

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان –

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM –

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم البيولوجيا

Département de Biologie



MÉMOIRE

Présenté par

LACENE NACER Hanane

En vue de l'obtention du **Diplôme de MASTER**

Spécialité : **Microbiologie Fondamentale**

Thème :

L'analyse quantitative du risque microbiologique

Soutenu le 19 / 09 / 2022 , devant le jury composé de :

Présidente	BELLIFA Samia	MCA	U. Tlemcen
Encadrant	MOUSSA BOUDJEMAA Boumedine	Professeur	U. Tlemcen
Examinatrice	AYAD Amel	MCB	U. Tlemcen

Année universitaire 2021/2022

Remerciement

*Avant tout, je remercie **ALLAH** Tout Puissant, de m'avoir donné le courage, la force, la persistance pour pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*Tout d'abord, je tiens à exprimer toute ma gratitude à mon encadrant
Pr :**MOUSSA BOUDJEMAA Boumediene**, pour avoir dirigé ce travail, pour ces encouragements, sa compétence, sa disponibilité ainsi que sa patience. Ça fait plaisir de travailler avec lui.*

*Je remercie également Mme **BELLIFA Samia**, pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire ; mes sincères reconnaissances et remerciements et mes respectueuses grâces.*

*Il m'est très agréable de remercier Mme **AYAD Amel** à vous qui me faites le grand honneur d'examiner mon travail.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes professeurs qui m'ont enseigné durant tous mes études, tout le personnel du département de Biologie.

En fin, j'adresse mes profonds sentiments à ma famille qui m'ont toujours soutenue et qui est contribué à ma formation au niveau de tous les cycles d'études.

MERCI A TOUS.....

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

*A mes chère parents : mon père « **Youcef** » et ma mère « **Naouel** »,
ma source de vie, d'amour et d'affection. Que dieu les gardes et les
protéger.*

*A ma chère et unique sœur **Ismahene***

*A mes chères frères **Mohammed** et **Zakaria***

A mes grands-parents, mes tantes, mes cousines et mes cousins

*A mes meilleur amis avec qui j'ai passé de très bons moments : **Ahelm**,
Amira, **Nacira**, **Soumia** et **Asmae**.*

Hanane

Résumé

L'analyse du risque microbiologique a été instituée suite aux accords internationaux pour un usage systématique en vue d'une aide à la gestion du risque alimentaire. Le principal objectif d'une analyse du risque microbiologique est d'éliminer ou réduire le niveau de risque en mettant en place des mesures de prévention adéquates et permet d'assurer une maîtrise de la chaîne alimentaire en vue d'une meilleure protection du consommateur. L'analyse du risque comprend trois aspects : l'évaluation du risque, la gestion du risque et la communication du risque. L'évaluation du risque microbiologique est une étape essentielle : sur ses résultats, se basent les décisions de gestion. Elle permet la compréhension des mécanismes pouvant aboutir à l'apparition des risques et si les données sont suffisantes de modéliser le risque, et de lui associer une probabilité d'apparition. Actuellement l'évaluation quantitative du risque microbiologique (EQRM) est la méthode la plus développée. Cette discipline acquiert peu à peu ses lettres de noblesses suite aux différentes publications et études réalisées ces dernières années. À l'avenir, cette discipline est appelée à prendre de plus en plus d'importance pour la prise de décision.

Mot clés : Sécurité sanitaire des aliments, Analyse des dangers, Analyse du risque, Evaluation quantitative du risque microbiologique.

Abstract

Microbiological risk analysis was instituted following international agreements for systematic use to help manage food risk. The main objective of a microbiological risk analysis is to eliminate or reduce the level of risk by implementing adequate preventive measures and to ensure control of the food chain for better consumer protection. Risk analysis includes three aspects: risk assessment, risk management and risk communication. Microbiological risk assessment is an essential step: the results are used to base management decisions. It allows the understanding of the mechanisms that can lead to the appearance of risks and if the data are sufficient to model the risk, and to associate a probability of occurrence with it. Currently the quantitative microbiological risk assessment (QMRA) is the most developed method. This discipline is gradually acquiring its letters of nobility following the various publications and studies carried out in recent years. In the future, this discipline is destined to take on more and more importance for decision-making.

Keyword: Food safety, Hazard analysis, Risk analysis, Quantitative evaluation of the microbiological risk (QMRA).

الملخص

تم إنشاء تحليل المخاطر الميكروبيولوجية في أعقاب الاتفاقيات الدولية للاستخدام المنتظم للمساعدة في إدارة مخاطر الغذاء. الهدف الرئيسي لتحليل المخاطر الميكروبيولوجية هو القضاء على مستوى المخاطر أو تقليله من خلال تنفيذ تدابير وقائية مناسبة وضمان التحكم في السلسلة الغذائية من أجل حماية أفضل للمستهلك. يشمل تحليل المخاطر ثلاثة جوانب: تقييم المخاطر وإدارة المخاطر والإبلاغ عن المخاطر. يعد تقييم المخاطر الميكروبيولوجية خطوة أساسية: تُستخدم النتائج لبناء قرارات الإدارة. يسمح بفهم الآليات التي يمكن أن تؤدي إلى ظهور المخاطر وما إذا كانت البيانات كافية لنمذجة المخاطر، وربط احتمالية الحدوث بها. يعد التقييم الكمي للمخاطر الميكروبيولوجية (QMRA) حالياً أكثر الطرق تطوراً. يكتسب هذا الانضباط تدريجياً خطابات النبلاء بعد المنشورات والدراسات المختلفة التي أجريت في السنوات الأخيرة. في المستقبل، من المقرر أن يأخذ هذا الانضباط أهمية متزايدة في صنع القرار.

الكلمات المفتاحية: سلامة الأغذية، تحليل الاخطار، تحليل المخاطر، التقييم الكمي للمخاطر الميكروبيولوجية.

Liste des abréviations

ALARA	:	As–Low-As Reasonably-Achievable.
ALOP	:	Appropriate Level Of Protection
APR	:	Analyse Participative des Risques
ARCHER	:	Accelerated Radiation-transport Computations in Heterogeneous EnviRonments.
CCP	:	Critical Control Point
DALY	:	Disability Adjusted Life Years
EQRM	:	Evaluations Quantitatives des Risques Microbiologique
ENS	:	Evènement Non Souhaite
ERM	:	Evaluation de risque microbiologique
FSO	:	Food Safety Objectives
FAO	:	Food and Agriculture Organization
HACCP	:	Hazard Analyse Critical Control Point
MOA	:	Maladies d’Origine Alimentaire
MID	:	Dose Infectieuse Minimale
NASA	:	National Aeronautic and Space Administration
OIE	:	Office International des Epizooties
OMC	:	Organisation Mondiale de Commerce
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
OMSA	:	Organisation mondiale de la Santé Animale
P_{exp}	:	Probabilité d'exposition
P_{inf}	:	Probabilité d’infection
P_{mal}	:	Probabilité de Maladie
QALY	:	Quality-Adjusted Life Year

QMRA : Quantitative Microbial Risk Analysis
SA : Sécurité Alimentaire
SSA : Sécurité Sanitaire des Aliments
VaR : Value At Risk

Liste des figures

N°	Titres	Pages
01	Schéma illustrant les deux composantes du risque (fréquence et conséquences) pour deux maladies (A et B)	16
02	Schématisation du processus	17
03	Les sept principes de la démarche HACCP	21
04	Interactions entre les processus d'évaluation, de gestion et de communication du risque	26
05	Processus de gestion du risque	28
06	Concept d'analyse participative des risques dans la chaîne de valeur informelle des produits d'origine animale	30
07	Approches de l'analyse de risque microbiologique	32
08	Le triangle épidémiologique	36
09	Diagramme du processus de caractérisation des dangers liés à la présence de pathogènes	39
10	Principales étapes du processus d'une maladie infectieuse d'origine alimentaire	40
11	Exemple d'un aperçu du modèle conceptuel pour décrire la voie d'exposition d'une évaluation de l'exposition depuis la production jusqu'à la consommation	42
12	Risk ranger excel	51
13	@RISK Palisade Execel	52

Liste des tableaux

N°	Titres	Pages
01	Principaux agents bactériens responsables de maladie d'origine alimentaire	9
02	Principales mycotoxines, moisissures productrices, effets toxiques et denrées alimentaires favorables	11
03	Etapés successives du système HACCP	23
04	Les équations des modèles exponentiels et beta-poisson	41
05	Logiciels appliqué pour l'évaluation quantitative des risques microbiologiques	49

Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : Le concept de la sécurité sanitaire des aliments	
I .1. Introduction.....	4
I .2. Définition des concepts.....	5
Chapitre II : Risques microbiologiques	
II .1 Les principales maladies d'origine alimentaire (MOA) et leurs causes.....	8
II .1.1 Bactéries infectieuses.....	8
II .1.2 Levures et moisissures.....	10
II .1.3 Algues.....	12
II .1.4 Parasites.....	13
II .1.5 Virus.....	13
II .1.6 Prions transmissibles.....	13
Chapitre III : L'analyse du risque	
III.1 Définition des concepts.....	15
III.1.1 Notion de Danger.....	15
III.1.2 Notion de Risque.....	15
III.1.3 Analyse des dangers.....	17
III.1.3.1 Définition de l'analyse de danger.....	17
III.1.3.2 Eléments de l'analyse de danger.....	17

III.1.3.3 Généralités sur le système HACCP.....	19
III.1.3.3.1 Définition du système HACCP.....	19
III.1.3.3.2 Historique.....	19
III.1.3.3.3 Objectifs du système HACCP.....	20
III.1.3.3.4 Principes de base du système HACCP et étapes de mise en œuvre.....	20
III.1.4 Analyse des risques.....	23
III.1.4.1 Historique et base légale de l'analyse de risque.....	23
III.1.4.2 Définition de l'analyse de risques.....	24
III.2 Objectifs de l'analyse des risques.....	25
III.3 Composantes de l'analyse du risque.....	25
III.3.1 Évaluation (appréciation) du risque.....	27
III.3.2 Gestion du risque.....	27
III.3.3 Communication du risque.....	28
III.4 Intégration des outils participatifs à l'analyse du risque.....	29
IV : Analyse quantitative du risque microbiologique	
IV.1 Approches d'évaluation des risques.....	32
IV.1.1 Évaluations qualitatives des risques.....	33
IV.1.2 Évaluations semi-quantitatives des risques.....	33
IV.1.3 Évaluations quantitatives des risques.....	33
IV.2 Définition d'analyse quantitative du risque microbiologique.....	33
IV.3 Objectifs d'analyse quantitative du risque microbiologique.....	34

IV. 4 Étapes d'analyse quantitative du risque microbiologique.....	35
IV. 4.1 Identification de danger (Hazard identification).....	35
IV. 4.1.1 Objectifs de l'identification des dangers.....	35
IV.4.1.2 Processus d'identification des dangers.....	36
IV. 4.2 Caractérisation de danger (Hazard characterization).....	38
IV.4.2.1 Processus de caractérisation des dangers.....	38
IV.4.2.2 Modèles dose-réponse.....	39
IV. 4.3 Évaluation d'exposition (Exposure assessment).....	41
IV.4.3.1 Objectifs d'évaluation d'exposition.....	42
IV.4.3.2 Processus d'évaluation d'exposition.....	43
IV.4.3.3 Facteurs d'évaluation d'exposition.....	43
IV.4.3.4 Evaluations quantitatives de l'exposition.....	44
IV .4.4 Caractérisation des risques (Risk characterization).....	46
IV.4.4.1 Processus de caractérisation des risques.....	46
IV.4.4.2 Caractérisation quantitative des risques.....	46
IV. 5 Outils logiciels pour l'évaluation quantitative des risques microbiologiques.....	48
IV.5.1 Risk Ranger.....	49
IV.5.2 @RISK palisade.....	51
Conclusion Générale	54
Références Bibliographiques.....	56

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

La maîtrise de qualité est un souci majeur dans les industries agroalimentaires. En effet la mauvaise qualité d'un produit alimentaire peut avoir plus ou moins de grandes conséquences, allant de simple altération du produit, lui faisant perdre ses qualités organoleptiques ou sa valeur commerciale, à des maladies d'origines alimentaires très dangereuses pour la santé humaine. Les préoccupations essentielles sont évidemment de prendre aux enjeux sociaux et commerciaux. Les premiers ciblent essentiellement la santé du consommateur et impliquant la nécessité de garantir en permanence la qualité du produit au moment de sa consommation (**Boutou, 2008**). La sécurité sanitaire des aliments est au centre des préoccupations des consommateurs et demeure l'enjeu du secteur agro-alimentaire. Cette expression est devenue très résonnante chez les professionnels de l'hygiène alimentaire et chez le consommateur. Elle signifie la "garantie" que les aliments ne provoquent pas de conséquences néfastes pour la santé du consommateur quand ils sont préparés ou ingérés, en tenant compte du but et de la manière de les consommer.

Les améliorations en termes de surveillance de même que la mondialisation et l'industrialisation des systèmes agroalimentaires ont contribué à dévoiler l'ampleur des dangers d'origine alimentaire actuellement en circulation. Par conséquent des méthodes de prévention des maladies et de gestion des risques sont recherchées par toutes les parties prenantes. Les mesures politiques ou de gestion comprennent généralement la définition des niveaux de tolérance pour les divers contaminants selon des données expérimentales et le rappel forcé d'aliments pour lesquels les niveaux de contaminants dépassent les niveaux juridiquement acceptés. Pourtant en raison de la nature de la réponse, les dangers sont souvent à l'origine d'effets dramatiques sur le marché des consommateurs et par conséquent, des mesures ont été prises afin d'identifier, de prévenir et de gérer les risques de contamination avant qu'ils ne se produisent. Le système d'analyse des dangers HACCP a permis d'identifier les dangers et de les maîtriser au niveau des institutions et des usines, alors que l'analyse des risques, initialement conçue pour gérer les risques dans la chaîne alimentaire, a été adaptée par les praticiens de la santé publique et les chercheurs afin de répondre aux risques plus importants des maladies d'origine alimentaire et hydrique (**WaltnerToews et McEwen, 1994a ; Pintar et al., 2010**).

L'analyse des risques est une discipline qui s'est développée ces dernières années, grâce à la volonté des autorités de santé publique et sécurité des aliments européenne, américaine, canadienne et australienne en particulier. L'analyse des risques permet de prendre des décisions à partir d'études disposant de résultats, si possible, quantifiés prenant en compte tous les aspects ayant un effet sur la santé.

Cette analyse des risques comporte trois domaines interconnectés et complémentaires qui sont l'évaluation, la gestion et la communication des risques. L'évaluation de risque microbiologique (ERM) repose sur les données et nécessite par conséquent des informations issues des activités de surveillance et de suivi, de même que d'un éventail d'expériences standards sur des animaux modèles et en laboratoire. De la même manière, les évaluations des risques peuvent être utilisées pour alimenter la conception des programmes de surveillance.

