

**Avis du Conseil Supérieur d' Hygiène
Avril 2005**

**CONTRIBUTION À L'ÉVALUATION DU RISQUE
PRÉSENTÉ EN BELGIQUE PAR LES *CAMPYLOBACTER*
SPP. DANS LES PRÉPARATIONS DE VIANDE
À BASE DE VIANDE HACHÉE DE VOLAILLE**

CSH N° 7947

TABLE DES MATIERES

I INTRODUCTION	3
A. QUESTIONS POSEES AUX EVALUATEURS, CONTEXTE ET DEFINITION DU SCOPE	3
B. METHODOLOGIE SUIVIE	4
C. SOURCES DE DONNEES DISPONIBLES	5
D. COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL.....	5
II. IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DU DANGER	6
III. CARACTERISATION DU DANGER	8
A. FACTEURS DE RISQUE LIES AU MICROORGANISME	8
B. FACTEURS DE RISQUE LIES A L'HOTE (CATEGORIE DE CONSOMMATEURS VISES).....	8
C. MODELE DE RELATION DOSE/REPONSE.....	8
IV. APPRECIATION DE L'EXPOSITION	10
A. DESCRIPTION DES ALIMENTS CONCERNÉS ET DE LEURS MÉTHODES DE FABRICATION/DISTRIBUTION/CONSOMMATION	10
B. NIVEAU ET PRÉVALENCE DE CONTAMINATION DES ALIMENTS CONCERNÉS AUX ÉTAPES DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE CONSIDÉRÉES	10
i. <i>Données internationales</i>	10
ii. <i>Données belges</i>	10
iii. <i>Conclusions</i>	13
C. DONNÉES DE CONSOMMATION	14
V. CARACTERISATION DU RISQUE	16
I. APPROCHE DETERMINISTE.....	16
II. APPROCHE PROBABILISTE	18
VI. RECOMMANDATIONS EN RAPPORT AVEC LA(LES) QUESTION(S) POSEE(S)	34
VII. PERSPECTIVES & BESOINS EN RECHERCHE	35
VIII. SOURCES ET REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	37

I INTRODUCTION

a. Questions posées aux évaluateurs, contexte et définition du scope

Les infections à *Campylobacter* posent un problème sérieux de santé publique en Belgique. Elles représentent la 2^{ème} cause d'infections alimentaires, après *Salmonella*. Le nombre de cas humains détectés est de l'ordre de 70 cas/an/10⁵ habitants. Selon certaines études, les viandes et préparations de volaille seraient responsables de 40 % de tous les cas humains de campylobactériose. Il est cependant difficile d'obtenir des données épidémiologiques précises sur les infections alimentaires dues à ce pathogène, notamment parce qu'elles ont souvent un caractère sporadique et saisonnier (ce qui n'exclut pas un lien épidémiologique entre les cas). Seulement 1 à 2 foyers par an sont enregistrés et font l'objet d'une enquête.

Les résultats des contrôles microbiologiques effectués tant par les autorités officielles (Agence Fédérale de la Chaîne Alimentaire, AFSCA) que par les entreprises alimentaires, montrent que la prévalence de la contamination des produits de la filière volaille par *Campylobacter spp.* est relativement importante.

Afin de mieux cerner l'impact que représente la contamination des produits de la filière volaille sur le risque de maladies dues à *Campylobacter* pour les consommateurs et afin de prendre des mesures de gestion appropriées, il est utile de réaliser des évaluations de risques. Des évaluations sont en cours actuellement tant au niveau international (voir par exemple les analyses faites par le JEMRA) que national (voir par exemple le projet CARMA aux Pays-Bas) sur ce problème de santé publique.

Parmi les différentes options de gestion possibles, la fixation d'une norme microbiologique pour certains produits incriminés est une mesure qui est envisagée par la DG 4 « Animaux, Plantes et Alimentation » du SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement. La norme qui est envisagée est du type objectif de performance applicable au stade du commerce. Cela signifie que les opérateurs en amont doivent prendre les mesures d'hygiène et de contrôle nécessaires pour que cet objectif de performance soit atteint.

Les produits concernés dans cette étude sont des préparations à base de viande volaille hachée telles que par exemples saucisses, chipolata, paupiettes, hachis préparés, *chicken burger*. Ces produits sont généralement destinés à être cuits avant consommation. Il faut cependant signaler une nouvelle mode de consommation de hachis de volaille à l'état cru. Cette mode serait limitée à certaines régions du pays.

A noter qu'il n'existe pas de norme microbiologique pour cette combinaison pathogène/denrée. La réglementation des Pays-Bas prévoit le critère « absence dans 25g » (à l'exception des produits crus non transformés). Un avis a été demandé par la Commission européenne à l'EFSA (l'opinion de l'EFSA a été entretemps publiée), afin de compléter (après son adoption en 2005) le règlement européen qui est actuellement en cours de finalisation et qui concerne des critères microbiologiques pour les denrées alimentaires. L'objectif de cette étude est donc double. D'une part fonder scientifiquement l'établissement d'une norme de type objectif de performance au niveau belge afin de protéger la santé publique. D'autre part fournir à l'administration les éléments scientifiques pour défendre la position belge dans les fora de discussions au niveau européen et international.

Conformément aux exigences internationales et européennes, la fixation d'une norme microbiologique doit être fondée scientifiquement sur une évaluation des risques ou tout au moins sur un avis d'experts.

La DG 4 du SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement a donc sollicité l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène (CSH) sur cette question. De manière plus précise, dans un courrier du 28 octobre 2003 (avec les références ADM/1624), les questions posées par la DG 4 au CSH sont les suivantes :

- compte tenu des données disponibles et des autres aliments considérés potentiellement dangereux (p. ex. poulets de chair crus, découpes et foies de volaille crue, lait cru, sources non alimentaires, etc.), quelle limite (estimation) permettrait de réduire le risque pour le consommateur et diminuer l'incidence humaine des campylobactérioses dues aux préparations

à base de viande hachée de volaille ? Cette limite serait d'application au stade du commerce de détail ?

- pour les produits concernés au stade de la consommation, quel est le niveau de risque associé à différentes concentrations du pathogène (absence dans 25g, 10g, 1g, 0.1g ou 0.01g) ?
- compte tenu de l'appréciation du niveau de risque (y compris l'influence sur le risque de l'utilisation attendue des produits), la fixation d'une norme provisoire pour le pathogène dans les aliments considérés est-elle pertinente ou non ?

Dans la mesure du possible, il est demandé que cette évaluation soit effectuée conformément aux principes et directives relatifs à l'appréciation des risques microbiologiques. Cependant, en préliminaire à l'étude, il apparaît que de nombreuses données sont manquantes pour pouvoir réaliser une évaluation complète. Différentes hypothèses et estimations ont donc été faites. Des projets de recherche sur ce thème vont prochainement débuter. Ces résultats pourront compléter le modèle et affiner les conclusions présentées ci-dessous.

Les données disponibles concernent exclusivement les *Campylobacters* thermotolérants (*C. jejuni* et *C. coli*). L'évaluation du risque se focalise, excepté mention explicite, sur ces deux espèces.

b. Méthodologie suivie

L'objectif poursuivi dans l'évaluation du risque vise à proposer aux autorités compétentes des options de gestion du risque qui devraient leur permettre par exemple de défendre une position nationale en matière de fixation des critères microbiologiques européens ou de définir des objectifs de performance au niveau du *Codex Alimentarius*.

Ces évaluations sont réalisées en appliquant les principes et méthodologies développés par le *Codex Alimentarius* : identification des dangers, caractérisation des dangers, évaluation de l'exposition et caractérisation des risques. Cette démarche requiert une approche pluridisciplinaire faisant intervenir les disciplines de la microbiologie, l'épidémiologie, la médecine, les statistiques et la modélisation.

Concrètement, l'étude vise à évaluer le comportement de *Campylobacter* dans les préparations à base de viande hachée de volaille en fonction des conditions de production/distribution et des habitudes de consommation (cuisson, contamination croisée).

Cette approche concerne plusieurs aspects : l'effet de l'exposition de la population belge, les conditions de conservation de la denrée jusqu'à sa consommation (congélation-décongélation, sous-cuisson, contamination croisée) et l'effet dose-réponse. Afin de mettre en évidence deux risques spécifiques, deux simulations ont été réalisées : une première se base sur la consommation de la denrée crue et une seconde sur la consommation après cuisson. Dans ce cas, on a estimé que 20% des préparations subissaient une sous-cuisson.

La démarche suivie utilise deux approches complémentaires, l'une probabiliste (distribution des probabilités), et l'autre déterministe (« *worst case* » par exemple).

L'étude présentée a été réalisée à partir des données suivantes :

- Données relatives à la relation dose-réponse (Medema et al. (1996)).
- Données concernant la prévalence et le niveau de contamination par *Campylobacter spp.* dans la chaîne alimentaire en Belgique (LNR, 2003).
- Données relatives à la croissance, la survie et les possibilités de contamination croisée tout au long de la chaîne alimentaire comme décrit dans l'identification des dangers et l'évaluation de l'exposition.
- Concepts pour l'évaluation quantitative du risque (Oscar, 2004 et Rosenquist, 2003).
- Preliminary Report of the Joint FAO/WHO workgroup on Risk Assessment of *Campylobacter* in broiler chickens (2002).

Une phase ultérieure de validation devra intégrer les données concernant les infections humaines à *Campylobacter* en Belgique.

Les approches développées ne permettent pas de déterminer les «incertitudes»; seule la « variabilité » des méthodes peut être envisagée.

c. Sources de données disponibles

Pour réaliser les estimations chiffrées des évaluations du risque, nous nous sommes basés sur les données nationales issues des plans de surveillance de l'Institut d'Expertise vétérinaire et de l'Inspection générale des denrées alimentaires, institutions maintenant regroupées au sein de l'AFSCA. Les données internationales proviennent exclusivement de la surveillance des zoonoses et agents zoonotiques de l'Union européenne.

a) Sources de données internationales :

Dans le cadre de la directive 92/117/CEE concernant la surveillance des zoonoses et agents zoonotiques dans l'Union européenne, les différents états membres sont tenus de communiquer au laboratoire communautaire de référence de Berlin les données pertinentes concernant les principaux agents zoonotiques. Les données proviennent du « *Report on Trends and sources of zoonotic agents in the European Union and Norway, 2001* ».

Aucune donnée relative à la viande hachée de volaille n'y est disponible, mais plusieurs pays ont des données relatives à la prévalence de *Campylobacter* de 1996 à 2001 dans la viande hachée de volaille. Ces données permettent d'estimer grossièrement la situation en Europe.

b) Sources de données nationales :

Les plans de surveillance des zoonoses de la production de viande en Belgique réalisés chaque année depuis 1997 ont permis d'évaluer la prévalence de *Campylobacter* dans les différentes filières de viande fraîche en Belgique. Ces données ont permis à l'Institut d'Expertise vétérinaire et l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire, d'une part de suivre l'évolution de la prévalence de ces germes, et d'autre part, d'appréhender le niveau de contamination des différentes filières. Dans le secteur spécifique aux produits de volailles, des matrices ont été testées chaque année depuis 1997. Il s'agit des carcasses de poulets et de poules ainsi que des filets de poulet. Depuis 2002, les préparations à base de viande hachée crue de volaille sont également testées.

Dans le secteur de la distribution, différentes études ponctuelles ont été menées par l'Inspection générale des Denrées alimentaires. Une programmation « viandes hachées de volaille » s'est déroulée de mai à septembre 2002 et concernait tout type de préparations à base de viande hachée de volaille. Les échantillons ont été prélevés en boucheries, dans les grandes surfaces, chez les traiteurs, sous forme préemballée ou à la découpe.

d. Composition du groupe de travail

BAERT Katleen
DAUBE Georges (Présidence - rapporteur)
DE ZUTTER Lieven
DIERICK Kathelijne
DUBOIS Jean-Jacques (secrétariat - rapporteur)
GHAFIR Yasmine (rapporteur)
HERMAN Lieve
HORION Benoit
MELIN Pierrette
MICHIELS Chris
PIERARD Denis (rapporteur)
SUYS Ivan
SINDIC Marianne
UYTTENDAELE Mieke (rapporteur)
VAN HOOF Jan
VIVEGNIS Jacques

II. Identification et description du danger

Les *Campylobacter* sont des bactéries spiralées ou incurvées à Gram négatif, mobiles, microaérophiles, n'utilisant pas les sucres, mésophiles, adaptées à l'environnement du mucus du tractus digestif de l'homme et des animaux. Certains *Campylobacter* sont dits thermotolérants. Parmi les nombreuses espèces du genre *Campylobacter*, *Campylobacter jejuni* est l'espèce dominante en pathologie humaine. La maladie humaine la plus fréquemment associée à *Campylobacter* est une entérite aiguë, qui peut être compliquée par une bactériémie et des localisations secondaires, et provoquer des complications post-infectieuses, telles que le syndrome de Guillain-Barré. Les campylobactérioses sont les infections intestinales bactériennes les plus fréquentes dans les pays industrialisés. L'incidence annuelle estimée dans la population générale varie selon les pays et est en augmentation dans plusieurs d'entre eux. Les principaux réservoirs sont les animaux d'élevage (volailles, bovins, porcins, petits ruminants), les animaux de compagnie (chats, chiens) et les animaux sauvages (oiseaux, rongeurs). L'infection à *Campylobacter* est une zoonose. Les voies de transmission sont multiples. La transmission principale semble se faire par ingestion d'aliments contaminés insuffisamment cuits, principalement la volaille, ou d'aliments (légumes) contaminés lors de leur préparation (contaminations croisées). L'eau et le lait cru ont été impliqués dans la description des épidémies les plus importantes. Les cas sporadiques sont la principale forme d'expression des infections à *Campylobacter*, mais ils pourraient correspondre à des épidémies communautaires ou cas groupés non détectés par des systèmes de surveillance insuffisamment performants (AFSSA, 2004).

Survie de *Campylobacter jejuni* à basses températures

Les résultats d'une étude visant à déterminer la survie de *Campylobacter jejuni* sur le blanc de poulet cuit en fonction de la température indiquent que *C. jejuni* peut survivre aussi bien à une température de réfrigération qu'à température ambiante. Dans ces dernières conditions, *C. jejuni* a un taux de mortalité plus rapide et donc une survie réduite. La réduction maximale moyenne de *C. jejuni* (de 4 à 30°C) était de 1,5 unité log quelle que soit la température de stockage et le milieu de culture utilisé. Ces résultats suggèrent que *C. jejuni* trouvé sur les produits de volaille contaminée a le potentiel de survivre dans des conditions qui ne permettent pas une croissance ; elles pourraient donc être à l'origine d'une toxi-infection alimentaire si la volaille n'est pas suffisamment cuite (Yoon et al., 2004).

Il a été montré que le nombre de *Campylobacter jejuni* / *coli* diminue de 2 à 3 log cfu/cm² pendant une conservation de 48 h à -20°C, et de 1 à 2 log cfu/cm² à 25°C. Ces résultats ont été obtenus quels que soient la matrice alimentaire (peau brute de poulet ou de porc), l'espèce bactérienne et les conditions d'oxygénation (air ambiant ou microaérophilie). A 4°C la charge en *Campylobacter* viables est stable ; à 37°C et 42°C elle augmente de manière significative lorsque les conditions sont microaérophiles (5% O₂ et 10% CO₂) (Solow et al. 2003).

La tolérance de *Campylobacter* aux basses températures (4°C) ou aux températures de congélation (-20°C) est spécifique à chaque souche (Chan et al. 2003).

En Islande, une baisse des cas de campylobactériose a été observée entre 1999 (116/100 000 habitants) et 2000 (33/100 000 habitants). En 2000, des carcasses de lots positifs ont été congelées avant d'être mises sur le marché. La congélation des carcasses, de même que l'information du public, les mesures préventives à la ferme et d'autres facteurs non identifiés (tels que des variations des conditions atmosphériques) ont contribué à cette réduction des cas (Stern et al. 2003).

