déterminer les lacunes existant dans les données qui doivent être comblées afin de traiter de manière plus complète cette question.
2. Élaborer un cadre et un modèle types d'évaluation des risques pour application au niveau mondial.
3. Utiliser le présent travail d'évaluation des risques pour étudier l'efficacité de certaines interventions de gestion des risques visant à traiter les problèmes associés à la présence de *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair.

Le présent document pourrait être utilisé comme document de référence contenant toutes les informations disponibles actuellement pertinentes pour l'évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair. L'analyse coûts-avantages pourrait aider les gestionnaires des risques à déterminer les mesures d'atténuation à mettre en œuvre mais elle n'entrait pas dans le champ d'application du présent travail et n'est pas examinée ici.

Pour élaborer le modèle, l'évaluation des risques était divisée en deux évaluations des risques, ayant en commun l'identification des dangers et la caractérisation des dangers. Ces deux évaluations des risques comprenaient les quatre volets de l'évaluation des risques: identification des dangers, caractérisation des dangers, évaluation de l'exposition et caractérisation des risques.



Une identification des dangers et une caractérisation des dangers, y compris un modèle de dose-réponse et deux modèles d'exposition – un pour la *Salmonella* dans les œufs et un pour la *Salmonella* dans les poulets de chair – ont été élaborées. En ce qui concerne *Salmonella* dans les œufs, la caractérisation des risques estime la probabilité de maladie humaine due à *Salmonella* après ingestion d'une seule portion d'œufs en coquille contaminés à l'intérieur, consommée sous forme d'œufs entiers, de repas à base d'œuf ou d'ingrédients dans des aliments plus élaborés (par exemple, des gâteaux). Ce travail traitait certains aspects de la production d'œufs à la ferme; la transformation ultérieure des œufs en ovoproduits; la manipulation des œufs au niveau du détaillant et du consommateur; et les modes de préparation des repas. En ce qui concerne *Salmonella* dans les poulets de chair, la caractérisation des risques estime la probabilité de maladie au cours d'une année due à l'ingestion de *Salmonella* présentes sur les carcasses de poulet de chair fraîches et entières dont la peau est intacte, et qui sont cuites dans la cuisine domestique pour consommation immédiate. Ce travail démarrait à la conclusion du processus d'abattage et prend en compte les pratiques de manipulation et de cuisson domestiques. Les effets des interventions avant l'abattage et le processus d'abattage ne sont pas actuellement inclus dans ce modèle.

Les données utilisées pour la présente évaluation des risques provenaient de différentes sources. Les informations étaient compilées à partir de documents publiés, de rapports nationaux et de données non publiées transmises à la FAO/OMS par diverses parties intéressées.

Les principaux résultats de l'évaluation des risques sont résumés ci-après. Il convient aussi de noter que, tout au long des travaux, des efforts étaient déployés pour déterminer les éléments ayant une incidence sur l'acceptabilité des conclusions et sur le bien-fondé de leur extrapolation à des scénarios qui n'étaient pas spécifiquement étudiés dans les évaluations des risques; ces éléments sont identifiés dans le document sur l'évaluation des risques.

IDENTIFICATION DES DANGERS

Au cours des deux dernières décennies, *Salmonella* Enteritidis est devenu l'une des principales causes d'infection humaine, les œufs de poule étant l'une des sources majeures du pathogène. Ce fait est attribué à la capacité inhabituelle de ce sérovar à coloniser le tissu ovarien des poules et à être présent dans le contenu des œufs en coquille intacts. Le poulet de chair est le principal type de volaille consommé dans de nombreux pays. Un pourcentage élevé de ces poulets de chair sont colonisés par des salmonelles durant la croissance et la peau et la chair des carcasses sont fréquemment contaminées par le pathogène pendant l'abattage et la transformation. Compte tenu du rôle prépondérant des œufs et de la volaille en tant que vecteur de transmission dans les cas humains de salmonellose, une évaluation des différents facteurs ayant une incidence sur la prévalence, la croissance et la transmission de *Salmonella* dans les œufs et sur les carcasses de poulets de chair et des risques associés de maladie humaine serait utile aux

gestionnaires des risques pour identifier les stratégies d'intervention qui réduiraient avec le plus d'efficacité les infections humaines.

CARACTERISATION DES DANGERS

La caractérisation des dangers fournit une description des résultats sur le plan de la santé publique, des caractéristiques du pathogène et de l'hôte et des facteurs liés aux produits alimentaires qui peuvent avoir une incidence sur la survie de *Salmonella* dans l'estomac. Elle présente aussi un examen des informations relatives aux modèles dose-réponse pertinents décrivant la relation mathématique entre une dose ingérée de *Salmonella* et la probabilité de maladie humaine. Les données épidémiologiques disponibles relatives étaient aussi examinées en détail. À partir de ces données, un nouveau modèle dose-réponse était calculé à l'aide d'une approche de re-échantillonnage, qui a été utilisé pour les deux caractérisations des risques de préférence aux modèles existants définis dans cette composante de l'évaluation des risques. Enfin, on a essayé de voir si des courbes distinctes de dose-réponse pouvaient se justifier pour différentes sous populations humaines définies en fonction de l'âge et de la sensibilité, et si *S. Enteritidis* avait une dose-réponse distincte de celle d'autres *Salmonella*.

Trois modèles de dose-réponse existants pour *Salmonella* ont été identifiés:

1. Fazil, 1996, utilisant le modèle Bêta-Poisson (Haas, 1983) adapté aux données humaines simples obtenues à partir d'essais d'alimentation sur *Salmonella* (McCullough et Eisele, 1951a, b, c).
2. Évaluation des risques liés à *Salmonella* Enteritidis, États-Unis (USDA-FSIS, 1998), reposant sur l'utilisation de données d'essais d'alimentation humaine pour un pathogène de substitution (*Shigella dysenteriae*), la maladie étant le critère mesuré pour décrire la relation dose-réponse.
3. Évaluation des risques liés à *Salmonella* Enteritidis réalisée par Santé Canada (2000, mais non publiée) sur la base d'une relation dose-réponse Weibull-Gamma. Le modèle utilise des données provenant de nombreux essais d'alimentation pour le pathogène et combine les informations avec les principales données épidémiologiques de *Salmonella*, en utilisant une relation bayésienne.

Les modèles dose-réponse pour *S. Enteritidis* et *Salmonella* ne caractérisaient pas de manière satisfaisante la relation dose-réponse observée dans les données épidémiologiques. Un nouveau modèle de dose-réponse a été élaboré au cours de ces travaux. Il était calculé à partir des données épidémiologique et était considéré comme l'estimation la plus satisfaisante pour la probabilité de maladie après ingestion d'une dose de *Salmonella*. Le modèle reposait sur des données observées dans la réalité, et de ce fait n'était pas sujet à certaines erreurs inhérentes à la seule utilisation de données expérimentales. Toutefois, les données épidémiologiques actuelles comportent aussi des incertitudes qui leur sont associées et il a fallu faire des hypothèses pour certains points des données épidémiologique. Les données épidémiologiques proviennent aussi d'un petit nombre de pays développés et peuvent ne pas être applicables à d'autres régions.

Les données épidémiologiques utilisées pour étudier la relation dose-réponse n'ont pas permis de conclure que *S. Enteritidis* a une probabilité différente de causer une pathologie que

d'autres sérovars. En outre, la comparaison des taux d'attaque de *Salmonella* chez les enfants de moins de cinq ans et dans le reste de la population dans la base de données épidémiologiques, n'a pas révélé une tendance générale de risque accru pour cette sous population. Certaines indications de taux d'attaque différents pour les deux populations ont été relevés dans deux des épidémies étudiées, mais il est possible que la base de données n'ait pas le potentiel de révéler l'existence de véritables différences. La gravité de la maladie en fonction de l'âge du patient, de la dose de sérovar ou de pathogène *Salmonella* n'était pas évaluée, bien qu'elle puisse être influencée par ces facteurs et par la pathogénicité. Toutefois, la base actuelle de données était insuffisante pour calculer une estimation quantitative de ces facteurs.

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION ET CARACTÉRISATION DES RISQUES POUR *SALMONELLA* ENTERITIDIS DANS LES ŒUFS

La section consacrée à l'évaluation de l'exposition pour *S. Enteritidis* dans les œufs compare et oppose des modèles réalisés précédemment. Elle décrit le cadre général de ces modèles, les données utilisées et les analyses effectuées pour la modélisation de l'analyse. Ces modèles comprennent en général un module de production, un module pour la transformation et la distribution des œufs en coquille, et un module pour la préparation et la consommation. Le module de production estime la probabilité de la présence d'un œuf contaminé par *S. Enteritidis*, qui dépend de la prévalence parmi les troupeaux, de la prévalence au sein du troupeau et de la fréquence avec laquelle les poules infectées pondent des œufs contaminés. La prévalence parmi les troupeaux (c'est-à-dire la probabilité qu'un troupeau contienne une ou plusieurs poules infectées) dépend en outre des facteurs qui servent à introduire *S. Enteritidis* dans les troupeaux (par exemple, les poulettes de remplacement, le transfert par l'environnement du fait de troupeaux infectés antérieurement, la contamination des aliments, etc.). Le module pour la transformation et la distribution des œufs en coquille et le module pour la préparation et la consommation estiment la probabilité de l'exposition humaine à différentes doses de *S. Enteritidis* provenant d'œufs contaminés. La dose consommée dans un repas à base d'œuf dépend de la croissance de *S. Enteritidis* entre le moment où l'œuf est pondu et celui où il est préparé, ainsi que des modes de préparation et de cuisson. La croissance de *S. Enteritidis* dans les œufs contaminés est fonction de la durée et de la température de stockage. Le résultat de l'évaluation de l'exposition est en général introduit dans la caractérisation des risques, pour obtenir le résultat de la caractérisation des risques. Ce résultat est la probabilité de maladie humaine par portion de repas contenant un œuf.

L'évaluation de l'exposition comprenait l'examen des œufs à jaune contaminé et la croissance de *S. Enteritidis* dans les œufs avant la transformation pour les ovoproduits. Ces questions n'avaient pas encore été traitées dans les évaluations de l'exposition de *S. Enteritidis* dans les œufs. La croissance de *S. Enteritidis* est plus rapide dans les œufs dont le jaune est contaminé que dans ceux dont le jaune ne l'est pas.

Cette caractérisation des risques de *S. Enteritidis* dans les œufs a été délibérément élaborée de sorte à ne pas être représentative d'un pays ou d'une région en particulier. Toutefois, certains paramètres du modèle reposent sur des preuves ou hypothèses calculées à partir de situations nationales spécifiques. Il faut donc être prudent lorsqu'il s'agit d'extrapoler ce modèle à d'autres pays.

Principaux résultats

Le risque de maladie humaine lié à *S. Enteritidis* dans les œufs varie selon les différentes hypothèses adoptées dans le modèle. Le risque de maladie par portion augmente en même temps que la prévalence parmi les troupeaux. Cependant, l'incertitude concernant le risque anticipé augmente aussi en même temps que la prévalence parmi les troupeaux. **La réduction de la prévalence parmi les troupeaux entraîne une réduction directement proportionnelle du risque pour la santé humaine. Par exemple, réduire la prévalence parmi les troupeaux de 50% à 25% permet de diviser par deux la probabilité moyenne de maladie par portion. La réduction de la prévalence au sein des troupeaux infectés résulte aussi en une réduction directement proportionnelle du risque pour la santé humaine. Par exemple, le risque de maladie par portion provenant d'œufs produits par un troupeau avec une prévalence parmi les individus de 1% est le dixième de celui d'un troupeau dont la prévalence parmi les individus est de 10%.**

L'ajustement des profils de durée et de température du stockage pour les œufs de la production à la consommation était associé à des effets importants sur le risque anticipé de maladie humaine. **Le risque de maladie humaine par portion semble insensible au nombre de *Salmonella* Enteritidis dans les œufs contaminés pour toutes les valeurs prises en considération au moment de la ponte. Par exemple, que le nombre d'organismes *S. Enteritidis* supposé dans tous les œufs contaminés ait été au départ de 10 ou de 100, le risque anticipé de maladie par portion était le même.** Cela s'explique peut-être par le fait que l'incidence de la croissance de *S. Enteritidis* est plus importante que le niveau initial de contamination dans les œufs.

À titre d'exemple de la manière dont l'efficacité des interventions visant à réduire la prévalence parmi les troupeaux peut être évaluée, l'évaluation des risques étudiait l'effet d'un programme de test et de réorientation. Deux protocoles étaient retenus, comprenant un test (au début de la production d'œufs), ou trois tests (au début de la production d'œufs, quatre mois après et juste avant la dépopulation du troupeau) appliqués à toute la population des troupeaux producteurs d'œufs et leur efficacité était estimée sur une période de quatre ans. Les tests appliqués trois fois par an pendant quatre ans réduisaient le risque de maladie humaine provenant d'œufs en coquille de plus de 90 % (c'est-à-dire $>\log 1$). Les tests appliqués une fois par an pendant quatre ans réduisaient le risque de plus de 70 %.

D'autres interventions potentielles étaient évaluées, notamment la vaccination et la réfrigération. Afin d'évaluer l'efficacité de la vaccination contre *S. Enteritidis*, un test unique ou deux tests à quatre mois d'intervalle, comprenant 90 échantillons de fèces, étaient examinés. Le vaccin était supposé pouvoir réduire la fréquence des œufs contaminés d'environ 75%. Les effets des restrictions en ce qui concerne la durée et la température étaient évalués en supposant un taux de prévalence parmi les troupeaux de 25%. Les restrictions de la durée de conservation à moins de 14 jours réduisait très peu le risque anticipé de maladie par portion (~1%). Cependant, le maintien de la température de stockage chez le détaillant moins de 7,7 °C réduisait le risque de maladie par portion d'environ 60 %. Si la durée de conservation était limitée à 7 jours, le risque par portion était dans ce cas aussi réduit d'environ 60 %.

Limites

Les données disponibles utilisées pour cette évaluation des risques étaient limitées. Par exemple, les données concernant le dénombrement de l'organisme dans les œufs étaient fondées uniquement sur 63 œufs contaminés par *S. Enteritidis*, et en partie sur les estimations de la concentration de l'organisme dans les œufs contaminés. Il est difficile de représenter l'incertitude et la variabilité avec des données aussi limitées. L'incertitude semble grande et elle est difficile à quantifier. En outre, l'incertitude statistique ou modèle n'était pas étudiée de manière approfondie.

Une grande incertitude entoure l'efficacité des différentes interventions de gestion pour lutter contre *S. Enteritidis*. L'ampleur de l'incertitude concernant la sensibilité des tests, l'efficacité du nettoyage et de la désinfection, ainsi que celle de la vaccination n'a pas été mesurée. Certaines données étaient disponibles pour décrire ces paramètres, mais peuvent ne pas être pertinentes pour toutes les régions ou tous les pays où ces interventions peuvent être appliquées.

L'incertitude statistique ou modèle n'était pas étudiée de manière approfondie dans cette caractérisation des risques. Par exemple, des distributions autres que la distribution logarithmique normale n'étaient pas prises en compte pour la prévalence au sein des troupeaux. En outre, la microbiologie prédictive utilisée dans ce modèle était tributaire de données très restreintes appartenant à la croissance de *S. Enteritidis* à l'intérieur des œufs. D'autres spécifications fonctionnelles pour les équations de croissance de *S. Enteritidis* n'étaient pas étudiées dans cette analyse.

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION ET CARACTÉRISATION DES RISQUES LIÉS A *SALMONELLA* DANS LES POULETS DE CHAIR

Le modèle d'évaluation des risques est défini en fonction d'un certain nombre de paramètres décrivant les processus de distribution, de stockage, de préparation, de cuisson et de consommation des carcasses de poulet de chair. Certains de ces paramètres peuvent être considérés comme d'ordre général en ce sens qu'ils peuvent être utilisés pour décrire la situation dans différents pays. Par contre, certains paramètres sont propres à un pays, par exemple la prévalence de carcasses contaminées par *Salmonella* à la fin de la transformation. Les prévisions de risque pour un pays sont meilleures si elles découlent des données spécifiques à ce pays.

L'évaluation de l'exposition de *Salmonella* dans les poulets de chair reproduit le mouvement des poulets contaminés par *Salmonella* dans la chaîne alimentaire, à partir du point où s'achève le processus d'abattage. À chaque itération du modèle, un état infectieux était attribué au hasard à une carcasse de poulet et un nombre d'organismes *Salmonella* était affecté au hasard également à ces carcasses identifiées comme contaminées. À partir de ce point jusqu'à la consommation, les modifications dans la taille de la population de *Salmonella* sur chaque poulet contaminé étaient modélisés à l'aide d'équations pour la croissance et la mort. La croissance de *Salmonella* était prévue à l'aide de données aléatoires concernant la durée du stockage chez le détaillant, la durée du transport, la durée du stockage à la maison, et les températures auxquelles la carcasse était exposée pendant chacune de ces périodes. La mort de *Salmonella* pendant la cuisson était prévue à l'aide de données aléatoires décrivant la probabilité qu'une carcasse manque de cuisson, la proportion d'organismes de *Salmonella* dans les zones de la carcasse protégées de la chaleur, la température d'exposition des bactéries protégées et la durée d'une

telle exposition. Le nombre de *Salmonella* ingérées était alors calculé à l'aide d'une donnée aléatoire définissant le poids de la chair de volaille consommée par portion et le nombre de cellules de *Salmonella* dans la chair déterminé à partir de différents processus de croissance et de mort. Enfin, dans la caractérisation des risques, la probabilité de maladie était calculée en associant le nombre d'organismes ingérés (à partir de l'évaluation de l'exposition) à des informations sur la relation dose-réponse (caractérisation des dangers).

Principaux résultats

L'évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les poulets de chair ne tient pas compte de toutes les parties du continuum de la production à la consommation, ce qui limite la gamme des options de contrôle qui peuvent être évaluées. La cause principale en est le manque de données représentatives pour analyser la part du changement dans la prévalence ou dans la concentration de *Salmonella* dans les volailles pouvant être attribuée à un traitement ou à une mesure spécifique. Toutefois, l'établissement d'un modèle de référence permettait de comparer les incidences sur le risque de changements apportés au niveau de la prévalence et du nombre de cellules. Les paramètres du modèle peuvent être modifiés pour évaluer l'efficacité des stratégies d'atténuation des risques qui visent ces mêmes paramètres. Par exemple, le paramètre décrivant la prévalence des poulets de chair contaminés par *Salmonella* à la sortie de la transformation peut être modifié pour évaluer l'efficacité d'une mesure de transformation telle que la chloration de l'eau de refroidissement pour réduire la prévalence des carcasses contaminées par *Salmonella*.

La réduction de la prévalence de poulets contaminés par *Salmonella* était associée à une réduction du risque de maladie. Une relation de un à un a été estimée: une modification du pourcentage de la prévalence, dans la mesure où tous les autres paramètres restent constants, réduit le risque escompté d'un pourcentage analogue. **Par exemple, une réduction de 50% de la prévalence de volailles contaminées (de 20% à 10%) entraînait une réduction de 50% du risque escompté de maladie par portion. De même, une forte réduction de la prévalence (de 20% à 0,05%) produirait une réduction de 99,75% du risque escompté de maladie.** Si des stratégies de gestion ayant une incidence sur le niveau de contamination, c'est-à-dire le nombre de *Salmonella* sur les poulets, sont appliquées, la relation au risque de maladie est estimée supérieure à un. **Une modification de la distribution du nombre de cellules de *Salmonella* sur les poulets de chair sortant du bac de réfrigération à la fin de la transformation, telle que le nombre moyen de cellules est réduit de 40% sur l'échelle non logarithmique, réduit le risque escompté de maladie par portion d'environ 65%.**

Une légère réduction de la fréquence et de l'ampleur du manque de cuisson résulte en une réduction marquée du risque escompté de maladie par portion. L'avertissement important est ici que la modification des pratiques de cuisson ne traite pas le risque de maladie par la voie de la contamination croisée. La stratégie visant à modifier les pratiques de cuisson des consommateurs doit être modérée par le fait que la contamination croisée peut en réalité être la source prédominante de risque de maladie et la nature de la contamination croisée dans le foyer reste un phénomène très incertain.

Limites et avertissements

Il n'était pas possible de fournir une représentation parfaite de la croissance de *Salmonella* dans la volaille crue et les variations saisonnières de la température ambiante n'étaient pas prises en

compte. En outre, le modèle adopté partait de l'hypothèse que la température ambiante n'avait pas d'incidence sur le taux de changement pour les températures de stockage utilisées pour prévoir la croissance, ce qui est intuitivement inapproprié dans certaines circonstances. De même, des limitations étaient présentes dans la manière dont le modèle prévoit la mort de *Salmonella* dans les carcasses de poulet de chair de cuisson.