Selon les données et connaissances disponibles, l'objectif et le mode d'expression des résultats recherchés, trois approches d'ERM peuvent être mis en œuvre : qualitative, semi- quantitative et quantitative (EQRM).

Les EQRM varient de calculs sur tableur (**Vose et al., 2001**) à une modélisation probabiliste ou des modèles d'arbres de scénarii (**Morley et al., 2003**) disposent de certains avantages, en particulier pour ce qui est de quantifier l'incertitude et la variabilité des paramètres, de même quant à la précision des conséquences des risques.

L'objectif principal de ce travail est de rédiger une revue bibliographique mettant à jour l'état de l'art relatif aux dangers et risques microbiologiques liés à l'alimentation, de décrire les principes généraux de l'analyse des risques avec une attention particulière sur l'analyse quantitative des risques microbiologiques liés aux aliments.

Chapitre I

Le concept de la sécurité sanitaire des Aliments

Chapitre I : Le concept de la sécurité sanitaire des aliments**I .1. Introduction**

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), la sécurité sanitaire des aliments (SSA), la nutrition et la sécurité alimentaire (SA) sont inextricablement liées. Les aliments insalubres créent un cercle vicieux de maladies et de malnutrition, touchant particulièrement les nourrissons, les jeunes enfants, les personnes âgées et les malades. On estime que 600 millions de personnes, soit près d'une sur 10 dans le monde, tombent malades chaque année après avoir consommé des aliments contaminés, que 420 000 en meurent et qu'il en résulte la perte de 33 millions d'années de vie en bonne santé (DALY) (WHO, 2020).

Les aliments insalubres représentent un manque à gagner d'environ 110 milliards de dollars par an pour les pays à revenu faible et intermédiaire, du fait des pertes de productivité et des dépenses de santé qui en découlent.

Les enfants de moins de 5 ans supportent 40 % de la charge de morbidité imputable aux maladies d'origine alimentaire (MOA) et 125 000 en meurent chaque année (WHO, 2020).

Les MOA entravent le développement socio-économique en sollicitant lourdement les systèmes de soins de santé, et en portant préjudice aux économies nationales, au tourisme et au commerce.

La SSA est un concept né dans les années 1990. Le règlement (CE) 178/2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire a précisé les prescriptions relatives à la sécurité des denrées alimentaires dans les termes suivants (article 14) :

1. Aucune denrée alimentaire n'est mise sur le marché si elle est dangereuse.
2. Une denrée alimentaire est dite dangereuse si elle est considérée comme :
 - a) Préjudiciable à la santé.
 - b) Impropre à la consommation humaine.
3. Pour déterminer si une denrée est dangereuse, il est tenu compte :
 - a) Des conditions d'utilisation normales de la denrée alimentaire par le consommateur à chaque étape de la production, du traitement et de la distribution.
 - b) De l'information fournie au consommateur (...) concernant la prévention d'effets préjudiciables à la santé propres à une denrée alimentaire particulière ou à une catégorie particulière de denrées alimentaires.

4. Pour déterminer si une denrée alimentaire est préjudiciable à la santé, il est tenu compte :

- a) De l'effet probable immédiat et/ou à court terme et/ou à long terme de cette denrée alimentaire sur la santé non seulement d'une personne qui la consomme, mais aussi sur sa descendance.
- b) Des effets toxiques cumulatifs probables.

I .2 Définitions des concepts

Sécurité alimentaire : Dans un pays, la sécurité alimentaire existe lorsque tous les citoyens ont à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active.

Selon la Banque mondiale, il faut Cinq conditions pour assurer la sécurité alimentaire :

1. Assurer une offre de nourriture suffisante (production, importation, aide alimentaire).
2. Stabiliser l'offre tout au long de l'année (importance des stocks stratégiques).
3. Permettre à tous d'accéder à la nourriture, ce qui signifie garantir leur pouvoir d'achat (importance de l'emploi).
4. Garantir une distribution équitable de la nourriture au sein de la société.
5. Veiller à la qualité de l'alimentation (fabrication des produits, préparation et composition des repas).

La sécurité alimentaire a eu le statut de « droit de l'humanité » en 1943 à Hot Springs (Virginie, USA) (lors d'une conférence internationale qui a donné naissance à la FAO).

En 1948 Déclaration universelle des droits de l'homme affirme « le droit de toute personne à un niveau de vie suffisant pour assurer sa santé, son bien-être et ceux de sa famille notamment pour l'alimentation.

1974, Rome : 1ère conférence mondiale de l'alimentation les gouvernements affirment le droit inaliénable de chacun à être libéré de l'insécurité alimentaire. Ils se donnèrent dix ans pour régler définitivement le problème de la faim (Quarante ans après, le problème s'est aggravé).

Sécurité sanitaire des aliments : assurance que les aliments ne causent pas de dommage au consommateur quand ils sont préparés et/ou consommés conformément à l'usage auquel ils sont destinés (JORA, 2017).

Absence de risque : Concept relatif par lequel il faut entendre « le plus bas niveau de risque raisonnablement réalisable qu'il est possible d'atteindre et de maintenir par une intervention appropriée »
= ALARA « As- Low-As Reasonably-Achievable » .

Chapitre II

Le Risque microbiologique

Chapitre II : Le Risque microbiologique

Les aliments impropres à la consommation constituent une menace pour la santé dans le monde, qui met en péril tout un chacun (WHO, 2020), ces aliments peuvent subir une contamination à n'importe quel moment de la production ou de la distribution, et la responsabilité première incombe aux producteurs. Les aliments impropres à la consommation provoquent une forte proportion de maladies accidentelles d'origine alimentaires (plus de 200 maladies).

Les MOA dues aux agents pathogènes microbiens, aux bio-toxines et aux polluants chimiques présents dans les aliments représentent de graves menaces pour la santé de milliards de personnes. Ces MOA affectent non seulement la santé et le bien-être de la population, mais comportent des répercussions économiques pour les individus, les familles, les communautés, les entreprises et les pays ; et elles imposent un lourd fardeau au système de santé et réduisent notablement la productivité économique (WHO, 2020).

II.1 Les principales maladies d'origine alimentaire (MOA) et leurs causes

Les MOA sont généralement infectieuses ou toxiques par nature et provoquées par des bactéries, des virus, des parasites ou des substances chimiques qui pénètrent dans l'organisme par le biais d'aliments ou d'eau contaminée. Les agents pathogènes d'origine alimentaire peuvent provoquer des diarrhées graves ou des infections débilitantes, dont la méningite. La contamination chimique peut entraîner un empoisonnement grave ou des maladies à long terme comme le cancer.

Les MOA risquent de conduire à une incapacité durable, voire à la mort. Les aliments crus d'origine animale, les fruits et les légumes contaminés par des déjections, ainsi que les crustacés crus contenant des bio-toxines marines sont autant d'exemples d'aliments impropres à la consommation (WHO, 2020).

II.1.1 Bactéries infectieuses

Salmonella, *Campylobacter* et *Escherichia coli entérohémorragique* figurent parmi les agents pathogènes d'origine alimentaire les plus courants qui touchent des millions de personnes chaque année et s'accompagnent de conséquences graves, voire mortelles (WHO, 2020).

Le Tableau N° 01 ci-dessus résume les principaux agents bactériens responsables de MOA :

Tableau 01 : Principaux agents bactériens responsables de maladie d'origine alimentaire (**Birembaux, 2017**)

Bactérie	Maladie	Symptômes	Durée symptôme	Aliments à risque
<i>Salmonella Spp</i>	Salmonellose	Douleurs abdominales, diarrhées, vomissement, fièvre, frissons, maux de tête.	3 à 7 j	Lait cru, volaille crue, gibier, œufs, viandes crues.
<i>Campylobacter</i>	Campylobactériose	Diarrhée (souvent sanglante), douleurs abdominales, fièvre, céphalées, nausée, vomissements.	2 à 5 j	Lait cru, volaille crue (ou pas assez cuite), boissons
<i>Escherichia coli entéro-hémorragique (EHEC)</i>	Syndrome urémique hémolytique (SHU)	Fièvre modérée possible, Douleurs, crampes abdominales, Colite hémorragique.	3 à 8 j	Lait cru, viande pas assez cuite, fruits et légumes frais
<i>Listeria monocytogenes</i>	Listériose	Diarrhée, douleurs abdominales, Maladie invasive : -chez les adultes et les Nouveaux nés : forme de septicémie - cause d'avortement spontané chez la femme enceinte.	3 à 4 j	Légumes dont choux, lait cru, fromages à pâte molle, viande crue, crèmes glacées.
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra	Douleurs abdominales, vomissements, abondante diarrhée aqueuse (avec une déshydratation aiguë)	2 à 3 j	Eau, Aliments contaminés (fruits de mer ou des crustacés crus.

<i>Staphylococcus aureus</i>	Intoxication staphylococcique	Une forte nausée, des crampes, des vomissements et souvent de la diarrhée.	1 à 2 j	Lait, fromages , Les pâtisseries, les crèmes pâtisseries, les sauces pour salade, les sandwiches, les viandes tranchées et les produits de viande.
<i>Shigella</i>	Shigellose	Crampes abdominales, diarrhées aqueuse puis sanglante.	4 sem	Crustacés, légumes, eau.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniose	Diarrhée aqueuse, fièvre, céphalées, vomissements.	2 à 3 sem	Aliments peu ou mal cuits (mouton), produits laitiers contaminées.

II .1.2 Levures et moisissures

Les moisissures et les levures sont des champignons microscopiques (micromycètes). Ces champignons notamment les moisissures, se développent sur différentes cultures et denrées alimentaires dans des conditions favorables ; ils peuvent aussi produire des toxines naturelles appelé « mycotoxines » et qui on peut les trouver dans la nourriture (WHO, 2020).

D'après nombreuses études expérimentales et les observations épidémiologiques, l'ingestion d'un aliment contenant des mycotoxines peut avoir des effets nocifs immédiats chez l'homme et l'animal.

Il existe des centaines de mycotoxines transmises par les aliments qui peuvent avoir des effets aigus entraînant des symptômes de maladies graves survenant rapidement après la consommation des produits contaminés. D'autres mycotoxines sont associées à des effets sur le long terme, comme l'induction de cancers ou de déficiences immunitaires (WHO, 2020). Les mycotoxines les plus souvent observées et qui ont attiré le plus l'attention en raison de leurs graves effets sur la santé et de leur présence dans les aliments sont représentées dans le **Tableau N° 02** :

Tableau 02 : Principales mycotoxines, moisissures productrice, effets toxiques et denrées alimentaires favorables (Bennet et Klich, 2003)

Mycotoxine	Moisissure	Effets pathologique	Denrée alimentaire
Aflatoxines	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus parasiticus</i>	Cancérogène (cancer de foie) Mutagène	Céréales (maïs...), Graines oléagineuses (soja...), Epices (piments...), fruits secs oléagineux (pistache...).
Fumonisines	<i>Fusariums moniliforme</i>	Cancérogène (cancers de l'œsophage)	Céréales (blé, riz, maïs, etc.)
Patuline	<i>Penicillium</i>	Immunosuppresseur Neurotoxique	Fruit et jeu de fruit, blé, fromage, noix...
Ochratoxine A	<i>Aspergillus ochraceus</i>	Cancérogène (cancer du rein) Néphrotoxique	Céréales, graines de cacao et de café, viande de porc

II.1.3. Algues

A l'exception des algues bleues-vertes (cyanobactéries), les algues sont des organismes eucaryotes dont la plupart sont unicellulaires. Elles sont responsables de goûts et de mauvaises odeurs dans les eaux de boisson.

Les phytoplanctons marins, pouvant produire des substances toxiques pour l'homme. Ces toxines d'algues ou « phycotoxines » peuvent transiter le long des chaînes alimentaires aquatiques et atteindre à certains échelons trophiques des concentrations dangereuses, voire mortelles, pour l'homme consommateur (**Kris et Frémy, 2002**). La consommation des organismes marins ayant bioaccumulés ces phycotoxines représentent de sérieux problèmes sanitaires pour l'homme. Les symptômes associés à ces dangers sont essentiellement d'ordre digestif et/ou neurologique selon la nature chimique de chaque toxine élaborée.

Les scientifiques ont identifié six syndromes alimentaires dus à des phycotoxines : (**Kris et Frémy, 2002**)

- 1- Les phycotoxines diarrhéiques
- 2- Les phycotoxines paralytiques
- 3- Les phycotoxines amnésiques
- 4- Les phycotoxines neurologiques
- 5- Les azasperacides
- 6- Les phycotoxines ciguatériques

Les cyanobactéries peuvent produire dans l'eau plusieurs types de toxines (Cyanotoxines) agissant sur différents organes cibles (foie, système nerveux), ces cyanotoxines recouvrent une grande variété de structures chimiques et de mécanismes de toxicité. En fonction de leur mode d'action, les cyanotoxines sont classées en **hépatotoxines** (organe cible principal : le foie), en **neurotoxines** (organe cible : le système nerveux) ou en **dermatotoxines** (organe cible : la peau) (**Levi et al., 2006**).

II.1.4 Parasites

Certains parasites comme les trématodes liés à la consommation de poissons ne sont transmis que par l'alimentation. D'autres comme *Echinococcus spp* ou *Taenia solium* peuvent infecter les personnes via les aliments ou le contact direct avec les animaux. D'autres encore comme *Ascaris*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica* ou *Giardia*, pénètrent dans la chaîne alimentaire par l'eau ou le sol et peuvent contaminer les produits frais (WHO, 2020).

II.1.5 Virus

Les infections à norovirus se caractérisent par des nausées, des vomissements irrésistibles, une diarrhée aqueuse et des douleurs abdominales.

Le virus de l'hépatite A peut provoquer des maladies du foie de longue durée et a généralement pour vecteur les fruits de mer crus ou pas assez cuits ou d'autres produits crus contaminés. Les personnes infectées qui manipulent les aliments sont souvent la source de la contamination alimentaire (WHO, 2020).

II.1.6 Prions transmissibles

Les prions, agents infectieux composés de protéines, sont uniques au sens où ils sont associés à des formes spécifiques de maladies neurodégénératives.

L'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) ou « maladie de la vache folle » est une maladie à prions qui touche le bétail, et a pour corollaire sa variante humaine : la maladie de Creutzfeldt-Jakob (MCJ). La consommation de produits bovins contenant des parties à risque spécifiées, par exemple du tissu cérébral, est le mode de transmission le plus probable du prion aux êtres humains (WHO, 2020).

Chapitre III

L'analyse du risque

Chapitre III : L'analyse du risque

III.1 Définition des concepts

III.1.1 Notion de Danger

Un danger est défini par un ensemble de processus qui déroule l'enchaînement d'événements conduisant à un Evènement Non Souhaité (ENS) pouvant avoir un impact négatif sur une ou plusieurs des quatre cibles possibles (**Jacquot, 2010**) :

- un ou des individus.
- une ou des populations.
- un ou des écosystèmes.
- un ou des systèmes matériels ou symboliques.