Contamination primaire de la viande de volaille

La caractérisation moléculaire des souches de *Campylobacter spp* isolées d'un abattoir de volailles a démontré que les souches isolées de carcasses et matières fécales ont un profil semblable. Sur base de l'analyse de lots successifs, l'étude a montré que l'usine de transformation était à l'origine d'une contamination croisée (Rivoal et al. 1999). *C. jejuni* a été isolé de carcasses de lots de poulets indemnes et abattus après des lots contaminés (matières fécales) ; les profils des souches isolées étaient identiques (Miwa et al. 2003). *Campylobacter* a été isolé sur l'ensemble des équipements de la chaîne de traitement, des caisses de transport de poulets aux réfrigérateurs, de même qu'à partir de l'air (Berndtson et al. 1996). Sanchez et al. (2002) ont cependant indiqué que l'incidence de *Campylobacter* tend à diminuer de manière significative chez les poulets de chair refroidis par air par rapport à un refroidissement par immersion. Des précisions concernant l'influence des conditions d'abattage (étourdissement, saignée, éviscération, lavage et refroidissement) sur l'incidence de *Campylobacter* sont décrits dans le « Preliminary report of the Joint FAO/WHO work group on Risk Avis CSH Campylobacter volaille 7947

Assessment of Campylobacter in broiler chickens ».

En Belgique, une étude des Prof. De Zutter, Uyttendaele et du Dr Herman a mis en évidence une contamination croisée pendant l'abattage et la transformation dans la mesure où le premier lot traité est contaminé (*communication personnelle*).

Les découpes de volailles sans peau sont significativement moins contaminées par *Salmonella*, *C. jejuni* et *C. coli* que les découpes de volaille avec peau. Une augmentation du taux de contamination a été notée pendant la découpe et d'autres traitements (*Uyttendaele et al. 1999*). Le contact prolongé avec les machines, les mains et les outils pendant la transformation et la découpe peut entraîner une plus forte contamination du produit (contamination croisée). En dépit de l'existence de possibilités de contamination croisée, il n'y a aucune information dans la littérature sur l'effet du tri et du conditionnement sur les niveaux de contamination (*Preliminary Report of the Joint FAO/WHO workgroup on Risk Assessment of Campylobacter in broiler chickens - 2002*).

III. Caractérisation du danger

a. Facteurs de risque liés au microorganisme

La pathogénie des maladies gastro-intestinales à *Campylobacter jejuni* n'est pas complètement comprise actuellement. Les facteurs de virulence connus pour *C. jejuni* comprennent des toxines (entérotoxines et cytotoxines), l'adhérence, la mobilité, la capacité à capter le fer et l'invasion bactérienne. Suite à l'ingestion, les *Campylobacter* doivent franchir la barrière gastrique. La réduction de l'acidité gastrique (par exemple par l'utilisation d'un anti-acide) augmente le risque d'infection à *Campylobacter*. Les *Campylobacter* colonisent a priori en premier lieu le jéjunum et l'iléon; ils affectent ensuite le côlon et le rectum. Des dégâts à la muqueuse et de l'inflammation sont observés simultanément dans les petit et gros intestins (*in International handbook of foodborne pathogens*, 2003). En ce qui concerne la virulence, il peut exister une variation de souche à souche.

b. Facteurs de risque liés à l'hôte (catégorie de consommateurs visés)

Dans les pays développés, *Campylobacter* affecte tous les groupes d'âge ; les nourrissons et jeunes enfants ont le plus haut taux d'infection, suivis par les jeunes adultes entre 15 et 29 ans. L'incidence plus élevée dans cette dernière catégorie d'âge semble être due à une exposition plus importante. Les hommes présentent un plus grand taux de morbidité que les femmes. La campylobactériose montre un pic saisonnier en été. La dose infectieuse pour *C. jejuni* est basse. Dans les études sur volontaires, l'infection a été mise en évidence dès 50 à 500 organismes (*in International handbook of foodborne pathogens*, 2003).

L'exposition répétée, comme chez les employés des abattoirs de poulets de chair, semble être un facteur protecteur. Suite à l'exposition répétée à *Campylobacter*, les enfants de 2 à 5 ans développent une immunité substantielle ou significative qui persiste jusqu'à l'âge adulte. Des états morbides sous-jacents comme une cirrhose hépatique, une néoplasie, une thérapie immunosuppressive et une infection par le HIV semblent être associés à un plus gros risque de bactériémie (*in International handbook of foodborne pathogens*, 2003).

Cette approche des facteurs de risques liés à l'hôte reprend toutes les espèces de *Campylobacter*, en mettant l'accent sur *Campylobacter jejuni*, dans la mesure où il représente plus de 90% des *Campylobacter* isolés à partir des volailles.

c. Modèle de relation dose/réponse

Les informations sur la dose-réponse dans l'infection à *Campylobacter* sont rares: les informations résultant des données épidémiologiques sont insuffisantes. Une seule étude de contamination de volontaires humains par voie orale (Black et al. 1988), où de jeunes adultes ont ingéré des doses connues de deux souches de *C. jejuni* incorporées dans du lait, peut être utilisée pour établir une courbe de dose-réponse (Figure 1).

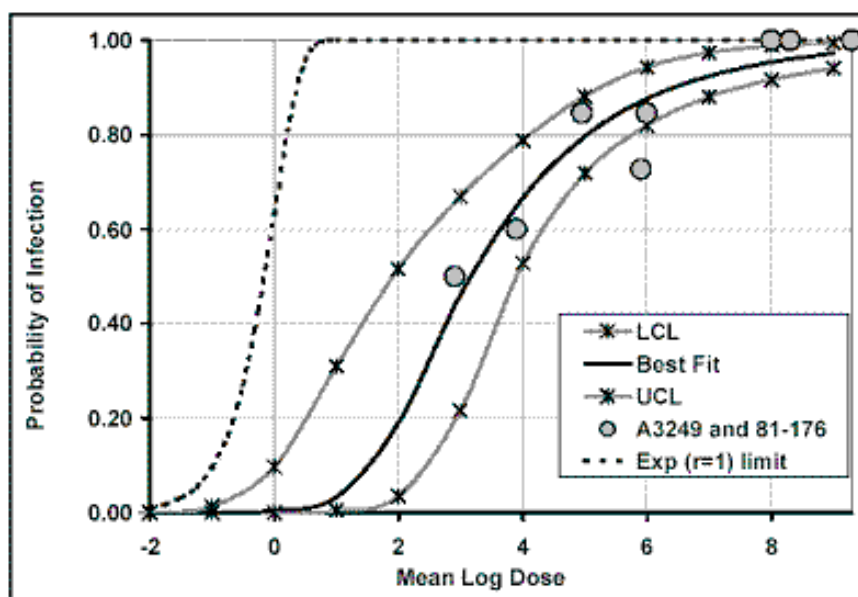


Figure 1 : Beta-poisson model fit to human feeding trial data for *C.jejuni*, strains A3249 and 81-176.

La figure 1 montre le modèle de Beta-Poisson adapté aux données de l'infection alimentaire humaine expérimentale par *C. jejuni*. Il faut cependant remarquer que les données de l'étude de Black et collaborateurs n'incluent pas de test avec des doses inférieures à 100 *Campylobacter*, cette courbe est donc moins fiable en dessous de 2 log (*in* Identification et caractérisation des dangers et l'évaluation de l'exposition liés à *Campylobacter* dans les poulets de chair - MRA 01/05 - Rapport préliminaire des activités conjointes FAO/WHO en matière d'évaluation des risques microbiologiques dans la nourriture).

Cependant, les auteurs de ce rapport soulignent que de nouvelles données expérimentales devraient être produites avant de pouvoir utiliser ce modèle de manière fiable dans l'étude d'évaluation du risque.

Les manuels concluent de l'étude de Black et collaborateurs que l'ingestion d'à peine 500 cellules de *Campylobacter* est suffisante pour causer l'infection (par exemple, Evans AS, Brachman PS, *Bacterial Infections of Humans*, 3rd ed., Plenum Medical Book Company, New York, 1988).

D'autres approches d'utilisation de la relation dose/réponse sont étudiées dans l'étape de caractérisation du risque.

IV. Appréciation de l'exposition

a. Description des aliments concernés et de leurs méthodes de fabrication/distribution/consommation

Les aliments concernés sont des préparations à base de viande hachée de volaille telles que par exemples saucisses, chipolata, paupiettes, hachis préparés, *chicken burger*. Ces préparations sont fabriquées à partir de viande hachée de volaille à laquelle est ajoutée de la matière grasse de porc et/ou de volaille (peau de volaille). Ces produits sont conditionnés dans des emballages perméables ou imperméables à l'air et également sous atmosphère modifiée. Bien qu'ils soient destinés à être consommés cuits, une tendance actuelle vise à les consommer à l'état cru.

b. Prévalence et niveau de contamination des aliments concernés aux étapes de la chaîne alimentaire considérées

i. Données internationales (européennes)

Une étude anglaise (Jorgensen et al., 2002) montre que *Campylobacter spp.* est présent dans 82% des poulets entiers crus achetés dans des commerces de détail. L'emballage (intérieur ou extérieur) est contaminé dans 56% des cas. La contamination extérieure de l'emballage est positive dans 6% des échantillons analysés. Dix-huit pour-cents des échantillons avaient une charge en *Campylobacter* variant entre 2,70 et 4,99 log cfu/g et 20% un niveau de contamination situé entre 5,00 et 6,99 log cfu/g.

Une étude néerlandaise (Dufrenne et al, 2001) a fourni des données quantitatives sur les niveaux de contamination dans le poulet et les produits à base de poulet au niveau des commerces de détail. En utilisant la méthode du nombre la plus probable (MPN ou NPP, nombre le plus probable) et celle du comptage direct, les auteurs observent des niveaux de contamination en *Campylobacter* variant de moins de 10 cfu (18%) à plus de 5500 cfu (18%) par carcasse pour les produits réfrigérés. En ce qui concerne les carcasses congelées, 57% des échantillons contiennent moins de 10 cfu par carcasse et 14% contiennent entre 10-100 cfu par carcasse.

En plus de la Belgique, cinq états membres ont établi un plan de surveillance des *Campylobacter* dans la filière volaille entre 1999 et 2001 (*Report on Trends and sources of zoonotic agents in the European Union and Norway, 2001*). Les données de ce rapport ne permettent pas de comparer la prévalence dans les différents pays. De plus, aucune donnée spécifique aux préparations de viande hachée crue de volaille n'est disponible. Les seules données récoltées concernent la viande hachée de volaille au stade de la consommation. Entre 1999 et 2001, la prévalence en *Campylobacter* dans la viande hachée de volaille a diminué au Danemark de 41% en 2000 à 30% en 2001 et en Suède de 25% en 1999 à 11% en 2001. Une augmentation de la prévalence a été observée en Finlande pendant cette même période (de 4% en 1999 à 22% en 2001). Aucune évolution n'a été constatée pour l'Allemagne et les Pays-Bas pour lesquels la prévalence varie de 13% à 40%.

On peut conclure que les niveaux de contamination en *Campylobacter* des préparations de volaille fraîches sont peu disponibles et que les études existantes sont difficilement comparables.

ii. Données belges

Le tableau 1 synthétise les résultats obtenus par l'Institut d'Expertise Vétérinaire et l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire entre 1997 et 2003. Ces données sont relatives à la prévalence de *Campylobacter* dans les carcasses, foies, filets et préparations de poulet ainsi que les carcasses de poules. En ce qui concerne les carcasses et les produits de découpe, 70% des prélèvements sont positifs pour une prise d'essai de 25g. Environ 50% des préparations de viande sont contaminées par *Campylobacter* dans 25g. La figure 2 montre la prévalence de *Campylobacter* en fonction du lieu de prélèvement (établissements agréés, de faible capacité, grandes surfaces et boucheries) pour les années 2002 et 2003 (partiel).

		1997	1998		1999	2000		2001	2002	2003p feb- sept
Carcasses de poulets (peau du cou)	n	120	146	146	141	141	289	281	258	208
	quantité	25g	25g	0,1g	0,1g	0,01g	0,01g	0,01g	0,01g	0,01g
	prévalence	71,0%	72,6%	61,6%	75,9%	58,2%	33,9%	27,1%	34,9%	28,9%
Foies de poulets	n	120	142	142						
	quantité	25g	25g	0,1g						
	prévalence	61,7%	74,6%	72,5%						
Filets de poulets	n	120	151	151	139	139	276	229	230	184
	quantité	25g	25g	0,1g	1g	0,01g	1g	1g	1g	1g
	prévalence	81,8%	83,4%	19,2%	57,6%	19,4%	22,5%	15,3%	18,3%	14,7%
Carcasses de poules (peau du cou)	n	120	141	141	122	122	187	192	117	68
	quantité	25g	25g	0,1g	0,1g	0,01g	0,01g	0,01g	0,01g	0,01g
	prévalence	91,7%	82,3%	73,0%	90,2%	68,9%	23,0%	19,3%	20,5%	13,2%
Préparation à base de viande hachée crue de poulet N	n								79	84
	Quantité								25g	25g
	prévalence								49,4%	47,6%

Tableau 1 : Prévalence de *Campylobacter* dans les carcasses, foies, filets et préparations de poulet ainsi que les carcasses de poules en Belgique de 1997 à 2003 (n : nombre d'échantillons analysés).

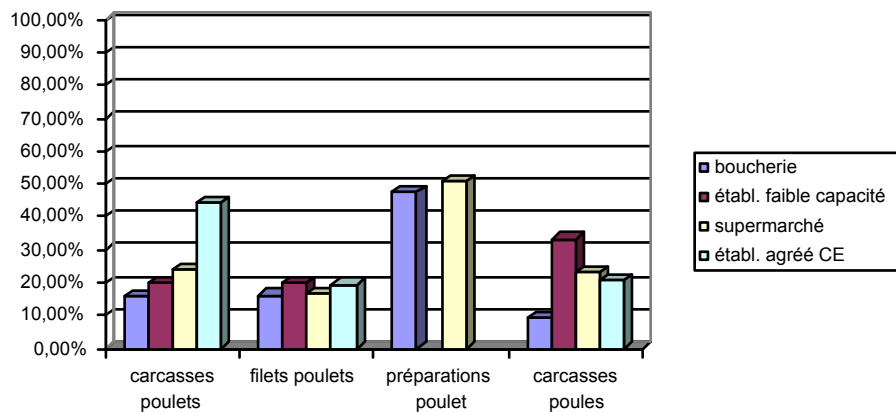


Figure 2 : Prévalence de *Campylobacter* dans les carcasses de poulets (0,01g), les filets de poulets (1g), les préparations de poulets (25g) et les carcasses de poules (0,01g) en Belgique en fonction du lieu de prélèvement (établissements agréés, de faible capacité, grandes surfaces et boucheries) en 2002.

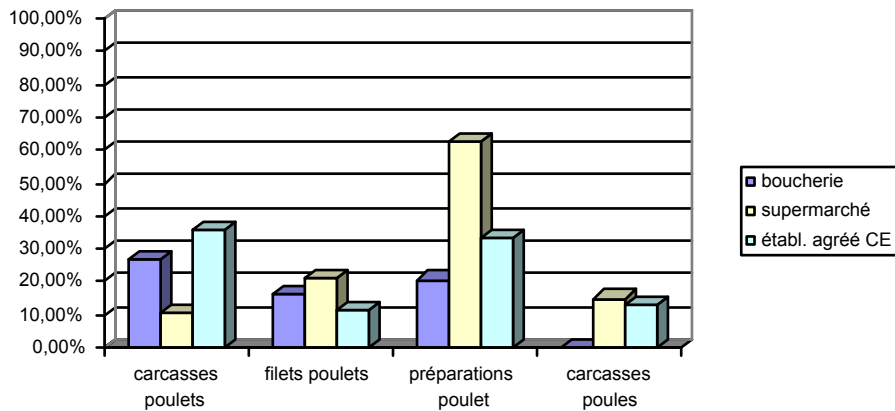


Figure 3 : Prévalence de *Campylobacter* dans les carcasses de poulets (0,01g), les filets de poulets (1g), les préparations de poulets (25g) et les carcasses de poules (0,01g) en Belgique en fonction du lieu de prélèvement (établissements agréés, de faible capacité, grandes surfaces et boucheries) en 2003 (partiel).

