



ARTICLE DE SYNTHÈSE

L'analyse des risques : Outils innovant d'amélioration de la sécurité sanitaire des aliments

E. ASSIDJO ✉, A. SADAT, C. AKMEL, D. AKAKI, E. ELLEINGAND, B. YAO

Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse et de l'Environnement (LAPISEN), Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

✉ Correspondance et tirés à part, e-mail : assidjo@yahoo.fr

Résumé

Comment protéger la population en leur garantissant une meilleure qualité de vie ? Depuis que des liens ont été établis entre les dangers biologiques ou chimiques et des maladies d'origine alimentaire, il a été possible d'évaluer le risque pour la santé publique et de proposer des mesures pour assurer la sécurité des consommateurs grâce à l'analyse des risques. Cette méthodologie est composée de trois entités qui sont la gestion du risque, l'évaluation du risque et la communication sur le risque. Tandis que la première revêt un aspect politique, l'évaluation du risque constitue une base scientifique essentielle pour ces décisions importantes de gestion des risques. Elle est de plus en plus utilisée pour aider à définir les réglementations destinées à améliorer la sécurité de la population dans les pays développés. L'évaluation des risques comprend quatre phases qui sont : l'identification du danger, la caractérisation de celui-ci, l'estimation de l'exposition et la caractérisation du risque. Une bonne évaluation est tributaire de la qualité et la nature des données et les efforts sont aujourd'hui axés sur l'amélioration des bases de données et des modèles appropriés et valides pour réduire les incertitudes ou erreurs de prévisions. Malheureusement, cette méthodologie d'analyse des risques qui est en plein essor en Occident pour assurer la qualité sanitaire des aliments et protéger la population, est timidement appliquée dans les pays d'Afrique de l'ouest (*RASPA*, 11 (S) : 3-13).

Mots-clés : Analyse des risques - Evaluation des risques- Approche probabiliste - Approche déterministe .

Abstract

Risk Analysis: innovative tool for improving food safety

Since links have been established between the biological or chemical hazards and foodborne diseases, it was possible to evaluate public health risks and propose measures to ensure consumer safety through risk analysis. This methodology consists of three entities that are risk management, risk assessment and communication about risk. While the first is a political aspect, risk assessment is an essential scientific basis for these important risk management decisions. It is increasingly used to help define regulations to improve population safety in developed countries. Risk assessment consists of four phases which are: hazard identification, its characterization, the exposure assessment and risk characterization. A good evaluation is dependent on data nature and quality and efforts are now focused on improving databases and appropriate and valid models to reduce uncertainty or error estimates. Unfortunately, this method of risk analysis which is booming in the develop countries to ensure food quality and protect population, is tentatively applied in the West Africa countries.

Key – Words: Risks analysis - Risk assessment - Probabilistic approach - Deterministic approach

Introduction

1. Analyse des risques
2. Composantes de l'analyse des risques
3. Evaluation des risques
 - 3.1. Evaluation qualitative
 - 3.2. Evaluation quantitative
4. Méthodologie de l'évaluation des risques
 - 4.1. Caractérisation qualitative du danger
 - 4.2. Caractérisation quantitative du danger
 - 4.3. Estimation de l'exposition
 - 4.3.1. Variabilité et incertitude
 - 4.3.2. Disponibilité des données
 - 4.4. Caractérisation des risques

Conclusion

Introduction

Il est bien connu que la consommation de denrées contaminées par un agent dangereux peut induire un effet néfaste chez l'homme ou l'animal. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 2,2 millions de personnes meurent chaque année de maladies diarrhéiques transmises par l'eau et les aliments contaminés dans les pays les moins avancés [25]. Dans les pays industrialisés, 10% à un tiers de la population contracterait, annuellement, une maladie infectieuse d'origine alimentaire [26], c'est-à-dire induite par un danger biologique (bactéries, virus, parasites, etc.) [25], [21]. Par ailleurs, de graves crises alimentaires ont ébranlé le monde. Nous avons encore en mémoire l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) en 1986 et la grippe aviaire en 1997. En outre, chaque année, de nouveaux risques sont identifiés. Parmi les aliments généralement suspectés dans les maladies d'origine alimentaire, les viandes constituent les denrées animales les plus fréquemment incriminées. En effet, en France par exemple, de 1996 à 2001, elles ont été la deuxième catégorie de denrées incriminées dans les maladies d'origine alimentaire déclarées (25%) derrière les œufs et ovoproduits (30,2%) [25]. Les viandes sont aussi les plus fréquemment déclarées positives lors de la détection des principaux dangers biologiques zoonotiques [11]. Ainsi, les zoonoses alimentaires, maladies induites par la consommation d'aliments d'origine animale contaminés par un danger biologique dont l'animal est la source, occupent une place particulière. Ces dangers biologiques sont le plus souvent associés à un portage inapparent chez les animaux [8], [35], [37]. Ces différents faits ont eu pour conséquences, entre autres, d'inquiéter les consommateurs. Pour réduire les impacts économiques, et assurer la sécurité et redonner confiance aux consommateurs, des réglementations nationales et internationales ont été mises au point. Quel en est le cas en Afrique de l'Ouest ?

De plus, lors du parcours des animaux, de la ferme à la table, des traitements chimiques (fongicides, antibiotiques, antiparasitaires, etc.) sont utilisés. Attendu que ces produits ont un temps de rémanence, quels sont les niveaux résiduels dans la viande, au moment de la consommation ? N'ont-ils pas un impact sur la santé du consommateur ?

Par conséquent, la maîtrise de ces dangers pour le consommateur implique d'appréhender les mesures d'évaluation, de gestion et de communication sur les risques. C'est dans cet esprit qu'a été mis en place diverses réglementations dont le règlement 178/2002 de l'Union Européenne, instituant l'analyse des risques au

long de la chaîne alimentaire, de la production primaire (l'élevage) au consommateur.

L'objectif de cette synthèse est de présenter la méthodologie de l'analyse du risque à travers l'exemple de la viande. En effet, selon les statistiques de la FAO, la consommation moyenne de viande en 2009 se situe à 13 ; 16 et 9 kg/personne/an respectivement en Côte d'Ivoire, au Sénégal et au Nigeria. Selon les différents types, la viande de bœuf est la plus consommée. De façon générale, cette consommation reste faible par rapport à la moyenne mondiale (35 Kg/personne/an) [8], [9]. On consomme 5,2 fois moins de viande en Afrique de l'Ouest qu'en Europe par exemple. Il existe une énorme disparité, selon les produits, du taux de couverture de la consommation par la production ouest africaine. Ainsi, il est de 100% pour la viande de petits ruminants et les œufs, de 98% pour la viande bovine et porcine, de 80% pour la viande de volaille et de 74% pour le lait et les produits laitiers. Mais avec une croissance annuelle estimée à 4%, la demande de produits d'origine animale en Afrique de l'Ouest devrait augmenter de plus de 250% d'ici 2025.