III.1.2 Notion de Risque

Le risque est un concept directement lié au danger (**Notermans et al., 1996**) et qui se définit comme étant la « probabilité de la survenue d'un danger, combinée à l'importance de ses conséquences indésirables ».

Le risque est un ensemble de quatre éléments indissociables. Il est l'association d'un danger, de sa probabilité, de sa gravité et de son acceptabilité (**Jacquot, 2010**) (**Figure 01**) :

➤ **La fréquence** d'occurrence du danger (d'où découle la probabilité de survenue). Selon les dangers, la fréquence peut être faible, moyenne ou élevée ; il en est de même pour les conséquences, en termes de morbidité, de mortalité et de pertes économiques (**Toma et al., 2002**).

➤ **La gravité (ou sévérité)** qui détermine l'importance des conséquences du danger (la gravité).

En raison des difficultés d'appréciation des conséquences, cette étape est souvent négligée dans les démarches entreprises. De plus, dans le cas d'un agent pathogène, la présence d'organismes réceptifs, est requise pour la manifestation d'un danger. Par exemple, le risque posé par l'introduction d'un virus de la peste porcine, dans un pays dépourvu de porc, serait nul (**Toma et al., 2001**).

La fréquence ou probabilité d'apparition d'un danger et ses conséquences potentielles (gravité) sur une cible sont liées et sont utilisées dans les matrices d'appréciation des risques tel que schématisé par la figure 01.

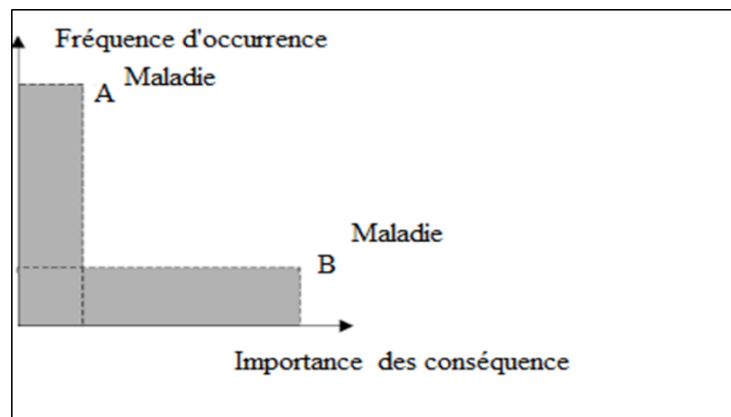


Figure 01 : Schéma illustrant les deux composantes du risque (fréquence et conséquences) pour deux maladies (A et B). (Toma et al., 2002)

➤ **L'Acceptabilité** est définie par l'acceptabilité de l'évènement non souhaité (conséquence négative) par les acteurs dont les cibles. Alors qu'il est possible de définir scientifiquement le danger, sa probabilité et sa gravité, il n'est pas possible de définir scientifiquement son acceptabilité car à ce niveau, les subjectivités individuelles et collectives sont prépondérantes. « Le risque est un construit individuel et social ».

➤ **Processus** : C'est l'ensemble des activités et tâches qui aboutissent à une transformation dans le temps, l'espace, la forme (ou nature), de matière, d'énergie, d'information. Un processus s'établit entre un objet processeur, ou système processeur, ou source, ou système source et un objet « processé », ou système « processé », ou puits, ou système cible, par échange d'un flux de matière, d'énergie, d'information (**Figure 02**).

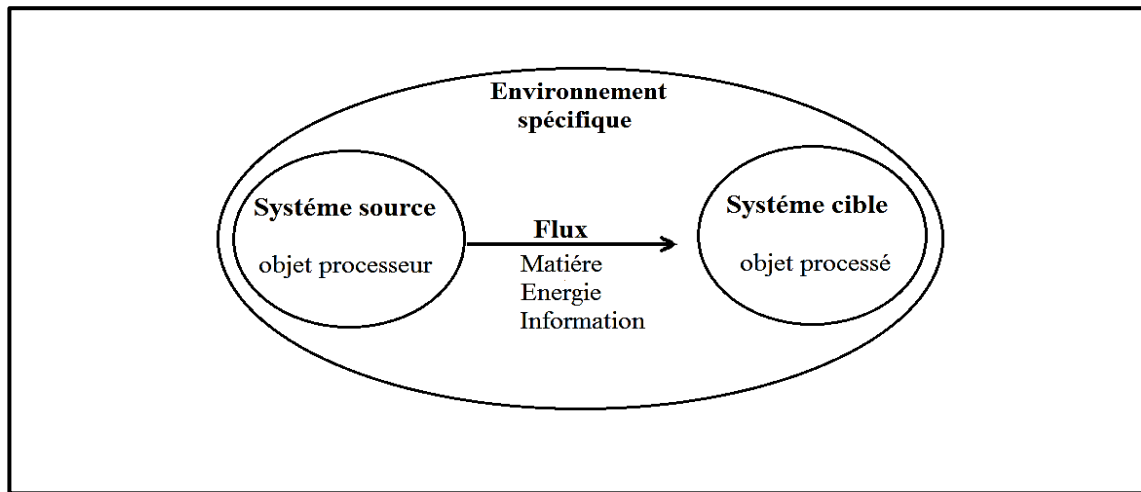


Figure 02 : Schématisation du processus selon Jacquot (2010)

III.1.3 Analyse des dangers

III.1.3.1 Définition de l'analyse de danger

Selon la définition de la FAO et de l'OMS (1995), dans le domaine de la sécurité des aliments, un danger est un agent biologique, chimique ou physique dans un aliment ou propriété de cet aliment pouvant avoir un effet néfaste sur la santé. Un danger est toujours potentiel plutôt que présent (Notermans et al., 1996).

Une analyse de danger est définie comme suit « Inventorier tous les dangers potentiels associés à chaque stade de la vie d'un aliment, diriger une analyse des dangers, et envisager toutes les mesures en vue de contrôler tous les dangers identifiés » (Commission du Codex Alimentarius, 1999). Elle est effectuée au niveau de l'entreprise, et de ce fait elle est spécifique à l'entreprise. L'analyse des dangers est le premier des sept principes de l'HACCP.

III.1.3.2 Eléments de l'analyse de danger

Au cours de l'analyse des dangers, l'équipe HACCP détermine la présence de dangers significatifs. Pour cette fin, il faut qu'elle tienne compte dans la mesure du possible, des facteurs suivants :

- les dangers associés à la fabrication ou à la transformation d'un type particulier d'aliment (ses ingrédients et ses étapes de fabrication).
- la Probabilité de la survenue des dangers, en tenant compte des programmes prérequis, en l'absence de mesures de maîtrise supplémentaires.
- La probabilité et la gravité des effets nocifs sur la santé associés aux dangers inhérents aux aliments en l'absence de mesures de maîtrise.
- Identification des niveaux acceptables de ces dangers dans les aliments, notamment en conformité avec les règlements, l'utilisation prévue et les informations d'ordre scientifique.
- La nature de l'installation et du matériel utilisé pour la fabrication d'un produit alimentaire.
- La survie ou la prolifération des micro-organismes pathogènes.
- L'apparition ou la persistance des toxines (mycotoxines), de substances chimiques (pesticides, résidus de médicaments ou allergènes) ou d'agents physiques (verre ou métal) dans l'aliment.
- L'utilisation prévue et la probabilité d'une mauvaise utilisation par les consommateurs potentiels susceptible de rendre l'aliment préjudiciable à la santé.

L'analyse des dangers comprend deux parties :

1-L'identification des dangers : Au cours de cette étape, les membres de l'équipe HACCP procéderont, pour chaque stade du processus y compris les matières premières à une réunion de réflexion ('brainstorming') à propos des dangers potentiels qui peuvent se présenter et avoir un effet néfaste sur la sécurité des produits. Ceci en tenant compte aussi bien des dangers microbiologiques que chimiques et physiques. Suite à l'identification d'un danger, il faut se référer aux mesures de gestion existantes ou nouvelles. Il est possible d'énumérer non seulement les mesures qui peuvent être prises pour prévenir un danger, mais également les mesures qui peuvent être prises pour éliminer un danger ou le réduire à un niveau acceptable (Huyghebaert et al., 2005).

2-L'analyse des dangers énumérés (évaluation des dangers) : Après avoir dressé l'inventaire des dangers, il y a lieu de les analyser. On entend par là qu'il faut faire une évaluation des effets nocifs sur la santé que peuvent entraîner les dangers mentionnés. En d'autres termes: il faut effectuer une évaluation des dangers. Lors d'une évaluation des dangers, la nature des dangers et leur importance dans la chaîne alimentaire sont examinées, et le point auquel des dangers spécifiques doivent être maîtrisés afin d'assurer la sécurité de la chaîne alimentaire est déterminé. Dans un grand nombre de plans HACCP créés au cours de la première période, cette section de l'analyse des dangers était soit manquante, soit incomplètement complétée. Dans ce cas, on est passés directement de l'identification des dangers potentiels à l'identification des points de contrôle critiques. Diverses approches d'évaluation des risques sont décrites, notamment le classement en catégories de risques, la taxation des risques sur base de l'analyse de l'effet d'un défaut de fabrication et la taxation des risques à l'aide d'un nomogramme et même d'un logiciel d'appui (Huyghebaert et *al.*, 2005).

III.1.3.3. Généralités sur le système HACCP

III.1.3.3.1. Définition du système HACCP

HACCP est un acronyme anglais « Hazard Analyse Critical Control Point » qui se traduit en français par Analyse des dangers pour la maîtrise des points critiques. Il s'agit d'une méthode, (un outil ou encore un système) d'analyse de dangers et de points critiques pour leur maîtrise (Terfay, 2004). HACCP est un système préventif utilisé de manière systématique pour l'élimination ou bien la réduction des dangers biologiques, chimiques et physiques (Easter et *al.*, 1994). Le système HACCP est basé sur une approche de la gestion de la sécurité des aliments centrée sur le bon sens (Mortimore et Wallace, 1996). En effet, bien qu'il nécessite l'acquisition d'un certain niveau de compétence, le HACCP n'est qu'une méthode logique basée sur une connaissance approfondie du produit, de la matière première et des procédés, ainsi que les facteurs environnants (Mortimore et Wallace, 1996).

III.1.3.3.2. Historique

Initialement, le système du HACCP a été développé dans années 1960 pour garantir la sécurité des aliments pour les astronautes. Le concept original a été établi par la société Pillsbury en coopération avec la NASA aux États-Unis et les Laboratoires de l'armée américaine (Boutou, 2008) dans

le programme spatial américain. Il a été inspiré de l'outil de qualité « Analyse des Modes de Défaillances et leurs Effets et de leur criticité (AMDEC) » des procédés de fabrication (**Mortimore et Wallace, 1996**).

Depuis les années 1990, HACCP est devenu l'outil incontournable de l'industrie agroalimentaire, notamment en matière de sécurité alimentaire (**Muehlemann et Aebischer, 2007**).

Depuis 2020, la réglementation algérienne en matière de sécurité sanitaire oblige les entreprises à effectuer une analyse des risques conformément aux principes HACCP du Codex Alimentarius, ainsi qu'à mettre œuvre les mesures de surveillance et de contrôle nécessaires.

III.1.3.3 Objectifs du système HACCP

Le système HACCP sert à identifier les dangers et met en place des contrôles pour s'assurer que le produit n'est pas nocif pour le consommateur (**WHO, 2002**). La mise en œuvre d'un système HACCP vise généralement les objectifs suivants :

- ✓ La garantie de la qualité de l'aliment consommé.
- ✓ L'assurance de la sécurité du consommateur.
- ✓ La connaissance des risques documentés en permanence pour la maîtrise grâce à des procédures et des mesures préventives (**Quittet et Nelis, 1999**).
- ✓ Le respect de la réglementation en vigueur.
- ✓ Eviter les toxi-infections alimentaires.
- ✓ L'amélioration de degré de responsabilité et de contrôle de l'industrie alimentaire (**Laurentiu et Mihai, 2007**).
- ✓ L'amélioration de confiance (c'est un moyen de preuve pour répondre aux attentes des clients et favoriser le dialogue entre partenaires d'un même secteur) (**Rige et al., 2004**).

Aujourd'hui, à l'échelle mondiale, la méthode HACCP est désormais associée à la sécurité sanitaire des aliments.

III.1.3.4. Principes de base du système HACCP et étapes de mise en œuvre

Selon la Commission mixte du Codex Alimentarius, (1969), le HACCP est basé sur sept principes fondamentaux plausibles (Figure 03).

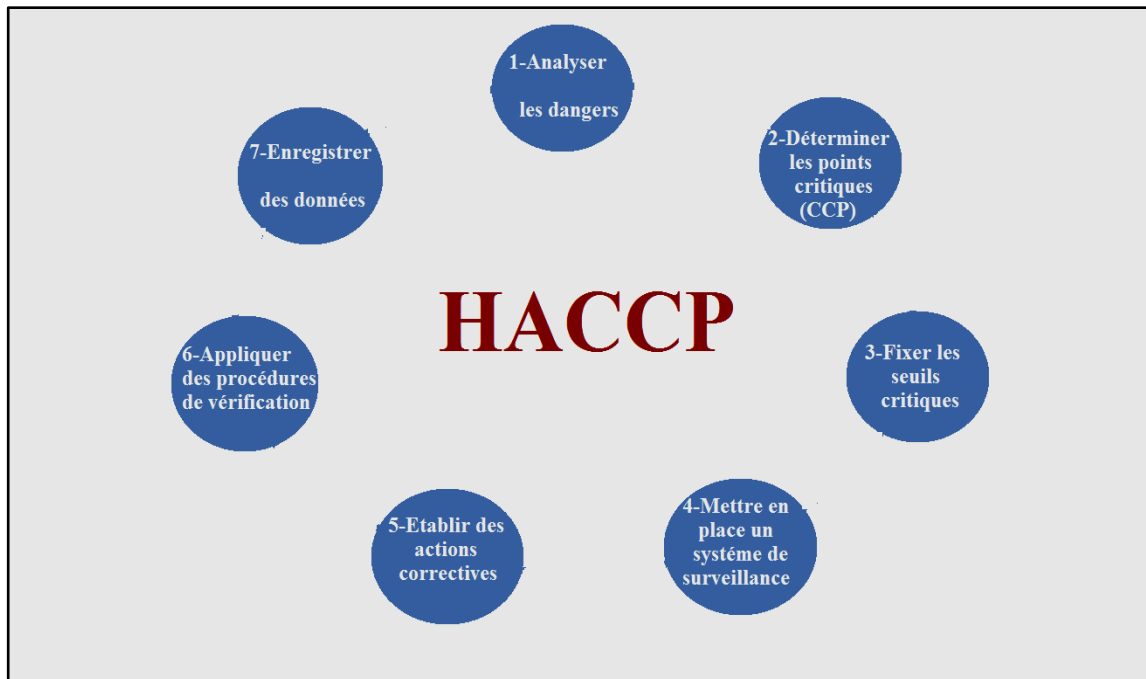


Figure 03 : Les sept principes de la démarche HACCP.

