

LA DEMARCHE D'ANALYSE QUANTITATIVE DES RISQUES DE MALADIES INFECTIEUSES TRANSMISES PAR LES ALIMENTS

M. Sanaa¹ et O. Cerf¹

RESUME : L'objectif de cet article est de présenter les différentes étapes de l'appréciation des risques sanitaires liés aux contaminations microbiologiques des aliments. Traditionnellement, l'appréciation quantitative des risques se limite à l'estimation du risque lié à la consommation d'un aliment. Lorsque l'appréciation quantitative des risques intègre l'ensemble de la filière du produit alimentaire considéré, elle peut fournir en plus de l'estimation des risques une meilleure compréhension de la chaîne de causalité de la transmission de l'agent pathogène. L'appréciation quantitative des risques apporte des éléments objectifs sur les options optimales de la gestion du risque. Les résultats d'une appréciation quantitative des risques sont tributaires de la pertinence et de la qualité des données utilisées. Les données nécessaires à la mise en œuvre d'une appréciation quantitative des risques sont malheureusement dispersées. Les industriels, les organismes de contrôle officiel, les observatoires de consommation et la communauté scientifique détiennent des informations utiles à l'appréciation quantitative des risques. Les méthodes de collecte, de traitement de ces données ne sont pas standardisées ce qui rend leur partage très difficile.

SUMMARY : This paper considers the different steps of risk assessment and their application to food microbiology. Traditionally, quantitative risk assessment has been viewed simply as a method to estimate risk. However, when we conduct a complete risk assessment including different factors from "farm to fork" it can serve to understand the risk process. Quantitative risk assessment can also provide valuable insights as how to best manage the risk.

The results of risk assessment depend on the pertinence and the quality of the data used. Data required to conduct risk assessment are unfortunately widely dispersed. The food industry, official regulatory agencies, consumer watch organizations, and the scientific community all have useful information for risk assessment. The lack of standard method to collect, process and diffuse data further complicates the problem.



I - INTRODUCTION

La mondialisation du commerce des animaux, de leurs produits et des denrées alimentaires ainsi que l'émergence ou la ré-émergence de

toxi-infections alimentaires dans le monde ont augmenté les risques de transmission transfrontalière de certains agents infectieux.

¹ Unité de recherche : épidémiologie et analyse des risques, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, 7, avenue du Général de Gaulle, 94704 Maisons Alfort, France

L'analyse des risques, avec ses trois composantes (appréciation des risques, gestion des risques, communication à propos des risques) constitue la nouvelle approche de la politique sanitaire des Etats. En effet, pour protéger le statut sanitaire des populations humaines, animales et végétales, les Etats peuvent s'opposer à des importations ou à la commercialisation de produits alimentaires à la condition que leurs décisions soient fondées sur une appréciation des risques faite de façon scientifique et transparente.

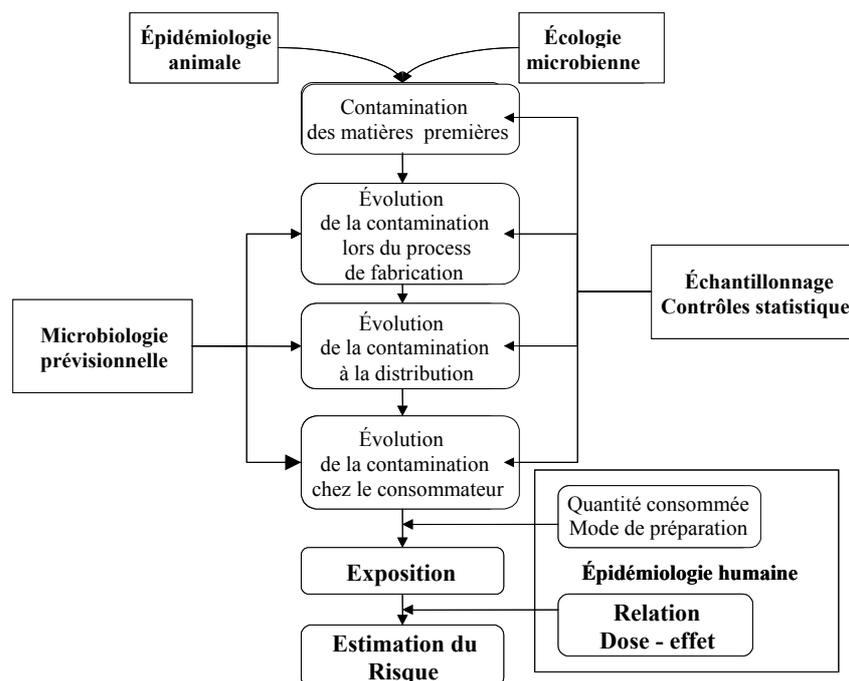
Cet article porte sur l'appréciation des risques, composante clé permettant de garantir le recours à des critères scientifiques pour établir les normes, les directives et autres recommandations relatives à la salubrité des aliments en vue d'assurer la protection des consommateurs et de faciliter le commerce international. L'appréciation des risques est un processus structuré et transparent

d'organisation et d'évaluation des données disponibles. Il s'agit de modéliser la transmission de l'agent infectieux en tenant compte des différentes étapes de la filière alimentaire : « de la ferme à la table » (figure 1). Selon les normes adoptées par la Commission du Codex Alimentarius [Codex Alimentarius, 1995], l'appréciation des risques comporte quatre étapes :

1. Identification du danger (*Hazard Identification*),
2. Appréciation des effets (*Hazard Characterisation*),
3. Appréciation de l'exposition (*Exposure Assessment*),
4. Estimation des risques (*Risk Characterisation*).