En ce qui concerne les carcasses et les découpes de poulets et poules analysés entre 1997 et 1999, la mise en évidence de *Campylobacter* a été effectuée sur 3 ou 4 prises d'échantillon de taille différente : 25g, 1g, 0,1g et/ou 0,01g. Considérant que le pourcentage d'échantillons avec absence de *Campylobacter* dans 25g correspond au pourcentage d'échantillons contenant moins d'une cfu/25g, que le pourcentage d'échantillons contenant entre 1 et 24 cfu/25g correspond à la différence entre la prévalence de *Campylobacter* dans 25g et 1g, et ainsi de suite, la figure 4 a été réalisée. Celle-ci présente une estimation semi-quantitative du niveau de *Campylobacter* dans la volaille. La charge en *Campylobacter* est importante dans les carcasses de poulets et poules et est plus faible dans les filets de poulets.

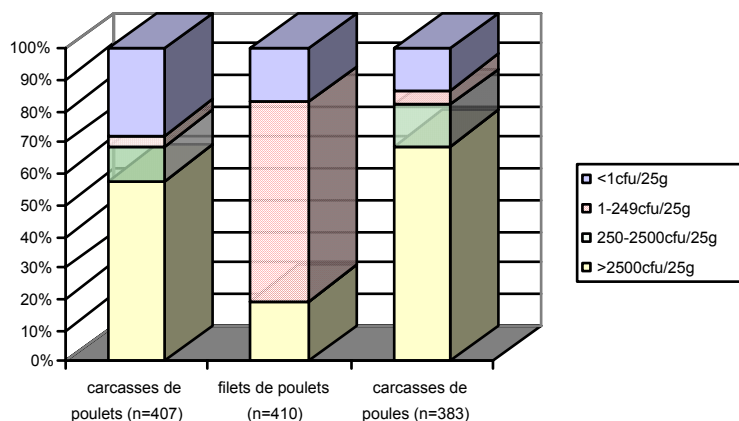


Figure 4 : Estimation du niveau de contamination des carcasses et filets de poulets ainsi que des carcasses de poules par *Campylobacter* sur base des résultats cumulés des plans de surveillance effectués en Belgique en 1997, 1998 et 1999 (n : nombre d'échantillons analysés).

Des données similaires peuvent être établies en se basant sur les plans de surveillance 2002 de l'IEV et de l'Inspection Générale des Denrées Alimentaires - IGDA (tableau 2). A partir de ces données, une estimation semi-quantitative peut être établie (figure 4). Ces résultats sont cependant à interpréter avec circonspection car les résultats obtenus par les deux plans ne sont pas identiques, les prélèvements secondaires n'ont pas été effectués aléatoirement (ciblage des entreprises à problèmes) et le nombre d'échantillons secondaires est très limité..

Etude réalisée par	Recherche de <i>Campylobacter</i> dans	Nombre d'échantillons	Prévalence
IEV	25g	79	49,4%
IGDA	25g	210	26,2%
IGDA (prélèvement secondaire après positif dans 25 g)	0,01g	15	26,7%

Tableau 2 : Prévalence de *Campylobacter* dans préparations de poulet dans le cadre des études ponctuelles réalisées en 2002 par l'IEV et l'IGDA.

En compilant grossièrement les résultats du tableau 2 et sans possibilité de connaître l'intervalle de confiance sur les résultats, on peut proposer une estimation du niveau de contamination des préparations de viande de poulet telle que représentée à la figure 5.

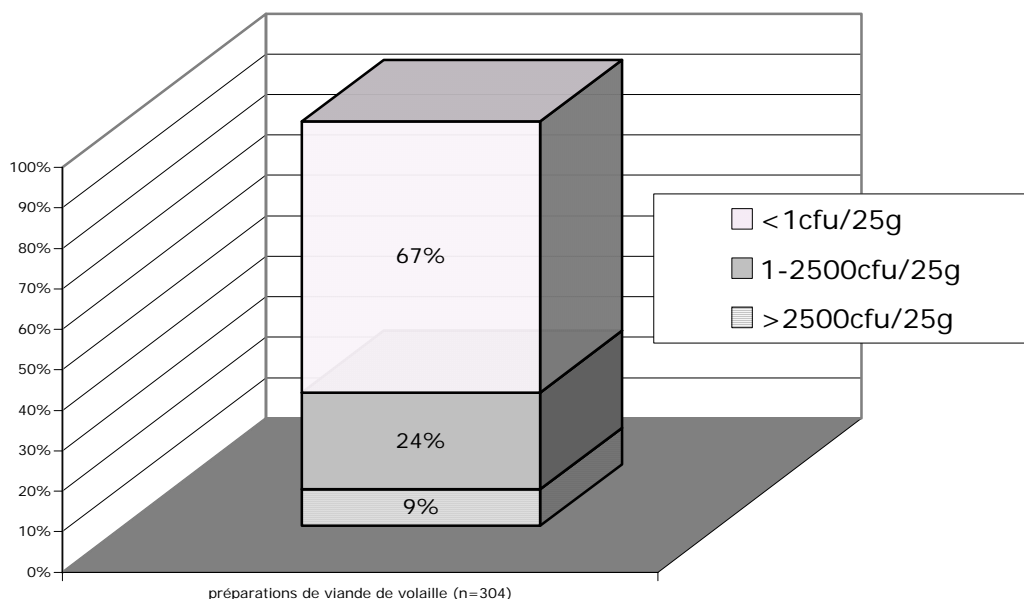


Figure 5 : Estimation du niveau de contamination des préparations à base de viande hachée de volaille par *Campylobacter* sur base des résultats cumulés des plans de surveillance effectués en Belgique en 2002 par l'IGDA et l'IEV (n : nombre d'échantillons analysés).

iii. Conclusions

A court terme, il ne faut pas s'attendre à ce que le consommateur puisse acheter de la viande de poulet exempte de *Campylobacter spp.* Si les mesures d'hygiène mises en œuvre à la ferme produisent leur effet, elles n'offrent toutefois pas une garantie totale. De plus, elles sont difficiles à maintenir dans le temps. Des mesures telles que la vaccination, l'exclusion compétitive et l'utilisation de probiotiques ne constituent pas non plus une solution radicale. Avec la technologie actuelle d'abattage, une réduction drastique de la contamination par *Campylobacter* n'est pas non plus possible. Une étude portant sur les méthodes de décontamination utilisables et autorisées légalement peut éventuellement constituer une option.

Des données compilées, il résulte que :

- La Belgique se situe parmi les pays de l'Union européenne qui enregistrent la plus haute prévalence de *Campylobacter* dans la filière des poulets de chair.
- A l'encontre des autres pays, aucune amélioration significative n'a été observée ces dernières années.
- Les préparations de viande hachée de volaille sont très souvent contaminées par *Campylobacter* (67 %) mais les niveaux de contamination sont en grande partie inconnus. On peut estimer que 9 % des productions sont contaminées avec plus de 100 *Campylobacter* par gramme.

Les carcasses entières sont plus contaminées que les produits transformés. En effet, la peau est principale source de contamination.

En ce qui concerne la procédure d'évaluation du niveau de contamination, il apparaît que de nombreuses hypothèses ont dû être prises en compte. De plus, les données chiffrées commentées concernent uniquement la distribution (origine des échantillons).

Il sera donc nécessaire de définir une méthodologie pour transformer les données de prévalence en distribution de niveau de contamination.

Des données au sujet des pourcentages de contamination (qualitatives) et du niveau de contamination (quantitatives) à l'échelon de la vente au détail sont nécessaires. Comparativement à *Salmonella*, les *Campylobacter* se retrouvent en quantité élevée (> 100 cfu/g) dans les produits frais. Des analyses de risque quantitatives, il ressort que les quantités de *Campylobacter* présents par carcasse jouent un rôle plus important dans la transmission de l'agent pathogène que la simple présence de l'agent pathogène sur l'aliment. Il s'avère donc nécessaire de définir quantitativement une valeur guide microbiologique qui permettra de réduire le nombre de *Campylobacter* présents par carcasse ou gramme de produit plutôt que d'imposer l'absence totale par carcasse ou 25g..

c. Données de consommation

Habitudes de consommation (B.Horion, communication personnelle)

Il n'existe pas de données relatives à la consommation des produits visés dans la présente étude. Une vaste étude de consommation est en cours mais les données ne seront disponibles qu'en 2006.

Une autre voie pour évaluer la consommation de ces produits est d'utiliser les données provenant d'enquêtes sur les achats des consommateurs belges. Des résultats des enquêtes réalisées auprès d'un panel de +/- 3.000 consommateurs, il ressort les données suivantes pour l'année 2003 :

Tableau 3 : Achats des consommateurs belges en 2003; échantillonnage de +/- 3000 consommateurs

Produits	Volume total estimé (kg/an/habitant)
Préparations à base de viande	16
Préparations à base de viande de volaille et de dinde	0,90
Poulets frais (à rôti et en morceaux)	9

Les produits visés par la présente étude tombent dans la catégorie « Préparations à base de viande de volaille et de dinde ». Le volume d'achat de ces produits correspond à environ 5,5 % du total des préparations à base de viande. Ce volume est en augmentation de +/- 10 % chaque année depuis 2002. Les données d'achats relatives aux poulets sont données à titre de comparaison.

Préparation et manipulation du poulet au stade de la consommation.

Chez le consommateur, au cours de la préparation du repas, les voies d'exposition à *Campylobacter* sont les suivantes:

- contamination directe à partir de la viande de poulet à tout autre produit alimentaire destiné à être consommé cru (ne subissant pas de cuisson subséquente avant d'être ingéré).
- contamination indirecte via des surfaces contaminées par la viande de poulet sur lesquelles ont été placés des produits cuits ou la nourriture prête à être consommée.
- contamination directe des mains et ingestion subséquente.
- cuisson insuffisante.

A ce stade, il y a un risque réel de contamination et de survie avant une potentielle congélation ou cuisson (*Preliminary Report of the Joint FAO/WHO workgroup on Risk Assessment of Campylobacter in broiler chickens 2002*).

La contamination croisée d'un repas à cause de procédures non sécurisées de manipulation de la nourriture doit être étudiée.

L'estimation du risque d'infection par contamination croisée via les mains ou les ustensiles est

hasardeuse parce que les données disponibles sont limitées. Des informations sont disponibles quant à la présence d'une contamination sur diverses surfaces à la suite d'activités préparatoires, mais peu d'informations sont disponibles en ce qui concerne le degré de contamination (quantités de *Campylobacter* transférées à partir et sur des surfaces pendant la préparation du poulet et sur la survie de ces cellules sur ces surfaces). Une description d'un modèle d'égouttage et la description d'un modèle de transfert de contact existent.

La survie de *Campylobacter* due à une cuisson insuffisante du poulet

L'objectif du modèle décrit ici est de découvrir les conditions dans lesquelles les *Campylobacter* peuvent survivre à une cuisson insuffisante. Une modélisation peut aider en fournissant des explications pour les réductions logarithmiques relativement grandes liées à la cuisson. Elle donne aussi des explications alternatives sur les moyens par lesquels *Campylobacter* pourrait survivre à un traitement thermique par ailleurs complet (par exemple les zones thermiquement protégées, comme les fissures, les poches d'air ou en profondeur dans la masse de la carcasse). On a supposé qu'approximativement 5 à 15% des poulets préparés à la maison seraient préparés de telle manière qu'ils permettent à une certaine proportion de cellules *C. jejuni* d'avoir une chance de survie. Pour ces 5 à 15% des poulets insuffisamment cuits, on considère que 10 à 20% des cellules se trouvant sur ces poulets ont une possibilité de survie (telle que dictée par les limites de destruction thermique en raison des combinaisons temps/température "des zones protégées").

Le niveau de contamination du poulet congelé se situerait nettement plus bas que celui des produits frais. *Campylobacter* fait preuve d'une bonne capacité de survie aux températures de réfrigération (4°C). Certaines souches sont souvent plus persistantes, probablement suite à l'adaptation au "stress environnant". A température ambiante, on assisterait à une extinction plus rapide. Une croissance de *Campylobacter* n'est possible qu'à des températures supérieures à 32°C. Une réfrigération réduit le nombre de *Campylobacter*, mais de faibles niveaux de contamination restent présents. La meilleure survie dans les produits frais avec peau s'explique du fait que, dans ces produits, *Campylobacter* est enfermé au cours de la plumaison dans les follicules plumifères et est ainsi mieux protégé contre le stress causé par exemple par la déshydratation, la congélation ou l'oxygénation (les facteurs défavorables les plus inactivants susceptibles d'exercer une influence sur la survie de la bactérie). Il n'est toutefois pas établi clairement dans quelle mesure ces *Campylobacter* qui sont enfermés dans les follicules peuvent contribuer à la contamination croisée. Étant donné la sensibilité de *Campylobacter* à la déshydratation (l'activité de l'eau minimale est de 0,987, maximum 1,5% NaCl), une étude des possibilités de décontamination des carcasses devrait éventuellement s'orienter dans cette direction.

Étant donné qu'il est difficile de prévenir la contamination des produits à base de poulet par *Campylobacter*, il ne reste pour l'instant que le traitement par la chaleur comme mesure d'élimination effective (les valeurs de réduction décimales sont 0,21 - 2,25 minutes à 55-60°C). Est-il concevable que des produits à base de poulet soient mis sur le marché après avoir subi un court traitement par la chaleur, traitement au cours duquel les agents pathogènes Gram-négatifs ont été tués, et sans qu'il n'ait été porté atteinte à la qualité ? Il doit bien entendu être procédé à un traitement par la chaleur au cours de la préparation par le consommateur. Une bonne information du consommateur est nécessaire. La prévention de la contamination croisée dans la cuisine constitue une question prioritaire importante.

V. Caractérisation du risque

I APPROCHE DETERMINISTE

Les calculs présentés dans la suite du document ne tiennent pas compte des distributions. L'analyse a été effectuée sur base des valeurs moyennes et d'un certain nombre de postulats.

On part d'un hamburger de poulet de **100g** d'un diamètre de 10 cm ou d'une saucisse de poulet de 100g et d'un diamètre de 3 cm pour 14 cm de long.

On prend un niveau de contamination initial de 100 *Campylobacter* par gramme et la répartition des bactéries est uniforme dans la masse de viande ; le produit de 100 g contient donc 10.000 cellules bactériennes (en effet, il s'agit de viande hachée).

On suppose que, durant la conservation du produit, il ne se produit ni croissance, ni disparition du pathogène ; en effet, la croissance n'est possible qu'à des températures > 32°C et *Campylobacter* présente une bonne survie dans des conditions fraîches et humides.

La transmission de *Campylobacter* par l'intermédiaire de préparations de volaille peut se faire de deux manières: par contamination croisée ou par sous-cuisson de la préparation de volaille. Les deux voies sont prises en compte.

1) Par contamination croisée

Seules les cellules se trouvant à la surface externe du produit (hamburger ou saucisse) peuvent provoquer une contamination croisée.

La surface de notre hamburger est de 78,5 cm² (égale à πR^2). On postule que la transmission provient des cellules situées sur 1 mm d'épaisseur des surfaces inférieure et supérieure : 78,5 cm² x 0,2 cm correspond à 15,7 cm³ ou environ 15 g de viande.

En faisant un calcul similaire, la surface de contact de la saucisse correspond à 12,75 g, valeur arrondie à 15 g. (la surface de contact d'une saucisse de poulet est supposée être la couche extérieure sur une épaisseur de 0,1 cm et une longueur d'environ 14 cm (100 g si égal à 100 cm³ divisé par la surface du cercle, πR^2 , donc dans notre cas 7,07 cm²) ce qui revient à un volume de (πR^2 où R = 1,5 cm (soit 7,068) - πR^2 où R = 1,4cm (soit 6,157)) et cette différence (0,911) x 14 (longueur) est égale à 12,75 cm³ ou est supposée être de 12,75 g.).