La viande dans son ensemble est consommée sous différentes formes : braisée, séchée (kilichi) ; grillée ou cuite à l'eau.

La viande, du fait de sa composition et des mauvaises conditions hygiéniques (de l'élevage, de l'abattage, du transport, de stockage, etc.), est un excellent substrat pour le développement de la flore microbienne par exemple.

Quels sont les risques encourus par la population des pays d'Afrique de l'Ouest ? Comment évalue-t-on ce risque ?

1. Analyse des risques

L'analyse des risques dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments est une activité en évolution. C'est une méthode analytique qui est énormément utilisée et recommandée dans la définition des politiques de santé publique. C'est une approche logique qui a été utilisée avec succès pour gérer de nombreux types de risques microbiologiques et chimiques des aliments, de l'environnement, etc. Elle a été utilisée pour la première fois pour le contrôle des radiations [32]. Aujourd'hui, elle est couramment utilisée pour estimer les risques potentiels pour les hommes, animaux et plantes et pour identifier les opportunités de réduction du risque relatif aux divers dangers [27].

Vers la fin des années 90, plusieurs réunions, ont eu lieu pour définir les termes et les différentes composantes de l'analyse des risques, à savoir la gestion des risques [12], l'évaluation des risques [8] et la communication sur les risques [12].

Les objectifs visés par ces consultations sont :

- répondre aux questions spécifiques de gestion des risques et d'améliorer et diffuser les méthodologies d'évaluation des risques ;
- d'élaborer des guides et bonnes pratiques pour la conduite des différentes étapes d'une évaluation des risques [13].

Depuis 1999, le comité conjoint FAO/OMS, le JECFA et les agences nationales de sécurité alimentaires (comme l'ANSES française et l'AFSCA belge) ont évalué des risques pour différentes combinaisons dangers-aliments [13].

Mais qu'est-ce que le risque ?

Le *risque*, peut être défini comme la probabilité qu'un événement défavorable, un danger ou un dommage a de survenir, et son impact. Ainsi, il est une estimation de la possibilité que l'on a d'être éventuellement atteint par un danger donné. Il est différent du danger, qui quant à lui, est un agent biologique (microorganismes pathogènes et leur toxine), chimique (pesticides, additifs, etc.) ou physique, susceptible d'avoir un effet adverse sur la santé des hommes, des animaux et des plantes [2].

La séparation des risques en deux composantes (probabilité et impact) est utile, car le risque peut être géré à la fois par des actions visant à réduire la probabilité et les conséquences de l'événement indésirable. Ainsi, l'analyse des risques peut être décrite comme un cadre pour analyser et gérer toute activité qui peut avoir des conséquences négatives sur la santé des hommes, des animaux et des plantes. Dans le contexte de la sécurité alimentaire, elle est un outil qui, dans un cadre formel, systématique et transparent, permet aux autorités compétentes d'un pays de comprendre et d'évaluer les options nécessaires pour réduire les risques pour la santé. Les différentes composantes de l'analyse des risques se chevauchent en partie, comme le montre la figure 1.



Figure 1 : Composantes de l'analyse du risque

2. Composantes de l'analyse des risques

L'évaluation des risques et leur gestion sont deux processus étroitement liés mais différents. La nature de la question de gestion du risque influence souvent la portée et la nature d'une évaluation des risques [2]. Tandis que les évaluateurs des risques se demandent : *quelle est l'ampleur du risque d'une situation ?*, les gestionnaires du risque se demandent : *Qu'est-ce que nous sommes prêts à accepter ?*, et *Qu'allons-nous faire à ce sujet ?*

L'évaluation des risques est généralement considérée comme la partie objective du processus et la gestion des risques comme la partie subjective. La distinction entre ces deux éléments est importante. En effet, les deux entités doivent être indépendantes. En fait, la gestion du risque est le fait des autorités compétentes alors que l'évaluation des risques doit être pilotée par un comité indépendant d'experts. Ce comité procède à l'évaluation sur saisine (en général) des gestionnaires. Mais pour qu'une évaluation soit possible, il faut que les critères d'évaluation soient mesurables ou estimables [31]. Ainsi, la communication entre les gestionnaires des risques et les évaluateurs des risques est cruciale. L'évaluation des risques fournit des informations basées sur l'analyse des données scientifiques pour décrire la forme, l'ampleur et les caractéristiques de risque, c'est à dire, la probabilité d'effets néfastes pour l'homme ou l'animal. Bien que l'évaluation du risque soit principalement un travail scientifique, les décisions politiques sont nécessaires pour juguler le problème et ainsi protéger efficacement la population, les animaux ou l'environnement [7]. La gestion des risques est finalement de prendre des mesures réglementaires fondées sur les résultats des experts et des considérations d'ordre juridique, politique, social, économique et technique. Elle est donc principalement un processus politique, bien que la science soit impliquée dans la collecte des données techniques, sociales ou économiques.

La communication doit également se faire en direction des opérateurs économiques et surtout des consommateurs. Normalement, elle doit être le fait d'experts en communication. Tous les canaux (télévision, radio, journaux, etc.) doivent être adoptés afin que les consommateurs dans leur ensemble soient informés et sensibilisés [22].

3. Evaluation des risques

L'application des techniques d'évaluation des risques dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments est fortement recommandée par les organisations nationales

et internationales [26], [13] et plusieurs auteurs ont étudié l'application des méthodes d'évaluation des risques pour diverses matrices et dangers [18], [14], [20], [36].

Il existe deux approches générales pour l'évaluation des risques : évaluations qualitative et quantitative [8], [18], [14]. Pendant que les évaluations qualitatives des risques sont des traitements descriptifs ou catégoriques, les analyses quantitatives sont des analyses mathématiques des données numériques. Une évaluation quantitative des risques est préférée si les informations et les ressources quantitatives nécessaires sont disponibles.