À plusieurs étapes, il était fait appel à l'opinion d'experts pour estimer la valeur des paramètres du modèle. Bien qu'elle soit souvent aisément accessible et parfois d'une fiabilité suffisante, l'opinion d'expert peut réduire la transparence et d'introduire une distorsion inacceptable que les évaluateurs des risques risquent de ne pas déceler.

Les données de surveillance de certains pays révèlent souvent de nettes variations saisonnières dans le nombre de notifications de salmonelloses humaines, avec une incidence maximale pendant les mois les plus chauds, et le modèle actuel ne peut pas représenter ni expliquer cet important phénomène.

Le manque de connaissance détaillée sur tous les aspects de la contamination croisée domestique, empêchait l'évaluation des risques de traiter ce processus. L'incertitude liées à plusieurs paramètres de la partie consommation de l'évaluation des risques était prise en compte, mais il n'était pas réalisé d'analyse complète de l'incertitude statistique et modèle. L'incidence de l'incertitude dans la voie de la contamination croisée n'était donc pas étudiée.

CONCLUSIONS

La présente évaluation des risques liés à *Salmonella* fournit des informations qui devraient être utiles pour déterminer l'impact que les stratégies d'intervention peuvent avoir sur la réduction des cas de salmonellose dus aux œufs et aux volailles contaminés. Dans l'évaluation des risques de *Salmonella* dans les poulets de chair, par exemple, il a été déterminé qu'il existe une relation entre la modification de la prévalence de *Salmonella* sur les poulets de chair et la réduction du risque de maladie par portion. Dans l'évaluation des risques de *S. Enteritidis* dans les œufs, la réduction de la prévalence de *S. Enteritidis* dans les troupeaux de volailles était directement proportionnelle à la réduction du risque pour la santé humaine. Le modèle peut aussi être utilisé pour estimer le changement du risque de maladie humaine découlant du changement de la durée et de la température de stockage des œufs. Toutefois, il n'est pas possible de comparer les effets des mesures d'intervention, c'est-à-dire l'analyse de la sensibilité, parce que la présente évaluation des risques n'est pas réalisée pour une région ou un pays spécifique, ou pour un contexte mondial. Les données étaient collectées dans différents pays pour des paramètres différents. Si ces données devaient être modifiées pour refléter une situation nationale particulière, l'impact d'une mesure serait également modifié. La prudence sera donc de rigueur lorsqu'il s'agira d'interpréter les résultats de la présente évaluation des risques dans les activités du Codex.

REFERENCES CITEES DANS LE RESUME

- Fazil, A.M. 1996. A quantitative risk assessment model for salmonella. Drexel University, Philadelphia PA. [Dissertation].
- Haas, C.N. 1983. Estimation of risk due to low doses of microorganisms: a comparison of alternative methodologies. *American Journal of Epidemiology*, **118**: 573–582.
- Santé Canada. [2000]. Risk assessment model for *Salmonella* Enteritidis. Document non publié.
- McCullough, N.B., & Eisele, C.W. 1951a. Experimental human salmonellosis. I. Pathogenicity of strains of *Salmonella* Meleagridis and *Salmonella* anatum obtained from spray-dried whole egg. *Journal of Infectious Diseases*, **88**: 278–289.
- 1951b. Experimental human salmonellosis. II. Immunity studies following experimental illness with *Salmonella* Meleagridis and *Salmonella* anatum. *Journal of Immunology*, **66**: 595–608.
- 1951c. Experimental human salmonellosis. III. Pathogenicity of strains of *Salmonella* Newport, *Salmonella* derby, and *Salmonella* Bareilly obtained from spray dried whole egg. *Journal of Infectious Diseases*, **89**: 209–213.
- USDA-FSIS. 1998. *Salmonella* Enteritidis Risk Assessment. Shell Eggs and Egg Products. Final Report. Prepared for FSIS by the *Salmonella* Enteritidis Risk Assessment Team. 268 pp. Disponible sur Internet sous forme de document PDF: www.fsis.usda.gov/ophs/risk/contents.htm.

1. ÉVALUATIONS DES RISQUES LIÉS A *SALMONELLA* DANS LES ŒUFS ET DANS LES POULETS DE CHAIR – RÉSUMÉ INTERPRÉTATIF

1.1 PORTEE

Le présent chapitre résume les résultats de l'évaluation FAO/OMS des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair, en indiquant les sources utilisées et les techniques appliquées, et en dégageant les principales conclusions. Après une réponse détaillée aux questions posées par le Comité du Codex sur l'hygiène alimentaire, à sa trente-troisième session, plusieurs recommandations sont formulées. L'attention est attirée sur les domaines où d'autres recherches et collectes de données sont nécessaires pour que l'évaluation des risques puisse offrir un outil de gestion des risques plus complet et plus fiable.

1.2 HISTORIQUE

La FAO et l'OMS ont essayé de répondre aux demandes d'orientation exprimées par les pays membres et la Commission du Codex Alimentarius pour la conduite des évaluations des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair. La Commission du Codex Alimentarius demandait un avis scientifique qui servirait de base à l'élaboration de directives et de recommandations pour la gestion des risques posés par ces dangers microbiologiques. Les pays membres, de leur côté, réclamaient des modèles adaptables à utiliser pour effectuer leurs propres évaluations nationales. Une série de modules spécifiques répondraient à un besoin important, et en particulier des modules dose-réponse pouvant être adaptés et utilisés à l'intérieure des frontières nationales ou régionales.

La FAO et l'OMS ont élaboré un processus pour la réalisation d'évaluations des risques microbiologiques au niveau international. Le processus incorporait les

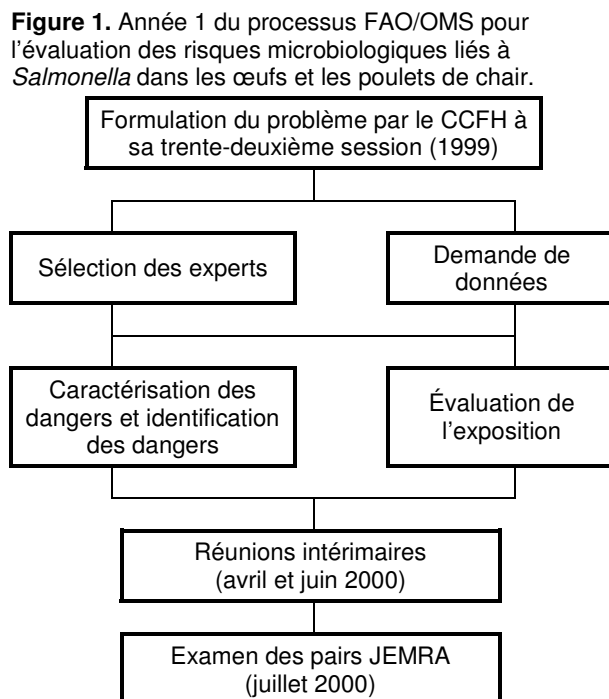
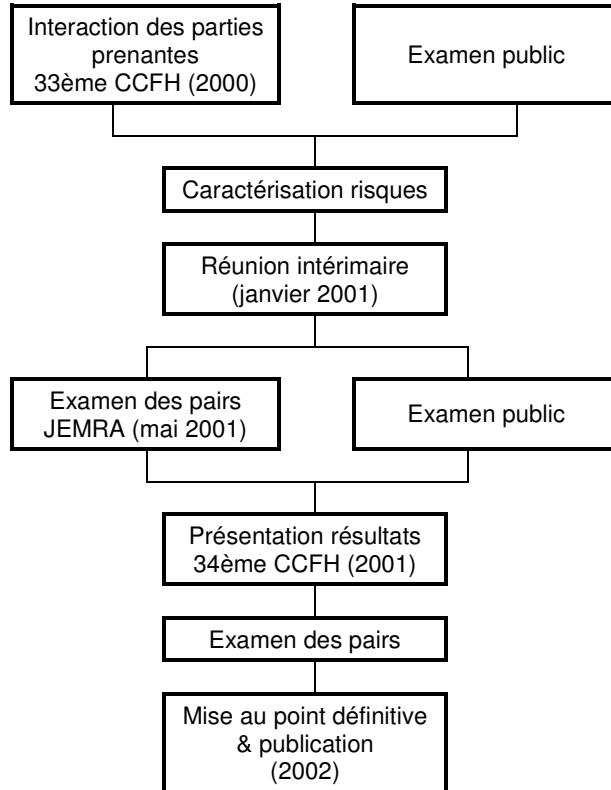


Figure 2. Année 2 du processus FAO/OMS pour l'évaluation des risques microbiologiques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair.



principes essentiels concernant la séparation fonctionnelle de l'évaluation des risques et de la gestion des risques; la transparence; et l'absence de distorsion (Figures 1 et 2). À sa trente-deuxième session, en décembre 1999, le Comité du Codex sur l'hygiène alimentaire (CCFH) a établi un ordre de priorité pour les combinaisons denrée/pathogène importantes pour la santé publique et le commerce international des denrées alimentaires. Le CCFH a retenu *Salmonella* dans les œufs et dans la volaille comme prioritaires sur la liste de 21 combinaisons produit/pathogène constituant un problème. Il a été demandé à la FAO et à l'OMS de réunir des consultations d'experts dans l'objectif de fournir des avis sur l'évaluation des risques.

En janvier 2000, la FAO et l'OMS ont mobilisé une équipe internationale d'experts éminents en matière d'évaluation des risques microbiologiques afin de réaliser ces évaluations. L'équipe a préparé la

documentation technique sur les composantes de l'évaluation des risques: identification des dangers, évaluation de l'exposition et caractérisation des dangers. Ces documents ont été examinés et évalués durant la Consultation mixte FAO/OMS d'experts de l'évaluation des risques microbiologiques (JEMRA) qui s'est tenue à la FAO (Rome, 17–21 juillet 2000). La consultation a identifié deux points importants à examiner avec le CCFH: le manque de questions claires concernant la gestion des risques; et les limites de l'utilité d'une estimation des risques au niveau mondial. La FAO et l'OMS ont présenté le projet d'évaluation des risques et le rapport de la consultation d'experts au CCFH à sa trente-troisième session (Washington DC, 23–28 octobre 2000) afin d'informer les gestionnaires des risques de l'état d'avancement de l'évaluation des risques et d'obtenir des orientations plus précises quant aux besoins du Comité. En réponse à la demande de questions claires en matière de gestion des risques, le CCFH a présenté une liste détaillée de questions (Tableaux 6 et 7).

Dans l'année qui a suivi, l'équipe de spécialistes a élaboré le volet caractérisation des risques de l'évaluation. Une seconde consultation d'experts s'est tenue au siège de la FAO (Rome, 30 avril – 4 mai 2001) afin d'examiner les travaux. Le rapport de la Consultation d'experts, qui comprenait des réponses préliminaires aux questions posées par le CCFH, a été présenté au CCFH, à sa trente-quatrième session qui s'est tenue à Bangkok (8–13 octobre 2001). Le projet

d'évaluation des risques a ensuite été rendu public pour observations et communiqué pour examen à des spécialistes dans plusieurs pays. L'évaluation des risques a ultérieurement été révisé et mise au point définitivement.

L'élaboration des évaluations des risques a donc duré deux ans et l'examen par les pairs un an de plus. Les projets de document ont été examinés à deux reprises par le CCFH et par deux Consultations mixtes FAO/OMS d'experts. En outre, l'examen par les pairs permettait de rassembler des observations techniques, et l'opinion du public a été sollicitée. Cette démarche rigoureuse a favorisé la transparence, ainsi que la participation de toutes les parties prenantes au processus.

1.3 OBJECTIFS

Les objectifs de l'évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets étaient les suivants:

1. Élaborer un document de référence contenant toutes les informations disponibles pertinentes pour l'évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair et déterminer les lacunes existant dans les données qui doivent être comblées afin de traiter de manière plus complète cette question.
2. Élaborer un cadre et un modèle types d'évaluation des risques pour application au niveau mondial.
3. Utiliser le présent travail d'évaluation des risques pour étudier l'efficacité de certaines interventions de gestion des risques pour traiter les problèmes associés à la présence de *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair.

L'analyse des coûts-avantages des mesures d'atténuation serait utile aux gestionnaires des risques pour déterminer les mesures à appliquer, mais elle n'entrait pas dans le champ d'application de ce travail et n'est pas examinée ici.

1.4 IDENTIFICATION DES DANGERS

La Salmonellose est l'une des maladies d'origine alimentaire les plus fréquentes dans le monde. Compte tenu des données internationales disponibles, l'incidence de la salmonellose peut être estimée entre 14 et 120 cas pour 100 000 personnes en 1997 (Tableau 1). Selon les estimations du US Centers for Disease Control and Prevention (CDC), il y a tous les ans, 1,4 million de cas, 16 430 hospitalisations, et 582 décès aux États-Unis d'Amérique (Mead et al., 1999). On estime que 96% du nombre total de cas est causé par des aliments. Les coûts de la salmonellose d'origine alimentaire ont été

Tableau 1. Estimation de l'incidence annuelle de la salmonellose

Pays	Nombre de cas pour 100 000 personnes
Australie	38
Allemagne	120
Japon	73
Pays-Bas	16
États-Unis	14

SOURCE: Thorns, 2000.

estimés pour la population des États-Unis

d'Amérique à 2 329 millions de dollars par an (en dollars E.-U. 1998) pour les soins médicaux et la perte de productivité. Plus de 2 000 sérotypes de *Salmonella* ont été identifiés, les plus fréquents étant *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* et *S. Heidelberg*.

La Salmonellose est caractérisée par une diarrhée, de la fièvre, des douleurs ou des crampes abdominales, des vomissements, des maux de tête et des nausées. La période d'incubation va de 8 à 72 heures. Les symptômes peuvent durer une semaine. Les infections de *Salmonella* peuvent être bénignes à graves, et sont parfois fatales. Les décès sont plus souvent observés dans les populations vulnérables, notamment les jeunes enfants, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées. Aux États-Unis d'Amérique, entre 1985 et 1991, 54 flambées de *S. Enteritidis* ont été signalées dans les hôpitaux et les maisons de repos, responsables de 90% des décès associés à *Salmonella*, mais seulement de 12% du nombre total de cas. Une faible proportion des personnes infectées peuvent développer le syndrome de Reiter, une maladie arthritique dont les symptômes sont des douleurs articulaires, des irritations oculaires et une diurèse douloureuse.

Les volailles jouent un rôle prépondérant en tant que vecteurs de transmission dans les cas humains de salmonellose. L'évaluation des facteurs affectant la prévalence et la croissance de *Salmonella* sur les carcasses de poulet de chair serait utile aux gestionnaires des risques pour identifier les stratégies d'intervention qui réduiraient avec le plus d'efficacité les infections humaines. Le poulet de chair est le principal type de volaille consommée dans de nombreux pays. Un pourcentage important de volailles sont colonisées par les salmonellas durant la croissance, et la peau et la chair des carcasses sont fréquemment contaminées par le pathogène durant l'abattage et la transformation.

Depuis la fin des années 70, *S. Enteritidis* est apparu comme la principale cause de salmonellose en Amérique du Nord, en Europe et en Afrique du Sud. Une nette augmentation de l'incidence de l'infection par *S. Enteritidis* a aussi été signalée en Yougoslavie, en Finlande, en Suède, en Norvège et au Royaume-Uni. Les œufs de poule sont devenus la source principale du pathogène. L'émergence de *S. Enteritidis* en tant que cause principale de salmonellose humaine dans de nombreux pays est attribuée à la capacité inhabituelle de ce sérovar de coloniser le tissu ovarien des poules et d'être présent dans le contenu d'œufs en coquille intacts.

La plupart des infections par *S. Enteritidis* d'origine alimentaire sont associées à la consommation d'œufs crus, tels que « egg nog » confectionné à la maison, pâte à gâteaux, glaces confectionnée à la maison, mayonnaise, sauce de salade type César et sauce hollandaise. De fait, 77% à 82% des flambées de *S. Enteritidis* ont été associées à des œufs en coquille de catégorie A ou des aliments contenant des œufs. Les œufs manquant de cuisson et Les produits contenant des œufs manquant de cuisson, comme par exemple les crèmes de type custard, les « French toast », les œufs frits ou pochés, sont aussi des source importantes de *S. Enteritidis*. Selon un récent rapport de l'USFDA, 128 000 à 640 000 infections par *Salmonella* sont associées tous les ans avec la consommation d'œufs contaminés par *S. Enteritidis* et le CDC estime que 75% de toutes les poussées de *Salmonella* sont dues à des œufs entiers en coquille de catégorie A crus ou manquant de cuisson.

Il y a deux voies de transmission de *Salmonella* aux œufs: par les ovaires (transmission verticale) ou par la coquille (transmission horizontale). Dans la transmission verticale, *Salmonella* passe des ovaires infectés ou du tissu de l'oviducte dans les œufs avant la formation

de la coquille. La transmission horizontale a pour origine la contamination fécale sur la coquille des œufs. Elle comprend aussi la contamination par les vecteurs ambiants, comme les agriculteurs, les animaux de compagnie et les rongeurs. La transmission verticale est considérée comme la voie principale de contamination par *Salmonella* et est plus difficile à maîtriser, tandis que la transmission horizontale peut être réduite de manière efficace par le nettoyage et la désinfection de l'environnement.

1.5 CARACTERISATION DES DANGERS

1.5.1 Sources des données

La FAO et l'OMS ont demandé des données aux États membres par lettres circulaires du Codex. Les données sur les poussées de salmonellose proviennent de sources diverses, notamment de publications, de rapports nationaux et de données non publiées. Le Ministère de la santé et de la protection sociale du Japon a fourni des données non publiées sur 16 épidémies étudiées par ses services depuis 1997. Ces informations ont été particulièrement utiles parce qu'elles contenaient des données sur le nombre d'organismes présents dans les aliments impliqués dans la maladie humaine.

1.5.2 Description de la base de données

La FAO et l'OMS ont reçu 33 rapports d'épidémies, dont 23 contenaient suffisamment de données concernant le nombre de personnes exposées, le nombre de personnes atteintes par la maladie et le nombre d'organismes dans les aliments impliqués pour calculer une relation dose-réponse. Trois des 23 épidémies ont été exclues, l'état immunitaire des personnes n'ayant pu être déterminé. Les 20 épidémies restantes forment la base de données utilisée pour calculer la relation dose-réponse.

La base de données comprend donc 20 épidémies, dont 11 ont eu lieu au Japon et 9 aux États-Unis d'Amérique. Le nombre de personnes exposées dans les épidémies au Japon ($\approx 14\,037$; 52%) était à peu près le même que dans les épidémies aux États-Unis d'Amérique ($\approx 12\,728$; 48%). Ces chiffres sont approximatifs car dans certains cas le nombre de personnes exposées a dû être estimé à partir du rapport d'épidémie. Le taux d'attaque général dans les données était de 21,8% (26 765 personnes exposées, 5 636 malades). Le taux d'attaque dans les épidémies au Japon (27,4%) était supérieur à celui des épidémies aux États-Unis d'Amérique (15,6%). Cette différence est due en partie par une forte épidémie aux États-Unis d'Amérique (8 788 personnes exposées) avec un taux d'attaque de 11,7%, et une forte épidémie au Japon (5 102 personnes exposées) avec un taux d'attaque de 26,9%. Plusieurs sérotypes étaient associés aux épidémies, notamment Enteritidis (12), Typhimurium (3), Heidelberg, Cubana, Infantis, Newport et Oranienburg. Plusieurs vecteurs étaient impliqués, y compris des aliments (viande, œufs, produits laitiers et autres), eau, et une gélule de colorant médical (colorant carmin).

Les rapports fournis par le Ministère de la santé et de la protection sociale du Japon constituaient une source d'informations précieuses sur la relation dose-réponse dans la réalité et augmentait de manière considérable la base de données de la pathogénicité de *Salmonella*. Les données figurant dans ces rapports provenaient d'enquêtes épidémiologiques menées au Japon

à la suite d'une flambée de maladie d'origine alimentaire. Conformément à une notification des autorités japonaises (de mars 1997), il est recommandé aux établissements qui préparent plus de 750 repas par jour ou plus de 300 plats d'un seul menu à la fois de conserver des aliments pour de possibles analyses en cas d'épidémie. La notification s'applique aussi aux cuisines plus petites ayant une responsabilité sociale, comme par exemple dans les écoles, les crèches et autres centres de protection infantile ou sociale. Des portions de cinquante grammes de chaque ingrédient alimentaire cru et de chaque plat cuisiné sont conservées pendant plus de deux semaines et congelées à une température inférieure à -20°C . Cette notification est très suivie bien qu'elle n'ait pas un caractère obligatoire. Certaines administrations locales au Japon ont aussi leurs propres réglementations, qui prévoient que la conservation des aliments, mais les dispositions concernant la durée et la température de stockage varient.