FIGURE 1

Schéma général de l'appréciation du risque



Les résultats d'une appréciation du risque sont tributaires de la pertinence et de la qualité des données utilisées dans chacune de ses quatre étapes. Les données nécessaires à la mise en œuvre d'une appréciation des risques sont malheureusement dispersées. L'industrie agro-alimentaire, les organismes de contrôle officiel,

les observatoires de consommation et la communauté scientifique détiennent des informations utiles à l'appréciation des risques. Mais les méthodes de collecte, de traitement et de diffusion de ces données ne sont pas standardisées, ce qui rend leur partage très difficile.

En parcourant les différentes étapes de l'appréciation des risques nous allons exposer

les besoins en données, et leur utilisation dans l'estimation des risques.

II - IDENTIFICATION DU DANGER

Un danger est constitué par tout agent biologique, chimique ou physique pouvant avoir un effet néfaste pour la santé. Dans le cas des maladies infectieuses transmissibles par les aliments, il s'agit d'un agent microbien présent dans les aliments et capable d'entraîner un effet néfaste chez l'homme.

L'identification du danger est l'étape permettant de dresser la liste des dangers associés à un aliment ou à un groupe d'aliments pour lesquels il est intéressant de mener une appréciation des risques. Elle dépendra de la disponibilité de données de surveillance épidémiologique et des investigations entreprises lors des toxi-infections alimentaires ou d'épidémies communautaires. La recherche et la veille scientifique contribuent également à identifier les nouveaux dangers. Ainsi par exemple, l'incertitude a régné pendant plusieurs années quant au rôle pathogène chez l'Homme de l'agent de l'encéphalopathie spongiforme bovine. Il a été finalement admis qu'il constituait un véritable danger pour l'Homme en provoquant la forme nouvelle variante de la maladie de Creutzfeldt-Jakob.

Cette étape de l'appréciation des risques est purement qualitative ; c'est un exercice de synthèse et d'expertise des informations disponibles permettant de conclure s'il est opportun ou pas de mener une appréciation quantitative des risques liés à la consommation d'un aliment ou d'un groupe d'aliments.

Le risque et le danger sont deux notions différentes. Le risque est défini comme une fonction de la probabilité de l'effet néfaste pour

la santé et de sa gravité, du fait de la présence du danger dans l'aliment consommé.

Les informations à rassembler dans cette étape concerneront :

1. définition du danger,
2. caractéristiques microbiologiques du danger,
3. pathogénie du danger ,
4. méthodes d'isolement et d'identification du danger à partir des aliments,
5. les traitements actuels des aliments permettent-ils d'éliminer ou de réduire la présence du danger dans les aliments ?
6. définition de l'effet néfaste et les méthodes de diagnostic chez l'homme,
7. isolement et implication du danger dans des cas de maladie chez l'homme,
8. fréquence de contamination des aliments par le danger concerné,
9. incidence de l'effet néfaste chez l'homme,
10. rôle des aliments dans la transmission du danger (enquêtes cas témoin et/ou investigations des poussées épidémiques ou des TIAC).

Lors de l'identification du danger, l'ensemble des informations énumérées aux points 1 à 10 n'est pas toujours nécessaire ; il s'agit ici d'apporter le maximum d'information permettant d'argumenter sur l'implication d'un aliment ou d'un groupe d'aliments dans la transmission de la maladie à l'homme. Aucune quantification n'est indispensable à cette étape.

III - APPRECIATION DES EFFETS

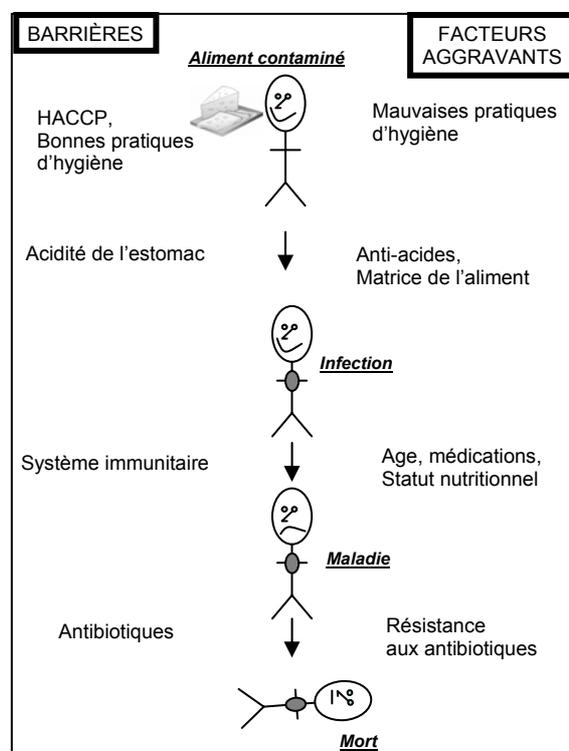
Cette étape consiste en l'évaluation qualitative et quantitative de la nature des effets néfastes pour la santé associés au danger. Lorsque les données sont disponibles, la relation dose/réponse doit être établie.