3.1. Evaluation qualitative

Lorsque les données, le temps et/ou d'autres ressources sont limitées, la seule option disponible est de procéder à une évaluation qualitative des risques. Celle-ci peut être entreprise comme une première évaluation d'un problème de sécurité alimentaire afin de déterminer si le risque est suffisamment important pour justifier une analyse plus détaillée. Elle doit être plus qu'un simple examen de la documentation ou un résumé des informations disponibles sur un sujet.

Idéalement, une approche qualitative inclurait un cadre pour la traduction de l'information qualitative de différents aspects d'une question de risque dans une évaluation objective du risque global. Le cadre structuré devrait aider à réduire le biais lié à l'interprétation de l'évaluateur du risque d'information qualitative et aider à garantir que les énoncés descriptifs ne sont pas mal interprétés par les gestionnaires de risques ou d'autres personnes qui utiliseront les résultats de l'évaluation.

L'évaluation qualitative devrait suivre la même approche systématique que l'évaluation quantitative des risques, y compris les étapes traitant de l'identification des dangers, évaluation de l'exposition, la caractérisation des dangers et la caractérisation des risques.

3.2. Evaluation quantitative

L'évaluation quantitative des risques, quant à elle, peut être divisée en deux catégories: l'évaluation déterministe et l'évaluation stochastique. Plus descriptive, celles-ci sont souvent appelées, respectivement, « estimation ponctuelle » et l'évaluation probabiliste des risques. La principale différence entre ces deux approches est dans leur description des entrées à une évaluation des risques. En effet, l'approche déterministe utilise des valeurs simples telles que la valeur moyenne ou des valeurs extrêmes (les pires cas : 97,5^{ème} ou 99^{ème} percentiles) comme entrées. Par exemple, pour estimer le nombre moyen d'un agent pathogène auquel un individu peut être exposé, le niveau moyen de contamination

d'un aliment est associé à la quantité moyenne de nourriture consommée par un consommateur moyen. L'estimation pouvait être également faite pour les gros consommateurs (97,5^{ème} percentile). Ainsi, cette approche produit une seule valeur (moyenne, 97,5^{ème} percentile, etc.) de l'estimation des risques. L'approche probabiliste, quant à elle, tient compte de toutes les données disponibles et utilise des distributions de probabilité, par opposition à une seule valeur, pour décrire les paramètres qui contribuent au risque. Les distributions utilisées dans ces modèles peuvent être définies par des ensembles de données mesurées ou peuvent être estimés à l'aide des relations paramétriques. Il en résulte une répartition du risque qui caractérise la gamme de risques qui pourraient être vécue par un individu ou une population. L'approche probabiliste, en dépit de sa complexité par rapport à l'estimation ponctuelle, est la méthode de choix pour des évaluations quantitatives. Cette approche a été développée et utilisée dans divers cas de produits alimentaires [8], [24]. Malheureusement, la plupart des cas étudiés le sont dans les pays occidentaux. Très peu d'études en Afrique de l'Ouest ont été répertoriées [19].

4. Méthodologie de l'évaluation des risques

La méthodologie d'évaluation des risques retenue par les organisations internationales comme le *Codex alimentarius* et l'OIE peut être divisée en quatre étapes distinctes : (1) l'identification des dangers, (2) la caractérisation des dangers, (3) l'estimation de l'exposition et (4) la caractérisation des risques [1], comme présenté par la figure 2.

Dans les sections suivantes, ces étapes seront détaillées et appliquées au cas de la Salmonelle dans la viande, bactérie responsable de plus de la moitié des cas de gastro-entérites en Europe.

4.1. Identification du danger

La première étape de l'évaluation des risques est une étape qualitative qui consiste en une recherche documentaire ; c'est-à-dire à recueillir toutes les informations ou connaissances sur le danger. En général, ces informations complètes sont aisément disponibles. Il s'agit de déterminer la nature du danger, son origine, ses effets qualitatifs, etc.

Dans la filière viande, pour ce qui nous concerne, les dangers qui pourraient se retrouver dans l'aliment sont nombreux et variés. En effet, ils peuvent être essentiellement d'origine chimique (pesticides, antibiotiques,