La contamination croisée est donc possible à partir de cellules présentes dans 15 grammes de produit, ce qui correspond à 1500 cellules situées à la surface du produit..

Le calcul de la contamination croisée peut maintenant être effectué sur base du modèle décrit dans le « *Preliminary Report of the FAO/WHO on Risk Assessment of Campylobacter in Broiler Chickens-2002* » qui suppose la même distribution pour le transfert par contact tant pour la transmission de la denrée alimentaire contaminée vers la surface de contact/les mains qu'à partir de la surface de contact/les mains à nouveau vers une denrée alimentaire qui sera consommée directement sans cuisson ou traitement complémentaire. On la représente par une distribution LogPert avec un minimum de -6 (0,0001% transfert), une moyenne de -2 (1% transfert) et un maximum de -1 (10% transfert) et on suppose que la contamination croisée se produit dans 50% des cas.

En partant de 1500 cellules contaminant originellement le produit et en considérant une transmission moyenne de 1%, cela signifie que 15 cellules sont transmises à une surface de contact intermédiaire et que, 1% de ces 15 cellules sont à nouveau transmises vers la denrée alimentaire. Cela signifie que dans près de 1 cas sur 6 il y a transmission d'une cellule. Dans cette hypothèse, un maximum d'une cellule est ingérée lors de la consommation d'une denrée alimentaire ayant subi une contamination croisée.

Les courbes dose/réponse pour une cellule (en valeur log cela équivaut à 0) donnent lieu à une probabilité d'infection de 0% (utilisation de la *best fit curve*).

En d'autres termes, si la contamination du produit à base de volaille atteint au maximum un niveau de contamination de 100 cfu/g, la contamination croisée ne provoque pas d'infection.

Si le niveau de contamination atteint 1.000 cfu/g, cela donne lieu à 1 à 2 cellules en moyenne par unité consommée et la probabilité d'infection par contamination croisée reste de 0%.

Si le niveau de contamination atteint 10.000 cfu/g, cela donne lieu à 15 cellules en moyenne par unité consommée et la probabilité d'infection (si l'on utilise la *best fit curve*) par contamination croisée sera d'environ 5%.

2) Par sous-cuisson de la préparation de volaille contaminée

Dans ce cas, on suppose que les cellules contenues dans la préparation de volaille qui ont le plus de chances de survivre à une sous-cuisson se trouvent au centre du produit (hamburger ou saucisse). Prenons aussi les 15 g au centre, ceci signifie que 1.500 cellules (niveau de contamination 100/g) survivent potentiellement. Les 15 g, sur 100 g au total de produit cuit, sont comparables à la valeur moyenne de 15% de « zones protégées », qui sont prises en compte pour une survie éventuelle dans le « *Preliminary Report of the FAO/WHO on Risk Assessment of Campylobacter in Broiler Chickens – 2002* » qui suppose une distribution de 10-20%.

Dans ce rapport, il est en outre mentionné que, si le produit est cuit jusqu'à 74°C à l'extérieur, ces « zones protégées » atteignent à l'intérieur une température de 60-65°C durant 0,5-1,5 minutes. Etant donné qu'il ressort de la littérature que la valeur D à 60°C dans la volaille est inférieure à une minute, on suppose que même dans ces « zones protégées » se produit une réduction d'une unité logarithmique. Au terme de la sous-cuisson, on obtient 150 cellules qui survivent.

En utilisant la *best fit curve* dose/réponse, les 150 cellules survivantes, donnent lieu à une probabilité d'infection de 21,5%(si l'on utilise la *best fit curve* dose/réponse).

En considérant un niveau de contamination de 1.000 cfu/g, cela donne 1500 cellules qui survivent à l'étape de sous-cuisson et une probabilité d'infection de 47,6%.

S'il s'agit d'un niveau de contamination de 10.000 cfu/g, cela donne 15.000 cellules qui ont potentiellement survécu à l'étape de sous-cuisson et une probabilité d'infection de 67,7%

S'il s'agit d'un niveau de contamination de 10 cfu/g, cela donne 15 cellules qui ont potentiellement survécu à l'étape de sous-cuisson et une probabilité d'infection de 5%.

S'il s'agit d'un niveau de contamination de 1 cfu/g, cela donne 1,5 cellule qui a potentiellement survécu à l'étape de sous-cuisson et une probabilité d'infection de 0%.

Conclusion de l'approche déterministe

Les calculs donnent lieu, pour les différents niveaux de contamination, à une probabilité d'infection différente selon les deux voies de contamination (tableau 4).

Tableau 4 : Probabilité d'infection pour les différents niveaux de contamination par *Campylobacter* des préparations de volaille à cuire à base de viande hachée de volaille.

Niveau de contamination	1/g	10/g	100/g	1.000/g	10.000/g
Probabilité d'infection					
Par contamination croisée	0%	0%	0%	0%	5%
Par sous-cuisson	0%	5,0%	21,5%	47,6%	67,7%
Pour le produit cru	< 21,5 %	< 47,6 %	< 67,7 %		

Pour cette approche déterministe, on est parti d'un certain nombre de suppositions et on n'a pas tenu compte de la variabilité. En ce qui concerne l'interprétation du tableau 4, les incertitudes suivantes doivent également être prises en compte, à savoir

- L'incertitude des courbes dose/réponse. Les données utilisables débutent pour une contamination de 1.000 cellules et 500 cellules peuvent éventuellement provoquer une infection. Notre analyse se base sur une charge nettement inférieure de 150 ou 15 cellules par portion. En outre, il est fait abstraction des groupes sensibles ou résistants ; la population

belge est considérée comme un groupe homogène. De plus, il existe une variation dans la pathogénicité des différentes souches de *Campylobacter jejuni*.

- Aucun chiffre n'est disponible concernant le niveau exact de contamination des préparations de volaille, seules 3 catégories sont connues: > 100/g, > 1/25g et absence dans 25 g.
- Aucun chiffre n'est disponible concernant la sous-cuisson des produits. Supposer une sous-cuisson de 15% peut être une surestimation (les préparations à base de volaille subissent peut-être moins souvent une sous-cuisson que les carcasses de volaille entières).

II APPROCHE PROBABILISTE

Outre l'approche déterministe, où l'on a travaillé uniquement sur base de valeurs moyennes, on a également utilisé l'approche probabiliste, qui prend en compte la variabilité au sein de la population. Pour ce faire, il a été tenu compte de la distribution des données connues pour la contamination croisée, la sous-cuisson et les courbes dose/réponse. Les calculs ont été effectués au moyen du programme @RISK (version 4.0, Palisade, UK) sur base d'une approche illustrée dans la figure 6.

Figure 6: Description du modèle utilisé dans le programme @RISK

Contamination interne	Contamination par <i>Campylobacter</i> (cfu/25g) Contamination par <i>Campylobacter</i> (cfu/100g)
Contamination croisée	<u>Le risque de voir apparaître une contamination croisée</u> Nombre aléatoire Si une contamination croisée apparaît 1, sinon 0 Nombre de cellules entrant en ligne de compte pour la transmission par portion Pourcentage de cellules transmises de la viande vers la surface Nombre de cellules se retrouvant à la surface Pourcentage de cellules transmises de la surface vers la viande Nombre de cellules qui se retrouvent sur la viande par portion en cas de contamination croisée Le nombre de cellules qui se retrouvent sur la portion par contamination croisée
Sous-cuisson	<u>Le risque qu'une proportion subisse une sous-cuisson.</u> Nombre aléatoire En cas de sous-cuisson 1, sans sous-cuisson 0. La proportion de cellules subissant une sous-cuisson et se trouvant dans les zones protégées Le nombre de cellules protégées en cas de sous-cuisson Le nombre de cellules survivantes dans la zone protégée en cas de sous-cuisson. Le nombre de cellules survivantes par portion
Contamination totale	Nombre total de cellules par portion de 100g.
Dose réponse	Risque d'infection.

Approche 1:

Comme *input* pour le programme @RISK, les données rassemblées lors des études de surveillance ont été utilisées, à savoir que 9% des échantillons présentent un niveau de contamination > 100/g, dans 24% des échantillons, *Campylobacter* est présent par 25 g mais à des niveaux < 100/g et dans 67% des échantillons examinés, *Campylobacter* n'est pas présent par 25 g. En raison du caractère semi quantitatif de ces données, les échantillons ne peuvent être répartis qu'en 3 catégories, à savoir, catégorie 1 (> 100/g) avec 9% des échantillons, catégorie 2 (> 1/25g et < 100/g) avec 24% des échantillons et catégorie 3 (< 1/25g) avec 67% des échantillons. Cette classification en 3 catégories a été utilisée comme *input* pour le programme @RISK en situation 1.

Situation 1: 9% d'échantillons > 100/g 24% > 1/25g et < 100/g et 67% < 1/25g

En premier lieu, les informations disponibles concernant les données de contamination par *Campylobacter* des produits de poulet, comme mentionné ci-dessus, ont été converties en probabilité cumulée de contamination (tableau 5).

Tableau 5 :

Conc (cfu/g)	conc (cfu/25g)	Prob cumul
0	0	0
0,04	1	67%
100	2500	91%
4.000	100.000	100%

Par ailleurs, un certain nombre d'autres situations ont été simulées comme *input* (pour le programme @RISK), à savoir :

Situation 2: 0% d'échantillons > 100/g	33% > 1/25g et < 100/g	et 67% < 1/25g
Situation 3: 0% d'échantillons > 100/g	9% > 10/g 24% > 1/25g et < 10/g	et 67% < 1/25g
Situation 4: 0% d'échantillons > 10/g	33% > 1/25g et < 10/g	et 67% < 1/25g
Situation 5: 0% d'échantillons > 10/g	9% > 1/g 24% > 1/25g et < 1/g	et 67% < 1/25g
Situation 6: 0% d'échantillons > 1/g	33% > 1/25g et < 1/g	et 67% < 1/25g

Les situations 1 à 6 ont été utilisées comme *input* du programme @RISK où, au moyen de ce logiciel, pour chaque situation, une distribution a été ajustée aux données d'*input* (les données d'*input* ont toujours été proposées comme probabilité cumulée de contamination comme présenté dans le tableau 5 pour la situation 1).

Ensuite, la distribution la plus adéquate a été utilisée comme *input* pour @RISK, où le programme a parcouru pour chaque situation 10.000 itérations. L'output généré est le risque d'infection par *Campylobacter* pour une population lorsque celle-ci consomme une préparation de volaille cuite. Il est proposé de manière cumulative. Dans ce cas p.ex., le percentile 25 donne le risque maximum d'infection pour 25% de la population. L'output des simulations par le programme @RISK pour les 6 situations est repris dans le tableau 6.

Tableau 6 : Risque cumulé de campylobactériose calculé par @RISK sur base de l'input en catégories de niveau de contamination par *Campylobacter* dans les préparations de volaille

	situation 1	situation 2	situation 3	situation 4	situation 5	situation 6
Minimum	3,13E-06	1,26E-07	4,48E-10	0,00E+00	-1,86E-08	2,37E-09
Maximum	6,67E-01	0,247495	5,70E-02	6,47E-02	3,37E-01	3,57E-02
Mean	3,16E-02	1,60E-02	3,97E-05	2,45E-04	4,23E-04	1,16E-04
Std Deviation	8,41E-02	4,66E-02	7,25E-04	2,14E-03	7,99E-03	5,85E-04
Variance	7,07E-03	2,18E-03	5,25E-07	4,59E-06	6,38E-05	3,43E-07
Skewness	3,25E+00	3,14E+00	61,57106	1,56E+01	3,19E+01	2,68E+01
Kurtosis	1,33E+01	11,60127	4318,497	3,19E+02	1,14E+03	1,41E+03
Errors Calculated	0,00E+00	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mode	1,07E-03	1,51E-03	2,73E-04	0,00E+00	2,08E-09	1,09E-05
5% Perc	1,75E-04	5,29E-05	6,54E-08	0,00E+00	8,20E-09	1,81E-07
10% Perc	3,49E-04	1,07E-04	1,26E-07	2,71E-14	1,90E-08	3,73E-07
15% Perc	5,63E-04	1,68E-04	1,93E-07	1,17E-12	3,54E-08	5,79E-07
20% Perc	7,87E-04	2,33E-04	2,65E-07	1,75E-11	5,29E-08	7,98E-07
25% Perc	1,05E-03	3,18E-04	3,48E-07	1,39E-10	7,78E-08	1,06E-06
30% Perc	1,32E-03	4,15E-04	4,34E-07	7,72E-10	1,12E-07	1,37E-06
35% Perc	1,64E-03	5,19E-04	5,32E-07	2,94E-09	1,53E-07	1,71E-06
40% Perc	2,02E-03	6,30E-04	6,43E-07	1,09E-08	2,09E-07	2,12E-06
45% Perc	2,49E-03	7,72E-04	7,62E-07	3,17E-08	2,84E-07	2,57E-06
50% Perc	3,05E-03	9,34E-04	9,02E-07	8,58E-08	4,01E-07	3,13E-06
55% Perc	3,68E-03	1,12E-03	1,07E-06	2,02E-07	5,47E-07	3,78E-06
60% Perc	4,48E-03	1,34E-03	1,26E-06	4,68E-07	7,97E-07	4,65E-06
65% Perc	5,53E-03	1,62E-03	1,49E-06	1,00E-06	1,17E-06	5,68E-06
70% Perc	6,84E-03	1,99E-03	1,79E-06	2,10E-06	1,89E-06	7,10E-06
75% Perc	8,77E-03	2,50E-03	2,18E-06	4,16E-06	3,26E-06	9,18E-06
80% Perc	1,21E-02	3,20E-03	2,72E-06	8,50E-06	6,86E-06	1,25E-05
85% Perc	1,91E-02	4,58E-03	3,84E-06	1,87E-05	1,65E-05	2,03E-05
90% Perc	9,08E-02	1,20E-02	1,52E-04	4,62E-05	4,66E-05	2,40E-04
95% Perc	0,256926	0,153001	2,15E-04	1,90E-04	2,15E-04	7,16E-04

Il ressort du tableau 6 que la modification de la situation 1 en situation 3 ou 4 signifie une diminution importante du risque pour la population. Ceci implique, par analogie avec le tableau 4 de l'approche déterministe, que, si l'on peut limiter le niveau de contamination par *Campylobacter* dans les produits de volaille à cuire à environ 10/g au lieu de 100/g, ceci aurait pour conséquence une diminution significative du risque. Atteindre un niveau de contamination de l'ordre de 1/g (situations 5 et 6) n'entraînerait pas vraiment une diminution significative du risque.

Remarque 1 : Les valeurs reprises dans le tableau 6 sont des estimations sujettes à une certaine incertitude et la marge dans laquelle chacune de ces valeurs varie peut encore être limitée en réalisant des itérations supplémentaires, ce qui exige l'emploi d'ordinateurs puissants.

Remarque 2 : Les valeurs reprises dans le tableau 6 ne peuvent être interprétées comme des valeurs absolues du risque vu les suppositions faites dans l'approche du modèle @RISK et les incertitudes de ces suppositions comme mentionné déjà dans la conclusion de l'approche déterministe. Ces valeurs doivent donc être considérées de manière relative afin de comparer relativement entre elles les différentes situations.

Approche 2 :

Pour cette démarche, on a ajusté, aux 3 points de mesure (qui déterminent les limites des catégories), une distribution log-normale, qui a été utilisée comme *input* du programme @RISK. Ceci est en opposition avec la démarche décrite dans l'approche 1 où la distribution choisie est celle qui correspond le mieux mathématiquement aux données de contamination.