L'ingestion de bactéries pathogènes n'a pas toujours comme conséquence l'infection, l'apparition d'une maladie ou la mort. Comme

le montre la figure 2, différents facteurs peuvent constituer des barrières ou aggraver le risque d'apparition de l'infection ou de la maladie. Au cours de l'appréciation des effets, il convient de tenir compte de plusieurs facteurs liés au micro-organisme, à l'hôte humain et à l'environnement.

FIGURE 2

Facteurs pouvant diminuer ou augmenter le risque d'apparition de la maladie



La capacité de multiplication, le caractère infectieux et la virulence d'un micro-organisme sont le résultat de son interaction avec l'hôte et l'environnement (matrice alimentaire). Par exemple, le matériel génétique peut être transféré d'un micro-organisme à un autre, ce qui entraîne le transfert de certaines caractéristiques comme la résistance aux antibiotiques et les facteurs de virulence ; les caractéristiques d'un aliment, comme la teneur en matière grasse, peuvent altérer la pathogénicité. Le processus de fabrication de l'aliment peut provoquer un choc thermique, entraînant parfois une adaptation du micro-

organisme comme la tolérance aux acides, ce qui a pour conséquence une augmentation des chances de survie des bactéries lors de leur passage dans l'estomac du consommateur.

En ce qui concerne l'hôte, on peut citer comme exemple la susceptibilité accrue en fonction de l'âge, l'état de santé, l'ingestion de certains médicaments, l'état immunitaire etc. Gerba *et al.* [1996] estiment qu'aux Etats-Unis d'Amérique 20% de la population est composée de personnes dont le système immunitaire est affaibli, et qui sont donc plus sensibles aux infections d'origine alimentaire.

L'infection peut être considérée comme le franchissement avec succès des différentes barrières de l'hôte (figure 2). Ces barrières n'ont pas toujours la même efficacité pour éliminer ou inactiver les micro-organismes pathogènes. Chaque bactérie à titre individuel a une certaine probabilité ou fréquence relative de franchissement d'une barrière.

Le processus d'infection peut se décomposer en deux étapes :

- dans la première, l'hôte ingère des bactéries capables d'entraîner l'infection ou la maladie ;
- dans la deuxième, une fraction des bactéries ingérées va arriver dans un site où l'infection pourra commencer.

La probabilité d'infection peut s'écrire :

$$\text{Probabilité (n|d)} \times \text{Probabilité (k|n)}$$

où n est le nombre de bactéries réellement ingérées, sachant que l'aliment a une concentration moyenne en bactéries égale à d ; k est le nombre de bactéries franchissant la barrière intestinale qui vont pouvoir initier l'infection.

1. LES MODELES

Deux types de modèles sont possibles :

- les modèles qui supposent une coopération entre les micro-organismes ingérés, faisant intervenir la notion de dose minimale infectante : l'infection est le résultat de l'action conjointe de plusieurs cellules bactériennes et elle ne devient possible que si k dépasse un seuil k_{min} ,
- les modèles sans seuil, qui supposent une indépendance d'action des micro-organismes. Chaque bactérie a une chance non nulle de provoquer à elle seule l'infection.

Si l'on admet que les n bactéries ingérées ont la même probabilité de survie, c'est-à-dire de franchissement des barrières gastro-intestinale ou immunologique (R), alors la distribution du nombre de bactéries survivantes (initiant l'infection) est binomiale. Si une bactérie seule peut entraîner l'infection, la relation dose/réponse est égale au complément de la probabilité qu'aucune bactérie ne survive :

$$\text{Probabilité (infection | n bactéries ingérées)} = 1 - (1 - R)^n$$

Le modèle se complique si on admet l'hypothèse de dose minimale (k_{min}) :

Probabilité (infection | n bactéries ingérées)

$$= 1 - \text{Probabilité (k < } k_{min})$$

Les modèles disponibles supposent tous l'absence de dose minimale. Nous présentons ci-après les trois principaux modèles utilisés en appréciation quantitative des risques microbiologiques : le modèle exponentiel, le modèle Bêta-Poisson et le modèle Weibull-Gamma.

MODELE EXPONENTIEL

Le modèle exponentiel est un modèle sans seuil, où la probabilité de survie de la bactérie et d'initiation de l'infection (R) est constante, et le nombre de bactéries n ingérées n'est pas parfaitement connu mais supposé suivre une distribution de Poisson de paramètre d.