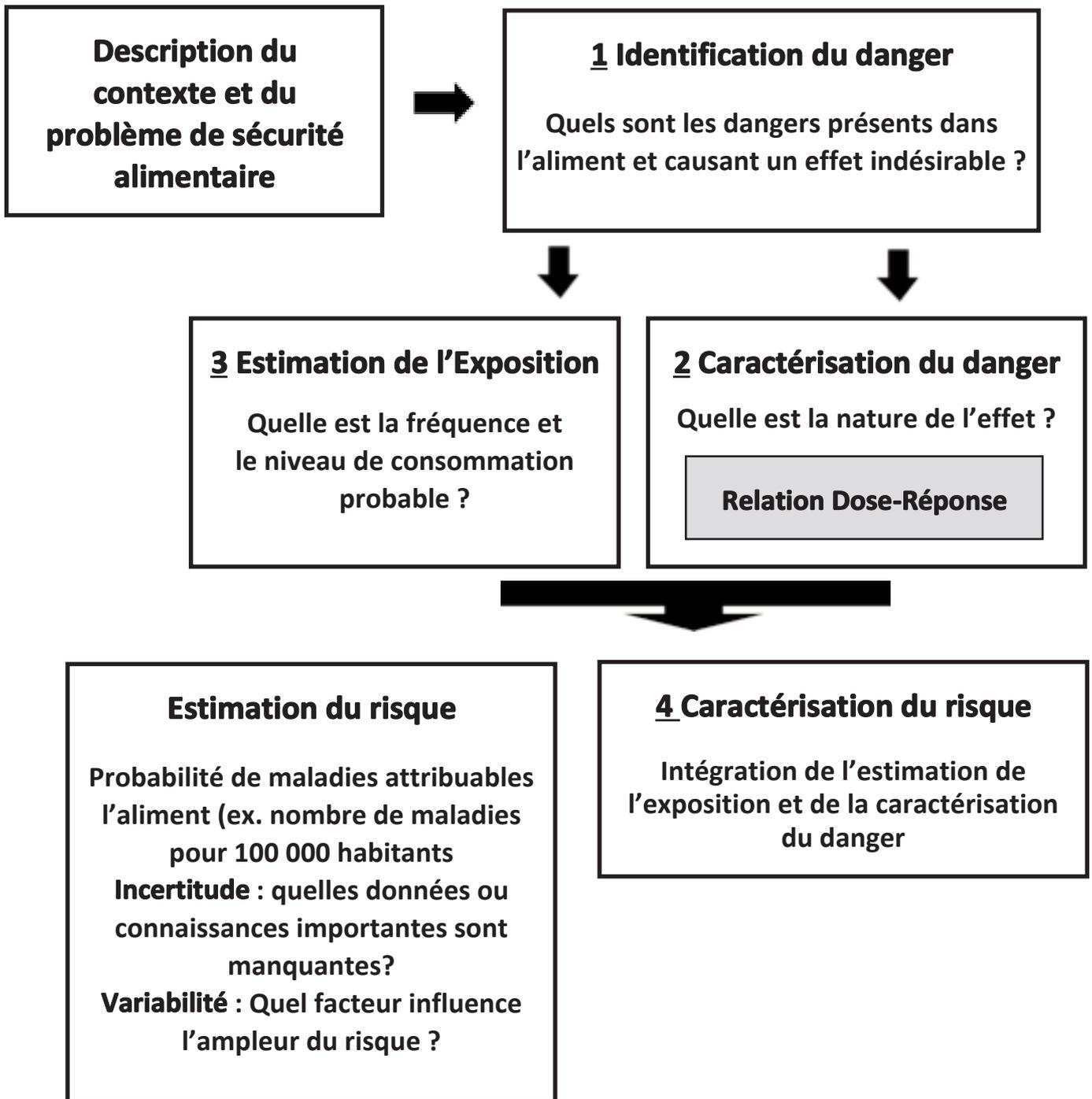


Figure 2 : Les étapes d'une évaluation du risque

hormones de croissance, etc.) ou biologique (microorganismes et/ou leurs toxines). Ces dangers peuvent se trouver à n'importe quel stade de la production de la viande : élevage, abattage, transport, stockage, etc.)

Les salmonelles sont des bacilles à coloration de Gram négative. Le genre *Salmonella* comporte 3 espèces: *Salmonella enterica*, *S. bongori* et *S. subterranea*. L'espèce principale est *S. enterica* qui comprend elle-même six sous-espèces (*enterica*, *salamae*, *arizonae*, *diazarizonae*, *houtenae* et *indica*).

Les salmonelloses comprennent la fièvre typhoïde et les salmonelloses non typhiques (ou non typhoïdiques). La fièvre typhoïde est due à *S. enterica*, sérovar *S. typhi*. Elle est rare dans les pays industrialisés du fait des progrès de l'hygiène et de l'amélioration des conditions d'approvisionnement en eau potable. Cependant, dans les pays en voie de développement, l'incidence est élevée, liée aux mauvaises conditions d'hygiène et aux risques de transmission fécale. L'incidence mondiale est de 21 000 000 de cas avec 1 à 4% de décès. Dans les pays sous-développés, elle est de 540 cas/100 000.

La contamination est alimentaire ou inter-humaine surtout chez les enfants.

Le réservoir principal de *Salmonella spp.* est constitué par le tractus gastro-intestinal des mammifères (porcs, bovins) et des oiseaux (volailles domestiques). Les animaux constituent donc la principale source de danger. Pour *S. typhi*, l'homme en est l'unique réservoir.

Les salmonelloses humaines non typhiques (gastro-entérites) sont considérées comme des maladies zoonotiques. La transmission à l'homme se fait essentiellement par consommation d'aliments contaminés crus ou peu cuits. La part de transmission par voie alimentaire est estimée à 95% pour les salmonelles non-typhiques et à 80% pour les salmonelles typhiques. Les aliments en cause sont les viandes, volailles, œufs consommés peu ou pas cuites, les fruits de mer, les fruits et les légumes, les crèmes glacées. Les salmonelles les plus fréquemment en cause sont *S. enteritidis* (viandes peu cuites) et *S. typhimurium* (œufs).

La transmission des salmonelles non-typhiques à l'homme peut aussi être directe, interhumaine ou par contact avec des animaux infectés.

Chez les sujets âgés ou immunodéficients des bactériémies et des septicémies sont observées.

4.2. Caractérisation du danger

Cette étape concerne les connaissances quantitatives sur le danger. Lesquelles connaissances sont les réponses aux questions suivantes :

- Quelle est la probabilité que l'infection et la maladie se produise et pour quelle proportion de la population ?
- Est-ce que l'évolution de la maladie est bénigne ou grave?
- Quelle est la prévalence du danger dans la viande ?
- Quelle en est sa concentration ?
- Quel est l'effet de la matrice alimentaire sur la probabilité de la maladie?
- Etc.

Plusieurs auteurs présentent cette étape comme celle de l'évaluation de l'effet du danger. Cette estimation est obtenue à travers l'élaboration de la relation dose-effet ou nombre-effet qui est une estimation de la relation entre la dose d'un danger chimique (ou le nombre de microorganismes) ou le niveau d'exposition d'une substance et l'incidence et sévérité d'un effet. Il s'agit de la description quantitative de la relation entre le niveau d'exposition à un danger et le niveau d'un effet toxique ou une maladie.

Quelle est la probabilité de tomber malade si 10 Salmonelles d'un sérotype spécifique de Salmonelle sont consommées ? Quelle est la gravité de la maladie ? Cette étape doit tenir compte de la sensibilité différentielle des consommateurs.

Les données sont obtenues par des expérimentations sur animaux en laboratoire et rarement par des études épidémiologiques dans la population humaine. Différentes courbes dose-effet peuvent exister si le danger produit différents effets toxiques. Par exemple, VAN LEEUWEN *et al.* ont révélé qu'une exposition ponctuelle à des concentrations élevées de benzène peut avoir des effets létaux (effets toxiques aigus) [25]. Par contre, une exposition chronique à des concentrations relativement faibles peut générer un cancer (effet carcinogène chronique).

La relation dose-effet permet de définir les valeurs toxicologiques de référence (VTR), surtout pour les produits chimiques. Les VTR comme le Niveau de la Non-Observation d'Effet (NOAEL) est utilisé sur la base de la dose journalière acceptable (DJA) ou la dose de référence (RfD) par l'application d'un facteur de correction (100). Ce facteur tient compte de la variabilité inter-espèce (car les données sont obtenues sur animaux) et intra-espèce (due à la différence de sensibilité d'un consommateur à un autre).