Cette distribution log-normale présentait les caractéristiques suivantes (tableau 7) : $\mu = -1,4$ et $\sigma = 3,33$ en ce qui concerne la situation 1. A partir de cette situation ont été déduites les situations 2, 3, 4, 5 et 6. Ces situations conservent une même valeur moyenne, mais rétrécissent de plus en plus la forme de cloche de la distribution log-normale. Une autre approche est de conserver la forme de cloche de la courbe initiale ($\sigma = 3,33$) mais de diminuer la moyenne p.ex. d'1 unité log vers $\mu = -2,4$; cela correspond à la situation 7 du tableau 7. Les situations 8 et 9 correspondent alors à un nouveau rétrécissement de la forme de cloche de la distribution log-normale de la situation 7 (avec taux de contamination moyen plus bas) à savoir distribution log-normale définie comme étant respectivement ($\mu = -2,4$ et $\sigma = 2,83$) et ($\mu = -2,4$ et $\sigma = 2,33$).

Tableau 7: Caractéristiques des distributions log-normales testées.

	Situation1	Situation 2	Situation 3	Sit. 4	Sit. 5	Sit. 6	Sit. 7	Sit. 8	Sit. 9
μ de l'input	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-2,4	-2,4	-2,4
Dev st de l'input	3,33	2,83	2,33	2,08	1,83	1,68	3,33	2,83	2,33

Afin concrétiser ces développements, il est indiqué dans le tableau 8 comment les caractéristiques des distributions log-normales se traduisent en distributions des différents niveaux de contamination par *Campylobacter*.

Tableau 8 : Pourcentage d'échantillons dont le niveau de contamination est supérieur au niveau de contamination indiqué pour les différentes situations

>cfu/g	Situation1	Situation2	Situation3	Situation4	Situation5	Situation6	Situation7	Situat. 8	Situat. 9
0,001	52,39	52,81	53,41	53,82	54,35	54,73	40,5	38,86	36,56
0,01	40,49	38,86	36,56	35,02	33,1	31,69	29,44	26,23	21,99
0,1	29,41	26,23	21,99	19,34	16,27	14,2	20,02	16,12	11,47
1	19,99	16,12	11,47	8,91	6,3	4,78	12,69	8,97	5,15
10	12,66	8,97	5,15	3,09	1,89	1,19	7,48	4,5	1,97
100	7,45	4,5	1,97	1,05	0,44	0,21	4,08	2,02	0,64
1.000	4,06	2,02	0,64	0,27	0,08	0,03	2,06	0,82	0,18
10.000	2,05	0,82	0,18	0,05	0,01	0	0,96	0,29	0,04
100.000	0,95	0,29	0,04	0,01	0	0	0,41	0,09	0,01
1.000.000	0,41	0,09	0,01	0	0	0	0,16	0,03	0

Les situations 1, 2, 3, 4, 5 et 6 gardent toutes un même niveau médian de contamination, à savoir que 50% des échantillons ont un niveau de contamination de >0,0016 cfu/g. Alors que pour la situation 8, il

ressort de la distribution log-normale que 7,45% des échantillons ont un niveau de contamination de > 100 cfu/g, la stratégie dans les situations 2, 3, 4, 5 et 6 permet de limiter le nombre d'échantillons dépassant la limite de >100/g à respectivement 4,5%, 1,97%, 1,05%, 0,44% et 0,21%. Dans les situations 2 à 6, on a donc tenté de limiter le pourcentage d'échantillons à niveaux de contamination élevés. Dans la situation 7, on a opté pour une diminution de la moyenne de par ex. 1 unité log pour atteindre dans ce cas 0,00016 cfu/g. Dans ce cas, le nombre d'échantillons dépassant la limite de >100/g est limité, à savoir à 4,08%. Les situations 8 et 9 correspondent à nouveau à une réduction des niveaux de contamination les plus élevés de la situation 7 à un taux de contamination moyen plus faible.

Les distributions log-normales des situations 1 à 9 ont été utilisées comme *input* du programme @RISK où le programme a parcouru pour chacune des situations 10.000 itérations et a généré comme *output* quel est le risque d'infection par *Campylobacter jejuni* pour une population lorsque celle-ci consomme une portion de préparation de volaille cuite et présenté de manière cumulative pour un pourcentage donné de la population. L'output de ces dernières itérations par le programme @RISK est repris dans le tableau 9.

Tableau 9: Risque cumulé de campylobactériose simulé par @RISK pour les différentes situations (différentes distributions log-normales du niveau de contamination par *Campylobacter jejuni* dans les préparations de volaille comme *input*).

	Situation1	Situation2	Situation3	Situation4	Situation5	Situation6	situation7	Situation8	Situation9
Minimum	0	0	0,00E+00	0	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0
Maximum	0,94188	0,930931	8,61E-01	0,879173	0,391656	0,444982	9,31E-01	0,804851	0,695038
Mean	1,33E-02	6,77E-03	2,22E-03	1,32E-03	4,49E-04	2,91E-04	6,54E-03	2,25E-03	7,46E-04
Std Deviation	0,07972	5,21E-02	2,70E-02	2,01E-02	8,47E-03	7,08E-03	5,32E-02	2,77E-02	1,48E-02
Variance	6,35E-03	2,72E-03	7,27E-04	4,06E-04	7,17E-05	5,01E-05	2,84E-03	7,68E-04	2,20E-04
Skewness	7,6247	10,53908	17,65234	24,2089	32,12661	44,43545	10,82819	1,83E+01	3,46E+01
Kurtosis	65,8078	129,6388	363,4804	721,221	1191,452	2305,92	134,4554	391,87	1401,135
Mode	0	0,00E+00	0,00E+00	0	3,43E-11	6,42E-12	0,00E+00	0	0
5% Perc	1,05E-13	6,02E-13	3,39E-12	8,43E-12	1,85E-11	3,46E-11	8,66E-15	4,95E-14	4,03E-13
10% Perc	1,82E-12	6,84E-12	2,73E-11	5,64E-11	1,11E-10	1,65E-10	1,60E-13	6,42E-13	2,94E-12
15% Perc	1,12E-11	3,58E-11	1,11E-10	2,08E-10	3,40E-10	4,85E-10	1,04E-12	3,49E-12	1,17E-11
20% Perc	5,42E-11	1,44E-10	3,49E-10	5,33E-10	8,37E-10	1,07E-09	5,07E-12	1,40E-11	3,36E-11
25% Perc	1,90E-10	4,53E-10	9,20E-10	1,25E-09	1,86E-09	2,14E-09	2,04E-11	4,51E-11	8,21E-11
30% Perc	6,74E-10	1,22E-09	2,15E-09	2,83E-09	3,68E-09	4,10E-09	6,40E-11	1,24E-10	2,04E-10
35% Perc	2,05E-09	3,10E-09	5,19E-09	5,90E-09	6,80E-09	7,47E-09	1,93E-10	3,07E-10	4,31E-10
40% Perc	5,95E-09	7,86E-09	1,05E-08	1,17E-08	1,28E-08	1,29E-08	5,76E-10	7,43E-10	9,54E-10
45% Perc	1,54E-08	1,90E-08	2,12E-08	2,15E-08	2,30E-08	2,30E-08	1,56E-09	1,81E-09	2,04E-09
50% Perc	4,17E-08	4,39E-08	4,41E-08	4,29E-08	4,09E-08	4,04E-08	4,46E-09	4,24E-09	4,04E-09
55% Perc	1,17E-07	1,00E-07	9,00E-08	8,34E-08	7,32E-08	6,96E-08	1,12E-08	1,10E-08	8,10E-09
60% Perc	3,28E-07	2,29E-07	1,95E-07	1,65E-07	1,28E-07	1,24E-07	3,18E-08	2,54E-08	1,67E-08
65% Perc	9,52E-07	5,57E-07	3,95E-07	3,35E-07	2,40E-07	2,25E-07	9,66E-08	6,27E-08	3,60E-08
70% Perc	2,88E-06	1,58E-06	8,48E-07	6,78E-07	4,81E-07	4,05E-07	2,91E-07	1,57E-07	8,50E-08
75% Perc	9,28E-06	4,44E-06	2,06E-06	1,45E-06	9,79E-07	7,71E-07	9,55E-07	4,36E-07	2,03E-07
80% Perc	3,39E-05	1,45E-05	5,41E-06	3,57E-06	2,34E-06	1,68E-06	3,85E-06	1,41E-06	5,31E-07
85% Perc	1,55E-04	5,18E-05	1,65E-05	9,91E-06	6,25E-06	4,14E-06	1,79E-05	5,31E-06	1,74E-06
90% Perc	1,14E-03	2,70E-04	7,62E-05	3,43E-05	1,99E-05	1,39E-05	1,19E-04	2,72E-05	8,06E-06
95% Perc	2,16E-02	3,58E-03	6,27E-04	2,77E-04	1,31E-04	7,88E-05	2,11E-03	3,81E-04	6,48E-05

Sur base de l'approche 2, on peut déduire des calculs précités la synthèse suivante reprise dans le tableau 10.

Il existe différents paramètres pour comparer les différentes situations. Une possibilité est d'utiliser le risque d'infection et le risque maximum d'infection. Le risque moyen d'infection est supérieur à la moyenne (risque maximum d'infection pour le percentile 50) parce que, dans le calcul, le risque plus élevé d'infection d'un petit pourcentage de la population (à savoir le groupe de la population se trouvant dans l'extrémité droite de la distribution) a plus d'importance.

Tableau 10 : Analyse du risque d'infection calculé pour les situations 1, 3 et 5.

	Distribution normale du niveau de contamination (%)				Risque moyen	Risque maximum d'infection selon le pourcentage de la population			Risque maximum
	> 1/g	> 10/g	> 100/g	> 1.000/g		50% Perc.	75% Perc.	95% Perc.	
Situation 1	19,99	12,66	7,45	4,06	1,33E-02	4,17E-08	9,28E-6	2,16 E-02	0,942
Situation 3	11,47	5,15	1,97	0,64	2,22E-03 : 6	4,41E-08 idem	2,06E-06 : 5	6,27 E-04 : 35	0,861 : 1,1
Situation 5	6,3	1,89	0,44	0,08	4,49E-04 : 30	4,09E-08 idem	9,79E-07 : 10	1,31E-04 :165	0,392 : 2.4

Il est clair que le risque maximum d'infection pour environ la moitié de la population (percentile 50) est très bas (environ 4.0 E-08) et ne varie pas dans les différentes situations. Il est clair également que le risque maximum d'infection reste toujours élevé (0,392 à 0,942) c'est-à-dire qu'il y aura toujours un nombre très limité de personnes qui présentera un risque très élevé d'infection même si l'on modifie la situation.

Toutefois, pour la majeure partie de la population (percentile 75 et très clairement pour le percentile 95), le risque maximum d'infection diminue de manière importante. Il ressort de la comparaison de la situation 1 (situation actuelle) avec la situation 3 (forte limitation du niveau de contamination à > 1.000/g (<1%)) et avec la situation 5 (forte limitation du niveau de contamination à > 100/g (<1%)) que le risque d'infection diminue respectivement d'un facteur 5-35 et d'un facteur 10-165 pour une certaine proportion de la population.

Ceci montre que les niveaux de contamination élevés sont responsables d'un risque plus élevé d'infection pour la majorité de la population et que, si ces niveaux de contamination élevés diminuent, le risque d'infection diminuera également.

Il doit être clair que l'illustration chiffrée du risque d'infection reprise dans le tableau 6 pour le percentile 50, le Perc. 75 et le Perc. 95 indique le risque maximum d'infection par consommation et par personne pour ce groupe-là de la population mais ne tient pas compte des habitudes alimentaires du consommateur et des différences de sensibilité à l'infection pour les différents groupes de la population. Il s'agit toujours d'un risque maximum d'infection pour un percentile déterminé. Ceci signifie que la majorité de la population au sein de ce groupe présente un risque plus faible d'infection (en effet, au sein du groupe de 90% de la population, 75% ont un risque d'infection plus faible et 50% un risque d'infection encore plus faible).

Le fait qu'une meilleure maîtrise des niveaux de contamination plus élevés est synonyme d'amélioration de la situation au niveau de la santé publique s'exprime par une diminution du risque moyen d'infection (diminution de 6x entre la situation 1 et la situation 3 et diminution de 30 x entre la situation 1 et la situation 5). Cependant, dans chacune des situations, il subsiste dans la distribution un niveau de contamination très élevé possible, responsable du risque maximum élevé d'infection (0,392 à 0,942).

Les chiffres repris dans le tableau 10 ne doivent pas être considérés comme absolus, mais doivent être comparés de manière relative ; les rapports doivent plutôt être considérés comme une indication d'ordre de grandeur. Le modèle probabiliste obtenu au moyen de @Risk prend en compte, contrairement à l'approche déterministe, la variabilité du niveau de contamination, la contamination croisée, la sous-cuisson et la dose/réponse, mais pas les incertitudes présentes en ce qui concerne le déroulement exact de la distribution du niveau de contamination et de la dose/réponse. L'approche probabiliste permet toutefois de comparer différentes situations entre elles.

Dans les deux approches précitées (1 et 2) le modèle (figure 6 dans le point VI-II) a été simulé au moyen du programme @RISK (Version 4.0, Palisade, UK). En output, on a généré le risque d'infection par *Campylobacter* pour la population, lorsque celle-ci consomme une portion de préparation de volaille cuite. L'*output* a été présenté de manière cumulative et le percentile 25 indique le risque d'infection de 25% de la population.

On a choisi ensuite de présenter l'*output* de manière concrète. Pour ce faire, on a repris les situations 1, 3 et 5 conformément à l'approche 2 (distribution log-normale des données de contamination) avec une légère modification, à savoir que, dans la version optimisée, les données disponibles (les trois catégories) ont été converties en cfu/g, afin d'ajuster une distribution, et le logarithme naturel des données a été repris. Ensuite, une distribution normale a été ajustée aux données (ceci correspond à une distribution log-normale de x , en d'autres termes x est distribué de manière log-normale si $\ln x$ est distribué de manière normale). Ces modifications ont été appliquées afin d'obtenir dans @RISK une présentation plus claire des données.

Tableau 10b :

conc (cfu/25g)	conc (cfu/g)	ln(conc(cfu/g))	Prob cum
0			
1	0,04	-3,21887582	0,67
2.500	100	4,60517019	0,91
100.000	4000	8,29404964	1

Une distribution normale avec une moyenne de $-6,54$ et une déviation standard de $7,6652$ a été obtenue (figure 7 et 8).