La distribution de Poisson est applicable au cas où la contamination de l'aliment est considérée comme homogène. Cette hypothèse convient parfaitement aux aliments liquides.

La probabilité d'être infecté suite à l'ingestion d'une portion d'aliment dans lequel la contamination moyenne est égale à d s'exprime de la façon suivante :

$$\text{Probabilité (Infection | d)} = 1 - \exp(-Rxd)$$

MODELE BETA - POISSON

Si l'on fait l'hypothèse, à partir du modèle exponentiel, que la probabilité d'infection liée à l'ingestion d'une bactérie varie entre les individus, et que l'on attribue à R une distribution Bêta de paramètres α et β , nous obtenons, par une approximation mathématique, le modèle Bêta - Poisson [Furumoto et Mickey, 1967] :

$$P = 1 - \left(1 + \frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha}, \text{ ou}$$

$$P = 1 - \left[1 + \frac{d}{d_{50}} (2^{1/\alpha} - 1)\right]^{-\alpha}$$

P est la probabilité d'infection ou de maladie, d la dose moyenne de l'agent pathogène ingérée (la dose d suit une loi de Poisson : d'où le nom attribué au modèle) et d_{50} la dose médiane (provoquant l'infection chez 50% des personnes ayant consommé l'aliment) ; α et β sont les paramètres qui décrivent la sensibilité de l'hôte (suivant une loi Bêta) et qui sont spécifiques à l'agent pathogène considéré.

MODELE WEIBULL - GAMMA

L'expression du modèle Weibull-Gamma est :

$$P = 1 - \left[1 + \frac{d^b}{\beta} \right]^{-\alpha}$$

où P est la probabilité de l'infection, d la dose ingérée de micro-organismes, α , β et b étant les paramètres du modèle. Comme dans les autres modèles, d est la dose moyenne de l'agent pathogène.

Ce modèle est une extension du modèle Weibull qui tient compte de l'hétérogénéité Hôte/Pathogènes et dont le paramètre permettant d'estimer la probabilité de maladie liée à l'ingestion d'une cellule bactérienne suit une distribution Gamma de paramètres α et β . A faibles doses, $1/b$ représente le nombre de réductions décimales de la dose pour une réduction décimale du risque.

AUTRES MODELES DOSE/EFFET

Beaucoup d'auteurs et d'utilisateurs des modèles dose/effet commettent une erreur d'interprétation des trois modèles présentés, exponentiel, Bêta - Poisson et Weibull-Gamma, dans la mesure où la dose moyenne d est confondue avec la dose réellement ingérée. En effet, si la distribution de la dose ingérée ne suit pas une loi de Poisson, ces modèles ne sont pas applicables. Historiquement, ces modèles ont été développés dans les infections transmises par l'eau où l'hypothèse de distribution de Poisson est acceptable. Des modèles utilisant des distributions de la dose ingérée autres que la distribution de Poisson ont été proposés par Haas (2002).

2. DONNEES PERMETTANT L'ESTIMATION DES MODELES DOSE/EFFET

A la difficulté liée au choix du type de modèle s'ajoute le problème de disponibilité des données pour l'estimation des modèles dose/effet. Les données utilisées proviennent

essentiellement d'expériences faites sur des animaux ou sur des volontaires.

Prenant l'exemple de *Listeria monocytogenes*, plusieurs relations dose/effet ont été publiées (figure 3). Les modèles proposés actuellement s'inspirent des relations établies sur des données expérimentales corrigées en introduisant des données épidémiologiques. L'approche utilisée n'est pas très transparente et reste discutable. Afin d'améliorer ces modèles, on peut proposer des protocoles plus rigoureux lors de l'investigation des épidémies ou des toxi-infections alimentaires qui permettront d'estimer avec plus de précision les taux d'attaque et la distribution de l'exposition.

Actuellement, on ne dispose pas de données permettant d'estimer la relation dose/réponse.