Principe 01 : Analyse des dangers

Identifier tous les dangers possibles associés à toutes les étapes de fabrication ou de la mise dans le commerce des denrées alimentaires et qui peuvent affecter leur sécurité (Benoît Horion, 2005).

Principe 02 : Détermination des points critiques pour la maîtrise (CCP)

Un CCP est défini comme un point, une étape ou une procédure à laquelle le contrôle peut être un danger pour la SA peut être évité, éliminé ou réduit à un niveau. Tous les dangers importants identifiés lors de l'analyse des dangers doivent être pris en compte (Karen et Wayne, 2002).

Principe 03 : Fixation du ou des seuil(s) critique(s)

Le seuil critique est le critère qui distingue l'acceptabilité de la non-acceptabilité. Ils doivent impliquer un paramètre mesurable et peuvent être considérés comme le seuil ou la limite de sécurité absolue pour les CCP (**Benoit Horion, 2005**).

Principe 04 : Mise en place d'un système de surveillance permettant de maîtriser les CCP

Le système de surveillance doit s'assurer que toute perte de contrôle au point de contrôle critique peut être déterminé dans un certain délai pour prendre des mesures correctives avant que le produit soit rejeté (**Naresh et al., 2006**).

Principe 05 : Etablissement des actions correctives

Lorsque la surveillance révèle qu'un CCP donné n'est plus maîtrisable, mettre en place de correction des mesures à être prise (**Zamora et Azanza, 2003**).

Principe06 : Application des procédures de vérification

L'établissement des procédures spécifiques de vérification dans le but d'assurer que le système HACCP fonctionne efficacement (**Zamora et Azanza, 2003**).

Principe07 : Enregistrement des données

Etablir un système documentaire (procédures et enregistrements) approprié couvrant l'application des six principes précédents (**Zamora et Azanza, 2003**).

Pour la mise en œuvre du système HACCP, la commission du Codex Alimentarius a préconisé et approuvé une séquence en douze étapes (**Tableau N° 03**). La séquence de ces douze étapes doit être respectée car elle assure la cohérence et la rigueur du système HACCP (**Boutou, 2008**).

Tableau 03 : Etapes successives du système HACCP.

Etapes préalables	1. Constituer l'équipe HACCP
	2. Décrire le produit
	3. Décrire l'utilisation attendue du produit
	4. Elaborer le diagramme de fabrication
	5. vérifier le diagramme de fabrication
Les 7 principes	6. procéder à l'analyse des dangers
	7. Déterminer les points critiques pour la maîtrise
	8. Fixer les seuils critiques
	9. Mettre en place un plan de surveillance et contrôle
	10. Etablir les actions correctives
	11. Appliquer la procédure de vérification
	12. Enregistrer les données et mettre à jour le plan HACCP

III.1.4 Analyse des risques

III.1.4.1 Historique et base légale de l'analyse de risque

Divers concepts relatifs à l'hygiène et à la sécurité des aliments ont été développés au cours des dernières années. Ces notions s'appliquent à de nombreux niveaux de la chaîne alimentaire et sont liées aux programmes de santé publique et aux marchés. Les autorités nationales, régionales et internationales spécialisées dans ce domaine procèdent à des évaluations des risques liés à la sécurité sanitaire des aliments.

En 1994, l'OMC a signé un accord pour la mise en œuvre de mesures sanitaires et phytosanitaires, dans le but de prévenir les infractions au commerce international et d'établir des règles selon lesquelles un pays peut refuser de commercialiser un produit sur son territoire s'il présente un risque pour les personnes (OMC, 1994). Le refus de commercialiser une denrée comestible doit être justifié par une évaluation des risques basée sur des normes mondiales reconnues par l'OMC. Le Codex Alimentarius et ses composantes techniques sont reconnus par l'OMC. Un des objectifs du Codex Alimentarius est d'instituer des normes et des références servant de base pour une analyse de risque (Rogy, 2002; FAO/WHO, 2006a).

Les comités du Codex Alimentarius sur l'hygiène alimentaire, sur l'hygiène de la viande, sur les additifs alimentaires, sur les contaminants, sur les résidus des pesticides et sur les résidus de médicaments vétérinaires dans les aliments jouent un rôle de gestionnaires des risques.

En 1999, l'Union européenne a publié le Livre blanc sur la sécurité sanitaire des aliments, qui énonce les principes généraux de la politique européenne de sécurité alimentaire (**Commission des communautés européennes, 2000**).

Depuis lors, l'Union européenne a remplacé sa législation précédente par un ensemble de nouvelles règles connues sous le nom de "paquet hygiène". Parmi les différentes réglementations d'hygiène, c'est le Règlement (CE) N°178/2002 établissant les principes généraux et les prescriptions de la législation alimentaire, dit « General Food Law », qui établit l'analyse des risques comme une approche systématique de la sécurité alimentaire (**Commission des communautés européennes, 2002**). Le règlement (CE) n°2073/2005 recommande de réviser les critères microbiologiques des denrées alimentaires à la lumière des évolutions dans le domaine de la sécurité alimentaire et de la microbiologie. Cette évolution comprend des avancées scientifiques, technologiques et méthodologiques, des changements dans la prévalence et les niveaux de contamination, des changements dans le groupe de consommateurs vulnérables et des résultats d'analyse des risques potentiels (**Commission des communautés européennes, 2005**).

III.1.4.2 Définition du l'analyse de risque

De nombreuses définitions ont été données à l'analyse de risque (risk analysis en anglais) comme celle qui définit l'analyse du risque comme une nouvelle approche visant à comprendre la nature du risque et faciliter les mesures de sa maîtrise. Plus couramment, on définit l'analyse du risque comme « une démarche scientifique établie dans le but d'identifier les dangers connus ou potentiels, d'en apprécier les risques, de les gérer et de communiquer à leur propos » (**Ahl et al., 1993**). Il s'agit donc d'un processus analytique destiné à fournir des informations sur les dangers et les effets indésirables. L'analyse du risque est basée sur une approximation scientifique ».

En 1991, Toma et ses collègues ont défini l'analyse des risques comme une méthode permettant d'organiser les informations disponibles sur un événement néfaste (ou négatif) potentiel, de les convertir en probabilités tout en tenant compte des hypothèses, de la variabilité et de l'incertitude, et de prendre des décisions logiques en fonction de celles-ci.

III.2 Objectifs de l'analyse des risques

L'analyse de risque est reconnue comme le moyen éprouvé, objectif et fiable de réaliser une évaluation des risques, partout ou à chaque fois qu'ils sont rencontrés (**Notermans et al., 1996**). Dans un pays démocratique, l'objectif d'un système d'analyse de risque est de permettre aux citoyens de vivre dans une société où, d'une part, les risques qui les préoccupent sont perçus, reconnus et effectivement réduits par les décideurs à un niveau socialement accepté et, d'autre part, les risques qu'ils ne perçoivent pas font l'objet d'une vigilance efficace permettant de les détecter et d'alerter les citoyens suffisamment tôt (**Chevassus-au-Louis, 2001**). Ainsi, l'analyse des risques alimentaires permet aux responsables de la santé, aux vétérinaires et à l'industrie d'obtenir des réponses ; permet aussi de déterminer le risque pour une population donnée face à un danger, d'estimer le nombre de cas associés à l'ingestion d'une denrée contaminée, de simuler les conséquences d'un accident de la chaîne alimentaire, de présenter des mesures de prévention efficaces, de proposer des pistes scénarios pour réduire le nombre de cas et les coûts associés. Ainsi, l'analyse de risque constitue un outil de choix d'aide à la décision en épidémiologie et dans le contrôle des maladies transmises par les aliments (**Toma et al., 2002**).

L'analyse des risques alimentaires permet également d'évaluer la mise en œuvre des mesures de gestion comme critères de performance. Elle vise à quantifier à la fois la probabilité et l'ampleur de conséquences négatives pour les individus ou les populations à la suite de certains dangers spécifiques (**Delhalle et al., 2008**). L'analyse des risques peut être un guide quantitatif pour prendre des décisions stratégiques (**Huyghebaert et al., 2005**).

III.3 Composantes de l'analyse du risque

Deux modèles existent pour décrire et nommer les étapes du processus d'analyse des risques : D'une part ; le modèle de l'Organisation mondiale de la Santé animale (OMSA) (ex Office International

des Epizooties, OIE), et d'autre part ; le modèle du Codex Alimentarius issu du groupe de travail de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture et de OMS (Covello et Merkhoffer, 1993 ; FAO/WHO, 1995).

Le modèle le plus largement utilisé en hygiène alimentaire est celui du Codex Alimentarius. Selon ce dernier, une démarche complète d'analyse de risque comporte trois composantes interagissant entre elles (Figure 04) :

- l'évaluation du risque (risk assessment)
- la gestion du risque (risk management)
- la communication autour du risque (risk communication)

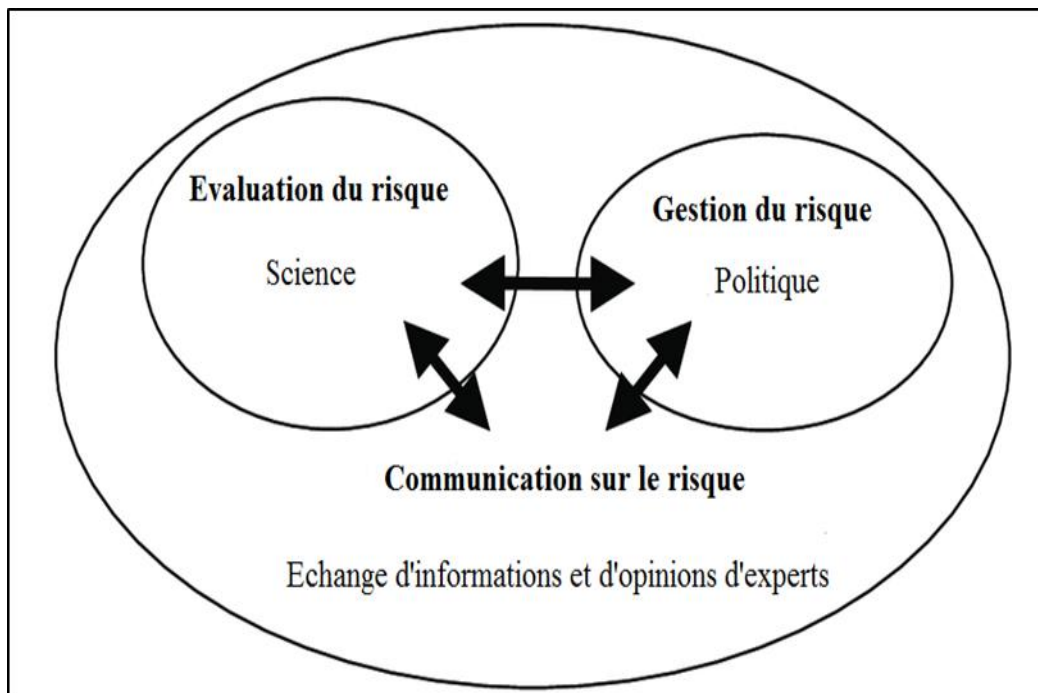


Figure 04 : Interactions entre les processus d'évaluation, de gestion et de communication du risque (Feinberg et al., 2006)

III.3.1. Évaluation (appréciation) du risque

L'évaluation des risques est un processus par lequel l'information sur les risques est identifiée, organisée et analysée d'une manière systématique. En microbiologie alimentaire, il s'agit de modéliser la transmission de l'agent infectieux en tenant compte des différentes étapes de la filière alimentaire pour parvenir à une estimation du risque. **Selon Stringer, (2004)**, le processus de l'évaluation des risques comporte les quatre étapes suivantes :

- ❖ Identification des dangers
- ❖ Évaluation de l'exposition
- ❖ Caractérisation du danger
- ❖ Caractérisation des risques

III.3.2 Gestion du risque

L'évaluation des risques est considérée comme le volet « scientifique » de l'analyse des risques, tandis que la gestion des risques en est la composante dans laquelle l'information scientifique et d'autres facteurs, tels que les considérations d'ordre politique, économique, social, culturel et éthique, sont intégrés et évalués afin de choisir les meilleures solutions de gestion des risques. Une fois l'évaluation terminée, les gestionnaires de risques se basent sur les résultats pour décider des actions à entreprendre.

La gestion des risques consiste à mettre en balance les différentes politiques possibles en consultation avec l'ensemble des parties intéressées, en tenant compte de l'évaluation des risques et d'autres facteurs pertinents pour la protection de la santé des consommateurs et la promotion de pratiques commerciales loyales et, au besoin, à choisir les mesures de prévention et de contrôle appropriées. Les mesures de gestion du risque découlent du processus d'évaluation du risque. Les acteurs de la gestion du risque peuvent être, soit les pouvoirs publics, soit des organisations privées (**FAO/WHO, 2006a**). La gestion des risques cible les facteurs de risque maîtrisables pour les réduire ou les éliminer.