De toute évidence, le développement de ces modèles dose-réponse est difficile. La complexité du système alimentaire, la nature de l'organisme ou du produit chimique, les différences de consommation individuelle (sensibilités relatives), et le manque de connaissance des doses consommées et des données épidémiologiques sont des facteurs qui compliquent l'élaboration du modèle.

Malgré ces difficultés, la plupart des effets de la consommation d'agents pathogènes d'origine alimentaire sont immédiats, ce qui simplifie la modélisation de la dose-réponse par rapport à la plupart des risques chimiques où les effets à long terme sont plus fréquents.

La microbiologie prévisionnelle, dans le cas des dangers biologiques, pourrait être très utile dans l'élaboration de modèles dose-réponse appropriés. Elle est appliquée pour comprendre comment les nombres et types de microbes sont susceptibles d'être affectés par la structure et la composition de l'alimentation ; et ce, pendant la production, la distribution, le stockage, la préparation et la consommation des aliments. A ce jour, la littérature est riche en ce qui concerne les modèles dose-effet. Mais l'amélioration des capacités de prévision doivent être faite, particulièrement dans nos pays.

Pour ce qui concerne les salmonelles, il n'existe pas de

publications relatives à la relation dose-effet. Toutefois, l'expérience montre que les troubles gastro-intestinaux se manifestent d'autant plus vite que la dose ingérée est élevée. Des données obtenues lors d'enquêtes consécutives au déclenchement d'épidémies, indiquent que les troubles digestifs peuvent se déclarer lors de l'ingestion de 10^1 à 10^{11} bactéries [3], [10]. Il a également été noté que des aliments à haute teneur en matière grasse ou en protéines, protégeraient les bactéries contre l'acidité gastrique ; les doses provoquant les troubles seraient plus faibles lors de l'ingestion de tels types d'aliments. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) indique que la dose de *S. Enteritidis* provoquant des troubles chez 50% des consommateurs, est de l'ordre de 10000 bactéries, mais ne conclut pas sur le caractère extrapolable de cette relation aux autres sérotypes [3].

Toutefois, une méta-analyse récente indique que la dose infectieuse causant la salmonellose chez 50% des sujets exposés serait de l'ordre de quelques dizaines de bactéries pour les sérotypes *Typhimurium* et *Enteritidis*, quelle que soit la population exposée [3].

4.3. Estimation de l'exposition

Selon la définition du *Codex Alimentarius*, l'estimation de l'exposition est l'évaluation quantitative et/ou qualitative de l'ingestion probable de dangers biologiques ou chimiques par le biais des aliments (ainsi que l'exposition à d'autres sources le cas échéant).

L'étape de l'estimation de l'exposition est cruciale et consiste à quantifier le niveau de produits chimiques, de micro-organismes ou des toxines auxquelles les populations humaines, sous-groupes de la population et des individus sont exposés, en termes d'ampleur, de durée et de fréquence [29].

Une variété d'approches différentes existe pour quantifier les expositions humaines. Les méthodes directes impliquent des mesures d'exposition prises au point de contact ou d'absorption. Les méthodes indirectes consistent à extrapoler les estimations de l'exposition à partir d'autres mesures ou de données existantes [28]. Les modèles d'exposition représentent des outils importants pour l'évaluation de l'exposition indirecte. Ils sont une construction logique ou empirique qui permet d'estimer les paramètres d'exposition de la population ou d'un individu à partir des données d'entrée disponibles [20]. Ils sont généralement utilisés lorsque des mesures directes de l'exposition ou les données de surveillance biologique ne sont pas disponibles ou lorsque ces techniques ne sont pas appropriées pour l'estimation de l'exposition.

Une grande variété de modèles d'exposition sont actuellement employés dans le monde. Ils ont été développés pour prédire l'exposition humaine aux dangers résultant de la consommation d'aliments et d'eau contaminés. Tandis que les modèles d'exposition globale considèrent multiples voies d'exposition, les modèles cumulatifs intègrent plusieurs dangers.

Tous ces modèles se concentrent uniquement sur la quantification des niveaux d'exposition humaine en multipliant simplement la concentration chimique ou le nombre de microorganismes dans l'aliment par la quantité de l'aliment consommé. Cependant, prédire l'exposition alimentaire est plus difficile, du fait de la complexité inhérente des régimes modernes et des modes de consommation alimentaire. L'alimentation humaine se compose d'une large gamme de produits agricoles et chacun de ces produits peuvent être consommés dans une variété de formes différentes.

Les modèles estiment l'exposition en utilisant soit des valeurs uniques (moyenne, 95^{ème} ; 97,5^{ème} percentiles) des différents paramètres (estimation ponctuelle) ou leur distribution (estimation probabiliste). Les modèles les plus élaborés peuvent intégrer un plus grand nombre de variables telles que la race, le genre, l'ethnie, le statut socio-professionnel [22], [25], [34].

L'estimation de l'exposition s'appuie sur des scénarios de consommation de l'aliment contaminé. La conception de ces scénarios est difficile en raison des nombreuses variables liées au risque à évaluer. Il s'agit notamment des spécificités du danger, la manipulation des aliments et des circonstances de sa consommation, et les particularités de chaque consommateur.

L'estimation de l'exposition consiste, par exemple pour un produit chimique, à déterminer les émissions, les voies et la vitesse de déplacement d'une substance et de sa transformation ou de sa dégradation afin d'obtenir des concentrations ou des doses auxquelles la population humaine est ou peut être exposée. Il s'agit de décrire la nature et la taille des populations, et l'ampleur et la durée de leur exposition. L'évaluation peut porter sur les expositions passées ou actuelles, ou l'exposition future anticipée. Elle est sans doute la partie la plus incertaine de l'évaluation des risques en raison de l'absence d'informations sur les facteurs d'émissions lors de la production de produits chimiques (pollution ponctuelle), par exemple, l'utilisation en aval de substances chimiques dans les produits et leurs émissions (sources diffuses de pollution). Les estimations de l'exposition et du risque grâce à des modèles sont entachées d'un degré élevé d'incertitude, dérivée de l'exactitude et l'applicabilité des hypothèses, des simplifications, des techniques de modélisation et les

données retenues. Les méthodes utilisées pour traiter l'incertitude peuvent améliorer considérablement l'utilité et la validité des modèles d'exposition et de leurs résultats. GRAHAM a indiqué que l'incertitude de l'estimation de l'exposition et donc du risque est due à l'utilisation de scénarios d'exposition hypothétiques, le recours excessif aux tests sur les animaux, le manque d'analyse formelle de l'incertitude, et la négligence des inégalités dans la répartition des risques [17].