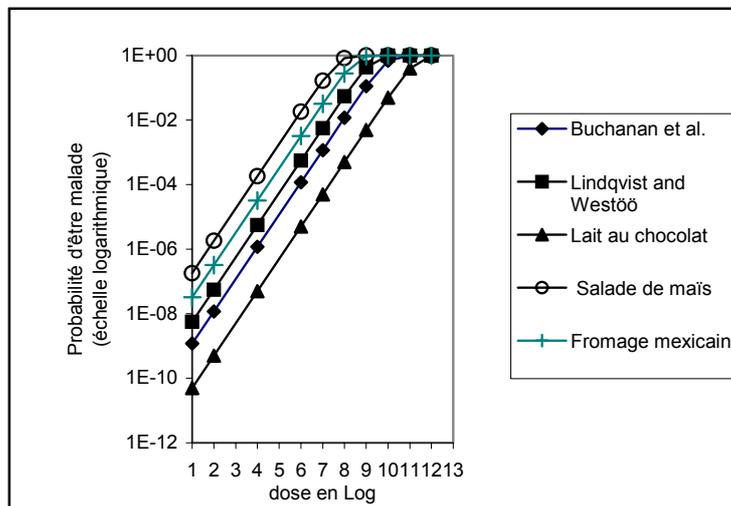
Par exemple, lorsqu'on observe des épidémies de listériose, l'aliment responsable est souvent identifié une à plusieurs semaines après l'observation des premiers cas. Les doses de *Listeria monocytogenes* ingérées par les cas (ou les non cas) sont souvent impossibles à estimer, car l'aliment en cause n'est plus disponible. Théoriquement, il est possible d'estimer ces doses grâce aux modèles de microbiologie prévisionnelle, si un certain nombre de données ont été collectées, comme les quantités consommées, les conditions de stockage et de préparation et les niveaux probables de contamination de l'aliment à un moment donné de sa distribution (sortie usine, point de vente, etc.). Il est bien entendu que ces données doivent être valables pour les cas et les témoins. Enfin, il faudrait déterminer avec une certaine précision la quantité d'aliment incriminé mise sur le marché et la proportion réellement consommée, afin d'approcher le nombre de personnes exposées

Cela nécessite des modifications importantes des protocoles d'enquête, car il s'agit bien de nouveaux objectifs. Les protocoles d'enquête lors d'investigation sur des TIAC ou des épidémies devraient tenir compte de ce nouvel objectif : récolter des données pour l'établissement de la relation dose/effet.

FIGURE 3

Exemples de relation dose/réponse pour *Listeria monocytogenes*.

Les modèles correspondent à des données de poussées épidémiques de listériose :
épidémie de listériose impliquant des poissons fumés [Buchanan *et al.*, 1997 ; Lindqvist et Westöö, 2000] ;
listériose périnatale/néonatale où l'aliment responsable était un fromage mexicain (FDA/FSIS, 2001) ; gastro-
entérites impliquant dans un cas une salade de maïs et dans l'autre du lait au chocolat
[Aureli *et al.*, 2000 ; Dalton *et al.*, 1997]

**IV - APPRECIATION DE L'EXPOSITION**

L'appréciation de l'exposition comprend une description et une quantification de l'exposition au danger étudié. On cherchera à estimer l'ingestion probable du danger par le biais des aliments incriminés.

La quantification de l'exposition est très complexe. Plusieurs composantes sont à estimer :

- la probabilité que le produit consommé soit contaminé,
- la concentration du danger dans l'aliment contaminé,
- la fréquence de consommation du produit alimentaire,
- la quantité d'aliment consommé.

Chacune de ces quatre composantes est une variable aléatoire.

La fréquence de consommation du produit et la quantité ingérée varient d'un individu à un autre en fonction de plusieurs caractéristiques : sociales, culturelles, économiques, d'âge, etc. Lorsque la maladie touche davantage une certaine catégorie de la population, personnes âgées ou

immunodéprimées, il est intéressant de disposer de données de consommation spécifiques à ces catégories. Or, les enquêtes de consommation disponibles tiennent compte uniquement des données démographiques classiques.

L'enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires [INCA, 1999] apporte des informations nouvelles et utiles. Cette étude porte sur les consommations alimentaires de plus de 3 000 individus de trois ans et plus. Les consommations journalières des principaux produits alimentaires sont estimées et réparties en fonction des classes d'âge.

La probabilité que le produit soit contaminé varie également en fonction de l'origine du produit et du temps. C'est pour cette raison qu'une enquête réalisée à un moment donné à un ou plusieurs points de vente n'est pas suffisante. Il en est de même pour la concentration qui dépend du mode de contamination du produit (contamination initiale ou contamination lors de la fabrication ou de la distribution du produit), ainsi que de l'évolution au cours du temps des paramètres écologiques comme la température, le pH et

l'activité de l'eau qui peuvent limiter ou favoriser la croissance du danger microbien.

Compte tenu de la complexité du problème, l'approche qui consiste à utiliser les données d'enquête ponctuelle sur la fréquence et le niveau de contamination des produits finis est simpliste. En effet, les études ponctuelles publiées portent souvent sur des tailles d'échantillons trop faibles pour pouvoir estimer correctement la distribution de probabilité de la concentration du danger dans les aliments. Souvent, lors de la planification des études descriptives, on s'intéresse essentiellement à la précision d'un seul paramètre de la population, à savoir la moyenne. La taille de l'échantillon est calculée pour obtenir une estimation de la moyenne avec une certaine précision. Or, dans le cadre de l'appréciation de l'exposition, ce qui nous intéresse ce sont les deux caractéristiques : la tendance centrale (moyenne) et la dispersion (écart-type).

Afin d'évaluer et de suivre l'évolution de la contamination par certains dangers microbiens, la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) et la Direction générale de l'alimentation (DGA) ont mis en place depuis une dizaine d'années des plans de surveillance.