De manière classique, la gestion du risque est un processus itératif qui inclut notamment les phases suivantes (**Figure 05**) :

- Appréciation du risque (analyse et évaluation du risque)
- Acceptation du risque

- Maîtrise ou réduction du risque

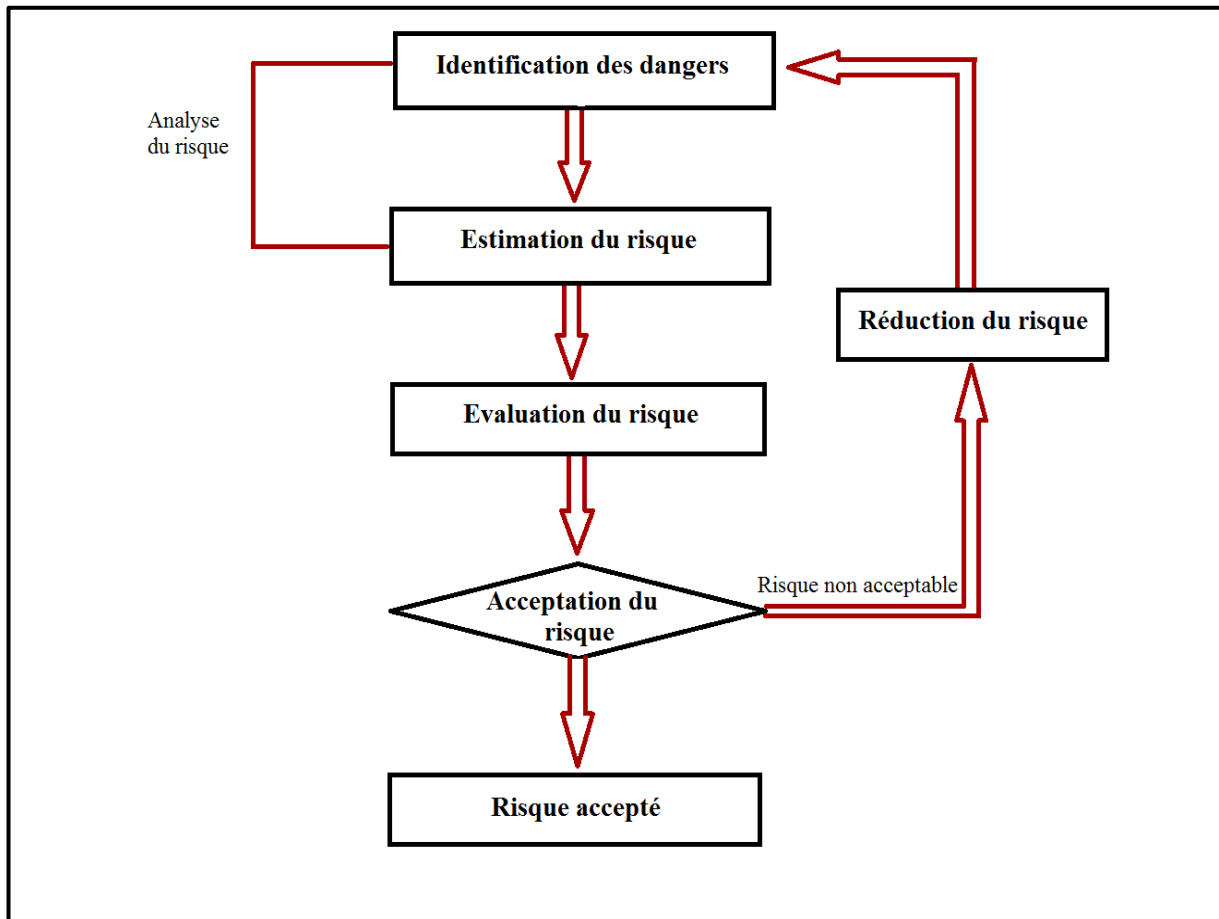


Figure 05 : Processus de gestion du risque. (ISO, 1999)

III.3.3 Communication à propos du risque

Les scientifiques et les autorités doivent communiquer avec le public à propos des risques. La communication à propos des risques est nécessaire pour traiter et répondre de manière efficace et adéquate aux besoins en matière de critères, de dangers, de sécurité et de préoccupations générales concernant les aliments. La communication des risques fournit au public les résultats de l'examen scientifique par des experts de l'identification des dangers alimentaires et de l'évaluation des risques pour la population générale ou le groupe cible. Il fournit également aux secteurs privé et public les informations nécessaires pour prévenir, réduire et minimiser les risques alimentaires grâce à des systèmes de qualité et de sécurité. Il est essentiel que la communication sur les risques fournisse suffisamment

d'informations aux populations les plus exposées au risque en termes de danger particulier pour exercer leurs propres options afin d'obtenir une protection (FAO/WHO, 1995, Busta, 2000).

III.4 Intégration des outils participatifs à l'analyse du risque

Bien que l'évaluation des risques soit désormais la meilleure pratique et la clé de voûte du commerce international, son utilisation dans les pays en développement est limitée. Elle n'était pas destinée à être utilisée sur pour les marchés intérieurs ayant des niveaux d'hygiène déplorables avec un taux élevé de sensible aux MOA. Depuis leur introduction (1970), les méthodes et les techniques participatives sont désormais au cœur du développement communautaire. Elles sont promues parce qu'elles sont plus efficaces, plus durables, moins coûteux et plus éthiques (par rapport aux méthodes non-participatives), dans leur inclusion des pauvres dans la planification des décisions qui les concernent. L'utilisation de méthodes participatives dans les programmes communautaires de santé animale a été couronnée de succès dans le domaine de la santé animale (Jost *et al.*, 2007). Une conclusion générale des études de Grace *et al.*, (2008) a montré que les méthodes participatives sont plus faciles et moins coûteuses que les enquêtes classiques et génèrent des résultats comparables et des niveaux beaucoup plus élevés de participation et de satisfaction de recherche. L'application la plus importante de ces méthodes est la compréhension de l'exposition au risque. La cartographie et la description des processus dynamiques peuvent grandement bénéficier des méthodes participatives.

L'Analyse participative des risques (APR) est une combinaison entre les approches participatives et les concepts HACCP ou Codex Alimentarius et de l'OIE, OMS et FAO qui prennent en compte la variabilité, l'incertitude, la relativité des risques et la complexité des prises de décisions face à ces risques (Bonfoh *et al.*, 2013). Ces méthodes peuvent être utilisées conjointement avec la revue littéraire, lorsqu'il n'existe pas de données (insuffisance des rapports sanitaires) ou lorsque le coût est une contrainte d'accès aux données, pour construire une évaluation du risque de premier passage. L'APR est une méthode adaptée à l'analyse du risque pour assurer la participation volontaire des communautés (Barker *et al.*, 2010) dans la planification, les enquêtes, l'échantillonnage aléatoire, la collecte de données en vue de faciliter la surveillance, les études épidémiologiques et le contrôle des maladies (Figure06). Cette approche permet d'utiliser les méthodes statistiques de simulation de Monte Carlo pour situer ou prédire les risques. Les méthodes de participation les plus utilisées sont les groupes de discussions ou « focus group », c'est une technique d'entretien de groupe, un « Groupe d'expression »,

qui permet de collecter des informations sur un sujet ciblé. Il est issu d'une technique marketing de l'après-guerre aux États-Unis qui permettait de recueillir les attentes des consommateurs et de rendre ainsi un produit plus attractif (Krueger et Casey, 2000). Cette technique a été récupérée dans les années 1980 par la recherche universitaire dans des domaines de l'éducation, la santé publique, l'environnement et les sciences sociales (Moreau et al., 2004). L'objectif est d'amener à une discussion spontanée, où les participants expriment leurs opinions, donnent des informations sur leurs habitudes. Ces entretiens servent donc à la fois à identifier, dans leur complexité, les comportements et opinions ainsi que leur représentation d'un danger ou d'un produit.

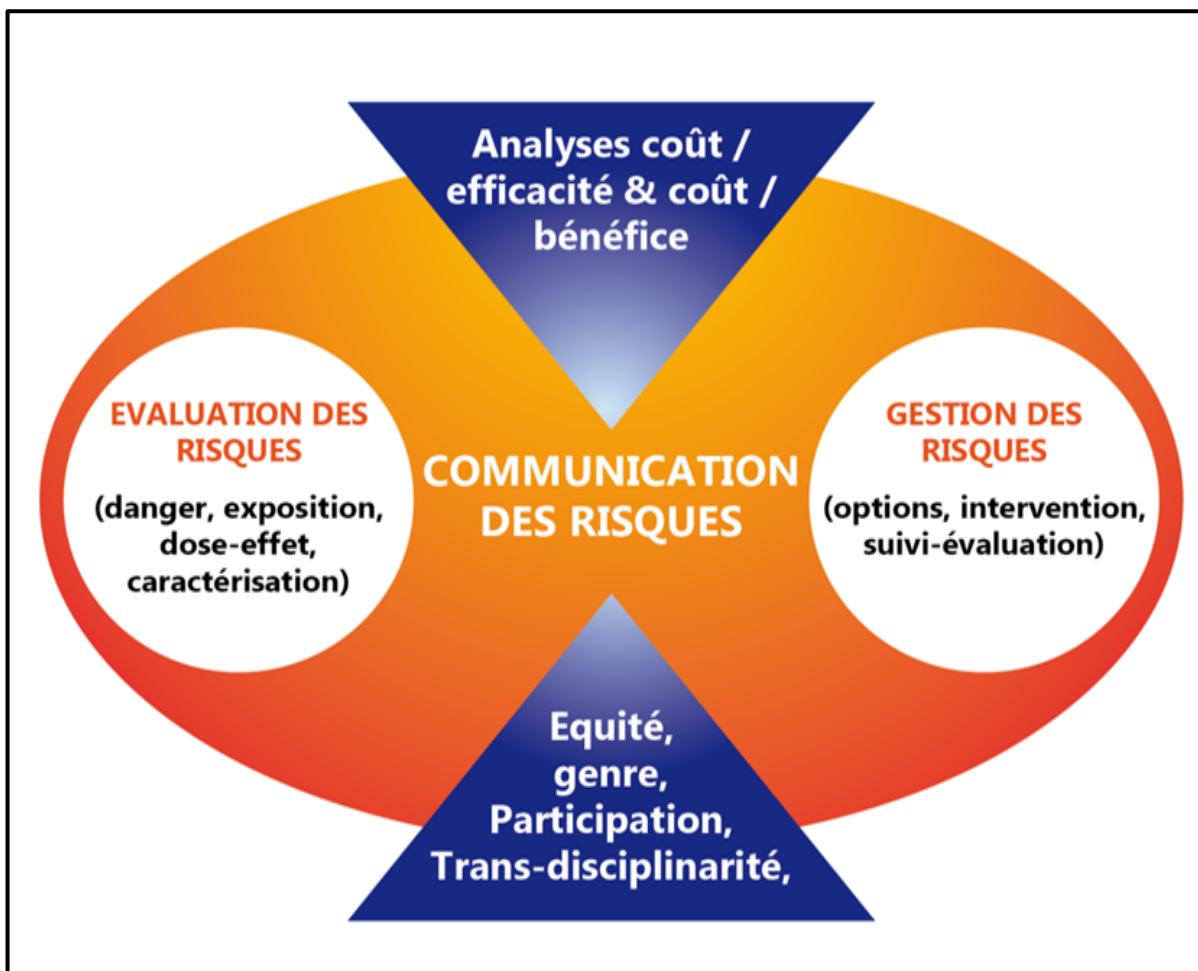


Figure 06 : Concept d'analyse participative des risques dans la chaîne de valeur informelle des produits d'origine animale (Bonfoh et al., 2013)

Chapitre IV

Analyse quantitative du risque microbiologique

Chapitre IV: Analyse quantitative du risque microbiologique

IV.1 Approches d'évaluation des risques microbiologiques

Les méthodes d'évaluation des risques couvrent un continuum allant du qualitatif au semi-quantitatif en passant par le entièrement quantitatif (**Figure 07**). Ces approches peuvent varier dans leurs attributs clés tels que la qualité de l'inférence des risques, la rapidité, la complexité, les exigences de formation des évaluateurs et les exigences en matière de données. Quelle que soit l'approche utilisée, une évaluation des risques scientifiquement fondée nécessite la collecte d'informations ; données ; hypothèses appropriées qui sont documentées et entièrement référencées et synthétisées de manière logique et transparente. Toutes sont des approches valables pour l'évaluation des risques en matière de sécurité sanitaire des aliments, mais la pertinence d'une méthode particulière dépend de la capacité de l'évaluation des risques à traiter la question de risque spécifique, c'est-à-dire qu'elle est adaptée à l'objectif pour soutenir le processus décisionnel de gestion des risques. L'un des avantages d'entreprendre une évaluation des risques, quelle que soit l'approche, est que les solutions pour minimiser les risques se présentent souvent en dehors du processus d'évaluation des risques.

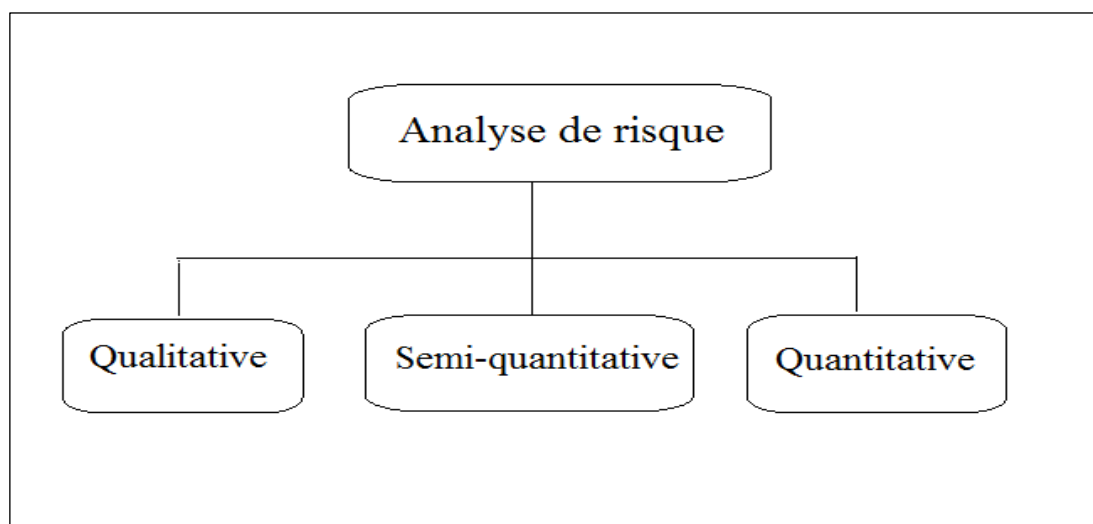


Figure 07 : Les approches de l'analyse de risque microbiologique.

IV.1.1 Évaluations qualitatives des risques microbiologiques

Les évaluations qualitatives des risques sont des traitements d'informations de nature descriptive ou catégorique. Une analyse qualitative peut être effectuée dans le cadre de la première évaluation d'un problème de SSA pour voir si le risque est suffisamment important pour justifier une enquête plus approfondie (FAO/WHO, 2021a)

IV.1.2 Évaluations semi-quantitatives des risques microbiologiques

Les évaluations semi-quantitatives des risques microbiologiques consistent à évaluer les risques à l'aide d'une note ou de classe. Elles constituent un niveau intermédiaire entre l'évaluation textuelle des risques menée dans le cadre des évaluations qualitatives des risques microbiologique et l'évaluation numérique réalisée dans le cadre des évaluations quantitatives des risques microbiologique (EQRM). Il s'agit d'une approche plus cohérente et plus rigoureuse de l'évaluation et de la comparaison des risques et des stratégies de gestion des risques que l'évaluation qualitative des risques (FAO/WHO, 2021a)

IV.1.3 Évaluations quantitatives des risques microbiologiques

Les évaluations quantitatives des risques microbiologiques donnent des estimations numériques des risques. La plupart des modèles se fondent sur des combinaisons d'énoncés mathématiques et logiques. Les EQRM passent par l'élaboration de modèles mathématiques, tels que la courbe dose-réponse, permettant de quantifier les relations et d'estimer le niveau de risque (FAO/WHO, 2021a).

IV .2 Définition d'analyse quantitative du risque microbiologique

L'analyse quantitative du risque microbiologique (EQRM), en anglais Quantitative Microbial Risk Analysis (QMRA) vise à évaluer le risque lié aux microorganismes pathogènes en combinant les données sur les agents pathogènes (distribution, concentration) avec l'infectiosité de ces agents pathogènes sur l'homme, afin d'estimer les risques pour la santé publique (WHO, 2003).

L'EQRM est utilisée, en particulier, pour résoudre les problèmes de sécurité sanitaire des aliments causés par l'ingestion de produits alimentaires contaminés (**Voysey et Brown, 2000**). L'EQRM suit le même principe que la démarche qualitative avec la différence que les paramètres sont calculables et incorporés dans des modèles mathématiques.