4.3.1. Variabilité et incertitude

L'incertitude du modèle résulte de différences entre la façon dont les processus réels sont simulés dans le modèle et la façon dont ces processus se produisent dans la réalité. Comme les modèles ne peuvent jamais être précis à 100%, car ils représentent des simplifications des systèmes réels cette source d'incertitude est impossible à éliminer. Mais il peut être réduit en sélectionnant un meilleur modèle. Celui-ci doit être l'équilibre entre la qualité des données disponibles et la complexité du modèle. La variabilité des paramètres représente l'hétérogénéité réelle dans un paramètre d'entrée alors que l'incertitude reflète un manque de connaissance de la valeur réelle [17]. La variabilité et l'incertitude des paramètres sont souvent considérés ensemble et représentent les sources d'incertitude qui ont reçu le plus d'attention dans la modélisation de l'exposition humaine.

Ainsi, l'incertitude peut être divisée en deux catégories : (i) incertitude de type A, induite par la variabilité naturelle, qui ne peut être réduite et (ii) l'incertitude de type B qui est due à un manque ou une insuffisance de connaissances appropriées [32]. Ces deux types d'erreur proviennent de quatre sources différentes qui sont : (1) l'incertitude de scénario, (2) l'incertitude du modèle, (3) la variabilité des paramètres, (4) l'incertitude des paramètres [1], [17]. L'incertitude du scénario provient de différences entre la situation en cours de modélisation et la situation réelle.

De nombreuses techniques y compris l'approche probabiliste, la modélisation mathématique et numérique et la logique floue sont utilisées pour caractériser les incertitudes [4], [5], [8], [18], [20], [28]. Il n'existe pas de méthode unique qui offre des solutions complètes pour tous les types d'incertitudes [38]. Chaque approche a ses avantages et ses inconvénients [38].

L'approche la plus largement utilisée pour caractériser l'incertitude dans les études d'évaluation des risques est la méthode de Monte Carlo [30]. Cette méthode requière des informations sur (i) les dépendances statistiques entre les variables, (ii) les distributions de paramètres d'entrée, et (iii) la structure du modèle pour évaluer les

scénarios d'exposition. Il apparaît, par conséquent, que cette méthode est utilisée dans l'approche probabiliste d'estimation de l'exposition.

Dans la simulation Monte Carlo, une seule valeur est choisie dans la distribution de probabilité de chaque variable. Ces valeurs sont ensuite utilisées dans les algorithmes du modèle pour produire une seule estimation de l'exposition. Ce processus est ensuite répété plusieurs fois, avec de nouvelles valeurs pour chaque paramètre d'entrée sélectionnées de façon stochastique à chaque fois, pour produire une distribution de probabilité des expositions possibles (figure 3). Le ré-échantillonnage répétitif des valeurs de plusieurs distributions nécessite des algorithmes mathématiques qui peuvent être programmés ou sont intégrés dans des logiciels spécialisés existants tels que Crystal ball ou Met@Risk [12]. Dans ces conditions, l'utilisation des paramètres d'entrée représentés sous forme de distributions de valeurs possibles, permet d'intégrer la variabilité inhérente aux paramètres du modèle dans l'évaluation de l'exposition. Malheureusement, dans la simulation Monte Carlo, les valeurs des paramètres de faible probabilité ont moins de chances d'être sélectionnés de façon aléatoire. Ainsi une partie de possibilité peut être ignorée [15], [16]. En outre, les méthodes de Monte Carlo ne permettent que d'estimer le risque de dépasser la limite réglementaire ou la valeur cible. Alors que dans la réalité, le risque de dépassement est un intervalle avec des limites inférieure et supérieure [15]. Les informations insuffisantes ou imprécises des données sont très mal simulées par cette méthode [9]. Alors que, cela est aisément réglé par la logique floue qui devient de plus en plus populaire pour l'estimation de l'exposition [8], [16], [18].

4.3.2. Disponibilité des données

La disponibilité des données a beaucoup influencé le développement de l'estimation de l'exposition et donc de l'évaluation des risques. Afin d'améliorer la précision des estimations, les pays occidentaux ont mis en place des dispositions (enquêtes, études épidémiologiques, contrôle des aliments, etc.) pour enrichir des bases de données. Malheureusement, dans les pays de la sous-région, très peu ou pas de données n'existent. Dans le cas contraire, elles ne sont pas structurées dans le but d'une évaluation de risque. Le paramètre qui est le moins renseigné est la consommation des populations de ces pays. Quels sont les types et les quantités de viande consommés par chaque individu des différents sous-groupes de la population (enfants, adultes, vieillards, femmes enceintes, etc.) ?

Quelles sont les concentrations et la prévalence dans les

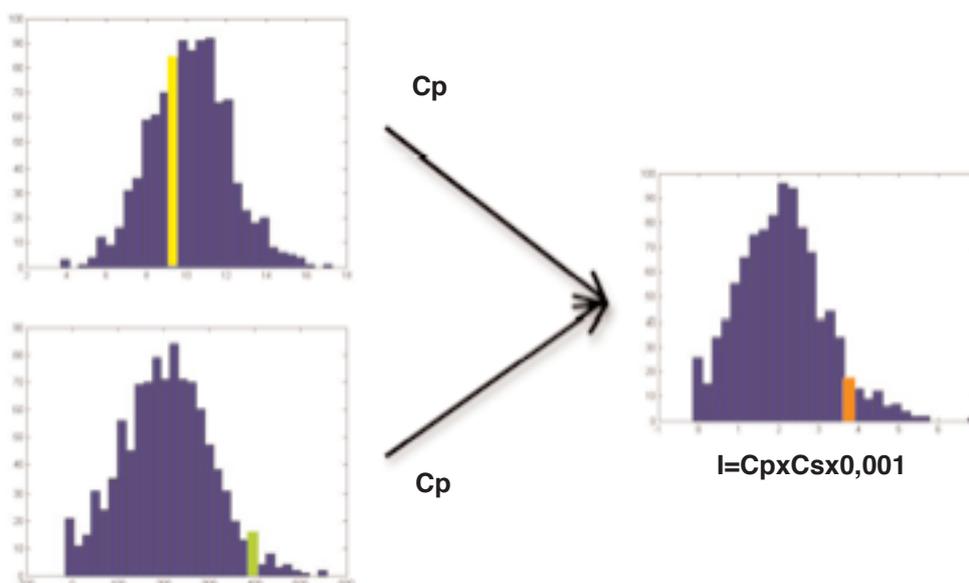


Figure 3 : Processus de Monte Carlo

aliments des différents dangers susceptibles d'être présents dans les aliments ?