On peut citer comme exemple le plan de surveillance de la DGCCRF sur la contamination par *Listeria monocytogenes* des aliments distribués [Pierre et Veit, 1996]. Ce plan porte sur cinq catégories d'aliments : produits carnés, produits laitiers, pâtisseries, produits végétaux et produits de la mer. Plusieurs milliers d'analyses sont effectuées, mais lorsqu'on fait une étude produit par produit, le nombre d'analyses reste insuffisant pour estimer correctement la distribution du niveau de contamination. La DGA publie régulièrement les résultats de plans de surveillance plus ciblés comme celui de la contamination bactériologique des fromages au lait cru

(www.agriculture.gouv.fr/alim/secu/plan/welcome.html).

L'extrapolation des résultats des plans de surveillance à l'ensemble des produits vendus reste délicate, car le mode d'échantillonnage n'est pas bien défini. Ces résultats sont par conséquent inutilisables dans une démarche quantitative de l'appréciation des risques.

En plus de ces enquêtes nationales, des données sont publiées sur la fréquence et le niveau de contamination de certains aliments par des dangers microbiens. Il s'agit d'études ponctuelles dont l'objectif principal est souvent qualitatif : typage et caractérisation des souches microbiennes isolées.

Les industriels, dans le cadre de la maîtrise de la qualité de leurs productions, réalisent régulièrement des auto-contrôles sur les conditions de fabrication (exemple : température, contamination de l'environnement) et sur la qualité microbiologique aux différents stades de la vie du produit. Ils possèdent ainsi une masse importante de données qui malheureusement reste indisponible. Les auto-contrôles sont obligatoires et constituent des éléments de preuve de l'efficacité des pratiques de l'entreprise. Les services d'inspection de l'Etat, lors de leur visite des usines, peuvent avoir accès à ces données. Mais il n'existe pas de système de centralisation de ces données. Un tel système nécessitera de grands travaux de standardisation des techniques et la mise en réseau des différents laboratoires analysant les produits alimentaires.

Pour mieux gérer le risque, il est utile d'identifier les principaux facteurs déterminant le niveau de contamination. Pour répondre à cet objectif, on peut développer des modèles complexes de la chaîne alimentaire qui va de la ferme jusqu'à l'assiette du consommateur. C'est là où des données représentatives des différentes étapes de production de la matière première, de la transformation, du stockage et de la préparation deviennent indispensables (figure 1).

V - ESTIMATION DU RISQUE

L'objectif de cette étape est de donner une estimation quantitative, compte tenu des incertitudes inhérentes à la nature et à la qualité des données utilisées, de la fréquence et de la gravité des effets néfastes connus ou potentiels sur la santé susceptibles de se produire dans une population donnée. Cette estimation est faite sur la base de l'identification des dangers, de l'appréciation des effets et de l'évaluation de l'exposition.

Le résultat de l'estimation du risque peut s'exprimer de la façon suivante : on a une probabilité de 95% que le nombre de morts liés à la consommation de l'aliment contaminé par le danger étudié dépasse 10 par an.

Le risque d'être malade pour un individu est calculé à partir de l'équation suivante :

$$\text{Probabilité (Malade)} = 1 - \prod_{i=1}^c (1 - f(D_i))$$

où c est la fréquence de consommation pour un individu donné, D_i la dose ingérée lors de la consommation i , et f la fonction dose/effet. On obtient ainsi une distribution de la probabilité du risque de tomber malade par individu. A partir de cette distribution, on peut déduire la distribution du nombre attendu de malades pour une période de temps donnée.

La variabilité du nombre attendu de cas reflète l'ensemble des incertitudes qu'on a sur les données utilisées.

Les modèles utilisés doivent être capables de tenir compte de la complexité du processus de transmission (de la ferme à la table), de la variabilité des facteurs influençant l'exposition ou la sensibilité des consommateurs, et des incertitudes inhérentes aux données disponibles. Les méthodes les plus répandues sont les méthodes de simulation. En se basant sur des études antérieures, on construit des modèles décrivant l'implication des différentes variables retenues (exemple : contamination lors de la vente, fréquence de la consommation, sensibilité de l'hôte, etc.). Au lieu des valeurs moyennes ou extrêmes, on associe une loi de distribution à toutes les variables et paramètres du modèle. Les simulations du type Monte-Carlo permettent

d'estimer la distribution marginale du risque étudié [Vose, 2000].

La recherche des sources de variabilité apporte des informations très utiles aux évaluateurs et aux gestionnaires des risques [Zwietering et Van Gerwen, 2000]. Pour les évaluateurs, l'analyse de sensibilité du modèle permet d'identifier les variables qui causent la plus grande part de la variabilité. Si ces variables sont bien mesurées, elles seront considérées comme des options de gestion de risque. Dans le cas contraire, les évaluateurs concluront que l'estimation du risque est imprécise et qu'il est nécessaire de mener des études spécifiques pour améliorer les connaissances sur ces variables.

Par exemple, les relations dose/effet présentées dans la figure 3 montrent des écarts de l'ordre de un à cinq logarithmes décimaux sur le risque de listériose. L'analyse de sensibilité montre que le nombre attendu de cas dépend essentiellement du choix de la relation dose/effet plus que du niveau d'exposition aux aliments contaminés. Pour pouvoir avancer, il sera donc nécessaire de mieux préciser la relation dose/effet.