1.5.3 Description de la relation dose-réponse

La disponibilité d'un ensemble suffisamment important de données observées dans la réalité pour la probabilité de maladie après exposition à *Salmonella* (données épidémiologiques) fournissait une occasion unique pour élaborer une relation dose-réponse sur la base de données. Un modèle bêta-Poisson était utilisé comme forme mathématique pour la relation, et appliqué aux données épidémiologiques.

La technique de la probabilité maximale était utilisée pour créer la courbe s'adaptant le mieux aux données. L'ajustement était optimisé à l'aide d'une technique itérative qui réduisait au minimum la variance statistique, qui repose sur une hypothèse binomiale.

L'incertitude de l'ensemble des données épidémiologiques était intégrée à la routine d'ajustement en examinant les informations épidémiologiques et en attribuant une distribution de l'incertitude aux variables observées potentiellement incertaines. Les hypothèses associées à chaque épidémie et l'estimation de la fourchette d'incertitude pour chacune des variables étaient décrites. On trouvera au Tableau 2 un résumé des données, avec l'incertitude pour les variables.

Pour ajuster le modèle de dose-réponse aux données épidémiologiques incertaines, les données ont été re-échantillonnées sur la base des distributions de l'incertitude, créant ainsi une nouvelle série de données pour chaque échantillon. Le modèle de dose-réponse était alors adapté à chaque série de données re-échantillonnées. Cette procédure a été répétée approximativement 5000 fois, créant 5000 séries de données de dose-réponse, auxquelles 5000 courbes de dose-réponse ont été ajustées. La procédure d'ajustement de la courbe utilisée donne plus de poids aux épidémies dans lesquelles un grand nombre de personnes ont été exposées qu'aux petites épidémies. Ceci est principalement le résultat de l'hypothèse binomiale et de la variance plus grande associée aux données obtenues par un petit nombre d'observations qu'à celles obtenues par un grand nombre d'observations.

Il n'a pas été possible d'obtenir une seule courbe de meilleur ajustement, significative sur le plan statistique, à la valeur anticipée de tous les points des données épidémiologiques. Toutefois, la caractérisation des données épidémiologiques observées par le modèle dose-réponse ajusté était plus satisfaisante que celle d'autres modèles dose-réponse publiés. Il importe aussi de noter que la fourchette des réponses possibles à l'une quelconque des doses indiquées sur le fond de la figure 3 ne représente pas les limites de la confiance statistique de

l'ajustement de la dose-réponse, mais plutôt le meilleur ajustement du modèle bêta-Poisson à différentes réalisations de la donnée observée, étant donné ses incertitudes.

Tableau 2. Fourchette d'incertitude attribuée aux variables dans les données épidémiologiques communiquées

Épidémie	Sérovar	Logarithme de la dose (Incertainité)		Réponse [taux d'attaque] (Incertainité)	
		Min	Max	Min	Max
1	S. Typhimurum	1,57	2,57	11,20%	12,36%
2	S. Heidelberg	1,48	2,48	28,29%	36,10%
3	S. Cubana	4,18	4,78	60,00%	85,71%
4	S. Infantis	6,06	6,66	100,00%	100,00%
5	S. Typhimurium	3,05	4,05	52,36%	57,64%
7	S. Newport	0,60	1,48	0,54%	2,59%
11	S. Enteritidis	4,00	5,00	100,00%	100,00%
12	S. Enteritidis	1,00	2,37	6,42%	7,64%
13	S. Typhimurum	8,00	8,88	100,00%	100,00%
18	S. Enteritidis	5,13	5,57	60,00%	60,00%
19	S. Enteritidis	6,03	6,48	87,70%	103,51%
20	S. Enteritidis	2,69	3,14	18,61%	36,41%
22	S. Enteritidis	6,02	6,47	52,17%	61,32%
23	S. Enteritidis	5,53	5,97	84,62%	84,62%
24	S. Enteritidis	1,45	1,89	12,19%	23,96%
25	S. Enteritidis	3,36	3,80	39,85%	39,85%
30	S. Enteritidis	3,53	3,97	60,14%	70,90%
31	S. Enteritidis	2,37	2,82	25,62%	30,04%
32	S. Enteritidis	1,11	1,57	26,92%	26,92%
33	S. Oranienburg	9,63	10,07	100,00%	100,00%

NOTE: "Épidémie" renvoie au numéro de l'épidémie figurant dans le rapport principal.

La Figure 3 compare les courbes ajustées et les valeurs anticipées. La limite supérieure, la limite inférieure, la valeur anticipée, le 97,5e percentile et le 2,5e percentile pour les courbes dose-réponse ajustées aux 5000 séries de données sont aussi indiqués. La fourchette des dose-réponses ajustées capture assez bien les données épidémiologiques observées, en particulier dans les fourchettes de doses inférieures et moyennes. La fourchette plus large pour des dosages élevés résulte de l'existence de plusieurs épidémies de grande ampleur aux niveaux des doses inférieures et moyennes par lesquels les courbes tentent de passer, tandis que les deux points de données à dose élevée concernent des épidémies d'ampleur relativement faible qui permettent une plus grande élasticité de l'ajustement.

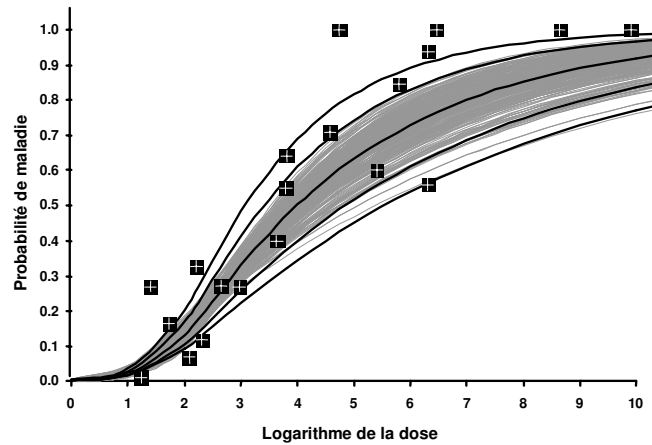


Figure 3. Limites de l'incertitude pour les courbes de dose – réponse surimposées sur les courbes de dose-réponse créées en concordance avec les échantillons tirés des observations épidémiologiques incertaines

La procédure d'ajustement ayant créé une courbe de dose-réponse pour chacune des séries de 5000 données, il y a aussi 5000 séries de paramètres de dose-réponse bêta-Poisson (alpha & bêta). Pour appliquer la relation dose-réponse dans une évaluation des risques, l'approche idéale serait d'établir un échantillon aléatoire de la série de paramètres qui sont élaborés, recréant ainsi les courbes de dose-réponse indiquées. Une autre solution serait d'utiliser la valeur supérieure, inférieure, anticipée, 2,5e percentile ou 97,5e percentile pour représenter les fourchettes de l'incertitude dans la relation dose-réponse, au lieu d'une caractérisation complète résultant de l'échantillonnage des séries de paramètres. On trouvera au tableau 3 le résumé des paramètres produisant les courbes de dose-réponse qui sont proches des limites indiquées à la Figure 3 de la relation dose-réponse.

Tableau 3. Paramètres de dose-réponse bêta-Poisson qui déterminent les limites approximatives indiquées à la Figure 3.

	Alpha	Bêta
Valeur anticipée	0,1324	51,45
Limite inférieure	0,0763	38,49
2,5e percentile	0,0940	43,75

Dans l'analyse de la dose-réponse, la région critique est celle de la dose inférieure, car il s'agit de doses qui risquent d'exister dans la réalité. Malheureusement, c'est aussi la région pour lesquelles les données d'expérience sont les moins nombreuses. Les données épidémiologiques comprennent des doses beaucoup plus faibles que celles rencontrées normalement dans les essais d'alimentation, et peuvent donc offrir une plus grande fiabilité dans les approximations de dose inférieure produites par le modèle dose-réponse épidémiologique.

1.5.4 Analyse de la relation dose-réponse

Certaines souches de *S. Enteritidis*, en particulier les types phage isolés à partir du nombre croissant d'épidémies liées aux œufs observées ces dernières années, peuvent être davantage infectieuses que d'autres sérotypes de *Salmonella*. Douze séries de données étaient évaluées pour *S. Enteritidis*, contre 8 séries de données pour les autres sérotypes. Les données épidémiologiques utilisées pour étudier la relation dose-réponse ne permettaient pas de conclure que *S. Enteritidis* avait une probabilité différente de causer une pathologie que d'autres sérotypes. La gravité accrue de la maladie après infection n'étaient toutefois pas évaluée.

On a essayé de voir si des courbes distinctes de dose-réponse pouvaient être justifiées pour différentes sous populations, définies en fonction de l'âge et de la sensibilité. La comparaison des taux d'attaque de *Salmonella* chez les enfants de moins de cinq ans et dans le reste de la population n'a pas permis de dégager un risque accru pour cette sous population. Il importe de noter que la base de données sur les épidémies n'est peut-être pas suffisante pour révéler l'existence de véritables différences. La gravité pourrait être influencée par l'âge du patient ou le sérotype de *Salmonella*. Toutefois la base actuelle de données était insuffisante pour calculer une estimation quantitative de ces facteurs.

Le modèle dose-réponse concordant aux données épidémiologiques offre une estimation raisonnable de la probabilité de maladie sur ingestion d'une dose de *Salmonella*. Le modèle repose sur des données observées dans la réalité et, de ce fait, n'est pas sujet à certaines des erreurs inhérentes à la seule utilisation de données expérimentales. Néanmoins, les données épidémiologiques actuelles comportent aussi des incertitudes qui leur sont associées et il a fallu faire des hypothèses pour certains points des données épidémiologiques. Le modèle dose-réponse créé dans la présente activité peut, dans l'ensemble, être utilisé à des fins d'évaluation des risques et produire des estimations qui sont cohérentes avec celles observées dans les épidémiologiques.

1.6 SALMONELLA DANS LES ŒUFS

En ce qui concerne *Salmonella* dans les œufs, l'évaluation des risques estime la probabilité de maladie humaine due à *Salmonella* à la suite de l'ingestion d'une seule portion alimentaire d'œufs en coquille contaminés intérieurement, consommée sous forme d'œufs entiers, de repas à base d'œufs ou d'ingrédients dans des aliments plus complexes (par exemple, un gâteau). Ce travail s'est attaché à certains aspects de la production d'œufs sur l'exploitation, de la transformation ultérieure des œufs en produits dérivés, des pratiques de manipulation des détaillants et des consommateurs et de préparation des repas.

1.6.1 Évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition liée à la présence de *Salmonella* dans les œufs comporte un module de production, un module pour la transformation et la distribution d'œufs en coquille, un module pour la transformation des ovoproduits et un module pour la préparation et la consommation. Le module de production estime la probabilité de la présence d'œufs contaminés par *S. Enteritidis*. Le module de transformation et de distribution d'œufs en coquille, et le module de préparation et de consommation prévoient la probabilité des expositions humaines à différentes doses de *S. Enteritidis* provenant

d'œufs contaminés. Le modèle élaboré associe les modèles existant élaborés au niveau national. Le résultat de l'évaluation de l'exposition est en général introduit dans la caractérisation des dangers afin de produire la caractérisation des risques dont le résultat est la probabilité de maladie humaine par portion de repas à base d'œuf.

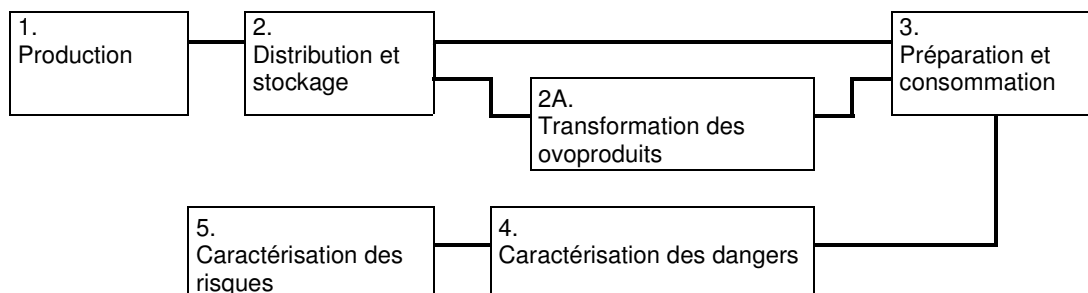


Figure 4. Diagramme schématisant les étapes de l'évaluation des risques liés à la présence de *Salmonella* dans les œufs.

1.6.2 Caractérisation des risques de *Salmonella* dans les œufs

Cette caractérisation des risques pour *Salmonella* dans les œufs a été volontairement élaborée pour ne pas être représentative d'un pays ou d'une région en particulier. Cependant, certains paramètres du modèle sont fondés sur des preuves ou hypothèses provenant de situations nationales particulières. Il faut donc être prudent lorsqu'il s'agit d'extrapoler ce modèle à d'autres situations nationales spécifiques.

L'évaluation de l'exposition comportait l'examen d'œufs à jaune contaminé et de la croissance de *Salmonella* dans les œufs avant transformation en ovoproduits. Ces questions n'ont pas été traitées dans les évaluations antérieures de l'exposition de *Salmonella* dans les œufs. Les œufs à jaune contaminé peuvent favoriser une croissance plus rapide de *Salmonella* à l'intérieur de ces œufs que dans ceux dont le jaune n'est pas contaminé.

Le modèle œuf en coquille permet d'obtenir la probabilité de maladie humaine due à une portion de plat à base d'œuf. Cette probabilité est déterminée par la moyenne pondérée de toutes les portions d'œuf (contaminées et non contaminées) dans une population. De toute évidence, le risque par portion est variable lorsque l'on considère des portions individuelles d'œuf (par exemple, une portion contenant 100 organismes entraînera beaucoup plus probablement une pathologie qu'une portion contenant un seul organisme), mais la mesure significative c'est la probabilité de pathologie de la population. Ce risque par portion peut être interprété comme la probabilité de maladie étant donné qu'une personne consomme une portion choisie au hasard.

La fourchette de risque de pathologie prévue par ce modèle va de au moins 0,2 maladies par million de portions d'œuf en coquille à 4,5 maladies par million de portions. Les scénarios considérés représentent une diversité de situations qui sont proches de celles rencontrées dans certains pays ou dans certaines régions. Néanmoins, aucun pays particulier n'est reproduit volontairement dans les paramètres et résultats de ce modèle.

Trois valeurs de prévalence parmi les troupeaux (5%, 25% et 50%) étaient prises en compte, avec trois niveaux de durée et de température de stockage des œufs (réduit, de référence et élevé).

Le risque de maladie le plus faible est prévu lorsque la prévalence parmi les troupeaux est de 5% et les durées et les températures sont réduites (Tableau 4). Dans ce scénario, le risque calculé est de 2 maladies pour 10 millions de portions (0,00002%). Le risque le plus élevé est prévu lorsque la prévalence parmi les troupeaux est de 50% et les durées et températures de stockage sont élevées. Dans ce cas, le risque calculé est de 4,5 maladies par million de portions (0,00045%).

Tableau 4. Probabilités de maladie par portion d'œuf, correspondant à différentes valeurs de prévalence parmi les troupeaux et à différents scénarios de durée et de stockage des œufs.

Prévalence parmi les troupeaux	Scénario de durée et de température		
	réduit	de référence	élevé
5%	0.00002%	0.00002%	0.00004%
25%	0.00009%	0.00012%	0.00022%
50%	0.00017%	0.00024%	0.00045%

Les modifications des risques sont à peu près proportionnelles à celles de la prévalence parmi les troupeaux. Par exemple, la prévalence parmi les troupeaux de 5% est le cinquième de 25%. Corrélativement, le risque de maladie dans les scénarios où la prévalence parmi les troupeaux est de 5% est le cinquième de celui des scénarios où la prévalence est de 25%. De même, multiplier la prévalence parmi les troupeaux par deux (de 25% à 50%) multiplie aussi approximativement par deux le risque de maladie, si tous les autres paramètres restent constants.

Bien que le changement du risque soit en corrélation avec celui des conditions de référence, ces simulations démontrent, par exemple, que la modification de la durée et de la température de stockage de la production à la consommation entraîne des effets disproportionnels sur le risque de maladie. En outre, la probabilité calculée de maladie par portion peut servir à estimer le nombre de maladies dans une population. Par exemple, on peut s'attendre à ce que dans une région où il y a 100 troupeaux de production d'œufs comportant 10 000 poules chacun, il y ait environ 1300 cas par an.

Le résultat du modèle d'ovoproduits est une distribution du nombre de *Salmonella* restant dans des récipients de 4 500 litres d'œufs entiers liquides après pasteurisation. Les *Salmonella* prises en compte dans ce résultat sont uniquement celles provenant d'œufs contaminés à l'intérieur. Ce résultat sert de valeur de substitution pour le risque pour la santé humaine en attendant que le modèle soit élargi pour prendre en compte la distribution, le stockage, la préparation – y compris la transformation ultérieure – et la consommation des ovoproduits. La figure 5 indique le résultat pour le scénario de référence avec une prévalence parmi les troupeaux de 25%. Environ 97% des lots pasteurisés sont estimés être exempts de *S. Enteritidis*, et la concentration moyenne est d'environ 200 *Salmonella* par lot.

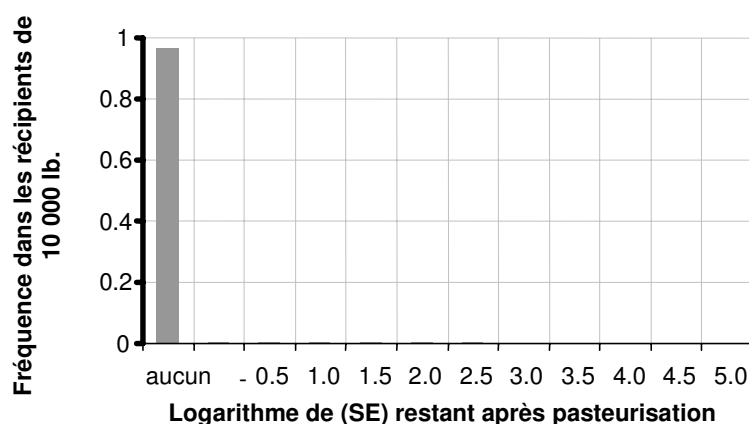


Figure 5. Prévision de la distribution de *S. Enteritidis* (SE), apportés par des œufs contaminés à l'intérieur, restant dans des récipients contenant 4 500 litres d'œufs entiers liquides après pasteurisation. La distribution est calculée sur la base d'une prévalence parmi les troupeaux de 25% et des durées et des températures de stockage de référence utilisées dans le modèle.

Le risque de maladie humaine par portion semble insensible au nombre de *Salmonella* présentes dans les œufs contaminés dans la fourchette examinée au moment de la ponte. Par exemple, que le nombre d'organismes de *Salmonella* dans les œufs contaminés ait été au départ de 10 ou de 100, le risque prévu de maladie par portion était analogue. La raison en est peut-être que l'incidence de la croissance de *Salmonella* est plus importante que le niveau initial de contamination dans les œufs, dans les conditions de stockage du modèle.

Il convient de noter que les données disponibles pour la présente évaluation des risques étaient limitées. Par exemple, les preuves concernant le dénombrement de l'organisme dans les œufs étaient fondées uniquement sur 63 œufs contaminés par *Salmonella*, et en partie sur des estimations de la concentration de l'organisme dans les œufs contaminés. Il est difficile de représenter l'incertitude et la variabilité avec des données aussi limitées. En outre, l'incertitude statistique ou modèle n'était pas étudiée de manière approfondie.

1.6.3 Discussion

Bien que la configuration et les paramètres de ce modèle ne reflètent pas, volontairement, un pays ou une région en particulier, ses résultats peuvent être indicatifs de situations dans de nombreux pays. Une évaluation du risque générique comme celle-ci constitue un point de départ pour les pays qui n'ont pas élaboré d'évaluation des risques qui leur soit propre. Elle peut servir à identifier les données nécessaires pour effectuer une évaluation des risques pour un pays en particulier, et encourager la réflexion en matière d'élaboration et d'analyse des politiques.

Le contrôle de la prévalence, qu'il s'agisse de la proportion de troupeaux infectés ou de poules infectées au sein des troupeaux, a un effet direct sur la réduction de la probabilité de

maladie par portion. De façon générale, la durée et la température de stockage de l'œuf peuvent avoir une incidence disproportionnée sur le risque de maladie par portion. Le nombre d'organismes présents dans les œufs au moment de la ponte semble moins important.