L'EQRM est, donc, une méthode plus complexe mais présente l'avantage d'être plus précise et moins subjective ; elle nécessite toutefois une connaissance détaillée de tous les paramètres nécessaires à l'appréciation (**Afssa, 2008**).

IV.3 Objectifs d'analyse quantitative du risque microbiologique

L'objectif global de la démarche est de guider la décision en situation d'incertitude de manière cohérente et transparente aussi, l'identification et l'estimation de risques pour la santé de populations vivant des situations environnementales dégradées (les dégradations pouvant être naturelles ou liées à des activités humaines).

L'EQRM est en mesure de fournir aux décideurs politiques une base scientifique pour sélectionner parmi les différentes options d'intervention appropriées, pour déterminer les objectifs de sécurité alimentaire basés sur les risques et pour établir les niveaux de protection entre les pays. Il joue ainsi un rôle important dans le commerce international (**Havelaar et al., 2004; Nauta et Havelaar, 2008**). Ses domaines d'application se sont multipliés aujourd'hui, à l'étranger et la démarche fait désormais preuve là où les disciplines scientifiques classiques (épidémiologie, toxicologie, biologie, etc.) ont atteint les limites de leurs capacités de détection. L'EQRM permet alors de calculer soit un nombre de cas attendus de maladie, soit un pourcentage de population susceptible d'être touchée par une pathologie.

Elle permet ainsi de déterminer l'impact sanitaire (**ORS, 2006**).

IV.4 Étapes d'analyse quantitative du risque microbiologique

Le développement de la démarche s'est effectué en réponse à une demande croissante de disposer d'un cadre méthodologique permettant de rassembler, organiser et discuter les résultats scientifiques du moment afin de dégager les certitudes, les incertitudes et les lacunes et contribuer ainsi à l'éclairage de la décision et de la mise en place de stratégies de gestion du risque. Elle est aujourd'hui largement reconnue comme la meilleure méthode d'évaluation des risques futurs (**INVS/Afsse, 2005**)

Conventionnellement, la démarche d'EQRM comprend quatre étapes : l'identification des dangers, la caractérisation des dangers, l'évaluation de l'exposition et la caractérisation des risques. Les dénominations des quatre étapes et leur ordre de présentation diffèrent suivant les époques, les pays et les organismes (**Ledrans, 2008**).

IV.4.1. Identification des dangers (Hazard identification)

L'identification des dangers en jeu est une étape clé de l'évaluation des risques. Elle commence par un processus d'estimation des risques spécifiquement associés aux dangers concernés. L'identification des dangers peut avoir déjà été effectuée à un niveau suffisant lors de l'établissement du profil de risque ; c'est généralement le cas pour les risques dus à des dangers chimiques. Pour les dangers microbiens, le profil de risque peut avoir cerné certains facteurs de risques spécifiques associés à différentes souches de pathogènes et l'ultérieure évaluation des risques portera éventuellement sur des sous-types particuliers. C'est aux gestionnaires des risques qu'il appartient au premier chef d'arbitrer ces prises de décisions (**FAO/WHO, 2007a**). En général, cette étape 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 évaluation quantitative des risques liés à la consommation d'un aliment ou d'un groupe d'aliments (**Sanaa et Cerf, 2002**).

Dans le contexte de l'EQRM, le terme danger englobe tout agent microbiologique susceptible de causer des dommages, y compris les bactéries, les virus, les parasites, les champignons, les algues, y compris leurs toxines et métabolites, ainsi que les prions.

IV. 4.1.1 Objectifs de l'identification des dangers

Le but principal de l'identification des dangers est d'identifier les dangers microbiologiques trouvés dans les aliments qui sont responsables d'effets néfastes sur la santé. Étant donné qu'un large éventail de dangers microbiologiques peuvent entraîner des maladies d'origine alimentaire, l'identification des dangers devrait déterminer si il existe un danger potentiel pour le produit alimentaire d'intérêt. Dans certains cas, c'est-à-dire en fonction des questions des gestionnaires des risques, l'identification des dangers peut inclure une liste de dangers et, par conséquent, le produit final de la procédure d'identification des dangers est une liste pratique des dangers microbiologiques liés au produit alimentaire spécifique (FAO/WHO, 2006b, 2007b).

IV .4.1.2 Processus d'identification des dangers

L'identification des dangers sert à établir le danger comme probable ou réel dans le produit alimentaire et à documenter les informations importantes connues sur les relations et les interactions entre le danger, l'aliment et l'hôte, ainsi que leur relation avec la maladie humaine (**Figure 08**). En ce qui concerne les aliments, ces facteurs comprennent les caractéristiques intrinsèques, les facteurs environnementaux et les conditions de production, peut ne fournir qu'un aperçu général, alors que les autres étapes (caractérisation des dangers, évaluation de l'exposition) documentent des informations plus détaillées, telles que, le degré d'exposition au danger et relation dose-réponse.

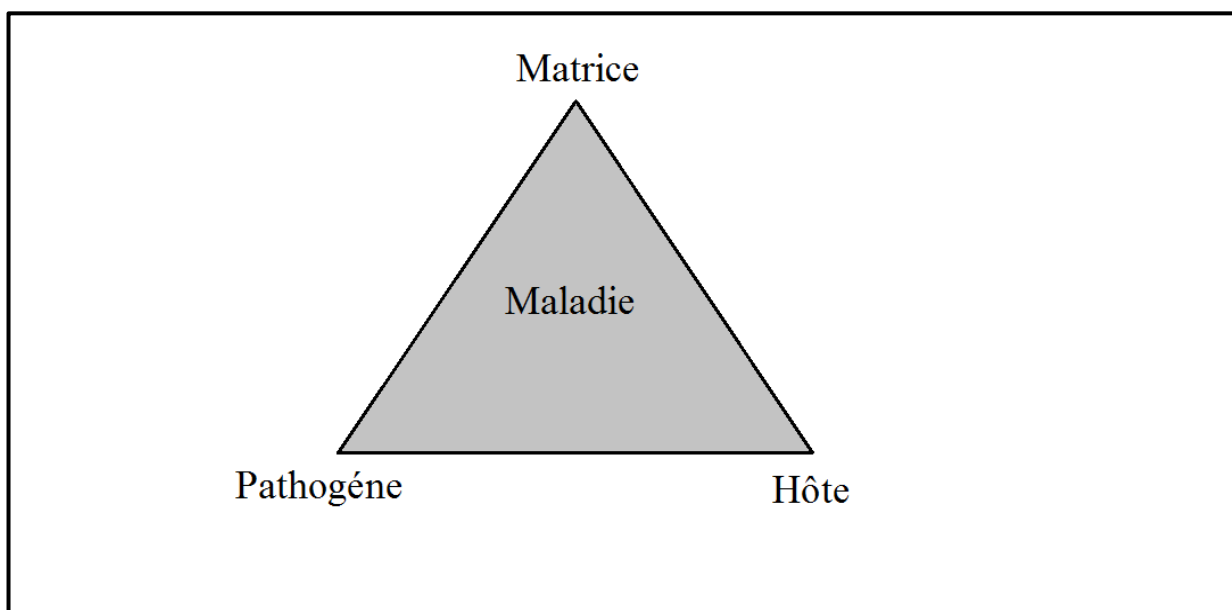


Figure 08: Le triangle épidémiologique (Coleman et Marks, 1998)

La réalisation de ce processus dépend de la réponse aux questions suivantes (FAO / WHO, 2021b) :

- Quel est le danger préoccupant associé à l'aliment spécifique en question ?
- Le danger est-il préoccupant pour la santé publique et quelle est la probabilité que le danger ait un effet néfaste sur la santé ?
- Quelle est la population à risque ?
- Quelles sont les preuves épidémiologiques, y compris les éclosions et les maladies sporadiques, que ce danger présente un risque potentiel dans le produit alimentaire ?
- Quels effets néfastes sur la santé pourraient être associés à l'exposition au danger et par quels mécanismes ?
- Quels facteurs liés à l'hôte et aux stades de la vie pourraient influencer sur le type et la gravité des effets néfastes sur la santé parmi la population à risque ?
- Comment les voies d'exposition courantes lient-elles les effets néfastes sur la santé au danger ?
- À quelle fréquence le danger se produit-il dans le produit alimentaire d'intérêt.
- Comment les conditions environnementales affectent-elles le transfert et le devenir du danger le long de la voie d'exposition.

Une grande variété de dangers microbiologiques est associée aux maladies d'origine alimentaire. Les caractéristiques d'un groupe de dangers peuvent être évaluées ensemble pour identifier les dangers les plus importants dans l'aliment concerné. Il s'agit notamment des propriétés inhérentes aux dangers telles que le caractère invasif, la virulence, la pathogénicité, le réservoir naturel, la transmissibilité et la résistance aux facteurs environnementaux et aux interventions dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire. De plus, l'identification des dangers met en évidence des problèmes tels que les populations sensibles, la gravité de la maladie (maladie aiguë ou maladie chronique) et d'autres complications. La sensibilité à l'infection dépend de l'intégrité du système immunitaire de l'hôte, de la virulence, la puissance du danger et du niveau d'exposition au danger. L'intégrité du système immunitaire d'un hôte peut être affectée par l'étape de la vie et les conditions de santé. Le niveau d'exposition et la capacité d'un danger à provoquer un effet néfaste sur la santé au moment de la consommation peuvent être affectés de manière cumulative par une série de conditions environnementales tout au long de la chaîne alimentaire. Les propriétés physiques et chimiques de la matrice alimentaire peuvent affecter la survie et la persistance du danger dans les aliments (FAO / WHO, 2021b).

IV.4.2 Caractérisation des dangers (Hazard characterization)

Au cours de l'étape de caractérisation des dangers, les évaluateurs des risques décrivent la nature et l'ampleur des effets néfastes sur la santé notoirement associés au danger considéré (FAO/WHO, 2007a). Par conséquent, la caractérisation des dangers fournit une description des effets néfastes pouvant résulter de l'ingestion d'un danger, qu'il s'agisse d'un micro-organisme ou de sa toxine (FAO/WHO, 2021b). Lorsque des données sont disponibles, la caractérisation des dangers est censée fournir des informations quantitatives sur la relation dose-réponse (FAO/WHO, 2004) entre les différents niveaux d'exposition au danger présent dans l'aliment au stade de la consommation (dose) et la probabilité (la gravité) des différents effets négatifs sur la santé (réponse) (Delhalle *et al.*, 2008).

IV.4.2.1 Processus de caractérisation des dangers

Les caractérisations des dangers peuvent être effectuées en tant que processus autonomes ou en tant que composante de l'évaluation des risques. Une caractérisation des dangers pour un agent pathogène particulier peut servir de tronc commun ou de module de base pour des évaluations des risques conduites à des fins diverses et sur un assortiment de produits. Une caractérisation des dangers mise au point dans un pays peut répondre aux besoins des gestionnaires de risques d'un autre pays lorsqu'elle est combinée à une évaluation de l'exposition propre à ce pays. Une caractérisation des dangers élaborée pour l'exposition hydrique peut être adaptée à un scénario d'exposition alimentaire en tenant compte des effets de la matrice alimentaire. D'une manière générale, ce sont des exercices facilement adaptables aux différentes évaluations des risques concernant un même pathogène. Parallèlement, les évaluations de l'exposition sont très spécifiques aux systèmes de production, de transformation et de consommation d'un pays ou d'une région.

Qu'elle soit menée dans le cadre d'une évaluation des risques ou de façon autonome, une caractérisation des dangers est un processus itératif (FAO/WHO, 2021b, 2004) ; suit une approche structurée par quatre étapes (Figure 09).

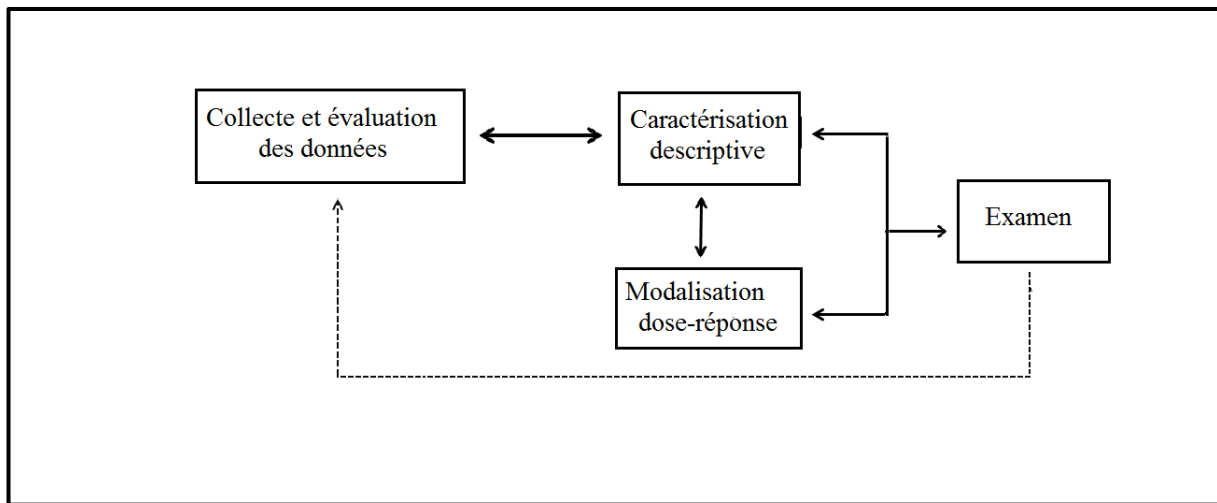
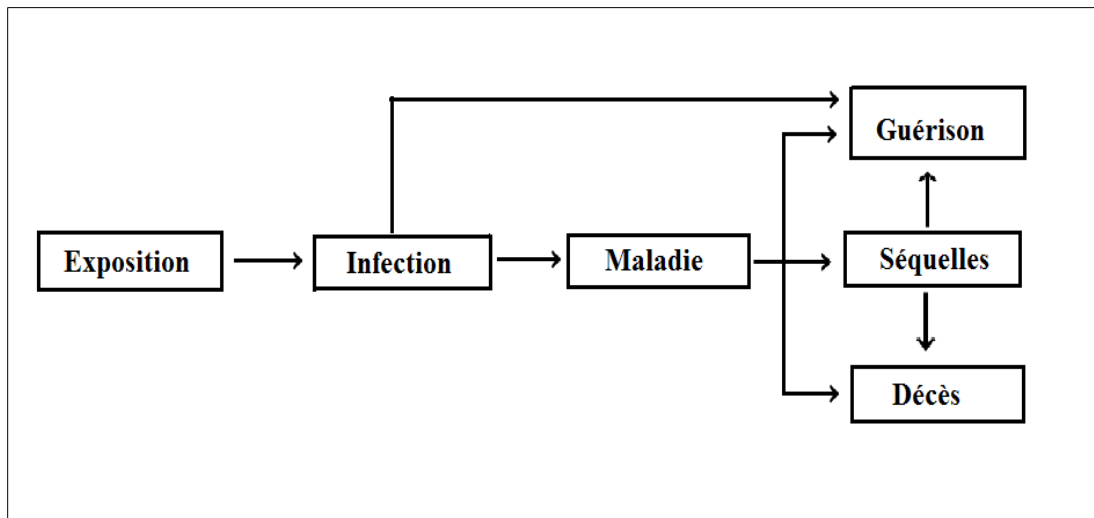


Figure 09 : Diagramme du processus de caractérisation des dangers liés à la présence de pathogènes (FAO/WHO, 2021b).