Figure 7 : Représentation schématique du concept utilisé lors de la simulation du risque de *Campylobacter spp.* dans les préparations de viande à base de volaille au moyen de @RISK

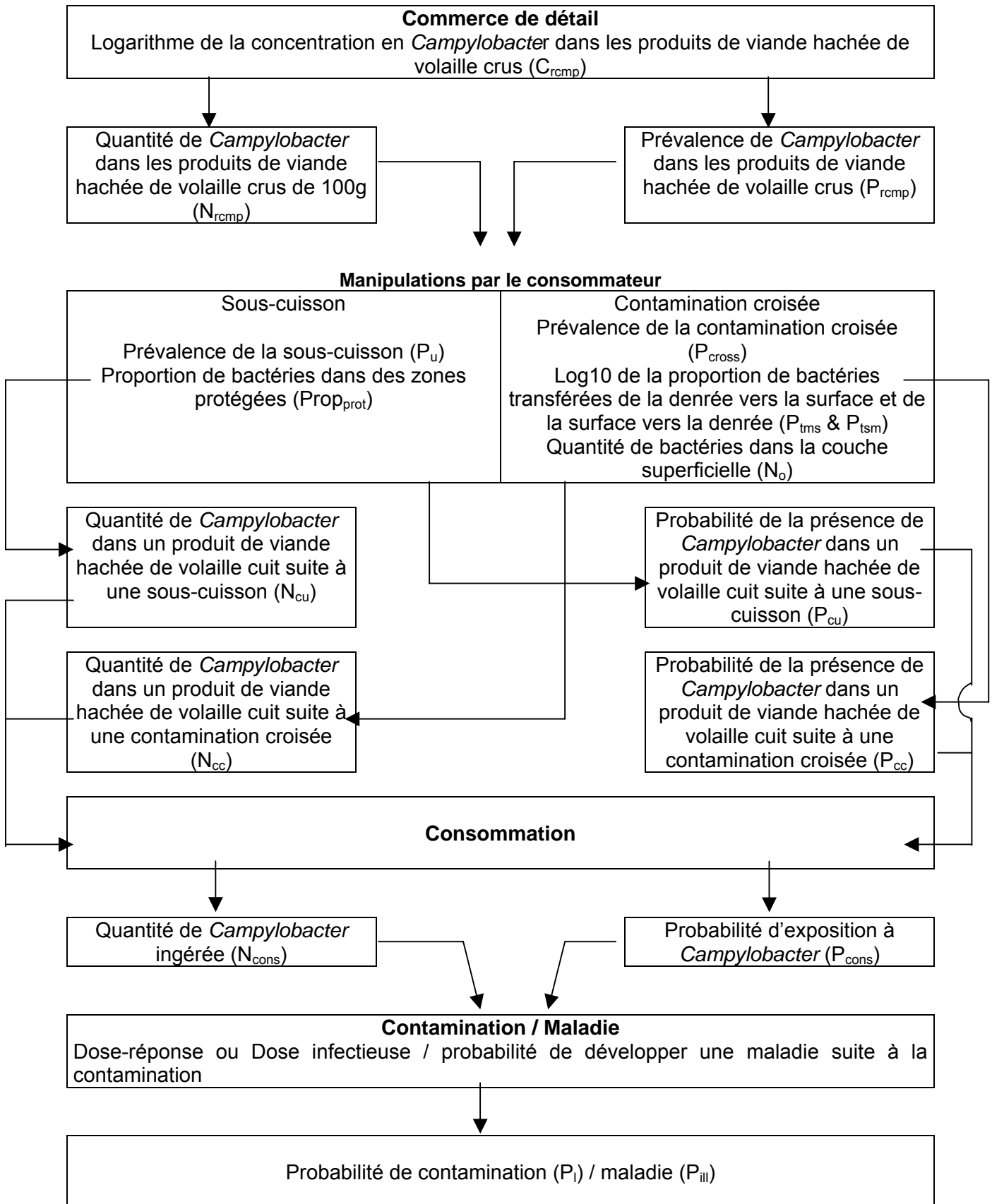
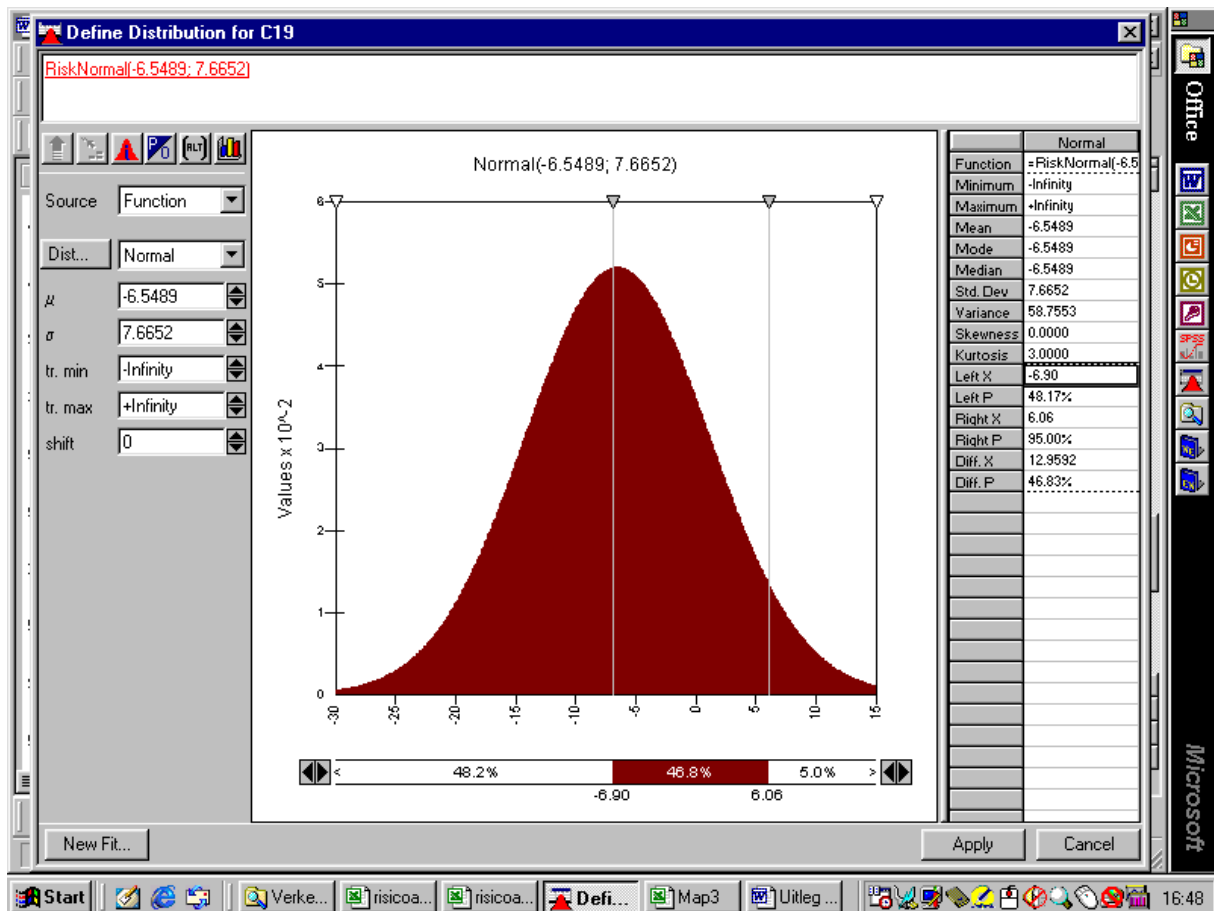


Figure 8 : Présentation de la distribution normale avec une moyenne de – 6,54 et une déviation standard de 7,6652 dans @RISK.



La prévalence de *Campylobacter* dans les préparations de viandes crues a été déduite par extrapolation graphique de la distribution utilisée. A partir de la distribution, on a déterminé le pourcentage de préparations avec plus de 1 cfu par 100g. Ceci correspond à un minimum d'une cellule par produit à base de viande hachée de volaille. Du pourcentage de ces produits comprenant entre 1/100 et 1/1.000 cfu/g, 10% contiennent une cellule. Du pourcentage de produits compris entre 1/1.000 et 1/10.000, 1% contient une cellule. Ainsi de suite. La prévalence de produits contaminés a été calculée comme étant la somme des percentiles ($>1/100$) + $0,1 \times$ percentile (entre $1/100$ et $1/1.000$) + $0,01 \times$ percentile (entre $1/1.000$ et $1/10.000$). Le pourcentage de produits contaminés contenant moins de 1 cfu par 10.000 g a été considéré comme négligeable.

La caractérisation du risque a été effectuée comme proposé dans le tableau 12 et illustré à la figure 6 avec la distribution normale obtenue comme *input* (ln cfu/g) pour les situations 1, 3 et 5. Comme mentionné plus haut, les situations 3 et 5 sont basées sur la situation 1, mais présentent une déviation standard plus petite.

En outre, le modèle optimisé a été combiné avec trois méthodes différentes décrites dans la littérature pour l'introduction de la dose/réponse dans la caractérisation du risque.

Méthode 1: Dose/réponse basée sur un document du Codex (méthode qui a déjà été utilisée dans les approches précédentes).

$$P_{inf} = 1 - (1 + N_{cons}/59.95)^{0.21}$$

Cette méthode est une approche probabiliste et reflète toujours la probabilité d'infection sur base du modèle Beta-Poisson décrit dans l'identification des dangers (N cons est le nombre de cellules de *Campylobacter* ingérées lors de la consommation d'une portion).

Méthode 2: Dose/réponse 2 basée sur Rosenquist et al., 2003

$$P_{inf} = 1 - (1 - P_i(1))^{N_{cons}}$$

Où $P_i(1)$ représente la probabilité d'infection par 1 cellule. Cette probabilité suit la distribution bêta avec $\alpha = 0,145$ et $\beta = 7,59$. La distribution bêta est basée sur les données originales du "human feeding trial" de Black et al. 1988 (dans Medema et al. 1996) sur lequel est également basé le modèle Beta-Poisson. $(1 - P_i(1))$ représente par conséquent la probabilité qu'aucune infection par 1 cellule ne se produise, mais étant donné que ce n'est pas 1 cellule qui est ingérée mais N_{cons} , ceci est porté à la puissance N_{cons} . $(1 - P_i(1))^{N_{cons}}$ est donc la probabilité qu'aucune infection ne se produise lors de la consommation de N_{cons} cellules. La probabilité d'infection par la consommation de N_{cons} cellules est, par conséquent, de $1 - (1 - P_i(1))^{N_{cons}}$.

Méthode 3: Dose/réponse 3 basée sur Oscar, 2004

Alors que pour les méthodes 1 et 2 au niveau de chaque itération (une itération peut être considérée comme étant la consommation d'une saucisse ou d'un hamburger de poulet) on a estimé la quantité de *Campylobacter* ingérés et on l'a ensuite ajoutée à la dose/réponse pour estimer la probabilité d'infection, pour la méthode 3, la quantité de *Campylobacter* ingérés a été comparée avec la dose infectieuse.

Étant donné que la dose infectieuse diffère d'un individu à l'autre, la dose infectieuse a été représentée par une distribution et non par une valeur fixe. La distribution utilisée était Pert (RiskPert(500; 800; 100.000.000)) basée sur les données originales du "human feeding trial" de Black et al. 1988 (dans Medema et al. 1996) sur lequel est également basé le modèle Beta-Poisson.

Tableau 11 : Résultats d'ingestion chez des volontaires avec la souche *Campylobacter jejuni* strain A3249 (Black et al., 1988).

Dose	Nombre de volontaires	Infected	Symptômes
8×10^2	10	5	1
8×10^3	10	6	1
9×10^4	13	11	6
8×10^5	11	8	1
1×10^6	19	15	2
1×10^8	5	5	0

Le rapport entre la dose ingérée et la dose infectieuse : N_{cons}/N_{inf} .

Si, dans une itération déterminée, le nombre de *Campylobacter* ingérés est supérieur à la dose infectieuse, l'infection se produira.

En d'autres termes, lors d'une itération, une personne présentant une certaine sensibilité est prise au hasard (*at random*) dans la population (cette sensibilité est représentée par la dose infectieuse qui est prise durant cette itération au hasard (*at random*) dans la distribution de la dose infectieuse). Cette personne achètera un produit de poulet (elle prend en d'autres termes un produit dans tout l'assortiment de produits de poulet, et celui-ci est caractérisé par un niveau de contamination initial pris au hasard (*at random*) dans la distribution du niveau de contamination des produits de poulet). Ensuite, elle le prépare et l'effet de cette préparation sur le nombre de *Campylobacter* présents est pris en compte et donne finalement le nombre de *Campylobacter* ingérés par cette personne. Si le nombre de *Campylobacter* ingérés est supérieur à la dose infectieuse pour cette personne, celle-ci sera infectée. Ce raisonnement est repris dans le modèle en calculant le rapport entre la dose ingérée et la dose infectieuse : N_{cons}/N_{inf} .

Si le rapport est supérieur ou égal à 1, l'infection apparaîtra alors. Si le rapport est inférieur à 1, aucune infection ne se produira.

Cependant, ce n'est qu'en cas de sous-cuisson et/ou de contamination croisée de préparations de viande dont le taux de contamination doit être suffisamment élevé (3 conditions qui, en fait, sont en soi indépendantes) que cette combinaison sera possible et qu'éventuellement une infection se produira effectivement.

Les résultats de la caractérisation du risque pour les 3 méthodes pour la dose/réponse sont reproduits dans le tableau 13. L'utilisation de 3 méthodes différentes pour prendre en compte la dose/réponse a généré différentes manières d'évaluation du risque et d'interprétation des résultats.

Pour les situations 1, 3 et 5 et chacune des trois méthodes différentes de dose/réponse, une caractérisation du risque a également été effectuée pour le cas où les préparations de viande à base de viande hachée de volailles seraient consommées crues. Les résultats sont repris dans le tableau 14.

Tableau 12: Le modèle mathématique utilisé lors de la simulation au moyen de @RISK pour la caractérisation du risque de *Campylobacter spp* dans les préparations de viande à base de volaille

Module	Variable	Description	Unit	Distribution/model
Retail	C_{rcmp}	Natural logarithm of concentration of <i>Campylobacter</i> in raw chicken meat products	Ln CFU/g	RiskNormal (μ, σ) Riskcumul(-18,4;8,29;{-3,22;4,61});{0,67;0,91})
	N_{rcmp}	Number of <i>Campylobacter</i> in a raw chicken meat product of 100g	CFU/100g	$\exp(C_{rcmp}) \times 100$
	P_{rcmp}	Prevalence of <i>Campylobacter</i> in raw chicken meat products	-	Fixed value depending on the distribution of C_{rcmp}
Undercooking	P_u	Prevalence of undercooking	-	Beta (17,93)
	O_u	Occurrence of undercooking	0 = no undercooking 1 = undercooking	If(aselect())> P_u ;0;1)
	$Prop_{prot}$	Proportion of cells in protected area	-	Risktriang(0.1;0.15;0.2)
	N_{prot}	Number of <i>Campylobacter</i> that are protected	CFU/100g	$N_{rcmp} \times Prop_{prot}$
	N_u	Number of <i>Campylobacter</i> that survive undercooking	CFU/100g	$N_{prot} \times 10\%$
	N_{cu}	Number of <i>Campylobacter</i> in a cooked chicken meat product due to undercooking	CFU/100g	If($O_u=0$;0; N_u)
	P_{cu}	Probability of <i>Campylobacter</i> in a chicken meat product due to undercooking	-	$P_{rcmp} \times P_u$
Cross contamination	P_{cross}	Prevalence of cross contamination	-	RiskPert(0.25;0.5;0.76)
	O_{cross}	Occurrence of cross contamination	0 = no cross contamination 1 = cross contamination	If(aselect())> P_{cross} ;0;1)
	$Prop_{tms}$	Log ₁₀ of the Proportion of transferred cells from meat to surface	-	RiskPert(-6;-2;-1)
	N_o	Number of cells in outside layer	CFU/100g	$N_{rcmp} \times 0.15$
	N_{tms}	Number of cells that are transferred from meat to surface	CFU/100g	$N_o \times \text{power}(10, Prop_{tms})$
	$Prop_{ism}$	Log ₁₀ of the Proportion of transferred cells from surface to meat	-	RiskPert(-6;-2;-1)

	N_{tsm}	Number of cells that are transferred from surface to meat	CFU/100g	N_{tms} power(10, Prop _{tms}) x
	N_{cc}	Number of <i>Campylobacter</i> in a cooked chicken meat product due to cross contamination	CFU/100g	If($O_{cross}=0;0;N_{tsm}$)
	P_{cc}	Probability of <i>Campylobacter</i> in a cooked chicken meat product due to cross contamination	-	$P_{rcmp} \times P_{cross}$
Consumption	N_{cons}	Number of <i>Campylobacter</i> that are consumed	CFU/100g	$N_{cu} + N_{cc}$
	P_{cons}	Propability of exposure	-	$P_{cu} + P_{cc} - P_{cu} \times P_{cc}$
Infection 1	$P_i(D)$	Probability of infection of dose	-	$1 - (1 + N_{cons}/59.95)^{0.21}$
	P_i	Probability of infection	-	$P_{cons} \times P_i(D)$
	$\mu(P_{im})$	Mean probability of infection	-	Riskmean(P_i)
	$P_{ill i}$	Probability of illness given infection	-	0.22
	P_{ill}	Probability of illness		$P_i \times P_{ill i}$
Infection 2	$P_i(1)$	Probability of infection of 1 cell	-	RiskBeta(0.21;59.95)
	P_i	Probability of infection	-	$1 - (1 - P_i(1))^{N_{cons}}$
	$P_{ill i}$	Probability of illness given infection	-	0.22
	P_{ill}	Probability of illness		$P_i \times P_{ill i}$
Infection 3	N_{inf}	Infective dose	CFU	RiskPert(500; 800; 100.000.000)
	R_i	Ratio of ingested dose and infective dose >1: infection <1: no infection	-	N_{cons} / N_{inf}
	$P_{ill i}$	Probability of illness given infection	-	RiskDiscrete({0;1}; {78;22})
	R_{ill}	Ratio of ingested dose and infective dose, when illness can occur >1: illness <1: no illness		If($P_{ill i}=1; R_i;0$)

Dans les tableaux 13 et 14, une distinction est chaque fois faite entre le risque d'infection (présence de *Campylobacter* dans les fèces) et le risque de développer la maladie après infection (la manifestation effective de symptômes de campylobactériose). Cette distinction a été introduite parce que la courbe dose/réponse utilisée provient d'une étude sur volontaires (Black et al. 1988 dans Medema et al. 1996) dans laquelle il a été démontré que la dose est effectivement couplée à l'infection mais que, après infection, les volontaires n'ont pas toujours développé la maladie et qu'il n'y avait en outre pas de relation linéaire entre la dose et le développement de la maladie. Par conséquent, la courbe dose/réponse a été établie pour l'infection. Cependant, si l'on prend en compte tous les résultats de cette étude sur volontaires, le risque de développer la maladie après ingestion de la dose infectieuse était de 22%. C'est la raison pour laquelle l'infection a été séparée du développement de la maladie (symptômes).