Le contrôle des troupeaux, associé à la réorientation des œufs des troupeaux testés positifs, devrait réduire le risque pour la santé publique de manière considérable. Dans les scénarios envisagés, la réorientation des œufs provenant de troupeaux testés positifs réduisait aussi le risque apparent lié aux ovoproduits. La vaccination peut réduire le risque de maladie d'environ 75%, mais est en règle générale moins efficace car les producteurs ne vaccinent que les troupeaux testés positifs.

Les paramètres biologiques peuvent être constants dans les modèles concernant différents pays ou régions, mais d'autres similitudes sont peu vraisemblables. Les paramètres de microbiologie prédictive, la distribution de la prévalence au sein des troupeaux et la fréquence à laquelle des poules infectées pondent des œufs contaminés sont des exemples des paramètres biologiques qui peuvent être constants (mais pas nécessairement), et l'effet de l'incertitude relative à ces paramètres biologiques dans le modèle a été étudiée. Cependant, de nombreux aspects de l'incertitude n'étaient pas étudiés de manière approfondie (par exemple d'autres distributions statistiques n'étaient pas évaluées pour les équations de microbiologie prédictive ou les distributions au sein des troupeaux). Par ailleurs, de nombreux paramètres sont à la fois très incertains et très variables au sein des pays et selon les pays (par exemple, les durées et températures de stockage des œufs peuvent varier considérablement). Il est difficile pour un pays de connaître avec précision les distributions concernant les durées et les températures de stockage.

Le modèle introduit deux nouveaux concepts qui ne figuraient pas dans les précédentes évaluations de l'exposition à *Salmonella* dans les œufs. Premièrement, il prend en compte la possibilité que des œufs soient pondus avec *Salmonella* déjà présent à l'intérieur du jaune. Ces œufs vont à l'encontre de la description des précédents modèles concernant la dépendance de la croissance de *Salmonella* dans les œufs vis-à-vis de la durée et de la température. Même si ce phénomène devrait être peu courant, les œufs à jaune contaminé peuvent favoriser une croissance plus rapide de *Salmonella* en beaucoup moins de temps que ceux dont l'albumen est contaminé.

Deuxièmement, ce modèle étudie le rôle de la croissance de *Salmonella* dans les œufs destinés aux ovoproduits. La plupart des œufs sont modélisés comme étant transportés très rapidement vers les installations de transformation (c'est-à-dire, œufs frais), mais certains œufs peuvent enregistrer des niveaux modérés ou élevés de croissance avant d'être cassés et pasteurisés.

De nombreux résultats obtenus par ce modèle sont fonction d'hypothèses épidémiologiques, à savoir:

- les poules infectées produisent des œufs contaminés à une fréquence constante qui est indépendante de l'hôte, de la souche bactérienne ou des facteurs de l'environnement;
- la population des troupeaux de poules est homogène (par exemple, même nombre d'individus, même gestion et environnement de base). Ce modèle ignore aussi les effets des pratiques de mue sur la fréquence de la contamination des œufs,

- la prévalence au sein des troupeaux est aléatoire et indépendante de l'âge de la poule ou de la présence d'un autre hôte, de souche bactérienne ou de facteurs de l'environnement.

Ces hypothèses par défaut sont peut-être raisonnables, mais d'autres recherches sont nécessaires pour en déterminer le bien-fondé. En modifiant ces hypothèses, le modèle peut produire des résultats différents, même s'il est possible de l'adapter pour prendre en compte ces modifications.

1.7 SALMONELLA DANS LES POULETS DE CHAIR

Pour *Salmonella* dans les poulets de chair, la caractérisation des risques estime la probabilité de maladie au cours d'une année due à l'ingestion de *Salmonella* provenant de carcasses entières de poulet de chair frais, dont la peau est intacte et qui sont cuites dans une cuisine domestique pour consommation immédiate. Compte tenu du manque de données appropriées, notamment en ce qui concerne le dénombrement, ce travail commençait à la fin de la transformation à l'abattoir (c'est-à-dire à la fin de l'étape 2 de la figure 6) et examine les pratiques de manipulation et de cuisson à la maison. Les effets des interventions avant l'abattage et le processus d'abattage ne sont pas actuellement inclus dans ce modèle.

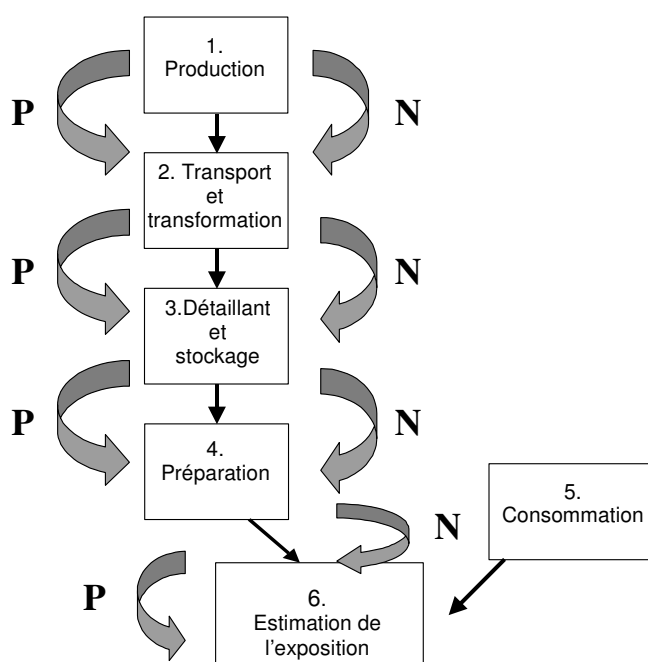


Figure 6. Description par module de la voie suivie par les poulets de chair entre la production et la consommation. Chaque étape décrit les changements qui s'opèrent au niveau de la prévalence (P) et du nombre de *Salmonella* (N) dans ce module particulier.

1.7.1 Évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition de *Salmonella* dans les poulets de chair reproduit le mouvement des poulets contaminés par *Salmonella* tout au long de la chaîne alimentaire, à partir du point où s'achève le processus d'abattage. Pour un niveau supposé d'infection, un état infectieux était attribué au hasard à une carcasse de poulet et un nombre d'organismes *Salmonella* était affecté au hasard également à ces carcasses identifiées comme contaminées à chaque itération du modèle, à l'aide des données disponibles. À partir de ce point jusqu'à la consommation, les

modifications dans la taille de la population de *Salmonella* sur chaque poulet contaminé étaient modélisées à l'aide d'équations pour la croissance et la mort. La croissance de *Salmonella* était prévue à l'aide de données concernant la durée du stockage chez le détaillant, la durée du transport, la durée du stockage à la maison, et les températures auxquelles la carcasse était exposée pendant chacune de ces périodes. La mort de *Salmonella* pendant la cuisson était prévue à l'aide de données décrivant la probabilité qu'une carcasse manque de cuisson, la proportion d'organismes de *Salmonella* dans les zones de la carcasse protégées de la chaleur, la température d'exposition des bactéries protégées et la durée d'une telle exposition. Le nombre de *Salmonella* ingérées était alors calculé à l'aide d'une donnée définissant le poids de la chair de volaille consommée par portion et le nombre de cellules de *Salmonella* dans la chair déterminé à partir de différents processus de croissance et de mort. L'exposition par contamination croisée était modélisée ainsi que l'exposition résultant de la consommation de volaille manquant de cuisson. En particulier l'ingestion d'organismes transférés de la volaille crue sur les mains et les aliments crus était décrite à l'aide de taux de transfert et de fréquence. Les résultats du modèle concernent l'exposition par la volaille manquant de cuisson et l'exposition par contamination croisée. Dans le deux cas, la probabilité de l'évènement et le nombre d'organismes sont le résultat.

L'évaluation de l'exposition est définie en fonction d'un certain nombre de paramètres décrivant les processus de distribution et de stockage, de préparation, de cuisson et de consommation des carcasses de poulets de chair. Certains de ces paramètres peuvent être considérés comme d'ordre général en ce sens qu'ils peuvent être utilisés pour décrire la situation dans différents pays. Par contre, d'autres paramètres sont propres à un pays, par exemple la prévalence des carcasses contaminées par *Salmonella* à la fin de la transformation. Les prévisions de risque pour un pays particulier sont meilleures si elles découlent des données pertinentes de ce même pays.

Il convient aussi de noter que, tout au long de ce travail, des efforts ont été déployés pour déterminer les éléments qui ont une incidence sur la validité des conclusions et le bien-fondé de l'extrapolation des conclusions aux scénarios n'ayant pas été explicitement étudiés dans les évaluations des risques. Ceux-ci sont identifiés et étudiés dans le document concernant l'évaluation des risques.

1.7.2 Caractérisation des risques liés à *Salmonella* dans les poulets de chair

Au stade de la caractérisation, les résultats de l'évaluation des risques étaient associés au modèle dose-réponse pour obtenir deux estimations du risque: le risque par portion et le risque par contamination croisée. Les estimations de risque en ce qui concerne la probabilité de maladie étaient calculés tout d'abord en utilisant une prévalence donnée de la présence de *Salmonella* dans les poulets de chair crus congelés. À un niveau de prévalence de 20% de carcasses contaminées (le cas de référence), et sur la base des autres paramètres du modèle, y compris la probabilité que le produit manque de cuisson, approximativement 2% des poulets de chair préparés pour consommation domestique peuvent contenir des cellules viables de *Salmonella*. La Figure 6 montre une distribution des doses moyennes (unité formant colonie (UFC)) par portion pour les poulets contaminés qui, par la suite, sont mal cuits.

Étant donné que les données de la Figure 7 représentent la dose moyenne par portion, les valeurs inférieures à 1 UFC par portion s'interprètent comme équivalant à 1 UFC par multiple

de portions, par exemple, une dose moyenne de 0,01 cellule par portion s'interprète comme une portion sur 100 contient une seule cellule.

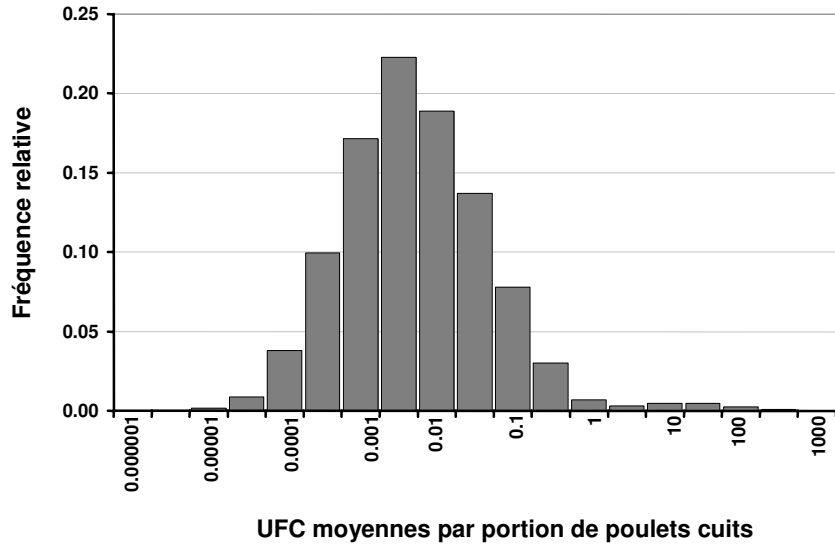


Figure 7. Dose moyenne (unités formant colonie (UFC) de *Salmonella*) par portion dans les repas préparés avec des poulets de chair contaminés.

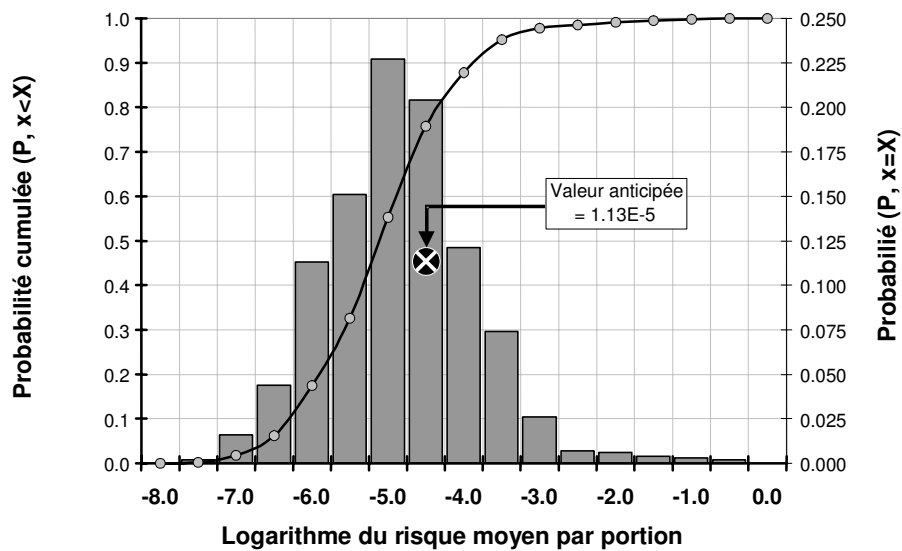


Figure 8. Distribution du risque moyen par portion.

En supposant une prévalence de 20% de poulets contaminés, la fréquence estimée et la distribution cumulative du risque moyen par portion sont indiquées à la Figure 8. Le risque anticipé par portion est de $1.13E-5$, ou 1,13 maladie par 100 000 portions. Cette valeur représente le risque moyen pour tous les individus de la population qui consomment des portions de poulets qui sont stockés, transportés et préparés de la manière décrite dans le modèle, et prend en compte les probabilités que la portion provienne d'un poulet contaminé par *Salmonella*, et que le plat manque de cuisson. Il faut admettre que certains individus consommant une portion pourront à certaines occasions être confrontés à un risque beaucoup plus élevé que d'autres qui consommeront des portions ne présentant aucun risque de salmonellose, puisque la portion sera exempt du pathogène.

Le risque anticipé par portion peut être étendu à celui anticipé pour des portions multiples, comme par exemple des repas consommés dans une année. Si l'on suppose que le risque posé par une exposition (portion) est statistiquement indépendant de toute autre exposition (portion), le risque global d'infection après une série d'expositions (risque annuel) peut être estimé à partir du risque d'infection par exposition (risque journalier ou par exposition). Pour estimer le risque annuel d'infection, deux types d'information sont nécessaires: le risque d'infection par portion, et le nombre de portions consommées pendant une année. Le calcul du risque annuel reposant sur le risque moyen estimé par portion et les hypothèses adoptées pour ce scénario de base sont indiqués au Tableau 5.

Tableau 5. Calcul du risque annuel anticipé.

Prévalence de carcasses contaminées	20%
Risque escompté par portion	$1,13E-05$ (1,13 maladie par 100 000 portions)
Nombre de portions par année	26
Risque annuel escompté	$2,94E-04$ (2,94 maladies par 10 000 portions)
Taux de morbidité pour 100 000	29,38
Exemple de calcul du nombre de maladies escompté pendant une année dans un pays ou une région avec ce risque annuel escompté:	
Population	20 000 000
Proportion de la population consommant du poulet	0,75
Population pouvant être exposée	15 000 000
Nombre de cas escomptés pendant une année	4406

Les hypothèses inhérentes au calcul du Tableau 5 sont que le risque escompté par portion est le même pour chacune des portions consommées pendant l'année, et que le risque découlant de chaque exposition est indépendant de toutes les autres expositions. Le risque annuel était estimé en supposant que 26 repas à base de poulet étaient consommés durant une année, c'est-à-dire une fois toutes les deux semaines. Par exemple, on a étudié le risque pour une population de 20 millions de personnes, dont 75% consomme du poulet. Dans ce cas, le nombre total de cas escompté de salmonellose découlant des hypothèses du modèle est estimé à 4 400, soit un taux de 29 cas par 100 000 personnes. À l'évidence ces statistiques doivent être adaptées à un pays ou une région spécifique.

Outre l'estimation du risque par portion reposant sur la consommation de volaille manquant de cuisson, l'évaluation modélisait aussi le risque dû à la contamination croisée. La séquence et la nature des événements qui doivent survenir afin que les bactéries sur les poulets crus soient disséminées et ingérées par d'autres voies sont complexe et difficiles à modéliser complètement. Les données manquent pour décrire de manière adéquate la contamination croisée, mais il est reconnu qu'il s'agit d'une voie importante pour les maladies d'origine alimentaire. Les estimations qui suivent offrent une approximation de l'ampleur du problème, même si les voies pouvant déboucher sur l'exposition et la maladie n'ont pas toutes été modélisées.

Dans le scénario de base, le risque escompté dû à la contamination croisée (transfert poulet cru – mains - aliments non cuits, ou poulet cru - planche à découper - aliments non cuits) a été estimé à $6,8E-4$, ou 6,8 maladies pour 10 000 expositions à du matériel contaminé, soit un risque qui est plus de dix fois supérieur à celui du risque escompté d'une portion. Cette estimation est fonction de deux facteurs (probabilités conditionnelles) dans le modèle actuel: tout d'abord, le risque escompté lorsque l'évènement survient et, ensuite la probabilité escomptée que l'évènement survienne.

La probabilité escomptée que l'évènement survienne est fonction de la prévalence de la contamination plus la probabilité du manque de cuisson dans le cas de la consommation, ou par la prévalence de la contamination plus la probabilité de mains ou de planches à découper non lavées dans le cas de la contamination croisée. Compte tenu des hypothèses du modèle, le risque escompté lié à cette voie de contamination croisée équivaut approximativement à 60 expositions par la consommation de poulet. Bien que l'on puisse débattre de la fréquence avec laquelle les personnes se lavent ou ne se lavent pas les mains, le risque ultime dû à la contamination croisée pourrait être dans la réalité encore plus élevé que celui estimé ici, étant donné qu'il existe de multiples occasions de contamination croisée dans le milieu de préparation domestique.

L'évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les poulets de chair ne prend pas en considération toutes les parties du continuum de la production à la consommation, ce qui limite la gamme des options de contrôle qui peuvent être évaluées. Ceci est dû essentiellement au manque de données représentatives pour analyser la part du changement soit dans la prévalence soit dans la concentration de *Salmonella* dans les volailles, ou les deux à la fois, pouvant être attribuée à un traitement ou une action spécifique. L'établissement d'un modèle de référence permettait toutefois de comparer l'impact sur le risque de changements apportés au niveau de la prévalence et du nombre de cellules. Les paramètres du modèle peuvent être modifiés pour évaluer l'efficacité des stratégies d'atténuation des risques qui ciblent ces mêmes paramètres. Par exemple, le paramètre décrivant la prévalence de poulets de chair contaminés par *Salmonella* à la sortie de la transformation comme la chloration de l'eau de réfrigération afin de réduire la prévalence des carcasses contaminées par *Salmonella*.

La réduction de la prévalence de poulets contaminés par *Salmonella* était associée à une réduction du risque de maladie. Une relation de un à un était estimée: une modification du pourcentage de la prévalence, dans la mesure où tous les autres paramètres restent constants, réduit le risque escompté d'un pourcentage analogue. Par exemple, une réduction de 50% de la prévalence de volailles contaminées (de 20% à 10%) entraînait une réduction de 50% du risque escompté de maladie par portion. De même, une forte réduction de la prévalence (de 20% à

0,05%) produirait une réduction de 99,75% du risque escompté de maladie, une réduction du risque qui pourrait être obtenue par des actions de gestion des risques avant l'abattage.

Si les stratégies de gestion qui ont une incidence sur le niveau de contamination, c'est-à-dire sur le nombre de *Salmonella* sur les poulets, sont appliquées, la relation au risque est estimée supérieure à un. Une modification de la distribution du nombre de cellules de *Salmonella* sur les poulets de chair sortant du bac de réfrigération à la fin de la transformation, telle que le nombre moyen de cellules est réduit de 40% sur l'échelle non logarithmique, réduit le risque escompté de maladie par portion d'environ 65%.

Une légère réduction de la fréquence et de l'ampleur du manque de cuisson résulte en une réduction marquée du risque escompté de maladie par portion. L'avertissement important est ici que la modification des pratiques de cuisson ne traite pas le risque de maladie par la voie de la contamination croisée. La stratégie visant à modifier les pratiques de cuisson des consommateurs doit être modérée par le fait que la contamination croisée peut en réalité être la source prédominante du risque de maladie et, il ne faut pas oublier que la nature de la contamination croisée dans le foyer reste un phénomène très incertain.

1.7.3 Résumé et recommandations

À ce jour, il n'a pas été réalisé d'évaluations complètes de l'exposition à *Salmonella* dans les poulets de chair. Le présent rapport a donc étudié les points suivants:

- Ce qui est nécessaire pour effectuer ces évaluations.
- Les informations qui sont disponibles.
- La mesure dans laquelle les informations disponibles répondent aux besoins.
- Élaboration d'un modèle général utilisant les données disponibles qui répondent aux besoins spécifiés.