IV.4.2.2 Modèles dose-réponse

La principale composante de la caractérisation des dangers est la relation dose-réponse.

La modélisation mathématique de la relation dose-réponse est reconnue comme un complément utile à l'analyse descriptive des informations cliniques ou épidémiologiques ou des données relatives aux maladies d'origine alimentaire. Un modèle dose-réponse microbiologique décrit la probabilité d'une réponse précise (infection, maladie ou mort) découlant de l'exposition à un agent pathogène particulier (ou à ses toxines) dans une population donnée en fonction de la dose ingérée. La base biologique des modèles dose-réponse microbiologiques découle des principales étapes du processus pathologique: exposition, infection, maladie et conséquences (guérison, séquelles ou décès) qui sont illustrées dans (Figure 10). La question de la réponse découle des interactions entre l'agent pathogène, l'hôte et la matrice alimentaire (Bassett et al., 2012).



Figures 10 : Principales étapes du processus d'une maladie infectieuse d'origine alimentaire (FAO/WHO, 2004).

L'idée actuelle est qu'un seul organisme pathogène infectieux viable est capable d'induire une infection « le concept du coup unique » (FAO/WHO, 2003). Mathématiquement, il existe toujours une probabilité non nulle d'infection ou de maladie lorsqu'un hôte est exposé à un organisme pathogène infectieux. Ce modèle sans seuil est une approche plus prudente et plus appropriée que le modèle à seuil, qui utilise une dose infectieuse minimale (MID) pour mesurer l'infektivité d'un organisme. Le terme MID fait référence au plus petit nombre d'organismes nécessaires pour déclencher une infection chez un individu dans des circonstances données). Par conséquent, on pense qu'une protection prudente de la santé publique nécessite l'application d'approches sans seuil pour l'évaluation des relations dose-réponse microbiennes (Bassett *et al.*, 2012).

Le modèle dose-réponse donne la probabilité de maladie en fonction de la quantité de micro-organismes pathogènes ingérés (d) ; parmi les micro-organismes ingérés, certains pourraient survivre aux barrières de l'hôte humain et par la suite déclencher une infection et provoquer une maladie. La probabilité de maladie est définie comme la probabilité de réaliser cette séquence d'événements. Si chaque micro-organisme ingéré a la même probabilité de provoquer une maladie (r) ; alors le nombre de micro-organismes survivant à différentes barrières suit une distribution binomiale. Si chaque micro-organisme est capable d'induire une maladie, alors la probabilité de maladie (P_{mal}) compte tenu des micro-organismes ingérés est le complément de la probabilité d'absence de maladie s'exprime ainsi :

$$P_{\text{mal}}(d, r) = 1 - (1 - r)^d$$

L'hypothèse sous-jacente du modèle à impact unique est alors l'absence d'interaction entre les micro-organismes, où (r) est supposé identique pour tous les micro-organismes dans la dose ingérée, indépendamment de la taille de la dose, de l'état des micro-organismes, de l'hôte et de l'exposition précédente au pathogène. Une vaste famille de modèles dose-réponse (modèles de la théorie des coups) peut être dérivée de cette fonction de base. Les modèles les plus fréquemment utilisés sont les modèles exponentiels et bêta-poisson, qui reposent sur des hypothèses supplémentaires sur la répartition des agents pathogènes dans l'inoculum et la valeur de (r) (Bassett *et al.*, 2012).

Des exemples de modèles (exponentiels et beta- poisson) sont représentés dans le **Tableau N° 04** (Huang et Haas, 2009)

Tableau 04: Les équations des modèles exponentiels et beta-poisson.

Le modèle	Les équations	Légende
Le modèle exponentiel	$P(d) = 1 - e^{-kd}$	P(d): la probabilité de réponse positive (infection, maladie ou décès). d: la dose moyenne exposée. K: le paramètre du modèle exponentiel dose-réponse N50 ; α : les paramètres du modèle bêta-Poisson.
Le modèle beta-poisson	$P(d) = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}} \times \left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right) \right]^{-\alpha}$	

IV.4.3 Evaluation d'exposition (Exposure assessment)

L'évaluation de l'exposition est définie comme "l'évaluation qualitative et/ou quantitative de l'apport probable d'agents biologiques, chimiques et physiques via les aliments ainsi que des expositions provenant d'autres sources, le cas échéant " (Commission du Codex Alimentarius, 2004). Elle doit prévoir une estimation de la probabilité et du niveau de pathogènes dans une certaine portion alimentaire ou dans un volume d'eau précis. Il est nécessaire de décrire la variabilité et l'incertitude liées à l'estimation de l'exposition, description qui dépendra des données disponibles et de l'approche de l'évaluation des risques adoptée. L'évaluation de l'exposition peut également identifier la quantité d'eau et d'aliments consommés, ainsi que la fréquence de la consommation dans une période donnée pour une population ou une sous-population donnée, et peut associer les informations afin d'estimer l'exposition de la population à un danger microbiologique par la consommation d'un aliment ou d'eau (FAO/WHO, 2008).

IV.4.3.1 Objectifs d'évaluation d'exposition

L'évaluation de l'exposition peut être menée pour des objectifs divers et dans des contextes différents, elle peut être de fournir une estimation du niveau d'exposition à un pathogène d'une population donnée, mais peut également se limiter à une évaluation de l'une ou de plusieurs étapes de transformation. Cela montre la nécessité pour les gestionnaires des risques d'exprimer clairement aux évaluateurs ses besoins, le niveau de détail requis au cours de l'évaluation de l'exposition et toutes les contraintes qui pourraient limiter les options de gestion. Par exemple, lorsqu'une comparaison des mesures d'atténuation est requise, il faudrait que les gestionnaires doivent fournir une indication des mesures qu'ils envisagent pour réduire l'exposition, ainsi que toutes celles qu'ils ne peuvent accepter en aucune circonstance (FAO/WHO, 2008). De plus, l'évaluation de l'exposition doit décrire les principales voies d'exposition, des scénarios peuvent être établis pour envisager diverses expositions possibles ; par exemple, il convient d'analyser toutes les étapes depuis la production jusqu'à la consommation, si le but de l'évaluation des risques est d'identifier et de comparer différentes stratégies d'atténuation à appliquer depuis la production jusqu'à la consommation (Figure 11). Dans d'autre cas, si le but de l'évaluation est de prendre une décision sur le niveau maximal tolérable d'un agent pathogène dans un produit prêt-à-manger au point de vente, l'évaluation serait alors utilisée pour déterminer la possibilité d'autres changements d'exposition dus à la manipulation par le consommateur (comme la durée et la température de stockage, l'effet de la cuisson ou d'autres étapes de préparation des aliments, le potentiel de contamination croisée à la maison, etc.) (FAO/WHO, 2021b).

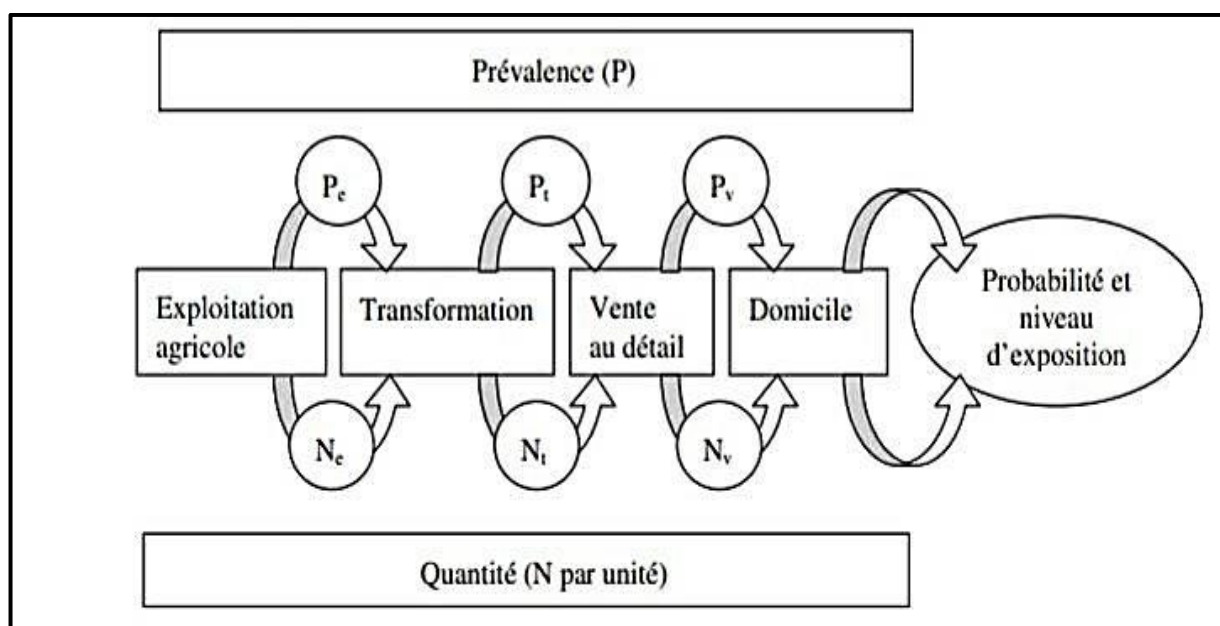


Figure 11 : Exemple d'un aperçu du modèle conceptuel pour décrire la voie d'exposition d'une évaluation de l'exposition depuis la production jusqu'à la consommation

IV.4.3.2 Processus d'évaluation d'exposition

L'évaluation de l'exposition peut être entreprise dans le cadre d'une évaluation des risques, ou il peut s'agir d'un processus autonome (lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'informations ou lorsque la question de la gestion des risques implique uniquement de quantifier ou de rechercher des moyens de minimiser l'exposition).

Généralement, l'évaluation de l'exposition peut être un processus itératif et les discussions entre gestionnaires de risques et évaluateurs de risques peuvent conduire à clarifier et affiner la question initiale qui doit être traitée. De plus, la consultation d'autres parties peut conduire à de nouvelles informations, qui à leur tour, peuvent conduire à une révision des hypothèses ou à une analyse plus approfondie. Peut être utilisée aussi par les organisations non gouvernementales telles que les fabricants de produits alimentaires ou les industries alimentaires, pour évaluer la sécurité de leurs produits. Cela peut être particulièrement utile dans le cadre de la recherche en innovation alimentaire et avant la mise sur le marché des produits (**van Gerwen et Gorris, 2004 ; Membré et Boué, 2018 ; Pujol et al., 2013**). Les gestionnaires de risques peuvent avoir des questions spécifiques sur certains processus, tels que l'agriculture biologique, l'abattage logistique (l'ordre dans lequel les animaux sont abattus) (**Nauta et al., 2009**) ou les aliments importés (**Skjerve, 1999**) qu'ils souhaitent voir adressée. Par conséquent, ces intérêts spécifiques devraient être pris en compte dans la sélection des voies à considérer et des types de données à inclure.

IV.4.3.3 Facteurs d'évaluation d'exposition

Les facteurs qui doivent être pris en compte pour l'évaluation de l'exposition comprennent la fréquence de la contamination des aliments par l'agent pathogène et son niveau dans ces aliments au fil du temps. Ces facteurs sont influencés par les caractéristiques de l'agent pathogène; l'écologie microbiologique de l'aliment; la contamination initiale de la matière première (la variabilité régionale et saisonnière); le niveau d'assainissement et de contrôle des procédés et les méthodes de transformation, d'emballage, de distribution et d'entreposage des aliments, ainsi que toutes les étapes de préparation, comme la cuisson et la conservation. La présence, la croissance, la survie ou la mort des microorganismes (les agents pathogènes) dans les aliments, sont influencées par des facteurs de transformation ; les facteurs extrinsèques (tels que des facteurs liés à l'environnement de stockage , y compris la température

de stockage, l'humidité relative de l'environnement et la composition gazeuse de l'atmosphère), les facteurs intrinsèques (pH, activité de l'eau, teneur en éléments nutritifs, présence de substances antimicrobiennes), et les facteurs implicites (la microflore concurrente). Les modes de consommation qui ont une incidence sur la quantité et la fréquence de consommation sont un autre facteur qui doit être pris en considération lors d'une évaluation. Cela concerne les antécédents des différences socio-économiques et culturelles, l'ethnicité, la saisonnalité, les différences d'âge (démographie de la population), les différences régionales et les préférences et comportements des consommateurs. Les autres facteurs à prendre en compte comprennent les facteurs comportementaux, tels que le rôle du manipulateur d'aliments contaminés en tant que source de contamination, et les températures environnementales abusives (**Bassett et al., 2012**).

IV.4.3.4 Evaluations quantitatives de l'exposition

L'évaluation quantitative de l'exposition fournit des estimations numériques de l'exposition, bien que la plupart des modèles utilisent des combinaisons d'énoncés mathématiques et logiques. L'évaluation quantitative de l'exposition demande généralement plus de données que l'évaluation qualitative ou semi-quantitative d'exposition. Il exige l'élaboration de modèles dans lesquels toutes les relations entre les facteurs qui influent sur l'exposition sont décrites de façon mathématique (**FAO/WHO, 2021b**), et en se servant de tests logiques et d'énoncés conditionnels (par exemple, « si » une telle condition s'applique, « alors » le résultat est...) (**FAO/WHO, 2008**).

Dans un modèle mathématique, les variables d'entrée sont celles qui déterminent le type et l'ampleur de la réaction ou la variable de réponse (sortie). Dans une évaluation de l'exposition, cette dernière est la fréquence et l'ampleur de l'exposition des consommateurs aux dangers microbiologiques dans l'aliment d'intérêt. Les variables d'entrée dans une évaluation d'exposition incluent des facteurs tels que la durée, la température, le volume de production et de dilution lors du traitement. Les paramètres quantifient la relation entre les variables d'entrée et la ou les donnée(s) de sortie ; ils peuvent être des valeurs fixes ou décrites par des distributions ; par exemple, alors que le taux de croissance bactérienne est proportionnel à la température, un modèle mathématique est nécessaire à la quantification de cette relation température. Ces paramètres pourraient être fixes pour une souche spécifique d'une espèce, mais pourraient varier d'une souche à l'autre de la même espèce et, dans ce cas, pourrait être décrite par une distribution (**FAO/WHO, 2008**).

L'EQRM utilise des modèles qui peuvent être divisés en deux catégories (**Basset et al, 2012**) déterministes ou stochastiques. Les modèles déterministes et stochastiques peuvent être différenciés selon leur traitement de l'aléatoire et de la probabilité (**Fazil, 2005**).