Un pays, pour assurer et garantir la sécurité sanitaire de sa population doit pouvoir répondre à ces questions et à bien d'autres.

Mais pour un début, nos pays peuvent faire une estimation de l'exposition en utilisant l'approche déterministe avant de migrer vers la méthode probabiliste qui est plus précise. Ce qui aura déjà le mérite de donner une approximation de l'exposition.

4.4. Caractérisation des risques

La caractérisation du risque consiste à intégrer les étapes ci-dessus en une estimation quantitative (probabilité) des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population donnée, due à l'exposition réelle ou prévue à un danger, et pouvant inclure l'estimation du risque, à savoir la quantification de cette probabilité.

Cette phase est un cadre développé pour définir l'importance du risque, et toutes les hypothèses, incertitudes et jugements scientifiques des trois étapes précédentes sont pris en compte. Dans de nombreux cadres réglementaires internationaux les effets sur les humains, les animaux et les plantes sont souvent exprimés en ratio de risque ou comme des niveaux jugés «acceptables» ou sans risque appréciable. Il convient de noter que ces ratios et estimations ne sont pas des mesures absolues de risques. En outre, cette dernière

étape peut identifier les impacts économiques et sociaux de risque pour l'homme. La caractérisation du risque est clairement tributaire des incertitudes et la nature non-quantitative de la plupart des données sous-jacentes qui est essentiel pour prédire les impacts économiques, sociaux sur la santé.

Pour revenir au cas des salmonelles dans la viande, des travaux ont été entrepris par divers auteurs dont ANDREOLLOTTI *et al.* [2], d'une part et VOSE *et al.* [35], d'autre part. Les différents résultats ont montré que les risques estimés se situent entre 47.664,7 et 87.513,4 cas de salmonelloses dues à *S. infantis* et *S. enteritidis* respectivement dans la viande pour la population européenne. Leurs estimations ont été obtenues par utilisation de modèles complexes comme le BT-SAM qui intègrent divers paramètres depuis la production primaire jusqu'à la consommation. Ces modèles tiennent également compte de la recontamination qui est une phase importante dans l'augmentation du risque.

Conclusion

L'analyse des risques est une exigence réglementaire qui est composée de trois entités qui sont : l'évaluation des risques, la gestion des risques et la communication sur les risques.

La première composante (l'évaluation des risques), qui est le fait de scientifiques, est un outil analytique qui est utilisé et proposé de plus en plus pour aider à définir les priorités dans l'élaboration de politiques de santé publique

Elle est une méthode jeune, mais en plein essor dans les pays industrialisés. Aujourd'hui, avec les efforts conjugués de ces pays, les bases de données sont améliorées. L'accessibilité aux bases de données par tous ceux qui s'intéressent à des prédictions quantitatives a considérablement contribué à améliorer l'évaluation des risques. La gestion des données a connu une croissance significative dans tous les secteurs industriels. Nous pouvons, par conséquent, nous attendre à des progrès significatifs dans ce domaine. La disponibilité des bases de données interactives avec la participation de tous (industrie, organismes de santé publique, organismes de réglementation et universités) y compris les données provenant du monde entier permettra d'augmenter la certitude des prévisions et la capacité d'appliquer l'évaluation quantitative du risque pour améliorer la sécurité sanitaire des aliments.

Malheureusement, dans les pays d'Afrique de l'ouest, où les besoins d'aliments sains sont aussi importants, que ceux des pays industrialisés, pour réduire les risques de maladie, l'analyse des risques se trouve encore à un niveau de balbutiement. Il est impérieux que les autorités compétentes de ces pays mettent en place un cadre formel (agences de sécurité sanitaire des aliments, par exemple) pour évaluer les différents risques. Sans doute que les prévisions initiales ne seront pas si raffinées car ne tenant pas compte de tous les facteurs complexes qui peuvent influencer la maladie. En outre, elles pourront se faire en supposant les cas extrêmes (97,5^{ème} percentile). Ce sera un point de départ légitime et précieux qui, tant que les limites seront analysées, améliorera les capacités et la compréhension du risque à analyser dans le futur. Les agences devront organiser la collecte des données, gage d'une évaluation valide et permettre d'identifier les points de la chaîne alimentaire à améliorer. Grâce à une correcte analyse des données, il sera également possible de déterminer où des efforts supplémentaires de recherche seront utiles ou, en fait, donneront un avantage limité.