Les recommandations suivantes sont formulées pour orienter les travaux futurs:

- (i) La notification de la prévalence aux différents stades de l'ensemble de la voie d'exposition devrait être encouragée dans toutes les régions du monde.
- (ii) Les données présentées devraient indiquer tous les détails concernant la méthodologie utilisée, y compris le site d'échantillonnage, la date de l'échantillonnage, la relation entre l'échantillon et la population générale, et les méthodes microbiologiques.
- (iii) La détermination de données quantitatives devrait être encouragée et, en cas de disponibilité, des évaluations complètes de l'exposition pourraient être mises au point pour déterminer des stratégies d'atténuation (par exemple, utilisation du chlore dans l'eau de réfrigération) ou comparer des pratiques (réfrigération par eau ou par immersion).
- (iv) La contamination croisée durant les opérations de transformation et de manipulation devrait être étudiée quantitativement, et des méthodologies permettant de modéliser ce processus devraient être élaborées. La contamination

croisée à ces différents stades est un facteur déterminant qui est souvent associé aux épidémies.

- (v) Au niveau national, la collecte de données de consommation devrait être encouragée. La conception de ces études devrait tenir compte des données nécessaires pour les évaluations de l'exposition, notamment la variabilité de la population, la taille des portions, et la fréquence de la consommation.
- (vi) Dans le domaine de la microbiologie prédictive, le domaine de la survie a été moins bien étudié que la croissance et la mort. Il existe peu de modèles prédictifs décrivant la survie aux températures de réfrigération et de congélation, et il est donc essentiel de poursuivre l'élaboration de ce type de modèle.

1.8 PRINCIPAUX RESULTATS D'ORDRE GENERAL

L'un des résultats importants du travail d'évaluation des risques a été la compilation et le collationnement de nombreuses informations sur *Salmonella* et les poulets de chair, et sur *Salmonella* associés aux œufs. L'organisation de ces données dans le cadre structuré de l'évaluation des risques a permis d'identifier les lacunes importantes existant dans les données. On pourra ainsi s'assurer que les futurs travaux de recherche ciblent la création et la collecte des données les plus utiles et les plus pertinentes.

La caractérisation des risques a permis de tirer les conclusions générales qui suivent.

- Les modèles dose-réponse existants pour *Salmonella* ne caractérisent pas de manière satisfaisante la relation dose-réponse observée dans les données épidémiologiques.
- Le nouveau modèle dose-réponse calculé à l'aide des données épidémiologiques est considéré comme la meilleure estimation disponible pour la probabilité de maladie après ingestion d'une dose de *Salmonella*. Les données épidémiologiques constituent un ensemble extrêmement utile de données observées dans la réalité. Elles présentent cependant des incertitudes, en particulier le nombre de personnes exposées et la dose d'exposition n'étaient pas toujours connus avec une complète certitude. En outre, les données épidémiologiques ne concernaient que deux pays – Japon et États-Unis d'Amérique.
- Les données épidémiologiques n'apportaient pas de preuves permettant de conclure que la dose de *Salmonella* causant la maladie est différente de la dose d'autres sérotypes de *Salmonella*.
- Les données épidémiologiques ne révélaient pas de risque accru de maladie chez les enfants de moins de cinq ans par rapport au reste de la population après exposition à *Salmonella*. La base de données pourrait toutefois ne pas être à même de révéler l'existence de véritables différences.

2. RÉPONSES AUX QUESTIONS POSEES PAR LE COMITÉ DU CODEX SUR L'HYGIÈNE ALIMENTAIRE

Le Comité du Codex sur l'hygiène alimentaire (CCFH) a demandé au groupe d'expert d'apporter des réponses aux questions figurant dans les tableaux 6 et 7 ci-après.

Tableau 6. Questions relatives à la gestion des risques liés à *Salmonella* dans les œufs

-
- 1.1 Évaluer le risque présenté par *Salmonella* dans les oeufs pour l'ensemble de la population et pour les divers groupes de population susceptibles (par ex., les personnes âgées, les enfants, les sujets immunodéprimés) en fonction de niveaux variés de prévalence et de concentration de *Salmonella* dans des oeufs contaminés.
 - 1.2 Évaluer les fluctuations potentielles des risques imputables à chaque intervention envisagée, y compris au niveau de l'efficacité.
 - 1.2.1 Réduire la prévalence des troupeaux positifs (détruire les troupeaux de reproducteurs et/ou de poules pondeuses positives; vacciner les troupeaux de pondeuses contre *Salmonella*; exclusion compétitive).
 - 1.2.2 Réduire la prévalence d'œufs positifs à *Salmonella* (tester et acheminer les œufs provenant de troupeaux positifs vers la pasteurisation).
 - 1.2.3 Réduire le nombre d'organismes de *Salmonella* dans les œufs (traitement thermique des ovoproduits; réfrigération des œufs après la ponte et pendant la distribution; établissement d'une durée de vie spécifique pour les œufs stockés à température ambiante).
-

Tableau 7. Questions relatives à la gestion des risques liés à *Salmonella* dans les poulets de chair

-
- 2.1 Évaluer le risque présenté par les *Salmonella* pathogènes dans les poulets de chair en fonction de différents niveaux dans la volaille crue pour l'ensemble de la population et pour les groupes de population susceptible (personnes âgées, enfants et sujets immunodéprimés).
 - 2.2 Évaluer les fluctuations potentielles des risques imputables à chaque intervention envisagée (voir ci-après), y compris au niveau de l'efficacité.
 - 2.2.1 Réduire la prévalence des troupeaux positifs (destruction des troupeaux de reproducteurs et de poulets (de chair); vaccination des troupeaux reproducteurs; exclusion compétitive (par exemple, avec *S. Sofia*).
 - 2.2.2 Réduire la prévalence d'oiseaux positifs à *Salmonella* à la fin de l'abattage et de la transformation (Utilisation du chlore dans l'eau de réfrigération des poulets (de chair); Réfrigération par eau ou par air des poulets (de chair)).
 - 2.2.3 Évaluer l'importance des différents voies d'introduction de *Salmonella* pathogènes dans les troupeaux, notamment au niveau de l'alimentation, des oiseaux de remplacement, des vecteurs et de l'hygiène.
 - 2.2.4 L'impact sur le risque de la modification du comportement des consommateurs (ne fait pas partie des questions posées par le CCCFH mais traité par l'évaluation des risques).
-

Question 1.1 – Évaluer le risque présenté par *Salmonella* dans les oeufs pour l'ensemble de la population et pour les divers groupes de population vulnérables (par ex., les personnes âgées, les enfants, les sujets immunodéprimés) en fonction de niveaux variés de prévalence et de concentration de *Salmonella* dans des oeufs contaminés

Le modèle était utilisé pour évaluer les effets relatifs de différents niveaux de prévalence et de concentration de *Salmonella* dans les oeufs contaminés. La prévalence peut être soit la proportion de troupeaux contenant une ou plusieurs poules infectées (c'est-à-dire, la prévalence parmi les troupeaux) ou la proportion de poules infectées dans les troupeaux infectés (c'est-à-dire la prévalence au sein des troupeaux). Le tableau 4 illustre le risque associé aux différents niveaux de prévalence parmi les troupeaux. On peut aussi étudier le risque de maladie par portion pour différents niveaux de prévalence au sein des troupeaux, ainsi que pour différentes concentrations initiales de *Salmonella* par œuf.

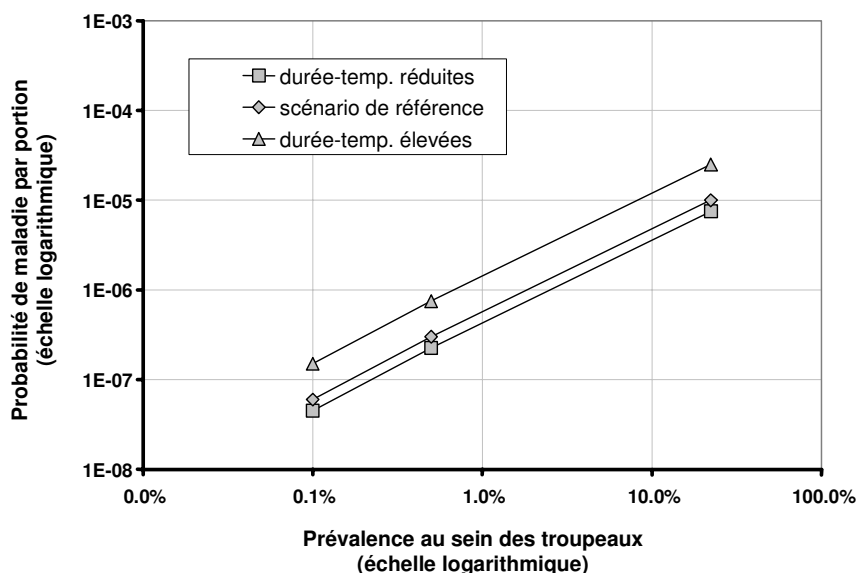


Figure 9. Préviation de la probabilité de maladie, en supposant que la prévalence au sein des troupeaux est de 0,1%, 0,5% ou 22,3% (1^{er}, 50^{ème} ou 99^{ème} percentiles de la distribution logarithmique normale utilisée dans le modèle, respectivement). Trois scénarios de durée et température de stockage ont été envisagés. La prévalence parmi les troupeaux est supposée être de 25%.

Pour modéliser l'effet de la prévalence au sein des troupeaux sur le risque, les 1^{er}, 50^{ème} et 99^{ème} percentiles de la distribution de la prévalence au sein des troupeaux (0,1%, 0,5%, et 22,3%, respectivement) ont été simulés (Figure 9). La prévalence parmi les troupeaux était 25% pour ces simulations. Dans le scénario durée-température de référence, le risque de maladie par portion était 6×10^{-8} (6 sur 100 millions), 3×10^{-7} (3 sur 10 millions) et 1×10^{-5} (1 sur 100 000)

pour des prévalences au sein de troupeaux de 0,1%, 0,5% et 22,3%, respectivement. Les résultats montrent qu'un changement de la prévalence au sein des troupeaux entraîne un changement directement proportionnel du risque de maladie par portion. En conséquence, le risque par portion provenant d'un troupeau dont la prévalence au sein du troupeau est de 10% (c'est-à-dire 10 poules sur 100 sont infectées) est 100 fois supérieur pour les humains à celui posé par un troupeau dont la prévalence au sein du troupeau est de 0,1% (c'est-à-dire une poule sur 1000 est infectée).

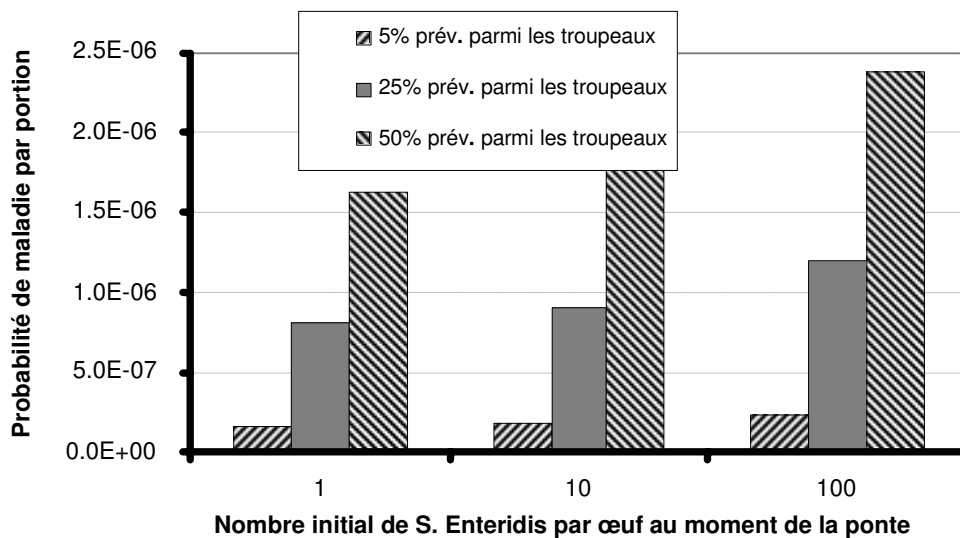


Figure 10. Prédiction de la probabilité de maladie par portion dans l'hypothèse où le nombre de *Salmonella* par œuf contaminé au moment de la ponte est 1, 10 ou 100. Trois niveaux de prévalence des troupeaux sont envisagés. Les durées et températures de stockage sont supposées être celles des paramètres de référence.

L'impact des différentes concentrations initiales de *Salmonella* dans les œufs au moment de la ponte sur la probabilité de maladie par portion, dans l'hypothèse où tous les œufs contaminés contenaient au départ 1, 10 ou 100 organismes est indiqué à la Figure 10. Le scénario de référence en ce qui concerne la durée et la température du stockage était retenu comme hypothèse, mais la prévalence parmi les troupeaux variait. Pour une prévalence parmi les troupeaux de 5%, le risque par portion était environ de 2 sur 10 millions, que le nombre initial de *Salmonella* par œuf ait été 1, 10 ou 100. Pour des niveaux de prévalence parmi les troupeaux de 25% et 50%, le changement du risque par portion se décèle plus aisément selon que les œufs aient été contaminés initialement par 1, 10 ou 100 *Salmonella*. Par exemple, avec une prévalence parmi les troupeaux de 25%, le risque par portion passe de 8 à 10 sur 10 millions lorsque le nombre de *Salmonella* dans les œufs au moment de la ponte augmente de 1 à 100.

Néanmoins, lorsque le nombre initial de *Salmonella* est modifié de un logarithme le changement de la probabilité de maladie qui en résulte est bien inférieur à un logarithme.

La fonction dose-réponse utilisée dans cette caractérisation des risques prévoit que la probabilité de maladie étant donné une dose moyenne de 1, 10 ou 100 organismes est de 0,2%, 2,2% ou 13%, respectivement. Si tous les œufs contaminés étaient consommés crus immédiatement après la ponte, ces probabilités devraient prévoir de manière satisfaisante la maladie. Le module de production prévoit que les œufs contaminés sont produits à une fréquence d'environ 5×10^{-5} (~1 sur 20 000) lorsque la prévalence parmi les troupeaux est 25%. Si tous les œufs contaminés contenaient un seul organisme et qu'il n'y ait ni croissance ni déclin avant consommation, le risque prévu par portion devrait être 1 sur 10 millions. De même, le risque par portion si tous les œufs étaient contaminés par 10 et 100 organismes est 10^{-6} (1 sur 1 million) et $\sim 7 \times 10^{-6}$ (7 sur 1 million), respectivement.

La dose de *Salmonella* ingérée et les taux d'attaque chez les enfants de moins de cinq ans étaient comparés avec le reste de la population exposée afin d'établir s'il existait une différence entre les populations vulnérable et normales. La base de données ne révélait pas de risque accru de maladie chez les enfants de moins de cinq ans par rapport au reste de la population exposée aux salmonelles. La base de donnée pourrait ne pas être suffisante pour révéler de véritables différences.

Questions 1.2 – Évaluer les fluctuations potentielles des risques imputables à chaque intervention envisagée, y compris au niveau de l'efficacité (1.2.1 réduire la prévalence des troupeaux positifs; 1.2.2 réduire la prévalence d'œufs positifs à *Salmonella* ; 1.2.3 réduire le nombre d'organismes de *Salmonella* dans les œufs).

Comme montré précédemment, le risque de maladie par portion décroît en même temps que le pourcentage de troupeaux infectés (c'est-à-dire, la prévalence parmi les troupeaux) décroît. Le tableau 8 montre l'incidence de la prévalence parmi les troupeaux sur le risque de maladie par portion. Le modèle comprenant des paramètres incertains, le risque par portion est aussi incertain, et ce tableau résume l'incertitude comme les valeurs moyenne, au 5^{ème} et au 95^{ème} percentile (arrondies au chiffre significatif le plus proche) de la distribution prévue.

Tableau 8. Incertitude prévue du risque de maladie par portion d'œuf pour différents niveaux de prévalence parmi les troupeaux

Prévalence parmi les troupeaux	Moyenne	5 ^{ème}	95 ^{ème}
0.01%	0.00000005%	0.00000002%	0.00000009%
0.10%	0.0000005%	0.0000002%	0.0000009%
5.00%	0.00002%	0.00001%	0.00004%
25.00%	0.0001%	0.0001%	0.0002%
50.00%	0.0002%	0.0001%	0.0005%

Les résultats du tableau 8 peuvent être utilisés pour prévoir la réduction du risque dans un pays ou une région ayant décidé de contrôler les troupeaux infectés. Par exemple, prenons le cas d'un pays dont 5% des troupeaux contiennent une ou plusieurs poules infectées. Si ce pays met

en place un programme (par exemple la destruction des troupeaux positifs) dont l'efficacité pour réduire la prévalence parmi les troupeaux est de 98%, l'application efficace de ce programme permettra d'obtenir une prévalence parmi les troupeaux d'environ 0,1%. Le modèle prévoit, dans ce cas, que le risque moyen de maladie par portion d'œuf passera de 2 sur 10 million à 5 sur 1 milliard. Les interventions avant récolte comme celles appliquées en Suède (destruction des troupeaux positifs) et dans d'autres pays peuvent déboucher sur des niveaux de prévalence des troupeaux de 0,1% ou moins.

Le modèle prévoit que la probabilité de maladie par portion est proportionnelle à la prévalence parmi les troupeaux, mais la question qui se pose reste: comment réduire la prévalence des troupeaux infectés. À cet effet, il semble qu'il faille soit empêcher les troupeaux sains de devenir infectés ou traiter les troupeaux infectés afin de les rendre sains.

Le traitement des troupeaux reproducteurs afin de les rendre sains a été utilisé aux Pays-Bas (Edel, 1994). Le traitement antibiotique du troupeau suivi de l'administration d'une culture d'exclusion compétitive peut réussir à éliminer l'organisme des poules infectées, mais il peut rester des réservoirs dans l'environnement qui réinfecteront les poules une fois les effets de l'antibiotique disparus. Par ailleurs, l'application de cette méthodes aux troupeaux commerciaux peut être ni réalisable ni économique.

Les programmes de contrôle visent surtout à empêcher l'infection des troupeaux sains. Les troupeaux sains peuvent devenir infectés par transmission verticale (c'est-à-dire les œufs infectés avant éclosion donnent lieu à l'exposition d'une cohorte par transmission horizontale après éclosion), par contamination des aliments, ou par l'environnement (c'est-à-dire transfert de l'infection provenant des troupeaux infectés antérieurement). Les programmes de contrôle peuvent essayer d'éliminer ces voies d'exposition par les interventions suivantes:

- (i) Tester les troupeaux reproducteurs pour déceler l'infection par *Salmonella*, et détruire le troupeau, s'il est infecté, afin d'éviter que ses produits à venir infectent les troupeaux commerciaux.
- (ii) Demander que les aliments subissent un traitement thermique avant la vente (éliminant ainsi *Salmonella* et autres pathogènes de l'alimentation des poulets).
- (iii) Nettoyer à fond et désinfecter les environnements de volailles contaminées après suppression d'un troupeau infecté. Les réservoirs potentiels doivent aussi être éliminés (par exemple les rongeurs).

La plupart des programmes de contrôle emploient les trois méthodes pour éviter l'infection des troupeaux par *Salmonella*. En Suède, le programme de contrôle utilise une approche de ce type (Engvall et Anderson, 1999). Le Programme d'assurance de qualité des œufs de Pennsylvanie aux États-Unis d'Amérique employait également ce type d'approche (Schlosser et al., 1999). Il est toutefois difficile de déterminer l'efficacité de chaque intervention. Le mieux serait évidemment de savoir quel pourcentage de troupeaux nouvellement infectés est imputable à la transmission verticale, à la contamination des aliments ou à des environnements contaminés auparavant.

Giessen et al. (1994) a présenté un modèle permettant de déterminer la part relative du risque d'infection imputable à la contamination verticale, à la contamination d'origine alimentaire (ou d'autres environnements extérieurs), et à la contamination due à la persistance dans

l'environnement. À la comparaison du modèle et des données collectées aux Pays-Bas, il semble que l'infection ambiante était le principal facteur de risque d'infection. La conclusion reposait sur la forme d'une courbe des fréquences cumulées, qui suggère que la plupart des troupeaux sont infectés peu après avoir été placés dans des installations commerciales. Il apparaît aussi que la prévalence de troupeaux reproducteurs infectés est très faible aux Pays-Bas.