Un résumé des résultats des tableaux 13 et 14 est repris dans le tableau 15.

La première approche (Dose-Réponse 1) donne (tableaux 6, 9 et 10), au moyen du modèle préliminaire @RISK, le risque moyen d'infection, le risque minimum d'infection et le risque maximum d'infection pour un percentile déterminé de la population et doit être interprété comme mentionné déjà pour le tableau 10. On a constaté une nouvelle fois que, en cas de meilleure maîtrise du niveau de contamination avec limitation de la présence de nombres importants de *Campylobacter* (>1.000/g, Avis CSH Campylobacter volaille 7947

>100/g, >10/g), il se produit une diminution du risque moyen d'infection (3,5 à 15x) et du risque maximum d'infection de 95% de la population (9 à 29x). Il est clair également que, si les préparations de viande à base de viande hachée de volaille sont consommées crues quelle que soit la situation (donc indépendamment de la distribution du niveau de contamination), tant le risque moyen d'infection (environ 1/100 à 5/100) que le risque maximum d'infection de 95% de la population (environ 3/10 à 8/100) est important. Comme on s'y attendait, le risque, pour toutes les situations, est beaucoup plus élevé que le risque d'infection lorsque la préparation de viande est cuite (dans le cas des volailles cuites en situation 5, le risque moyen d'infection est d'environ 1/10.000 et le risque maximum d'infection de 95% de la population est d'environ 2/100.000).

Tableau 13 : Caractérisation du risque par @RISK conformément au schéma du tableau 12 et de la figure 7 avec introduction de trois méthodes pour la description de la dose/réponse

Situation 1 4% > 1.000/g 7.5% > 100/g	X	Minimum X	Mean X	Maximum X	Supposons X =	Perc.	Interprétation
Dose-Réponse 1	P infection	0	2,28E-03	2,53E-01	5,71E-04	95%	Risque maximum d'infection pour 95% de la population est d'environ 6/10.000 (0,000577)
	Pmaladie/symptômes (22%)	0	5,01E-04	5,57E-02	1,26E-04	95%	
Dose-Réponse2	P infection	0	9,78E-03	1	1	99,70%	0.3% de la population a 100% de risque d'infection 0% de la population a, avec une certitude de 100%, un risque de maladie
	Pmaladie/symptômes (22%)	0	2,15E-03	0,22	1	100%	
Dose-Réponse 3	Dose ingérée/dose infectieuse	0	8,68E-03	62,15	1	99,96%	0.04% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse 0.01% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse et tombera malade
	Dose ingérée/dose infectieuse	0	4,70E-04	4,39	1	99,99%	
	Si la maladie/les symptômes se manifeste(nt)						
Situation 3 0.5% > 1.000/g 2% > 100/g	X	Minimum X	Mean X	Maximum X	Supposons X =	Perc.	Interprétation
Dose-Réponse 1	P infection	0	6,42E-04	2,07E-01	6,37E-05	95%	Risque maximum d'infection pour 95% De la population est d'environ 6/100.000 (0,000064)
	P maladie / symptômes (22%)	0	1,41E-04	4,56E-02	1,40E-05	95%	
Dose-Réponse 2	P infection	0	2,63E-03	1	1	99,96%	0.04% de la population a 100% de risque d'infection 0% de la population a, avec une certitude de 100%, un risque de maladie
	P maladie / symptômes (22%)	0	5,79E-04	0,22	0,22	100%	
Dose-Réponse 3	Dose ingérée/dose infectieuse	0	3,38E-06	1,46E-02	1	100%	0.00% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse 0.00% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse et tombera malade
	Dose ingérée/dose infectieuse	0	2,51E-07	9,97E-04	1	100%	
	Si la maladie/les symptômes se manifeste(nt)						
Situation 5 0% > 1.000/g 0.5% > 100/g	X	Minimum X	Mean X	Maximum X	Supposons X =	Perc.	Interprétation
Dose-Réponse 1	P infection	0	1,46E-04	1,26E-01	1,98E-05	95%	Risque maximum d'infection pour 95% de la population est d'environ 2/100.000 (0,000020)
	P maladie / symptômes (22%)	0	3,20E-05	2,78E-02	4,36E-06	95%	
Dose-Réponse 2	P infection	0	5,09E-04	0,94	1	100%	0 % de la population a 100% de risque d'infection 0% de la population a, avec une certitude de 100%, un risque de maladie
	P maladie / symptômes (22%)	0	1,12E-04	0,21	0,21	100%	
Dose-Réponse 3	Dose ingérée/dose infectieuse	0	1,31E-07	3,97E-04	1	100%	0.00% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse 0.00% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse et tombera malade
	Dose ingérée/dose infectieuse	0	7,50E-08	3,97E-04	1	100%	
	Si la maladie/les symptômes se manifeste(nt)						

Tableau 14 : Caractérisation du risque au moyen de @RISK de la consommation de préparations de viande crues à base de viande hachée de volaille sans étape de cuisson préalable avec introduction de trois méthodes pour la description dose/réponse

Situation 1	X	Minimum X	Mean X	Maximum X	Supposons		Interprétation
				X =	Perc.		
4% > 1.000/g 7.5% > 100/g							
Dose-Réponse 1	P infection	1,37E-12	5,27E-02	3,20E-01	0,288071	95%	Risque maximum d'infection pour 95% de la population est d'environ 3/10 (0,288071)
	P maladie / symptômes (22%)	3,02E-13	1,16E-02	7,04E-02	6,34E-02	95%	
Dose-Réponse 2	P infection	0	1,41E-01	1	1	93,5%	6,5% de la population a 100% de risque d'infection 0% de la population a, avec une certitude de 100%, un risque de maladie
	P maladie / symptômes (22%)	0	3,09E-02	0,22	0,22	100%	
Dose-Réponse 3	Dose ingérée/dose infectieuse	0	4,87E-03	23,89	4,88E-03	99,96%	0.04% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse 0% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse et tombera malade
	Dose ingérée/dose infectieuse Si la maladie/les symptômes se manifeste(nt)	0	4,15E-04	0,84	7,28E-06	100%	
Situation 3	X	Minimum X	Mean X	Maximum X	Supposons		Interprétation
					X =	Perc.	
0.5% >1.000/g 2% > 100/g							
Dose-Réponse 1	P infection	3,94E-13	2,31E-02	0,362061	0,169625	95%	Risque maximum d'infection pour 95% de la population est d'environ 6/100.000 (0,000064)
	P maladie/symptômes (22%)	8,67E-14	5,08E-03	7,97E-02	3,73E-02	95%	
Dose-Réponse 2	P infection	0	6,03E-02	1	1	99%	1% de la population a 100% de risque d'infection 0% de la population a, avec 100% de certitude, un risque de maladie
	P maladie/symptômes (22%)	0	1,33E-02	0,22	0,22	100%	
Dose-Réponse 3	Dose ingérée/dose infectieuse	0	3,88E-03	21,87	1	99,97%	0.03% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse 0.01% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse et tombera malade
	Dose ingérée/dose infectieuse Si la maladie/les symptômes se manifeste(nt)	0	2,37E-03	21,87	1	99,99%	
Situation 5	X	Minimum X	Mean X	Maximum X	Supposons		Interprétation
					X =	Perc.	
0% >1.000/g 0.5% > 100/g							
Dose-Réponse 1	P infection	2,64E-11	1,16E-02	0,3094959	7,91E-02	95%	Risque maximum d'infection pour 95% de la population est d'environ 2/100.000 (0,000020)
	P maladie/symptômes (22%)	5,80E-12	2,55E-03	6,81E-02	1,74E-02	95%	
Dose-Réponse 2	P infection	0	3,34E-02	1	1	99,8%	0.2 % de la population a 100% de risque d'infection 0% de la population a, avec 100% de certitude, un risque de maladie
	P maladie/symptômes (22%)	0	7,35E-03	0,22	0,22	100%	
Dose-Réponse 3	dose ingérée/dose infectieuse	0	1,07E-04	0,598	1	100%	0% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse 0% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse et tombera malade
	Dose ingérée/dose infectieuse Si la maladie/les symptômes se manifeste(nt)	0	6,80E-05	0,598	1	100%	

Tableau 15 : Résumé des résultats relatifs à la caractérisation du risque au moyen de @RISK de la consommation de préparations de viande crues à base de viande hachée de volaille avec ou sans étape de cuisson préalable en introduisant trois méthodes pour la description dose/réponse.

	Risque moyen d'infection	Risque maximum d'infection	Percentile 95 (risque d'infection)
Dose-Réponse 1			
Situation 1 (cuit)	2,28E-03	2,53E-01	5,71E-04
Situation 1 (cru)	5,27E-02 (x 23 vs cuit)	3,20E-01 (x 1,26 vs cuit)	0,288071 (x 504 vs cuit)
Situation 3 (cuit)	6,42E-04 (:3.5 vs situat 1)	2,07E-01	6,37E-05 (:9 vs situat 1)
Situation 3 (cru)	2,31E-02(x 36 vs cuit)	0,362061 (x 1,33 vs cuit)	0,169625 (x 2663 vs cuit)
Situation 5 (cuit)	1,46E-04 (:15 vs situat 1)	1,26E-01	1,98E-05 (:29 vs situat 1)
Situation 5 (cru)	1,16E-02 (x 79 vs cuit)	0,3094959 (x 2,45 vs cuit)	7,91E-02 (x3995 vs cuit)
Dose-Réponse 2			
Interprétation			
Situation 1 (cuit)	0,3% de la population a 100% de risque d'infection		
Situation 1 (cru)	6,5% de la population a 100% de risque d'infection		
Situation 3 (cuit)	0,04% de la population a 100% de risque d'infection		
Situation 3 (cru)	1% de la population a 100% de risque d'infection		
Situation 5 (cuit)	0 % de la population a 100% de risque d'infection		
Situation 5 (cru)	0,2 % de la population a 100% de risque d'infection		
Dose-Réponse 3			
Interprétation			
Situation 1 (cuit)	0,04% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse		
Situation 1 (cru)	0,04% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse		
Situation 3 (cuit)	0% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse		
Situation 3 (cru)	0,03% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse		
Situation 5 (cuit)	0% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse		
Situation 5 (cru)	0% de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse		

Pour rappel :				
	Distribution normale du niveau de contamination			
	> 1/g	> 10/g	> 100/g	> 1.000/g
Situation 1	19,99 %	12,66 %	7,45 %	4,06 %
Situation 3	11,47 %	5,15 %	1,97 %	0,64 %
Situation 5	6,3 %	1,89 %	0,44 %	0,08 %

La deuxième approche (Dose-Réponse 2) et la troisième approche (Dose Réponse 3) donnent, de manière plus accessible, la possibilité d'interpréter les résultats.

Alors que, pour l'approche 1, le risque maximum d'infection était toujours inférieur à 1 (soit 100% de risque d'infection), un maximum de 1 est effectivement atteint pour l'approche 2. Des résultats de tests obtenus via @RISK, on peut déduire avec 100% de certitude quel percentile de la population est infecté s'il y a consommation d'une préparation de viande à base de viande hachée de volaille hachée (cuite ou insuffisamment cuite). Si le niveau de contamination par *Campylobacter* est mieux maîtrisé et que la présence de quantités élevées est limitée, un pourcentage plus faible de la population aura 100% de risque d'être infecté (attention : infection ≠ maladie/symptômes). Dans la situation 5, 0% de la population a même 100% de risque d'infection ce qui ne signifie pas qu'aucune infection n'aura plus lieu dans une partie de la population, mais que cela ne peut plus être dit avec 100% de certitude. Il apparaît ici clairement que, si la préparation de viande en question est consommée sans cuisson préalable, une plus grande partie de la population sera infectée avec 100% de certitude.

Dans la troisième approche, le rapport dose ingérée/dose infectieuse (X) peut effectivement être supérieur à 1 et, dans ce cas, une infection apparaîtra effectivement si X devient supérieur à 1. Des résultats de tests obtenus via @RISK, on peut déduire à partir de quel percentile de la population $X > 1$; en d'autres termes, quelle partie de la population court le risque d'ingérer, par la consommation d'une préparation de viande à base de viande hachée de volaille hachée (cuite ou insuffisamment cuite), plus de *Campylobacter* que la dose infectieuse et risque donc de devenir malade (22%).

Il en ressort à nouveau, tout comme pour les approches 1 et 2, que, si le niveau de contamination par *Campylobacter* est mieux maîtrisé et que la présence de quantités importantes est limitée, un pourcentage plus faible de la population ingèrera une dose supérieure à la dose infectieuse (attention: infection \neq maladie/symptômes). En situation 5, 0% de la population ingère une dose supérieure à la dose infectieuse.

Au niveau de l'approche 3, les différences entre les différentes situations de même que la différence entre cuit et non cuit ne sont pas marquées ou le sont moins. Oscar (2004) également, qui a utilisé cette troisième méthode pour effectuer une évaluation du risque relatif pour *Salmonella* dans des carcasses de poulet, trouvait au départ lors d'un premier passage (10.000 itérations) du modèle 0% de risque. En pratique cependant, un certain nombre de carcasses de volaille (dans notre cas de préparations de viande) sont porteuses d'un certain nombre de *Salmonella* (ou dans notre cas de *Campylobacter*) supérieur à la dose minimale d'infection (supposition de 10 pour *Salmonella*, dans notre cas supposition de 500 pour *Campylobacter*) mais c'est précisément dans l'itération où ces quantités de *Salmonella* (ou *Campylobacter*) apparaissent que, durant l'échantillonnage de la distribution Pert pour la dose/réponse (RiskPert(500; 800; 100.000.000)), on a par hasard choisi une dose infectieuse supérieure à la dose minimale infectieuse. De ce fait, les quantités auxquelles le consommateur est exposé dans ce cas spécifique sont inférieures à la dose infectieuse.

Pour cette raison, il a par conséquent été décidé qu'aucune infection n'apparaît mais cela aurait pu se terminer autrement. Il est donc possible que certaines préparations de viande engendrent parfois une infection mais cela n'a, à cause du hasard, pas été le cas dans cet échantillonnage aléatoire de la distribution Pert. Comme Oscar (2004) l'a démontré pour l'exercice avec *Salmonella* dans les carcasses de poulet, le risque a effectivement été démontré si l'on effectue beaucoup plus d'itérations lors du passage de @RISK. Dans le cas d'Oscar (2004), il y avait au départ 0 cas de salmonellose pour 10.000 poulets mais 1, 7, 29 et 83 cas si, avec le même input et la même approche du modèle, le programme @RISK était parcouru quatre fois avec 1.000.000 d'itérations.

Ceci indique que le nombre d'itérations actuellement pris (10.000) n'est pas suffisant pour différencier les différentes situations et le modèle actuel @RISK avec 10.000 itérations pour la troisième méthode ne permet pas de conclure.