Les résultats d'une appréciation quantitative des risques ne se limitent pas à l'estimation de la fréquence de l'effet néfaste ; elle permet, en plus, d'identifier les données manquantes et utiles pour améliorer la quantification du risque ainsi que les options de gestion de risque, tout en quantifiant les réductions attendues en nombre de cas si ces options sont appliquées.

Les options de gestion peuvent s'appliquer à un ou plusieurs compartiments de la filière alimentaire. Si l'appréciation est complète, de la ferme à la table, des options de gestion pourront être proposées pour la production primaire (conditions d'élevage, état sanitaire des animaux, etc.), ou la fabrication de l'aliment (contrôle des matières premières, changement du processus de fabrication, modification des températures de stockage ou de la date limite de consommation, etc.) ou le consommateur (exemple : information et sensibilisation des consommateurs sur le stockage et la manipulation des aliments à risque).

VI - UNE APPRECIATION DES RISQUES : POUR QUEL OBJECTIF ?

On a longtemps admis que la modélisation dans le domaine de la sécurité des aliments était trop complexe et nécessitait des données difficiles à collecter. Les risques microbiens d'origine alimentaire ont été alors gérés d'une façon semi-empirique. Néanmoins, les progrès récents en microbiologie quantitative (microbiologie prévisionnelle) et en modélisation ont permis le développement de diverses méthodes aidant à l'appréciation quantitative des risques microbiologiques. L'approche la plus complète doit à la fois modéliser le rôle des différents types de facteurs expliquant le maintien et la diffusion de l'agent pathogène tout au long de la chaîne alimentaire (modèles multidimensionnels), la **variabilité**² des phénomènes biologiques étudiés et l'**incertitude**³ sur les paramètres introduits dans le modèle (modèles stochastiques).

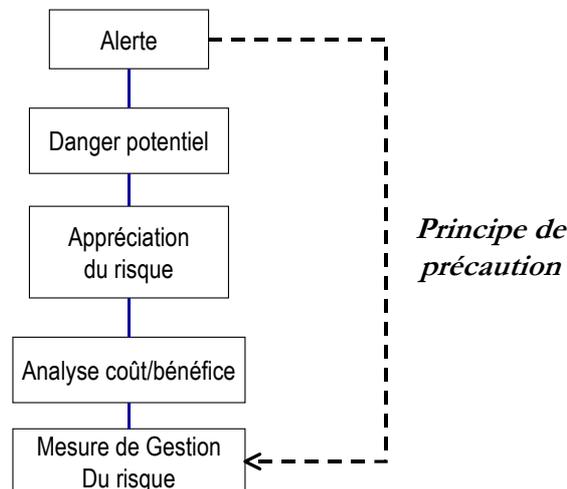
Une telle démarche constitue un travail colossal de collecte et de rassemblement des données ainsi que de développement de modèles très complexes, qui demandera beaucoup de temps. Or, la finalité de ces modèles est d'apporter le plus rapidement possible des informations objectives et structurées aux gestionnaires des risques pour faciliter leurs décisions. Il est alors indispensable d'avoir des objectifs échelonnés pour l'appréciation quantitative des risques afin d'éviter le recours systématique au principe de précaution (figure 4).

Ainsi, pour accélérer le processus décrit dans la figure 4, une communication entre les gestionnaires et les évaluateurs est indispensable pour fixer des objectifs pour l'appréciation des risques qui soient réalisables et utiles pour la prise des décisions en matière de maîtrise de la santé publique.

FIGURE 4

Principe de précaution.

Lorsque le processus d'appréciation du risque, l'analyse coût/bénéfice des options de gestion de risque est trop lent, les gestionnaires du risque sont contraints d'appliquer des mesures de précaution qui ne sont pas toujours justifiées par des connaissances scientifiques suffisantes.



² inhérente aux phénomènes biologiques.

³ qui résulte de notre manque de connaissances.

Prenant l'exemple de la listériose et l'implication des aliments prêts à la consommation, on peut avoir différents types d'objectifs :

- Etablir un classement des risques, ce qui permettra d'identifier les aliments pour lesquels une appréciation quantitative des risques plus approfondie et/ou un système de collecte de données est à développer. Les données nécessaires à cet exercice sont la fréquence et le niveau de contamination aux points de vente, les quantités consommées des produits alimentaires par habitant et par an, et la relation dose/effet. Cet exercice a été fait par l'agence américaine FDA [Anonyme, 2001]. Une telle démarche peut être appliquée sans grande difficulté au contexte français.
- Pour un aliment ou un groupe d'aliments le gestionnaire peut se poser la question de savoir si une technologie donnée met en défaut la sécurité des consommateurs. C'est l'exemple de la fabrication des fromages à partir du lait cru. L'objectif de l'appréciation quantitative des risques est de mesurer l'impact sur la santé publique

de ce type d'aliments et de vérifier si les mesures de gestion déjà mises en place ou à prévoir sont compatibles avec le niveau de protection recherché. De telles études ne peuvent pas être réalisées sans l'appui des industriels, car on a besoin de données qui ne sont pas dans le domaine public. En France, les industriels sont de plus en plus sensibilisés aux risques sanitaires et commencent à mettre à la disposition des scientifiques des données nécessaires au développement d'appréciations quantitatives des risques spécifiques.