Les données fournies par le Projet pilote pour *Salmonella* des États-Unis d'Amérique (Schlosser et al., 1999) suggèrent que la prévalence est relativement constante par tranche d'âge et que l'infection n'augmentait pas nécessairement avec le temps. Néanmoins, ces données n'indiquent pas l'âge auquel l'infection apparaît. Environ 60% des troupeaux de volailles testés dans ce projet étaient positifs à *S. Enteritidis*. D'autres données montrent que, sur les 79 troupeaux de poulets testés, 6 (soit 8%) étaient positifs à *S. Enteritidis*. Ces données font penser que le risque d'infection dû à la transmission verticale est d'environ 8%. Par ailleurs, il n'est guère douteux que les aliments sont une source importante de contamination par *Salmonella* pour les troupeaux de volaille aux États-Unis.

Les données en provenance des Pays-Bas et des États-Unis d'Amérique semblent indiquer que la voie ambiante représente >80% du risque d'infection des troupeaux dans les pays où *Salmonella* est endémique. Si cela est exact, le contrôle total des troupeaux de reproducteurs ne devrait permettre d'obtenir qu'une réduction de $\geq 20\%$ de la prévalence des troupeaux infectés par *Salmonella* dans ces pays.

Les résultats d'un programme de surveillance dynamique des troupeaux reproducteurs appliqué aux Pays-Bas entre 1989 et 1992 ont été communiqués (Edel, 1994). En ce qui concerne les troupeaux reproducteurs pour le secteur œuf, il semble que la prévalence des troupeaux infectés était réduite de ~50% par année. L'efficacité était moins spectaculaire pour les troupeaux reproducteurs du secteur chair. Ce programme comprenait un test périodique de fèces de tous les troupeaux de reproducteurs, ainsi qu'un test périodique des échantillons de couvoir pour les poussins d'un jour. Jusqu'au milieu de 1992, les troupeaux positifs étaient éliminés, ensuite un traitement avec enrofloxacin et une culture d'exclusion compétitive ont été autorisés au lieu de la suppression prématurée d'un troupeau reproducteurs. Si un programme ayant une efficacité annuelle de 50% pour réduire la prévalence des troupeaux infectés est appliqué pendant 3 ans, il est possible de prévoir que la prévalence sera égale à environ 12% ($0,5^3$) de la prévalence au démarrage du programme.

Afin de réduire le risque d'infection ambiante pour les troupeaux commerciaux, le nettoyage et la désinfection devraient être effectués de manière rigoureuse après la suppression du troupeau infecté et avant son remplacement par un autre troupeau pour commencer un nouveau cycle de production. Le nettoyage et la désinfection doivent aussi inclure un programme de lutte à long terme efficace contre les rongeurs. L'analyse des activités menées en Pennsylvanie pour réduire la prévalence des troupeaux commerciaux infectés semble indiquer un déclin de 38% à 13% durant les trois années où le programme a fonctionné (White et al., 1997). Ce programme prévoyait le dépistage systématique de *Salmonella* dans les troupeaux et le nettoyage, la désinfection et la lutte contre les rongeurs une fois supprimés les troupeaux positifs. Une autre étude menée en Pennsylvanie (Schlosser et al., 1999) constatait que, sur 34 environnements de

volaille initialement positifs à *S. Enteritidis*, 16 (47%) étaient négatifs au pathogène après nettoyage et désinfection de l'environnement.

L'efficacité des programmes de test et réorientation est tributaire du test particulier utilisé dans les troupeaux commerciaux. Par exemple, la Suède collectait trois échantillons groupés, chacun comprenant 30 fientes, prélevées au cours de deux examens ou plus des troupeaux de production d'œufs à chaque cycle de production (Engvall et Anderson, 1999). Dans le programme de surveillance des troupeaux de reproducteurs mis en place aux Pays-Bas, le protocole de test collecte deux groupes de 50 fientes chacun, toutes les 4 à 9 semaines de production (Edel, 1994). Le protocole du projet pilote pour *Salmonella* aux États-Unis prévoyait le prélèvement d'échantillons pour chaque banque d'engrais et tapis de ponte dans un poulailler industriel en trois occasions différentes pendant chaque cycle de production (Schlosser et al., 1999).

Quelle soit la taille ou le type d'échantillon recueilli, il semblerait qu'un protocole de test qui examine les troupeaux commerciaux fréquemment et réoriente les œufs peu de temps après détection devrait permettre une réduction significative du nombre d'œufs en coquille contaminés qui sont commercialisés chaque année.

Afin d'analyser l'effet d'un programme de test et réorientation utilisant le présent modèle, deux protocoles étaient retenus, avec un ou trois tests de toute la population des troupeaux producteurs d'œufs. Le test unique est effectué au début de la production d'œufs. Dans le protocole avec trois tests, le premier est effectué au début de la production d'œufs; il est suivi d'un deuxième test quatre mois après, et d'un troisième juste avant le dépeuplement du troupeau. Chaque test consiste à prélever de manière aléatoire 90 échantillons de fèces dans chaque troupeau. Un troupeau est considéré comme positif lorsque un ou plusieurs échantillons contiennent *S. Enteritidis*.

Compte tenu de la distribution de la prévalence au sein des troupeaux retenue dans ce modèle, un test unique de 90 échantillons de fèces devait permettre de déceler 44% des troupeaux infectés. Ce calcul reposait sur l'hypothèse que les fèces d'une poule infectée contenaient suffisamment de *S. Enteritidis* pour être décelés à l'aide des méthodes de laboratoires courantes.

En cas de troupeau testé positif (c'est-à-dire, un ou plusieurs échantillons testés positifs à *S. Enteritidis*), toute la production d'œufs était acheminée vers la pasteurisation. Il était supposé que l'industrie des ovoproduits utilise normalement 30% de la production totale d'œufs (conforme aux chiffres de l'industrie aux États-Unis d'Amérique). En conséquence, les œufs destinés aux usines de casse, provenant de troupeaux autres que ceux dont la production était obligatoirement réorientée, étaient ajustés pour maintenir une fréquence générale de 30% (c'est-à-dire, le pourcentage d'œufs envoyés aux usines de casse provenant de troupeaux infectés testés négatifs et de troupeaux non infectés était réduit proportionnellement.)

Les locaux des troupeaux testés positifs étaient censés être nettoyés et désinfectés après suppression du troupeau. L'efficacité du nettoyage et de la désinfection pour empêcher la réinfection du troupeau suivant était supposée être 50%. Il était en outre supposé que l'infection ambiante était responsable de l'infection des troupeaux. En conséquence, les locaux non

correctement nettoyés et désinfectés étaient la cause de l'infection des troupeaux de repeuplement.

L'efficacité des deux protocoles de test était estimée, sur une période de quatre ans, en supposant que la prévalence initiale était de 25% et la durée et la température de stockage étaient celles du scénario de référence. La probabilité de maladie par portion d'œuf en coquille était calculée pour chaque année et pour chaque protocole (Figure 11). Les tests effectués trois fois par an pendant quatre ans réduisaient de plus de 90% le risque de maladie humaine lié aux œufs en coquille. Les tests effectués une fois par an pendant quatre ans réduisaient le risque de plus de 70%. À la fin de la quatrième année, la prévalence parmi les troupeaux pour les protocoles à un test et à trois tests était ramenée à 7% et 2%, respectivement. En conséquence, dans l'hypothèse où le coût des tests effectués trois fois par an est trois fois celui du test unique annuel (abstraction faite des coûts à la production ou des effets de marché dus à la réorientation des œufs), le changement dans la prévalence parmi les troupeaux suggère une différence à peu près proportionnelle (par exemple, $7\% \div 2\% \approx 3$) entre les protocoles. Néanmoins, la réduction du risque par portion obtenue avec le protocole à test unique dépasse de plus du tiers celle obtenue avec le protocole à trois tests. Autrement dit, le protocole à test unique obtient une réduction de 70% du risque de maladie humaine alors qu'un protocole de test qui est trois fois plus coûteux parvient à une réduction de 90%. Ce résultat n'est pas surprenant si l'on considère qu'un test unique en début d'année de production a une incidence très substantielle sur le risque, car les œufs des troupeaux décelés au premier test sont acheminés vers la pasteurisation pendant toute l'année, alors que les œufs des troupeaux décelés au deuxième test ne le sont que pendant à peine plus de six mois. En outre, les troupeaux décelés au troisième test sont contrôlés si tardivement dans le cycle de production que la réorientation de leurs œufs n'a aucune incidence sur le risque de la population.

Même si la réorientation des œufs provenant de troupeaux positifs réduit le risque de santé publique lié aux œufs en coquille, on peut s'attendre à une certaine augmentation du risque lié aux ovoproduits. La réorientation obligatoire fait que davantage d'œufs contaminés sont envoyés à la pasteurisation. Néanmoins, la qualité moyenne des œufs contaminés est améliorée par la réorientation dans ce modèle.

Dans le modèle, tous les œufs réorientés étaient supposés frais (c'est-à-dire, stockage en général inférieur à 2 jours). Sans réorientation obligatoire, 97% des lots étaient exempts de *S. Enteritidis* après pasteurisation et le nombre de *Salmonella* survivant dans des citernes de stockage de 4 500 litres était de 200 (dans l'hypothèse où la prévalence parmi les troupeaux est de 25% et la durée et la température de stockage des œufs sont celles du scénario de base). Lorsqu'un test unique est utilisé pour déterminer les troupeaux à réorienter, 97% des bacs sont encore exempts de *S. Enteritidis* et contiennent en moyenne 140 *Salmonella* par lot. La diminution du nombre moyen de *Salmonella* par lot provient de la proportion accrue d'œufs frais qui sont réorientés. Les œufs frais sont stockés pendant moins longtemps et, de ce fait, apportent moins d'organismes. Dans le cas où deux tests sont utilisés, 97% des bacs sont exempts de *S. Enteritidis* et le nombre moyen par lot est de 130. Lorsque trois tests sont effectués, il n'y a pas d'incidence supplémentaire sur les ovoproduits par rapport au deuxième test, parce que le troisième test intervient au moment où le troupeau sort de la production.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une mesure directe de santé publique, ces résultats concernant les ovoproduits permettent de penser que le risque lié aux ovoproduits diminue à mesure que les troupeaux sont contrôlés et réorientés. Toutefois, cet effet est subordonné au fait que la contamination des œufs frais est nettement inférieure à celle des œufs à usage restreint ou calibrés. Des scénarios autre que celui considéré ici peuvent entraîner une certaine augmentation du risque provenant de la réorientation.

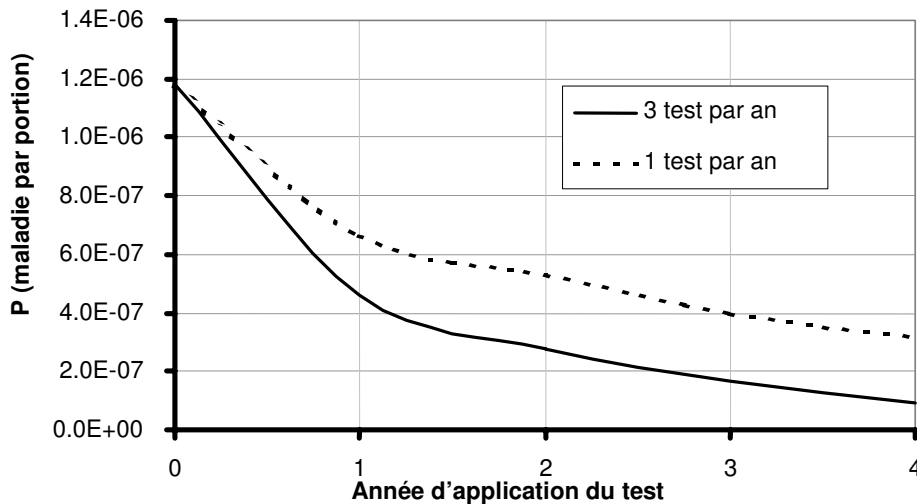


Figure 11. Prévision de la probabilité de maladie par portion d'œufs en coquille et par an après application de deux protocoles de test. Il est supposé que tous les troupeaux de la région sont contrôlés chaque fois. La prévalence initiale parmi les troupeaux est supposée être de 25%. Le scénario de référence concernant la durée et la température du stockage des œufs est utilisé pour les quatre années.

La vaccination contre *Salmonella* a été largement étudiée en milieu expérimental, mais beaucoup moins dans les essais de terrain. Plusieurs vaccins ont été évalués de manière expérimentale: bactérines tuées de différentes souches, bactérines vivantes de souches atténuées et extraits d'antigène de surface de différentes souches. Les injections de bactérines tuées semblent avoir une efficacité limitée contre la colonisation intestinale des poules par *S. Enteritidis*, bien que ces bactérines soient à même de réduire l'infection d'organes internes (y compris les ovaires) par stimulation d'anticorps humoraux. Les bactérines vivantes – ou les vaccins d'antigène de surface – peuvent être plus efficaces pour moduler la colonisation intestinale par *Salmonella* parce que ces produits peuvent susciter l'immunoréaction à médiation cellulaire nécessaire pour résister à la colonisation. Néanmoins, la plupart des vaccins disponibles sur le marché sont en général de la variété tuée.

Les données utilisées pour ce modèle concernant l'efficacité des bactérines *Salmonella* pour lutter contre l'infection provenaient d'un rapport sur des troupeaux en Pennsylvanie (États-Unis d'Amérique) (Schlosser et al., 1999). Un groupe de 19 troupeaux appartenant à deux

exploitations étaient traités à l'aide d'une bactérine pour lutter contre l'infection par *Salmonella*, et les résultats des prélèvements étaient comparés à 51 troupeaux n'utilisant pas de bactérine. Il n'a été noté qu'une légère différence dans les échantillons collectés en milieu positif entre les troupeaux vaccinés (12%) et ceux qui ne l'étaient pas (16%). Toutefois, la prévalence générale d'œufs positifs à *S. Enteritidis* était de 0,37 sur 10 000 dans les troupeaux vaccinés contre 1,5 sur 10 000 dans les troupeaux non vaccinés. Ces résultats confortent l'hypothèse que les bactérines peuvent ne pas avoir d'effet sur le risque de colonisation mais peuvent réduire l'invasion systémique de *S. Enteritidis*, et réduire la contamination de l'œuf qui en résulte. Cette analyse ne vérifiait les facteurs de confusion (par exemple, lutte contre les rongeurs, efficacité du nettoyage et de la désinfection) pouvant avoir eu une incidence sur les différences constatées entre les troupeaux vaccinés et ceux qui ne l'étaient pas.

Pour évaluer l'effet de la vaccination contre *Salmonella* à l'aide du présent modèle, il était supposé que les troupeaux devaient être contrôlés pour déterminer leur état avant d'utiliser un vaccin, soit un test unique, ou deux tests à quatre mois d'intervalle, comprenant 90 échantillons de fèces. Le vaccin était supposé pouvoir réduire la fréquence des œufs contaminés d'environ 75% (c'est-à-dire, 0,37 sur 10 000 pour les troupeaux vaccinés ÷ 1,5 sur 10 000 pour les troupeaux non vaccinés).

Dans l'hypothèse où la prévalence parmi les troupeaux est de 25% et la durée et les températures de stockage des oeufs sont celles du scénario de référence, la probabilité de maladie par portion pour un seul test et le protocole de vaccination est d'environ 70% du protocole de non vaccination (Figure 12). Le risque de maladie est ramené à 60% du protocole de non vaccination dans le cas de deux tests.

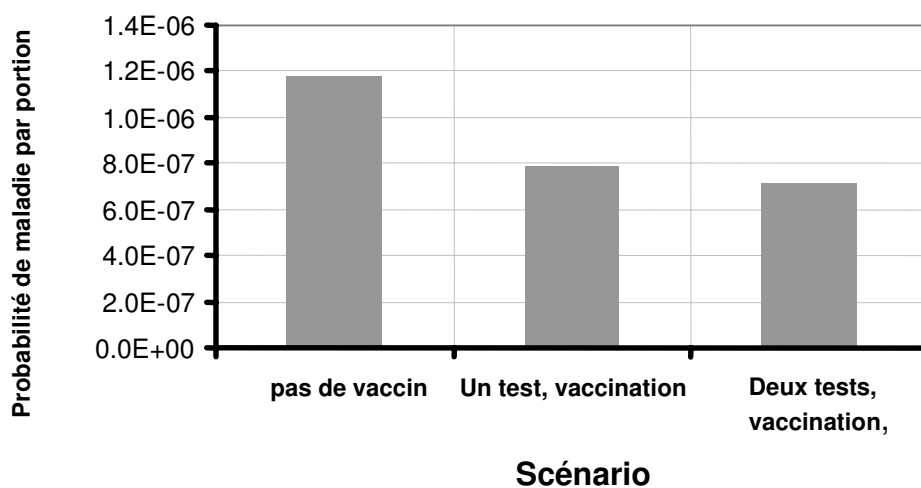


Figure 12. Comparaison des probabilités de maladie par portion calculées selon les scénarios suivants, aucune vaccination n'étant effectuée; un test est appliqué au début de la production et les troupeaux positifs sont tous vaccinés; et un second test est effectué quatre mois après le premier test et les nouveaux troupeaux positifs sont vaccinés. La prévalence parmi les troupeaux est présumée être de 25%, et la durée et la température du stockage des oeufs sont celles du scénario de référence.

Étant donné l'efficacité de la bactérine utilisée qui ressort des données de terrain, on aurait pu supposer que la vaccination universelle permette de ramener le risque de référence à 25% du risque présenté par une population non vaccinée. Toutefois, le coût de la vaccination de l'ensemble de la population des poules pondeuses pourrait être très élevé. Les scénarios envisagés ici supposent que des contrôles sont effectués pour déterminer si un troupeau est infecté avant de le vacciner. Le coût du contrôle de tous les troupeaux doit cependant être évalué par rapport à celui de la vaccination. Par ailleurs, il faudrait effectuer d'autres recherches sur le terrain en ce qui concerne l'efficacité véritable de la vaccination avant de mettre son coût à la charge d'autres que quelques producteurs (c'est-à-dire si les coûts doivent être supportés par le public ou partagés par l'ensemble du secteur).

Les effets du traitement d'exclusion compétitive sont difficiles à chiffrer sur la base des données de terrain. La Suède et les Pays-Bas, par exemple, incluent l'exclusion compétitive dans leurs programmes de lutte contre *Salmonella*. Ce traitement ne constitue cependant qu'un élément de ces programmes et ses effets ne peuvent être aisément distingués des autres éléments. L'exclusion compétitive a été étudiée dans des cadres expérimentaux pour des poussins venant d'éclore. L'inoculation d'exclusion compétitive dans les poussins a pour objectif d'établir rapidement une flore intestinale indigène qui résiste à la colonisation par *Salmonella*. L'efficacité de la prévention de l'infection semble dépendre de la culture d'exclusion compétitive utilisée, du moment de l'exposition, de la dose de l'exposition et peut-être de l'adjonction de lactose (Corrier et Nisbet, 1999). Les preuves obtenues sur le terrain de l'efficacité de l'exclusion compétitive chez les poules adultes proviennent du Royaume-Uni et des Pays-Bas. Dans les deux pays, un traitement antibiotique était appliqué à des troupeaux dont on savait qu'ils étaient infectés et les poules étaient ensuite inoculées avec des cultures d'exclusion compétitive. L'inoculation d'exclusion compétitive des poules était destinée à restaurer rapidement la flore intestinale – détruite par le traitement antibiotique – afin d'aider les poules à résister à de futures expositions à *Salmonella*. Au Royaume-Uni, 20 sur 22 essais associant traitement aux antibiotiques et traitement d'exclusion compétitive réussissaient à empêcher la réinfection des troupeaux pendant une période d'étude de 3 mois (Corrier et Nisbet, 1999). L'état infectieux était déterminé à partir d'échantillons de prélèvements effectués dans le cloaque des troupeaux traités. Aux Pays-Bas, l'association des traitements antibiotiques et d'exclusion compétitive a permis d'empêcher la réinfection de 72% (n=32) des troupeaux. Deux de ces traitements associés évitaient la réinfection dans 93% des troupeaux.

Les interventions destinées à réduire le plus possible la dose de *Salmonella* dans les œufs contaminés visent essentiellement à empêcher toute croissance du pathogène une fois l'œuf pondu. La plupart des données laissent penser que les œufs contaminés naturellement contiennent très peu d'organismes de *Salmonella* au moment de la ponte. Si les œufs sont consommés rapidement après la ponte, ou si les œufs sont réfrigérés pendant le stockage, le nombre de *Salmonella* reste relativement stable avant la préparation de repas à base d'œufs.

Les modèles de microbiologie prédictive disponibles suggèrent que lorsque les œufs sont stockés à 10°C, il n'y a pas de croissance de *Salmonella* pendant 46 jours en moyenne. Si la plus grande partie des œufs sont stockés à <10°C et sont consommés dans les 25 jours, les

interventions destinées à améliorer la manipulation des œufs n'auront une incidence que sur la fraction d'œufs dont la durée et la température n'auront pas été respectées.