Bibliographie

1. ADAK, G., MEAKINS, S., YIP, H., LOPMAN, B. AND O'BRIEN, S.J., 2005. - Disease risks from foods, England and Wales, 1996-2000. *Emerg. Infect. Dis.* 11 : 365-72
2. ANDREOLETTI O., BUDKA H., BUNCIC S., COLIN P., COLLINS J., KOEIJER A., GRIFFIN J., HAVELAAR A., HOPE J., KLEIN G., KRUSE H., MAGNINO S., MARTINEZ LÓPEZ A., MCLAUCHLIN J., NGUYEN-THÉ C., NOECKLER K., NOERRUNG B., PRIETO MARADONA M., ROBERTS T., VÅGSHOLM I., VANOPDENBOSCH E., 2008.- Scientific Opinion of the Panel on Biological Hazards on a request from the European Commission on a quantitative microbiological risk assessment on *Salmonella* in meat: Source attribution for human salmonellosis from meat. *The EFSA Journal*. 625: 1-32.
3. ANSES, 2011.- *Salmonella spp.* Famille des Enterobacteriaceae Genre *Salmonella* Bactérie. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments / *Salmonella spp.* Agence nationale de la sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail, pp 1-4.
4. BAE, K., KAROLYI, G., STULZ, R., 2003. - A new approach to measuring financial contagion. *Review of Financial Studies*, 16 (3) : 717.
5. BEN-HAIM Y., ELISHAKOFF I., 1990. - Convex Models of Uncertainty in Applied Mechanics, Elsevier Science Publishers.
6. BOUTONNET J.P., GRIFFON M., VIALLET D., 2000. - Compétitivité des productions animales en Afrique subsaharienne et à Madagascar : Synthèse générale. Direction générale de la coopération internationale et du développement, France ; pp 51-104.
7. CAC, 1999.- Principle of guideline for the conduct for the microbiological risk assessment. *Alinorm* 13A : 35-41.
8. CHEN Y., JACKSON K., CHEA F., SCHAFFER D., 2001.- Quantification and variability analysis of bacterial cross-contamination rates in common food service tasks. *J. Food Prot.* 64 : 72-80.
9. CHOWDHURY T, CHOWDHURY S., 2011.- Performance Evaluation of Agricultural Banks in Bangladesh. *Int. J. Bus. Manage*, 6 (4) : 75-89.
10. CUQ J-L, 2011.- Microbiologie alimentaire : Contrôle microbiologique des aliments. Département des Sciences et Technologies des Industries Alimentaires. Polytech'Montpellier/ Réseau Eiffel ISIM. pp 1-119.
11. EFSA (European Food Safety Authority), 2009a.- Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Salmonella* in holdings with breeding pigs in the EU, 2008, Part A: *Salmonella* prevalence estimates. *EFSA Journal*, 7 (12) : 93 pp.
12. FAO/WHO, 1995. - Application of risk analysis to food standards Mycobacterium paratuberculosis via pasteurized milk: A issues. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Modeling approach. Vet. Rec. WHO, Geneva. WHO/FNU/FOS/ 95.3. (143): 293-296.
13. FAO/WHO, 1997.- Risk management and food safety, 1997. Report of a Joint FAO/WHO Consultation Rome, Italy. Food and Nutrition Paper No. 65: 27p.
14. FERRIER, S., 2002.- Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity: the north-east New South Wales experience. II. Community-level modelling. *Biodiv. Conserv.* 11: 2309-2338.
15. FERSON,W., SCHAT R., 1996.- "Measuring Fund Strategy and Performance in Changing Economic Conditions," *Journal of Finance*, 51:425-462.
16. GUYONNET D., CÔME B., PERROCHET P., PARRIAUX A., 1999.- Comparing two methods for addressing uncertainty in risk assessments. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, 125 (7) : 660-666.
17. GRAHAM J., DUDLEY R., AGUILAR N., GANS C., 1995. - Implications of the late Palaeozoic oxygen pulse for physiology and evolution. *Nature* 375, 117-120.
18. JAYKUS L. 1996.- The application of quantitative risk assessment to microbial food safety risks. *Crit. Rev. Microbiol.* 22 : 279-293.
19. KOUAMÉ-SINA S.M., MAKITA K., COSTARD S., DADIÉ A., DJE M., DELIA G., BONFOH B., 2012. - Hazard identification and exposure assessment for bacterial risk assessment of informally marketed milk in Abidjan, Côte d'Ivoire, *Food and nutrition bulletin* 2012 ; 33 (4) : 223-34.
20. LAMMERDING A., 1997.- An overview of microbial food safety risk assessment. *J. Food Prot.* 60 : 1420-1425.
21. LAMMERDING A., FAZIL A., 2000.- The occurrence of foodborne disease *International Journal of Food Microbiology*, 58 : 147-157.
22. LANGLEY J., 2000.- Rapid Communications in Mass Spectrometry Special Issue: Papers presented at 24th Annual Meeting of the BMSS - Volume 14, Issue 5 : 305p.
23. MANKOR A., 2009.- Consommation urbaine de viandes en Afrique de l'Ouest : l'exemple de Dakar. Dossier sur l'Évolution du secteur de l'élevage ouest africain. *Revue Grain de sel* n° 46-47 : 16-17.
24. MORGAN D., NEWMAN C., HUTCHINSON D., WALKER A., ROWE B. AND MAJID F., 1993.- Verotoxin producing *Escherishia Coli* O 157 infections associated with the consumption of yoghurt. *Epidemiol. Infect.* 111 : 181-187.
25. OMS, 2007.- Rapport sur la santé mondiale. Un avenir plus sûr: la sécurité sanitaire mondiale au XXI^e siècle.
26. OMS, 2000.- Rapport sur la santé dans le monde. Pour un système de santé plus performant ISBN 92 4 256198 3.
27. PEELER E.J., MURRAY A.G., THEBAULT A., BRUN E., GIOVANINNI A., THRUSH M.A., 2007.- The application of risk analysis in aquatic animal health management. *Preventive Veterinary Medicine*, Volume 81, Issues 1-3, pp 3-20.
28. POND A., SCHEVE B., BENEDICT A., PETRECCA K., VAN WAGONER D., SHRIER A. AND NERBONNE J., 2000.- Expression of distinct ERG proteins in rat, mouse and human heart. *J Biol Chem* 275 : 5997- 6006.
29. Risk Assessment Toxicology Steering Comitee, 1999 b
30. SNARY E., 2010.- Quantitative Microbiological Risk Assessment on *Salmonella* in Slaughter and Breeder Pigs: Final Report. EFSA.

31. SUTER P., GOONAN P., BEER J., THOMPSON T., 1993.- A biological and physico-chemical monitoring study of wetlands from the River Murray flood plain in South Australia'. *Australian Centre for Water Quality Research Report No 7* (93).
32. SUTER, G., EFROYMSON R., SAMPLE B., JONES D., 2000.- Ecological Risk Assessment for Contaminated Sites. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
33. VAN RAAN, ., 1996. - Advanced bibliometric methods as quantitative core of peer review based evaluation and foresight exercises. *Scientometrics* 36 : 397-420.
34. VOSE D., 1996.- In quantitative risk analysis: A guide to Monte Carlo Simulation Modeling. Wiley, New York.
35. VOSE D., KOUPEEV T., MINTIENS K., 2011.- A Quantitative Microbiological Risk Assessment of *Salmonella* spp. in broiler (*Gallus gallus*) meat production, EFSA.
36. VOYSEY PA, BROWN M., 2000.- Microbiological risk assessment: A new approach to food safety control. *Int Journal Food Microbiol.*, 58 (3) : 173 -179.
37. WORLD HEATH ORGANIZATION, 2008.- Initiative to estimate the global burden of foodborne diseases- a growing risk.
38. ZIMMERMANN S., HARTJE S., EHRHARDT T., PLESCH G., MUELLER-ROEBER B., 2001.- The K+ channel SKT1 is co-expressed with KST1 in potato guard cells – both channels can co-assemble via their conserved K-T domains. *Plant Journal* 28: 517- 527.

* * *