- On peut avoir un objectif plus général, de définir des limites pour des critères microbiologiques, c'est-à-dire la concentration maximale tolérée pour *Listeria monocytogenes* au moment de la consommation. La limite actuelle est « absence dans 25 g ». Compte tenu des informations épidémiologiques et des relations dose/effet disponibles, une tolérance de 100 bactéries par gramme serait-elle acceptable ?

VII - CONCLUSION

La démarche d'appréciation quantitative des risques microbiologiques est complexe. A la question « les données disponibles sont-elles suffisantes pour réaliser des analyses quantitatives des risques infectieux d'origine alimentaire ? », la réponse dépend de l'objectif des questionnaires des risques :

- si l'objectif est une appréciation quantitative des risques nationale dans le but de définir des priorités d'action : elle est réalisable à condition de disposer d'un système de centralisation de l'ensemble des contrôles de la qualité microbiologique des aliments ;
- si l'on cherche à analyser le risque associé à un type de procédé de fabrication : il est indispensable de coopérer avec les

industriels car ce sont eux qui détiennent les données.

Cependant, l'absence de données fiables pour établir les relations dose/effet constitue un point faible qui rend difficile la mise en œuvre d'une démarche quantitative des risques.

Enfin, il faut insister sur le fait que le but de la démarche quantitative des risques n'est pas seulement de donner des estimations des risques, mais surtout d'identifier les facteurs qui sont à l'origine de l'incertitude sur les résultats. L'appréciation quantitative des risques peut être considérée comme un outil pour la gestion des risques et pour la planification des études à entreprendre dans le domaine de la sécurité microbiologiques des aliments.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme ~ Draft Assessment of the relative risk to public health from foodborne *Listeria monocytogenes* among selected categories of ready to eat foods. FDA/Center for food safety and applied nutrition, USDA/Food safety and inspection service et centers for disease control and prevention. January 2001. <http://www.foodsafety.gov/~dms/lmrisk.html>.
- Aureli P., Fiorucci G.C., Caroli D., Marchiaro B., Novara O., Leone L. and Salmoso S. ~ An outbreak of febrile gastroenteritis associated with corn contaminated by *Listeria monocytogenes*. *The New England Journal of Medicine*, 2000, **342**, 1236-1241.
- Buchanan R. L., Damert W.G., Whiting R.C. and van Schothorst M. ~ Use of epidemiological and food survey data to estimate a purposefully conservative dose-response relationship for *Listeria monocytogenes* levels and incidence of listeriosis. *Journal of Food Protection*, 1997, **60**,918-922.
- Codex Alimentarius Commission ~ Food Standards Program Codex Alimentarius Commission. *Report of the 28th Session of the Codex Committee on Food Hygiene*. Washington DC, 27 November-1 December 1995. ALINORM 97/13.
- Dalton C.B., Austin C.C., Sobel J., Hayes P.S., Bibb W.F., Graves L.M., Swaminathan B. *et al.* ~ An outbreak of gastroenteritis and fever due to *Listeria monocytogenes* in milk. *New England Journal of Medicine*, 1997, **336**,100-105.
- FDA/Center for Food Safety and Applied Nutrition, USDA/ Food and Inspection Service, Centers for Disease Control and Prevention. Internet: www.foodsafety.gov/~dms/lmrisk.html.
- Furomoto W.A. and Mickey R. ~ A mathematical model for the infectivity-dilution curve to tobacco mosaic virus : theoretical considerations. *Virology*, 1967, **32**, 216.
- Gerba C.P., Rose J.B. and Haas C.N. ~ Sensitive populations : who is at the greatest risk ? *Int. J. Food Microbiol.*, 1996 jun, **30** (1-2), 113-123.
- Haas C.N. ~ Conditional dose-response relationships for microorganisms: development and application. *Risk Anal*, 2002 Jun;**22**(3):455-63.
- Lindqvist R. and Westöo A.. ~ Quantitative risk assessment for *Listeria monocytogenes* in smoked or gravad salmon/rainbow trout in Sweden. *International Journal of Food Microbiology*, 2000, July 15 ; **58**(3) : 181-196.
- Pierre O. et Veit P. ~ Plan de surveillance de la contamination par *Listeria monocytogenes* des aliments distribués. *BEH*, 1996; **45**, 195-7.
- Vose D. ~ Risk Analysis. A quantitative guide. Wiley, 2000, pp 418.
- Zwietering M.H. and van Gerwen S.J.C. ~ Sensitivity analysis in quantitative microbial risk assessment. *Int. J. Food. Microbiol.*, 2000, **58**, 213-221.