L'effet de durées et de températures de stockage obligatoires chez le détaillant était évalué sur la base d'hypothèses légèrement différentes, pouvant correspondre à un pays où il n'y a pas d'obligations en matière de réfrigération des œufs. Les effets des restrictions en ce qui concerne la durée et la température étaient évalués en fonction d'un taux de prévalence parmi les troupeaux supposé de 25%.

Le raccourcissement de la durée du stockage chez le détaillant à 14 jours ou à 7 jours au maximum simulait un scénario de restriction de la durée de conservation. La réduction de la température de stockage au détail à moins de 7,7°C simulait une obligation de réfrigération. Les résultats sont résumés à la Figure 13.

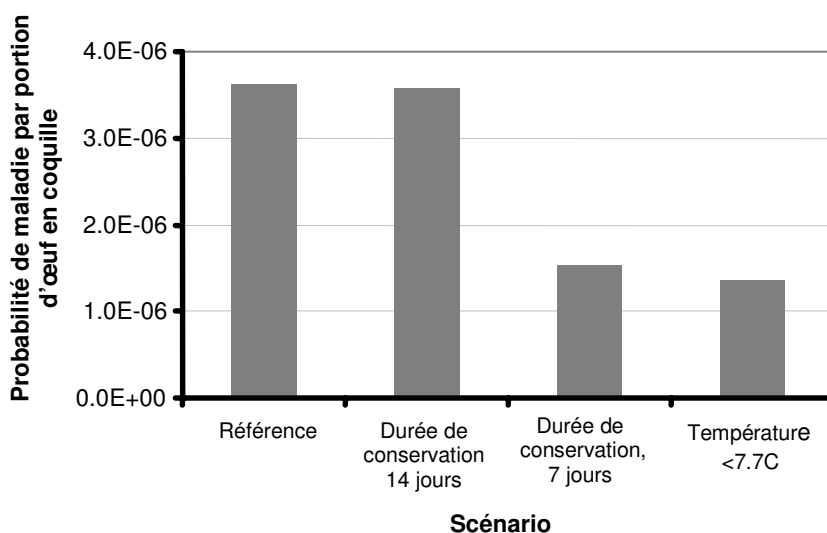


Figure 13. Probabilité de maladie par portion d'œufs en coquille, avec une durée de conservation chez le détaillant imposée de <14 jours ou <7 jours, ou une température de stockage chez le détaillant imposée de <7,7°C. Les durées et les températures de stockage des œufs sont modélisées selon le scénario de référence sauf pour les modifications introduites pour représenter un pays ou une région qui ne réfrigère pas de manière systématique les œufs. La prévalence parmi les troupeaux était supposée être 25%.

Les restrictions de la durée de conservation à moins de 14 jours réduisaient le risque prévu de maladie par portion d'un montant négligeable (~1%). Par contre, le maintien de la température de stockage chez le détaillant à moins de 7,7°C réduisait le risque de maladie par portion d'environ 60%. Lorsque la durée de conservation était limitée à 7 jours, le risque par portion était aussi réduit d'environ 60%.

La Figure 14 compare ces prévisions de risque – dans l'hypothèse où il n'y a pas de croissance ni de cuisson – avec les prévisions de la Figure 10 pour une prévalence parmi les

troupeaux de 25%. Lorsqu'un seul organisme *Salmonella* est présent dans les œufs contaminés, la Figure 14 laisse supposer que permettre la croissance à l'intérieur des œufs élève le risque. Mais, quand les œufs contaminés contiennent 10 ou 100 organismes, la Figure 14 implique que la cuisson des repas à base d'œuf réduit de manière notable le risque. Ces résultats s'expliquent par le fait que indépendamment de la contamination initiale, l'effet combiné de la croissance et de la cuisson stabilise le risque par portion à près de un sur un million. Les Figures 10 et 14 permettent de conclure que le résultat tiré du modèle est relativement moins sensible au nombre initial de *Salmonella* qu'à d'autres paramètres qui ont un impact sur la croissance et la cuisson.

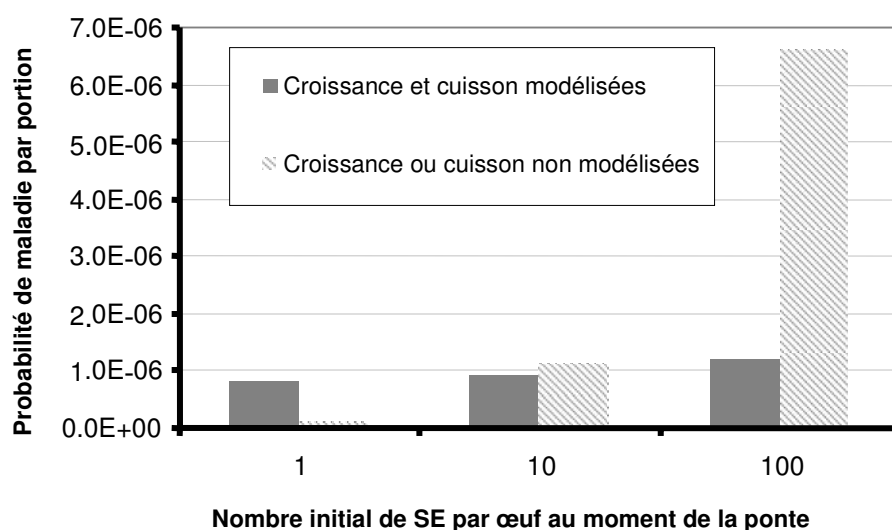


Figure 14. Comparaison des prévisions de risques de maladie lorsque le modèle d'évaluation de l'exposition inclut les effets de la croissance et de la cuisson et lorsque ni la croissance ni la cuisson ne sont modélisées, pour un nombre initial de *Salmonella* (SE) dans les œufs contaminés à la ponte de 1, 10 ou 100. La prévalence parmi les troupeaux est supposée être 25%, et la durée et la température du stockage des œufs du scénario de référence sont utilisées lorsque la croissance et la cuisson sont modélisées.

Question 2.1 – 1 Évaluer le risque présenté par les *Salmonella* dans les poulets de chair en fonction de différents niveaux dans la volaille crue pour l'ensemble de la population et pour les groupes de population susceptibles (personnes âgées, enfants et sujets immunodéprimés) et question 2.2.1 - réduire la prévalence des troupeaux positifs.

Les questions concernant les interventions sur l'exploitation ne pouvaient être étudiées du fait de l'absence de données représentatives. Il était cependant estimé qu'une réduction de la concentration d'oiseaux infectés sortant de la transformation réduirait au moins proportionnellement le risque de maladie par portion. Le groupe d'experts a estimé que les données disponibles relatives à l'importance des divers facteurs d'infection par *Salmonella* chez les troupeaux, y compris l'alimentation, les volailles de remplacement, les vecteurs et l'hygiène étaient peu concluantes. Il n'était donc pas possible d'évaluer l'importance des facteurs d'infection par *Salmonella* sur l'exploitation. Il était également reconnu que les

processus de contamination croisée devaient être mieux compris à toutes les étapes de la chaîne de production.

Un changement de la prévalence de produits contaminés crus a une incidence sur le risque pour le consommateur en modifiant la fréquence de l'exposition aux éventualités de risque, c'est-à-dire l'exposition au pathogène. La modification du risque résultant d'un changement de la prévalence de poulets de chair contaminés par *Salmonella* était estimée par simulation du modèle pour une fourchette de niveaux de prévalence initiale. Sept niveaux différents de prévalence initiale étaient étudiés: 0,05%, 1%, 5%, 10%, 20%, 50% et 90%. Si la prévalence de volailles contaminées sortant de la transformation est modifiée, par des pratiques de gestion au niveau de l'exploitation ou au niveau de la transformation, le risque escompté par portion est modifié. Les modifications du risque par portion et du risque de maladie par évènement de contamination croisée, résultant de changements de la prévalence sont résumées au Tableau 9.

Tableau 9. Impact sur le risque. Après changement de la prévalence

	Prévalence						
	0,05%	1,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%	90,0%
Consommation							
Risque escompté par portion	2.81E-08	5.63E-07	2.81E-06	5.63E-06	1.13E-05	2.81E-05	5.07E-05
Nombre de portions	26	26	26	26	26	26	26
Risque annuel escompté	7.32E-07	1.46E-05	7.32E-05	1.46E-04	2.93E-04	7.31E-04	1.32E-03
Taux de maladie sur 100 000	0.07	1.46	7.32	14.63	29.26	73.14	131.61
Calcul du nombre de cas escomptés dans l'année, pour une population et une population exposée supposées							
Population	20 000 000						
Proportion de la population qui consomme du poulet	0.75						
Population potentiellement exposée	15 000 000						
Nombre escompté de cas dans l'année	11	219	1 097	2 195	4 389	10 970	19 741
Contamination croisée							
Risque escompté par évènement	1.70E-06	3.41E-05	1.70E-04	3.41E-04	6.81E-04	1.70E-03	3.07E-03

2.81E-08 peut aussi s'exprimer comme 2,81 cas sur 100 millions de portions. De même pour tous les autres risques exprimés. E-07 est ...sur 10 millions; E-06 est ...sur un million; E-05 est ...sur 100 000; etc.

Il était estimé qu'une réduction du taux de contamination de 20 à 10% au niveau du détaillant réduisait de 50% le nombre de cas de salmonelloses. La relation existant entre une modification du pourcentage de prévalence et le risque escompté est essentiellement linéaire. En supposant toutes choses égales d'ailleurs, on peut s'attendre à ce que le risque escompté soit modifié d'un pourcentage équivalent.

Questions 2.2 - Évaluer les variations probables des risques imputables à chaque intervention envisagée, y compris au niveau de l'efficacité (2.2.2 Réduire la prévalence d'oiseaux positifs à *Salmonella* à la fin de l'abattage et de la transformation; et 2.2.3 Évaluer l'importance des différents voies d'introduction de *Salmonella* pathogènes dans les troupeaux.

L'efficacité des interventions spécifiques d'atténuation, au niveau de l'exploitation ou comme traitements durant la transformation, n'étaient pas évaluées dans le présent modèle de risque en raison du manque de données représentatives pour analyser les changements soit dans la prévalence et/ou le niveau de contamination pouvant être imputés à une intervention spécifique. Néanmoins, il est possible d'interpréter l'incidence de la réduction de la prévalence, bien qu'avec un fort degré d'incertitude compte tenu de l'état actuel des connaissances, dans le contexte de l'adjonction de chlore dans les bacs de réfrigération pendant la transformation. Il n'y a guère de preuves que l'adjonction de chlore à des concentrations ne dépassant pas 50 ppm diminue véritablement le nombre de pathogènes sur la peau des carcasses de volaille. Les données disponibles semblent cependant indiquer que le chlore empêche une augmentation de la prévalence des carcasses contaminées, c'est-à-dire, qu'il réduit la contamination croisée (Tableau 10), tandis qu'une étude observait une réduction marquée de la prévalence. Dans le tableau 10, le facteur qui figure dans la dernière colonne est le rapport entre la prévalence après réfrigération et la prévalence avant réfrigération. Un rapport supérieur à 1 indique une augmentation de la prévalence des carcasses contaminées.

Tableau 10. Données expérimentales concernant les effets du chlore sur la prévalence de *Salmonella* après immersion dans le bac de réfrigération.

Source	Quantité	Prévalence avant réfrigération			Prévalence après réfrigération			Rapport ⁽¹⁾
		Total	Positive	Prévalence	Total	Positive	Prévalence	
Avec chlore								
[1]	20–50 ppm (bac)	48	48	100%	103	60	58%	0,58
[2]	4–9 ppm (débordement)	50	21	42%	50	23	46%	1,10
[3]	1–5 ppm (débordement)	90	18	20%	90	17	19%	0,94
[4]	15–50 ppm (bac)	48	4	8%	96	7	7%	0,88
Sans chlore								
[5]	–	160	77	48%	158	114	72%	1,50
[6]	–	99	28	28%	49	24	49%	1,73
[7]	–	40	5	13%	40	11	28%	2,20
[7]	–	40	4	10%	40	15	38%	3,75
[7]	–	84	12	14%	84	31	37%	2,58
[8]	–	60	2	3%	120	18	15%	4,50
								,71

NOTES: (1) Rapport entre prévalence après réfrigération et prévalence avant réfrigération. Un apport >1 indique une augmentation de la prévalence des carcasses contaminées.

SOURCES DES DONNEES: [1] Izat et al., 1989. [2] James et al., 1992a. [3] Cason et al., 1997. [4] Campbell 1983. [5] James et al., 1992a. [6] James et al., 1992a. [7] Lillard, 1980. [8] Campbell, 1983.

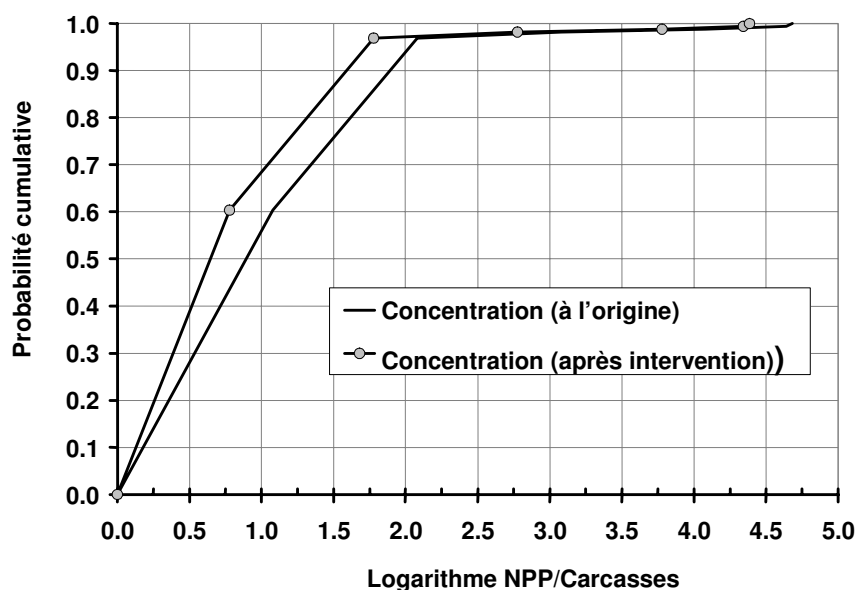


Figure 15. Distributions des concentrations à l'origine et après intervention.

L'effet de la réduction du nombre de *Salmonella* sur les carcasses de volaille sans modification de la prévalence des carcasses contaminées était aussi évalué, même s'il ne fait pas spécifiquement parti des questions du CCFH. Les valeurs des distributions de la concentration après intervention par rapport au scénario de référence étaient réduites de 50% (approximativement 0,3 logNPP par carcasse; Figure 15). Le modèle était simulé en utilisant le niveau réduit de contamination tout en maintenant la prévalence à 20% et sans modification des autres paramètres. La Figure 16 compare les estimations du risque par portion pour la simulation modifiée représentant une intervention avec les données originales représentant la situation de référence.

Contrairement à ce qui se produit pour la prévalence, un changement de la concentration du pathogène n'a pas nécessairement une relation linéaire avec le risque qui en découle. La distribution du risque indiquée à la Figure 16, est le risque par portion en cas de contamination. Il était estimé que les portions étaient contaminées et manquaient de cuisson dans 2% des cas. Ces données restent inchangées même lorsque le niveau de contamination est réduit.

Le risque escompté par portion, qui intègre la prévalence de portions contaminées et la probabilité de manque de cuisson, était estimé à 11,3 maladies par million de portions dans le cas de départ et 4,28 par million de portions lorsque le niveau de contamination est réduit. Le risque anticipé par portion est donc réduit d'environ 62%. On trouvera au tableau 11 un résumé des résultats.

La réduction du niveau de contamination a aussi une incidence sur le risque provenant d'événements de contamination croisée.

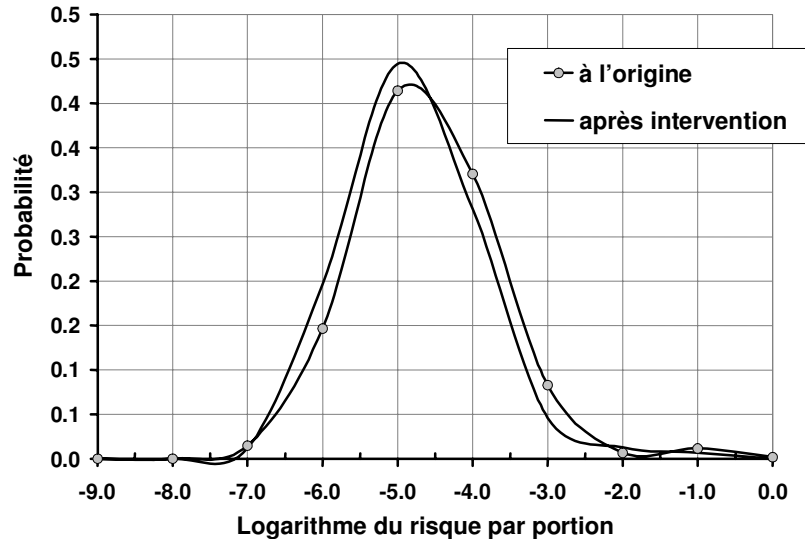


Figure 16. Distribution du risque par portion avant et après intervention pour modifier la concentration.

Tableau 11. Résumé du risque avant et après intervention visant à modifier la concentration.

	À l'origine	Après Intervention
Prévalence	20%	20%
Risque escompté par portion	1,13 pour 100 000	4,28 par million
Nombre de portions dans l'année	26	26
Risque annuel escompté	2,94 par 10 000	1,11 per 10 000
Taux de maladie par 100 000	29	11
Exemple de calcul du nombre annuel de maladies escompté pour un pays ou une région avec ce taux annuel escompté		
Population	20 000 000	20 000 000
Proportion de la population consommant du poulet	0,75	,75
Population potentiellement exposée	15 000 000	15 000 000
Nombre de cas escompté dans l'année	4406	1670

Les données disponibles concernant l'importance des différentes voies pour l'introduction de *Salmonella* pathogène dans les troupeaux, notamment les aliments, les oiseaux de remplacement, les vecteurs et le manque d'hygiène. Les interprétations des études et des résultats existants prêtent à confusion en raison de la grande variété des protocoles d'échantillonnage, des types de spécimen et des méthodes de laboratoires, ainsi que de la nature des opérations d'élevage de volaille (par exemple, locaux très grands ou très petits, types d'abreuvoirs, de mangeoires, etc.). C'est pourquoi il n'était pas possible d'évaluer le rôle des voies d'introduction sur l'exploitation de *Salmonella*, et cette étape n'était pas intégrée dans l'évaluation du risque.

Question 2.2.4 – Changement du comportement du consommateur et son impact sur le risque (question non posée par le CCFH)

Le consommateur représente l'intervention ultime dans l'atténuation du risque. L'efficacité des stratégies visant à modifier le comportement des consommateurs est difficile à anticiper et à mesurer. Toutefois, aux fins de la présente évaluation, l'impact sur le risque que peut avoir la modification des pratiques de préparation des aliments a toutefois été étudié par simulation du modèle, en supposant qu'une stratégie modifiant le comportement des consommateurs était appliquée. Les changements supposés étaient les suivants:

– probabilité que le produit n'est pas cuit correctement:

(ANCIENNE): Min = 5%, Plus probable = 10%, Max = 15%

(NOUVELLE): Min = 0%, Plus probable = 5%, Max = 10%

– durée d'exposition (minutes):

(ANCIENNE): Min = 0.5, Plus probable = 1.0, Max = 1.5

(NOUVELLE): Min = 1.0, Plus probable = 1.5, Max = 2.0

Les changements sont donc supposés réduire la probabilité que le consommateur ne cuise pas de manière correcte l'aliment, et pour ceux qui ont tendance à ne pas cuire suffisamment, le manque de cuisson est moindre.

Si le modèle est simulé une nouvelle fois avec ces hypothèses, le risque escompté est ramené de 11,3 à 2,2 par million. En conséquence, les changements des pratiques du consommateur réduisent le risque escompté par portion de près de 80%. Les modifications des pratiques chez les consommateurs ont une incidence sur la fréquence avec laquelle un produit potentiellement contaminé reste contaminé avant consommation (probabilité de manque de cuisson) et réduit aussi le risque lorsque le produit potentiellement contaminé arrive au consommateur (temps de cuisson plus long). La Figure 17 montre la distribution du risque par portion avant et après intervention.