VI. Conclusions et recommandations en rapport avec les questions posées.

Sur base des hypothèses émises et étant donné le caractère limité des données quantitatives disponibles concernant les niveaux de contamination en *Campylobacter* dans les préparations de viande à base de viande hachée de volaille, l'étude du risque fut réalisée sur base d'approches déterministe et probabiliste. Dans le cadre de l'analyse probabiliste, différentes approches ont été utilisées en ce qui concerne l'*input* de la distribution du niveau de contamination et la traduction des données dose-réponse dans l'*output*.

Indépendamment de l'approche, il fut découvert sur base d'hypothèses identiques que le risque d'infection ou le risque de contracter la maladie diminue significativement quand le niveau de contamination en *Campylobacter* est mieux géré et que le germe est présent en faible quantité. Ces affirmations sont clairement illustrées dans le tableau 4 pour l'approche déterministe et dans les tableaux 10 et 14 pour l'approche probabiliste.

Les données chiffrées de ces trois tableaux ne doivent pas être considérées comme des valeurs absolues mais comme des valeurs relatives ; les rapports entre les résultats obtenus pour les différentes alternatives doivent être considérées comme indicatives d'un ordre de grandeur. Les valeurs fournies dans les tableaux sont des estimations soumises à une incertitude et l'intervalle (« *range* ») dans lequel varie chacune de ces valeurs pourrait être réduit par la réalisation d'itérations plus nombreuses, ce qui exige l'emploi d'ordinateurs puissants.

Dans cette étude, le modèle probabiliste prend en compte, contrairement à l'approche déterministe, la variabilité du niveau de contamination, la contamination croisée, la sous-cuisson et la dose-réponse ; il n'intègre pas les incertitudes relatives, d'une part à la distribution du niveau de contamination et d'autres part à la dose-réponse. L'approche probabiliste permet bien de comparer les différentes situations entre elles.

Globalement on peut conclure que ramener la distribution actuelle estimée du niveau de contamination ($12,5\% > 10 \text{ Campylobacter/g}$ et $7,5\% > 100 \text{ Campylobacter/g}$) à une distribution avec élimination des préparations de viandes hachées de volailles avec $> 1.000 \text{ Campylobacter/g}$ ($< 1\%$) et une limitation des niveaux de contamination de $> 100 \text{ Campylobacter/g}$ (max 2%) et $> 10 \text{ Campylobacter/g}$ (max.5%) pourrait apporter une contribution positive en terme de santé publique et une diminution du risque d'infection d'un ordre de grandeur de 6 (3,5-35 x). Une distribution éliminant les préparations à base viande contenant plus de $100 \text{ Campylobacter/g}$ ($< 1\%$) et limitant les produits contenant plus de $10 \text{ Campylobacter/g}$ (max 2%) permettrait, sur base des évaluations de risque réalisées, une diminution du risque d'infection d'un ordre de grandeur de 30 (15-165x) par rapport à la situation actuelle.

On peut, en outre, conclure que, si des préparations de viande à base de viande hachée de volaille sont consommées crues, le risque d'infection par rapport au produit cuit augmente considérablement (d'un ordre de grandeur de 20 à 80 fois). Cela signifie non seulement que l'élaboration de critères n'offre en soi aucune garantie absolue en ce qui concerne la protection de la santé publique mais également que la communication vers le consommateur est indispensable pour lui indiquer les dangers inhérents à la consommation de produits crus et la nécessité d'une cuisson à une température suffisante de tels produits.

VII. Perspectives & besoins en recherche

Le modèle repose sur un *input* de données semi-quantitatives limitées (trois catégories de niveau de contamination furent fixées). A ces données (en cfu/g) a été ajustée une distribution normale, utilisée comme *input* du modèle (tableau 8). Etant donné que l'ajustement de la distribution n'est effectué qu'en 3 points des données, il existe une grande incertitude. Il est donc nécessaire de disposer de données quantitatives par dénombrement et non par présence/absence par quantité de produit.

De plus, par manque de données spécifiques pour, par exemple l'incidence et la mesure de la cuisson insuffisante des produits impliqués (préparations de viande à base de viande hachée de volaille), l'incidence et la mesure de la contamination croisée qui survient durant la préparation de tels produits, l'information spécifique à propos des pratiques hygiéniques du consommateur belge, etc. ; l'on s'est donc basé sur les informations disponibles dans le document Codex qui ne concerne toutefois pas les préparations de viande à base de viande hachée de volaille mais constitue une synthèse de la littérature internationale disponible. Il serait souhaitable que les données belges spécifiques concernant ce type de manipulations et avec ce type de produit soient utilisées afin d'améliorer le modèle.

Il est indiqué dans le modèle que *Campylobacter* ne se multiplie pas mais ne disparaît pas non plus pendant la distribution et le stockage. Ceci repose sur les conditions générales de croissance de *Campylobacter* (la température minimale de croissance étant de 30°C) et sur un scénario « *worst case* » indiquant qu'il n'y a pas de disparition. On sait cependant que la survie de *Campylobacter* est fortement influencée par l'activité de l'eau, l'atmosphère et la température.

Il faut par ailleurs souligner que seules des données expérimentales limitées sont disponibles pour fixer une courbe dose-réponse pour *Campylobacter* (nombre limité de données et vue insuffisante sur la relation à la souche) ce qui signifie qu'une grande incertitude subsiste quant à l'exposition et la dose-réponse en termes d'infection et de maladie (développement de symptômes).

Il n'est en outre pas manifeste que le produit concerné (préparations de viande à base de viande hachée de volaille) constitue effectivement en Belgique une cause pertinente de campylobactériose liée à l'alimentation. Actuellement, aucune information quantitative n'est disponible en Belgique au sujet de la contribution de diverses voies de transmission et divers facteurs de risque dans le développement d'une campylobactériose chez l'homme. L'évaluation préliminaire du risque doit donc être considérée comme une mesure purement préventive et les chiffres produits ne doivent pas être considérés comme absolus mais comme purement indicatifs afin de comparer de manière relative différentes situations entre elles.

En ce qui concerne la présence de *Campylobacter* dans les préparations de viande à base de viande hachée de volaille et si ce rapport doit être utilisé pour fixer des critères microbiologiques, il est indispensable :

1- **d'être conscient de l'incertitude du résultat** lors de l'analyse microbiologique. L'incertitude de mesure est dépendante de la méthode d'essai choisie, du niveau de contamination des échantillons (l'incertitude de mesure sera d'autant plus importante si l'on est proche des limites de détection de la méthode de test) et est également pour une part déterminée par les circonstances dans lesquelles la méthode d'essai est exécutée (facteur dépendant du laboratoire).

2- **d'améliorer la surveillance épidémiologique humaine** en ce qui concerne les foyers d'infections d'origine alimentaire dus à *Campylobacter* et, pour ce faire, promouvoir la réalisation d'enquêtes au niveau national.

3- **de mettre sur pied un plan de surveillance des denrées alimentaires** avec des données quantitatives permettant de suivre la contamination d'année en année, d'améliorer l'*input* du modèle, d'agir et de prendre des décisions ciblées.

4- **de se rendre compte que l'on ne peut apprécier l'importance de la contamination croisée et de la sous-cuisson.** On ne dispose pas en Belgique d'informations précises et utilisables au sujet de la consommation effective, des pratiques ménagères réelles, etc... De même, des informations

détaillées et complètes au sujet de la consommation et de l'ingestion nationales de viande hachée de volaille crue (préparations de type *tartare*) devraient être collectées.

5- dans le même ordre d'idées, de bien noter qu'il faudrait **promouvoir l'information du consommateur et la formation, l'éducation scientifique au sujet de l'hygiène et des risques de contamination du personnel des secteurs professionnels impliqués.**

6- pour une nouvelle optimisation du modèle, **de rassembler plus d'informations concernant la survie du pathogène durant le stockage et la distribution et d'évaluer de manière plus spécifique l'effet des traitements suivants (de manière quantitative) sur la survie de *Campylobacter*** : type de système de refroidissement après abattage, effet de la congélation, avec ou sans emballage et la date de celui-ci, emballage sous atmosphère modifiée, durée et conditions de conservation, maîtrise de la contamination croisée.

7. **de se rendre compte que** l'évaluation quantitative du risque offre un certain nombre d'avantages. Différents scénarios peuvent être testés de manière simple. Des comparaisons (éventuellement sous forme relative) sont possibles. Une évaluation quantitative du risque présente cependant aussi un certain nombre d'inconvénients. **Cela génère énormément de données et exige des compétences mathématiques pour leur traitement.** Par ailleurs, un certain nombre de suppositions sont faites. Il n'est pas toujours évident de déterminer l'influence d'un set limité de données et l'impact de certaines suppositions sur l'*output* du modèle. Le processus décisionnel n'est pas toujours évident compte tenu de l'incertitude, de la variabilité et du caractère mathématique final complexe d'une évaluation complète du risque. La méthodologie de l'évaluation du risque est sur le plan scientifique encore en pleine évolution (d'où la terminologie « évaluation préliminaire du risque »).

C'est sur quoi repose **la nécessité d'une analyse objective critique étape par étape** des différents aspects partiels de l'évaluation quantitative du risque en vue de déterminer l'impact des suppositions faites, de la disponibilité ou non de données détaillées, du choix des modèles mathématiques, etc. sur le résultat. Ceci doit éclairer la solidité de la systématique, identifier les étapes critiques du processus et également démontrer la nécessité, le mode et surtout le classement en fonction des priorités de la collecte de données aux différentes étapes. De tels exercices d'analyse du risque, en particulier l'évaluation du risque sont, en Belgique (mais également en Europe), encore trop peu exploités quant à leurs possibilités sous-jacentes et ils nécessitent encore des recherches fondamentales.

VIII. Sources et références bibliographiques.

a. Ouvrages, manuels et rapports :

- AFSSA, Document sur Appréciation des risques alimentaires liés aux *Campylobacters* Application au couple poulet / *Campylobacter jejuni*. (France), 12.02.2004
<http://www.afssa.fr/Ftp/afssa/22208-I.pdf>
- FAO/WHO, Preliminary Report of the Joint FAO/WHO workgroup on Risk Assessment of *Campylobacter* in broiler chickens, 5-9 august 2002.
- FAO/WHO, Identification et caractérisation des dangers et évaluation de l'exposition liés à *Campylobacter* spp. dans les poulets et à *Vibrio* spp. dans les produits de la pêche, Juillet 2001.
- Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Food Hygiene Thirty-fifth Session Orlando, U.S.A., 27th January 2003
Discussion Paper on Risk Management Strategies for *Campylobacter* spp. in Poultry (Prepared by the Netherlands, with the assistance of Australia, Belgium, Denmark, Finland, Norway, UK, US and the European Commission).
- International handbook of foodborne pathogens, M.D. Miliotis & J.W. Bier, Marcel Dekker, 2003.
- Laboratoire national de référence en microbiologie des denrées alimentaires d'origine animale pour l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (LNR), Rapport de surveillances des agents zoonotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale, 2003.
<http://mda04.fmv.ulg.ac.be>.
- Risk assessment of *Campylobacter* spp. in broiler chickens and *Vibrio* spp. in seafood. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation Bangkok, Thailand 5-9 August 2002.
- Recommendations on the presentation of data for assessing the safety of microorganisms used in the feed/food sector – new or modified strains - a different application of strains already in use (AFSSA, nov.2002).
- Report on Trends and sources of zoonotic agents in the European Union and Norway, 2001.
- Food Standards Agency - UK, ACMSF report on *Campylobacter*, 27.02.2003
<http://www.foodstandards.gov.uk/foodindustry/Consultations/ukwideconsults/acmsfcampylobacter>
- Seminar on Risk management and Risk assessment for CCFH – Risk assessment of *Campylobacter* spp. in broiler chickens. Aamir M.Fazil, Health Canada. (25 jan 2003)

b. Articles :

- BERNDTSON et al. *Campylobacter* evidence on a chicken farm and the spread of *Campylobacter* during the slaughter process. *Int.J. Food Microbiology*, 1996, **32(1-2)**, 35-47.
- BJARKE C., SOMMER H., ROSENQUIST H. & NIELSEN N. Risk assessment on *Campylobacter jejuni* in chicken products. *Danish veterinary and food administration, Institute of food safety and toxicology, Division of microbiological safety*, Jan 2001.
- BLACK et al. Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans, *J. Infect. Dis.*, 1988, **157**, 472-479.
- BOGAARDT MJ ; MANGEN MJJ ; WIT GA ; NAUTA MJ ; HAVELAAR AH Controlling *Campylobacter* in the chicken meat chain - Towards a decision support model. *RIVM rapport 250911005 . Beheersing van Campylobacter in de kippenvleesketen naar een beslissingsondersteunend model* (2004).

- CHAN et al., Survival of clinical and poultry-derived isolates of *Campylobacter jejuni* at a low temperature (4°C) *Applied environmental microbiology*, 2003, **67(9)**,4186-4191.
- DUFRENNE et al. Quantification of the contamination of chicken and chicken products in the Netherlands with *Salmonella* and *Campylobacter*. *J. Food Prot.* 2001 Apr.,**64(4)**, 538-541.
- EVANS AS, BRACHMAN PS, *Bacterial Infections of Humans*, 3rd ed., Plenum Medical Book Company, New York, 1988.
- EVERS E.G., NAUTA M.J., VANDER FELS-KLERX, DE JONG H.J, M.C.M. 2002. Rapport d'avancement modèle de risque. Rapport RWM dans le cadre de la partie de projet 3 (modèle de risque) du projet CARMA (*Campylobacter* Risk management and Assessment) V/2509 11.
- JORGENSEN et al. Prevalence and numbers of *Salmonella* and *Campylobacter* spp. on raw, whole chickens in relation to sampling methods. *Int.J.Food Microbiology*,2002,**76(1-2)**,151-164.
- LAKE R., HUDSON A., CRESSAY P., NORTJE G. Risk profile : *Campylobacter jejuni* / coli in poultry (whole and pieces),*New Zealand Food Safety Authority*, june 2003.
- MEDAMA G.J., TEUNIS P.F.M., HAVELAAR A.H., HAAS C.N. Assessment of the dose-response relationship of *Campylobacter jejuni*. *International Journal of Food Microbiology*,1996,**30**,101-111.
- MIWA et al. *Campylobacter jejuni* contamination on broiler carcasses of *C.jejuni*-negative flocks during processing in a Japanese slaughterhouse. *Int.J.Food.Microbiology*,2003,**84**,105-109.
- OSCAR T.P. A quantitative risk assessment model for *Salmonella* and whole chickens *International Journal of Food Microbiology*,2004,**93**,231-247.
- RIVOAL et al., Molecular characterization of the diversity of *Campylobacter* spp. Isolates collected from a poultry slaughter house : analysis of cross-contamination. *Let.Appl.Microbiol.*,1999 Dec;**29(6)**,370-4.
- ROSENQUIST H., NIELSEN N.L., SOMMER.H.M., NORRUNG B., CHRISTENSEN B.B.*International Journal of Food Microbiology*, 2003, **83**, 87-103.
- SANCHEZ et al.Microbial profile and antibiotic susceptibility of *Campylobacter* spp. and *Salmonella* spp. in broilers processed in air-chilled and immersion-chilled environments. *J. Food Prot.* 2002 June, **65(6)**,948-56.
- SOLOW et al.Effect of temperature on viability of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* on raw chicken or pork skin, 2003 Nov; **66(11)**, 2023-31.
- STERN et al. *Campylobacter* spp. in Icelandic poultry operations and human disease, *Epidemiol.Infect.*2003,**130**,23-32.
- UYTENDAELE et al. Incidence of *Salmonella*, *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* and *Listeria monocytogenes* in poultry carcasses and different types of poultry products for sale on the Belgian retail market. *J Food Prot.* 1999 Jul ; **62(7)**,735-40.
- YOON et al.Development of predictive models for the survivals of *Campylobacter jejuni* (ATCC 43051) on cooked chicken breast patties and in broth as a function of temperature. *J. Food Prot.* 2004,**67(1)**, 64-70.