Il importe de noter que la stratégie d'atténuation visant à modifier les pratiques de cuisson ne prend pas en compte le risque lié à la contamination croisée. Dans le scénario de référence, le risque escompté par événement de contamination croisée s'avérait bien plus élevé que celui provenant de la consommation de poulet manquant de cuisson. La stratégie visant à modifier les pratiques de cuisson des consommateurs doit donc être modérée par le fait que la contamination croisée peut en réalité être la source principale de risque et que la contamination croisée domestique est un phénomène de nature très incertaine

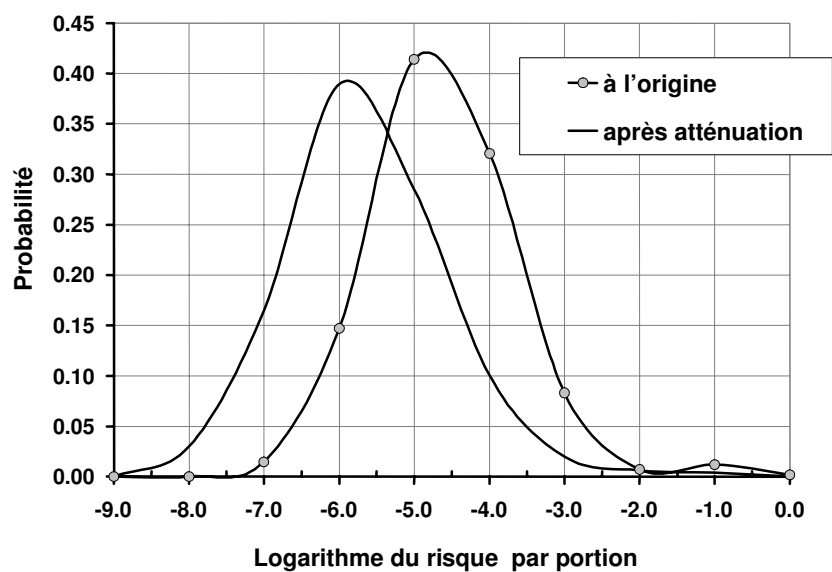


Figure 17. Distribution du risque par portion avant et après intervention pour modifier le comportement du consommateur.

3. LACUNE DES DONNEES ET RECHERCHES NECESSAIRES

L'un des résultats importants de l'évaluation des risques était la compilation et le collationnement de nombreuses informations sur *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair. L'organisation de ces données dans le cadre structuré de l'évaluation des risques a permis d'identifier les lacunes importantes existant dans les données, ce qui permettra d'orienter les futurs travaux de recherche et de garantir qu'ils sont axés sur l'élaboration et la collecte de données utiles et pertinentes. Les données et recherches nécessaires sont présentés ci-après.

3.1 Caractérisation des dangers

D'autres données sur les flambées et sur les données épidémiologiques sont nécessaires pour améliorer la caractérisation des dangers. Plus précisément, ces données devraient indiquer le nombre de cellules dans l'aliment incriminé, la quantité d'aliment consommé, des estimations fiables des effectifs de populations malades ou exposés, la caractérisation précise de la population, notamment les profils d'âge, l'état de santé, le sexe et d'autres facteurs de sensibilité potentiels.

L'impact de la matrice alimentaire n'était pas intégré dans la caractérisation des dangers du fait de l'insuffisance des données disponibles. La caractérisation et la quantification de l'impact de la matrice alimentaire, des interactions hôte-pathogène et des facteurs de virulence et leur incidence sur la probabilité d'infection et/ou de maladie sont donc nécessaires afin que ces questions puissent être traitées plus complètement dans les travaux futurs. Des informations quantitatives sont aussi nécessaires pour faciliter l'estimation de la probabilité de séquelles de la maladie.

S'agissant d'une science en plein développement, les modèles optimaux n'ont pas encore été élaborés. De nouveaux modèles dose-réponse qui améliorent la capacité à estimer la probabilité de maladie seraient donc utiles.

3.2 Données pour l'évaluation de l'exposition en général

La modélisation quantitative des différentes étapes de l'exposition nécessite des informations quantitatives. Les données collectées peuvent provenir, entre autres, des sources suivantes:

- données de surveillance nationales,
- enquêtes épidémiologiques,
- enquêtes industrielles,
- publications des services de recherche,
- travaux de recherche non publiés,
- rapports des administrations publiques.

Ces données sont souvent accessibles à tous, par exemple dans des publications. Par contre d'autres données, telles que celles collectées par des enquêtes industrielles sont souvent confidentielles et donc difficilement accessibles. Il est donc essentiel d'instaurer un climat de

confiance entre les gestionnaires et les évaluateurs des risques et ceux qui peuvent fournir des informations précieuses pour l'évaluation des risques. Un climat de confiance se crée par des débats et des réunions (communication interactive sur les risques) pour examiner le type de données nécessaires et l'usage de ces données (activité de gestion des risques). Par ailleurs, les débats permettent de mieux comprendre les données et la manière dont elles ont été élaborées, comme par exemple la stratégie d'échantillonnage, les méthodes d'essai, etc. Ces indications peuvent être importantes pour garantir que la modélisation est correcte et donc que les résultats le sont aussi. Dans l'ensemble, de bonnes communications entre les parties sont essentielles.

Les données adéquates peuvent ne pas être disponibles. L'utilisation d'avis d'experts est une solution, mais elle fait intervenir un certain nombre de considérations, notamment comment choisir les experts, comment éviter les opinions entachées de distorsions, comment susciter les informations et comment combiner les informations provenant de différents spécialistes. Pour de plus amples informations dans ce domaine consulter Kahneman, Slovic et Tversky (1982) et Vose (2000).

Dans l'évaluation des risques, et notamment l'élaboration des modèles génériques (pour application dans les prises de décisions concernant la production, la transformation, la distribution et la consommation de produits en général), les données viennent souvent de sources différentes. Deux questions se posent donc à ce sujet: premièrement, quelles données inclure dans le modèle et deuxièmement comment combiner ces informations. La détermination des données à inclure implique l'examen de l'applicabilité (les données sont-elles pertinentes pour un pays particulier? Les données sont-elles représentatives de la situation existante? Les méthodes d'échantillonnage et d'essai utilisées pour la collecte des données sont-elles rationnelles sur les plans scientifique et statistique?) Par ailleurs, quels que soient les critères de sélection des données, les principes et le processus de la sélection doivent être transparents. La transparence est aussi importante pour la combinaison des données. Différentes méthodologies peuvent être utilisées, y compris la pondération des informations, mais l'évaluateur doit formuler clairement la méthodologie afin de garantir la clarté et la reproductibilité.

En général, la collecte de données est la partie à plus forte intensité de ressources de la modélisation de l'exposition et fait intervenir de nombreuses questions qui influencent la qualité du résultat de l'évaluation des risques.

3.3 Évaluation de l'exposition à *S. Enteritidis* dans les œufs

Les données liées à la biologie de *Salmonella* dans les œufs manquent. Il s'agit semble-t-il d'un problème généralisé qui concerne les évaluations antérieures et futures de l'exposition.

D'autres études devront être réalisées sur le nombre et les facteurs qui ont une incidence sur la survie et la croissance de *Salmonella* dans les œufs (jaunes) en coquille intacts contaminés naturellement, car les informations disponibles ne portent que sur 63 œufs en coquille intacts. Il est aussi besoin de données sur le dénombrement de *Salmonella* dans les œufs crus liquides. D'autres données concernant le nombre de *Salmonella* dans les œufs crus liquides avant pasteurisation aideraient à prévoir de manière fiable l'efficacité des normes réglementaires concernant les ovoproduits.

D'avantage de données sur la prévalence de *Salmonella* dans les troupeaux de reproducteurs et de poulettes et dans leur environnement, ainsi que dans leur alimentation sont nécessaires pour évaluer de manière adéquate l'utilité des interventions préalables à la collecte. En particulier, il faudrait quantifier les associations entre la présence de *Salmonella* dans ces étapes préalables à la collecte et sa présence chez les poudeuses commerciales.

De meilleures données sur la durée et la température, notamment en ce qui concerne le stockage des oeufs, et ensuite la préparation et la cuisson renforcerait la confiance dans les résultats de la modélisation. L'importance des distributions en ce qui concerne la durée et la température pour prévoir la croissance de *Salmonella* dans les oeufs et le manque de données fiables pour les décrire, montrent combien il est nécessaire de disposer de ces données. En outre, de nouvelles études sont nécessaires sur la relation entre la durée, les méthodes et la température de cuisson et la mort de *S. Enteritidis*.

D'autres études sont nécessaires sur la survie et la croissance de *Salmonella* dans les œufs, en particulier en tant que fonction de la composition de l'œuf, et sur les caractères des souches infectantes (par exemple, la sensibilité thermique).

3.4 Évaluation de l'exposition à *Salmonella* dans les poulets de chair

Le manque de données de qualité, en particulier avant la fin de la transformation, limitait la portée de cette évaluation de l'exposition. Au niveau de la production primaire, les informations disponibles étaient surtout des données de prévalence, mais pour certaines régions, notamment l'Afrique, l'Asie et l'Amérique du Sud, même ces données étaient limitées. En outre, les informations concernant la conception des études, la spécificité ou la sensibilité des méthodes analytiques utilisées manquaient. Très peu de données quantitatives étaient disponibles. La situation était la même au stade de la transformation. Par ailleurs, les données étaient en général anciennes et les informations sur les pratiques de transformation n'étaient pas aisément accessibles. Pour combler ces lacunes, la collecte de données et la recherche devront être axées sur les domaines indiqués ci-après.

- Données de prévalence de *Salmonella* dans les poulets de chair pendant la production et à l'abattage, et sur les carcasses après transformation, et informations sur le plan de l'étude pour de nombreuses régions dans le monde.
- Études de l'écologie microbienne afin de déterminer les sources et le nombre de pathogènes.
- Études sur la corrélation existant entre les niveaux de prévalence au sein des troupeaux et le nombre de cellules de *Salmonella* retrouvées dans les fèces ou sur les oiseaux.
- Estimations précises du nombre d'organismes par oiseau à tous les stades de la voie d'exposition, et améliorations de la sensibilité et de la disponibilité de méthodes économiques pour dénombrer de petites populations de *Salmonella*.
- Données sur la contamination croisée entre oiseaux (d'oiseau à oiseau) sous forme permettant la modélisation de ce phénomène aux stades de la précollecte, du transport et de la transformation.

- Données sur la survie de *Salmonella* en conditions de réfrigération et de congélation. Ces données devraient améliorer la composante microbiologie prédictive des évaluations de l'exposition pertinentes pour le commerce international des volailles.
- Données et informations spécifiques de consommation sur les pratiques de préparations des aliments pour la plupart des emplacements géographiques, décrivant de préférence la taille des portions et la fréquence de la consommation plutôt que la consommation journalière moyenne.
- Informations sur la distribution de la durée et de la température de stockage et de cuisson au niveau domestique pour un grand nombre de pays.
- Données sur l'ampleur de la contamination croisée dans les cuisines domestiques et sur les voies de cette contamination croisée.

Il faudrait davantage de données sur la prévalence de *Salmonella* dans les aliments pour animaux et dans les troupeaux de remplacement et sur le jeûne avant l'abattage s'il était décidé d'évaluer de manière plus complète les interventions précédant l'abattage. Des données sur l'incidence des processus d'échaudage, de plumage, d'éviscération, de lavage et de réfrigération ainsi que sur d'autres traitements de décontamination sont nécessaires pour modéliser efficacement les avantages des interventions de contrôle au niveau de la transformation.

4. REFERENCES CITEES

- Campbell, D.F., Johnston, R.W., Campbell, G.S., McClain, D., & Macaluso, J.F. 1983. The microbiology of raw, eviscerated chickens: a ten-year comparison. *Poultry Science*, **62**: 437-444.
- Cason, J.A., Bailey, J.S., Stern, N.J., Whittemore, A.D., & Cox, N.A. 1997. Relationship between aerobic bacteria, salmonellae and Campylobacter on broiler carcasses. *Poultry Science*, **76**(7): 1037-1041.
- Corrier, D.E., & Nisbet, D.J. 1999. Competitive exclusion in the control of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis infection in laying poultry. In: A.M. Saeed, R.K. Gast and M.E. Potter (eds). *Salmonella enterica serovar enteritidis in humans and animals: Epidemiology, pathogenesis, and control*. Ames, Iowa IA: Iowa State University Press.
- Edel, W. 1994. *Salmonella* Enteritidis eradication programme in poultry breeder flocks in The Netherlands. *International Journal of Food Microbiology*, **21**: 171-178.
- Engvall, A., & Anderson, Y. 1999. Control of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in Sweden. In: A.M. Saeed, R.K. Gast and M.E. Potter (eds). *Salmonella enterica serovar enteritidis in humans and animals: Epidemiology, pathogenesis, and control*. Ames, Iowa IA: Iowa State University Press.
- Giessen, A.W. van de, Ament, A.J.H.A., & Notermans, S.H.W. 1994. Intervention strategies for *Salmonella* Enteritidis in poultry flocks: a basic approach. *International Journal of Food Microbiology*, **21**(1-2): 145-154.
- Izat, A., Druggers, C., Colberg, M., Reiber, M., & Adams, M. 1989. Comparison of the DNA probe to culture methods for the detection of *Salmonella* on poultry carcasses and processing waters. *Journal of Food Protection*, **52**: 564-570.
- James, W.O., Brewer, R.L., Prucha, J.C., Williams, W.O., & Parham, D.R. 1992a. Effects of chlorination of chill water on the bacteriologic profile of raw chicken carcasses and giblets. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, **200**: 60-63.
- Kahneman, D., Slovic, P., Tversky, A. 1982. *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Lillard, H.S. 1980. Effect on broiler carcasses and water of treating chilled water with chlorine and chlorine dioxide. *Poultry Science*, **59**: 1761-1766.
- Mead, P.S., Slutsker, L., Dietz, V., McCraig, L.F., Bresee, J.S., Shapiro, C., Griffin, P.M., & Tauxe, R.V. 1999. Food-related illness and death in the United States. *Emerging Infectious Diseases*, **5**: 607-625.
- Schlosser, W.D., Henzler, D.J., Mason, J., Kradel, D., Shipman, L., Trock, S., Hurd, S.H., Hogue, A.T., Sischo, W., & Ebel, E.D. 1999. The *Salmonella enterica* serovar Enteritidis Pilot Project. p.353-365, In: A.M. Saeed, R.K. Gast and M.E. Potter (eds). *Salmonella enterica serovar enteritidis in humans and animals: Epidemiology, pathogenesis, and control*. Ames, Iowa IA: Iowa State University Press.
- Thorns, C.J. 2000. Bacterial food-borne zoonoses. *Revue scientifique et technique Office international des épizooties*, **19**(1): 226-239.
- Vose, D. 2000. *Risk analysis: a quantitative guide*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

- White, P.L., Schlosser, W., Benson, C.E., Madox, C., & Hogue, A. 1997. Environmental survey by manure drag sampling for *Salmonella* Enteritidis in chicken layer houses. *Journal of Food Protection*, **60**: 1189–1193.

5. APPLICATION DE L'ÉVALUATION DES RISQUES MICROBIOLOGIQUES

L'évaluation quantitative des risques microbiologiques dans les aliments est destinée à répondre à des questions spécifiques importantes pour la santé publique. Pour être utile, l'évaluation des risques microbiologiques doit être intégrée à bon escient dans le processus décisionnel, ce qui laisse supposer un changement dans la manière dont les États prennent leurs décisions en matière de sécurité sanitaire des aliments et de santé publique. La nouveauté de l'évaluation du risque microbiologique est qu'elle quantifie le danger tout au long de la chaîne de la production alimentaire et le rattache directement à la probabilité de maladie d'origine alimentaire. Les évaluations des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair offrent des exemples du potentiel de cette approche.

L'utilisation accrue de l'évaluation des risques microbiologiques créera de nouveaux besoins en matière de renforcement des capacités. Ces évaluations des risques ont été des activités instructives et compte tenu de leur exhaustivité elles peuvent aussi servir de point de départ aux futures interventions de formation et de recherche appliquée. Elles constituent une ressource qui peut être utilisée par de nombreuses parties, notamment le Codex Alimentarius et les autorités nationales. Assurer leur applicabilité et leur utilité dans toutes les régions et dans tous les pays constitue une priorité pour les activités futures de la FAO et de l'OMS.

Une approche interdisciplinaire est indispensable pour l'évaluation microbiologique des risques. Il faut à la fois développer les compétences et les connaissances dans toutes les disciplines pertinentes (microbiologie, modélisation, épidémiologie, etc.) et garantir que ces disciplines sont effectivement intégrées dans le processus d'évaluation des risques. Il faut maintenir la transparence tout au long du processus d'évaluation du risque, du stade initial de la constitution de l'équipe d'évaluation, à la collecte des données et aux procédures d'analyse.

La réalisation de cette évaluation des risques au niveau international a mis en évidence la nécessité d'acquérir des données pour toutes les régions et de développer les capacités des pays à conduire des évaluations des risques. À cet effet, il faut mettre en place une infrastructure qui permette la surveillance des maladies d'origine alimentaire ainsi que le suivi des dangers microbiens dans les aliments tout au long de la chaîne alimentaire et des effets de la transformation ou d'autres facteurs sur les micro-organismes. Il est également besoin de ressources humaines ayant les compétences techniques nécessaires pour effectuer des évaluations du risque microbiologique.

Ces évaluations des risques fournissent une quantité considérable d'informations utiles pour les évaluateurs et pour les gestionnaires des risques. Les concepts présentés sont génériques, et peuvent être directement adaptables ou considérés comme des modules autonomes. Pour ceux prévoyant d'effectuer une évaluation quantitative des risques microbiologiques, les modèles élaborés peuvent servir de matrice pour évaluer les risques liés à ces combinaisons pathogène-produit aux niveaux régional ou national. Les données utilisées dans les modèles doivent cependant prendre en compte le produit alimentaire, la matière première, la fabrication, les

conditions chez le détaillant ainsi que les habitudes de consommation et les caractéristiques de la population dans la région concernée.

Ces évaluations des risques liés à *Salmonella* fournissent des informations qui peuvent être utiles pour déterminer l'impact des stratégies d'intervention sur la réduction des cas de salmonelloses dues à des œufs ou des volailles contaminées. Ces informations sont particulièrement intéressantes pour les activités du Codex Alimentarius portant sur l'élaboration de normes, directives et textes apparentés. En outre, ce travail a permis de dégager des enseignements sur la manière d'utiliser de façon optimale l'évaluation des risques comme instrument décisionnel. Pour répondre aux besoins des gestionnaires des risques, l'évaluation des risques doit être ciblée clairement, notamment par une planification adéquate, une bonne communication et une interface solide entre les évaluateurs et les gestionnaires des risques. L'évaluation des risques facilitera les décisions de gestion qui peuvent être appliquées avec succès si les communications sont établies dès le départ avec les autres parties pertinentes telles que l'industrie alimentaire et les consommateurs.

En conclusion, les évaluations des risques fournissent un modèle de présentation des informations disponibles de façon à ce qu'elles soient lisibles, reliant les problèmes de contamination de pathogène aux conséquences pour la santé humaine. Elles fournissent des avis et des analyses scientifiques qui peuvent être utiles pour établir des politiques réglementaires en matière de lutte contre les maladies d'origine alimentaire dans différents pays. Par ailleurs le processus d'évaluation des risques a identifié d'importantes lacunes dans les données, et formule des recommandations pour les recherches futures, qui peuvent être utiles pour affecter les ressources aux domaines prioritaires.

Ces évaluations des risques microbiologiques sont les premières réalisées au niveau international. On a pu constater au cours de ces travaux que ce type d'évaluation est encore une science en développement mais, tous les efforts ont été déployés pour offrir un instrument précieux et irremplaçable à ceux qui réalisent des évaluations des risques et qui traitent les problèmes liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair.

SERIE EVALUATION DES RISQUES MICROBIOLOGIQUES

- 1 Évaluation des risques liés à *Salmonella* dans les œufs et les poulets de chair: Résumé interprétatif, 2004 (A, Ar, C, E, F)
- 2 Risk assessments of *Salmonella* in eggs and broiler chickens, 2002 (A)
- 3 Caractérisation des dangers liés à la présence de pathogènes dans les aliments et dans l'eau: Directives, 2004 (A, E, F)
- 4 Evaluation des risques liés à *Listeria monocytogenes* dans les aliments prêts à consommer: Resumé interprétif, 2004 (A, Ar, C, E, F)
- 5 Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods: Technical Report, 2004 (A)
- 6 *Enterobacter sakazakii* et autres microorganismes présents dans les préparations en poudre pour nourrissons: Projet de la réunion, 2004 (A, E, F)

A – Anglais
Ar – Arabe
C – Chinois
E – Espagnol
F – Français