1-Évaluations déterministes :

L'approche déterministe, ou estimation ponctuelle. Les modèles déterministes sont fondés sur l'utilisation des valeurs d'estimation à point unique, toutes les variables se voient attribuer une certaine valeur fixe, qui peut représenter une valeur moyenne ou un maximum d'un ensemble de données variable. Les calculs donnent lieu à un nombre unique (qui peut comprendre des intervalles de confiance) comme résultat de l'estimation du risque. Une fois que les relations entre les facteurs d'un modèle sont déterminées, les modèles déterministes sont relativement simples à calculer. Cependant, même en tenant compte des intervalles de confiance, ceux-ci ne donnent pas beaucoup d'indications sur la probabilité (ou l'improbabilité) que l'événement indésirable se produise, ni de renseignements utiles sur les facteurs de risque (**Lammerding, 2007**). Une évaluation utilisant les données du pire des cas donne un résultat extrême, sans tenir compte de la faible probabilité qu'une telle situation se produise, alors qu'une évaluation utilisant des valeurs moyennes aboutira à un risque moyen, mais sans tenir compte des extrêmes qui peuvent être importants ou peu fréquente, mais avec des conséquences graves (**Fazil, 2005**). Les résultats des évaluations déterministes des risques peuvent être plus utiles lorsqu'ils sont utilisés comme indicateur du risque relatif, ce qui peut permettre de cibler les activités de gestion des risques sans avoir besoin d'estimations plus précises des risques.

2-Evaluations stochastiques :

L'évaluation stochastique, aléatoire ou probabiliste. Une bonne connaissance des théories statistiques et probabilistes est nécessaire pour l'approche probabiliste. Elle permet de prendre en compte la variabilité du risque et l'incertitude liée à son estimation (**Pouillot et al, 2002**). L'approche stochastique construit des évaluations des risques qui intègrent la variabilité et l'incertitude dans les paramètres d'entrée. Lorsque ces modèles sont construits, l'obtention des distributions statistiques de probabilité des variables (la forme de la courbe de distribution et ses paramètres) est nécessaire, en utilisant les simulations de type Monte Carlo (**Thrusfield, 2007**). Cette méthode tient compte de chaque valeur possible d'une variable et les poids de chaque valeur possible en fonction de la probabilité que cette valeur se produise. En d'autres termes, chaque variable est considérée comme échantillonnée dans sa distribution de probabilité. Un échantillonnage aléatoire de chaque distribution de probabilité dans le modèle est utilisé pour générer un grand nombre de scénario ou d'itérations. Les distributions des variables du modèle sont généralement influencées par les valeurs estimées pour d'autres variables qui sont incluses dans le modèle. En utilisant cette méthodologie, le modèle génère une distribution finale

résultant de la succession des variables des différents modules traduisant le risque en tenant compte de toutes les sources de variation et d'incertitude rencontrées lors du processus (**Pedro et Boris, 2005**).

IV.4.4 Caractérisation des risques (Risk characterization)

Selon le Codex, La caractérisation des risques est définie comme : « L'estimation qualitative et/ou quantitative, y compris les incertitudes qui s'y rattachent, de la probabilité d'occurrence et de la gravité des effets nocifs connus ou potentiels sur la santé dans une population donnée en fonction de l'identification des dangers, de leur caractérisation et de l'évaluation de l'exposition » (**Commission du Codex Alimentarius, 2004**).

La caractérisation des risques est l'étape au cours de laquelle les résultats d'une évaluation des risques sont présentés. Ces résultats sont donnés sous la forme d'estimations et de descriptions des risques qui fournissent des réponses aux questions que les gestionnaires des risques posent aux évaluateurs des risques. Ces réponses fournissent à leur tour aux gestionnaires des risques les meilleurs éléments de preuve scientifique disponibles pour les aider à gérer la sécurité sanitaire des aliments (**FAO/WHO, 2009**).

IV.4.4.1 Processus de caractérisation des risques

Ces approches ont des différents point de départ, utilisent divers types de données et servent à des fins différentes. Par exemple, au Danemark (**Hald et al., 2004**) et aux États-Unis d'Amérique (**Guo et al., 2011**), le nombre de cas humains de salmonellose liés à différentes sources animales a été estimé sans évaluation précise de l'exposition et sans utilisation d'un modèle dose-répons. Des approches ascendantes et descendantes de l'évaluation du risque microbiologique ont été publiées pour aider les gestionnaires des risques à utiliser des paramètres de risque, telle que le niveau de protection approprié (ALOP) et l'objectif de sécurité alimentaire (FSO), avec des études de cas utilisant *L. monocytogenes* dans les charcuteries (**Gkogka et al., 2013a**) et *Salmonella spp* dans la viande de poulet crue (**Gkogka et al., 2013b**).

IV.4.4.2 Caractérisation quantitative des risques

Comparativement à la caractérisation qualitative ou semi-quantitative du risque, la caractérisation quantitative du risque aborde les questions de gestion du risque à un niveau de détail plus approfondi, ce qui permet une comparaison plus précise des risques et des options de gestion du risque (FAO/WHO, 2021b). Ce niveau de détail accru peut se faire au détriment d'un délai beaucoup plus long, d'une réduction de la portée et d'une plus grande difficulté à comprendre le modèle. Les techniques probabilistes sont plus complexes et présentent donc une plus grande probabilité de risque d'erreur ou de malentendu. Les évaluations quantitatives des risques peuvent également reposer sur des hypothèses quantitatives subjectives (WHO, 2003), et la précision mathématique de ces résultats quantitatifs peut, par inadvertance, donner une fausse impression du degré d'exactitude de la caractérisation des risques. Cela a été reconnu depuis longtemps dans le milieu de l'analyse des risques et en 1983, Whittemore fait remarquer que « les analyses quantitatives des risques produisent des chiffres qui, hors contexte, prennent leur propre vie, sans qualificatifs, mises en garde et hypothèses qui les ont créés ».

Les mesures quantitatives du risque combinent les deux composantes quantitatives du risque : une mesure de la probabilité que le risque se produise (la quantité du danger consommé) et la gravité subséquente de l'effet sur la santé (l'ampleur de l'impact) (Kaplan et Garrick, 1981).

1-Mesure de probabilité :

Les mesures de probabilité dans une analyse des risques microbiologiques de la sécurité alimentaire doivent être corrélées à un niveau d'exposition précis, comme la consommation d'une quantité spécifique de denrée comestible par un individu chaque année dans un pays donné, ou un événement d'exposition individuel (qui peut différer de la consommation si l'exposition est indirecte) (FAO/WHO, 2009). Généralement, les mesures de probabilité sont exprimées sous une de ces deux formes soit, la probabilité qu'un événement porteur de risque se produise en corrélation avec un événement d'exposition déterminé (ex : probabilité de maladie à la suite de la consommation d'un œuf choisi aléatoirement), ou au cours d'une période (ex : la probabilité qu'un individu qui consomme des œufs soit malade au moins une fois par année) soit, le nombre moyen d'événements porteurs de risque qui peuvent se produire au cours d'une période déterminée. Chacune de ces mesures de probabilité comporte des avantages et des inconvénients. La première souligne le contenu probabiliste de la mesure de risque, alors que la seconde peut être mal interprétée pour faire croire que l'événement de risque se produira de façon déterministe à la fréquence spécifiée. Toutefois, l'identification explicite de la distribution de la mesure du risque, ou des intervalles de probabilité connexes, aide à contrer cette perception (FAO/WHO, 2021b). La mesure de probabilité doit être choisie avec soin et en collaboration avec les gestionnaires des risques afin d'expliquer les résultats de l'évaluation des risques le plus clairement possible au public cible

2-Mesure de l'effet sur la santé :

Le risque peut être exprimé de différentes façons (EFSA, 2012a). Selon le Codex Alimentarius le risque est une fonction de la probabilité d'un impact négatif sur la santé et de l'ampleur de cet impact, résultant d'un ou de plusieurs dangers dans les aliments (Commission du Codex Alimentarius., 2019). Différentes mesures, tel que le nombre de résultats défavorables, QALY, DALY, ainsi que des mesures de l'évaluation monétaire de la santé publique, ont été examinées pour caractériser et comparer les risques (EFSA, 2012b).

IV.5 Outils logiciels pour l'évaluation quantitative des risques microbiologiques

Une variété d'outils logiciels pour soutenir l'EQRM ont été mis à disposition. Le tableau N°05 donne un aperçu des logiciels de modélisation des risques ; des outils pour l'identification des dangers, le classement des risques et la hiérarchisation des risques ; outils de modélisation prédictive ; outils d'évaluation des risques spécifiques; ressources d'information sur l'évaluation des risques; et autres outils. Enfin, certains outils logiciels sont présentés qui sont actuellement en cours de développement et devraient être accessibles au public. Chaque outil est décrit brièvement, et une référence est donnée qui dirige les lecteurs vers l'outil ou fournit des informations supplémentaires (Bassett et al., 2012)

Les outils logiciels de modélisation des risques peuvent être divisés en trois grandes catégories :

1. Logiciel basé sur tableur (Excel) ou autre logiciel spécifique d'évaluation des risques développé pour l'évaluation des risques et la simulation stochastique.
2. Logiciels de simulation générale, langages de programmation, logiciels de modélisation mathématique et logiciels statistiques. Ceux-ci nécessitent des compétences en programmation plus avancées et ne sont pas spécifiquement développés pour effectuer une évaluation des risques.
3. Logiciel spécifique pour analyse bayésienne ou autre

Tableau 05 : Logiciels appliqués pour l'évaluation quantitative des risques microbiologiques (Basset et al., 2012)

Logiciel	Corporation	Type	Utilisation
@RISK	Palisade www.palisade.com	Logiciel d'évaluation des risques, complément au tableur Excel – simulation	Largement utilisé pour les EQRM publiées
Risk Ranger	food safety www.foodsafetycentre.com.	Logiciel de tableur Excel	Largement utilisé pour les EQRM publiées
Crystal Ball	Oracle www.oracle.com	Logiciel d'évaluation des risques, complément au tableur Excel – simulation	Moins fréquemment utilisé pour QMRA
Analytica	Lumina www.lumina.com	Outil visuel pour les modèles de décision	Interface graphique claire, fréquemment utilisée
Mathematica	Wolfram www.wolfram.com	Logiciel de modélisation, informatique, simulation, mathématiques	Fréquemment utilisé pour la modélisation mathématique, également pour l'évaluation des risques

IV.5.1 Risk Ranger

Risk Ranger est un outil simple d'évaluation des risques pour la SSA développé par l'Australian Food Safety Centre (Ross et Sumner, 2002). L'outil se présente sous la forme d'une feuille de calcul Excel et intègre les principes établis de l'évaluation des risques en matière de SSA, c'est-à-dire la combinaison de la probabilité d'exposition à un danger d'origine alimentaire, l'ampleur du danger dans un aliment lorsqu'il est présent et la probabilité et la gravité des résultats qui pourraient en découler, niveau et fréquence d'exposition (Figure 12).

L'outil demande à l'utilisateur de choisir parmi des déclarations qualitatives et/ou de fournir des données quantitatives concernant les facteurs qui affecteront le risque de SSA pour une population spécifique, résultant d'un produit alimentaire spécifique et d'un danger spécifique, au cours des étapes allant de la récolte à la consommation. La feuille de calcul convertit les entrées qualitatives en valeurs numériques et les combine avec les entrées quantitatives dans une série d'étapes mathématiques et logiques à l'aide de fonctions de tableur standard. Ces calculs sont utilisés pour générer des indices de risque pour la santé publique (EFSA, 2015)

Trois types de mesures de risque sont calculés dans Risk Ranger. La première est la « probabilité de maladie par consommateur et par jour », calculée comme $(P_{inf} \times P_{exp})$; où P_{inf} est la probabilité qu'une dose pathogène soit présente dans une partie du produit d'intérêt et P_{exp} est la probabilité d'exposition au produit par personne et par jour. Cette métrique n'est pas strictement une mesure de risque, car elle n'inclut pas la gravité de la maladie résultant de l'exposition au danger.

La deuxième mesure est le « nombre total de maladies prévues/an dans la population d'intérêt », qui ne différencie pas non plus la gravité, mais fournit une autre mesure qui pourrait être plus facilement comprise que le risque par jour.

La troisième mesure est le « classement des risques », qui fournit un indice plus convivial et plus robuste du risque relatif et est calculé sur la base de l'estimation du « risque comparatif ». Le « risque comparatif » dans la population d'intérêt est une mesure du risque relatif qui comprend la gravité de la maladie et est indépendant de la taille de la population, mais tient compte de la proportion de la population qui consomme. Un « risque comparatif » de 1 représente la situation dans laquelle chaque personne de la population consomme quotidiennement le produit d'intérêt, et que chaque portion du produit contient une dose létale du danger.

La valeur du « classement des risques » est mise à l'échelle logarithmiquement entre 0 et 100, où 0 représente l'absence de risque et 100 représente l'extrême opposé, où chaque membre de la population mange un repas qui contient une dose mortelle du danger chaque jour. L'échelle de « classement des risques » est établie sur la base d'une probabilité de MOA bénigne inférieure ou égale à un cas pour 10 milliards de personnes (supérieure à la population mondiale actuelle) pour 100 ans en tant que risque

négligeable. L'estimation du « risque comparatif » qui correspond à cette valeur est de $2,75 \times 10^{-17}$ et le « classement du risque » correspondant à ce niveau est égal à zéro. De manière analogue, la borne supérieure du « classement des risques » à 100 correspond à un « risque comparatif » de 1 (EFSA, 2015).

The screenshot shows the @RISK software interface for a risk assessment. It is divided into three main sections: A. SUSCEPTIBILITY AND SEVERITY, B. PROBABILITY OF EXPOSURE TO FOOD, and C. PROBABILITY OF FOOD CONTAINING AN INFECTIOUS DOSE. Each section contains several numbered input fields (1-11) with dropdown menus and text boxes. The final output is a 'RISK ESTIMATES' table and a 'RISK RANKING' box.

RISK ESTIMATES	
probability of illness per day per consumer of interest (Pinf x Pexp)	2,50E-05
total predicted illnesses/annum in population of interest	5,31E+04
RISK RANKING (0 to 100)	49

Figure 12 : Risk ranger excel

IV.5.2 @RISK palisade

Le logiciel @RISK (prononcé « à risque ») est un outil complémentaire pour Microsoft Excel qui vous aide à prendre de meilleures décisions grâce à la modélisation et à l'analyse des risques (Figure 13). Pour ce faire, il utilise une technique connue sous le nom de simulation de Monte Carlo (Palisade, 2004).

L'analyse Monte Carlo de @RISK calcule et suit de nombreux scénarios futurs possibles dans votre modèle de risque, et vous montre la probabilité que chacun se produise. De cette façon, @RISK

vous montre pratiquement tous les résultats possibles pour n'importe quelle situation. Cette approche probabiliste fait de @RISK un outil puissant que vous pouvez utiliser pour déterminer les risques à prendre et ceux à éviter, un aperçu essentiel dans le monde incertain d'aujourd'hui (Palisade, 2004).

L'intégration Palisade @RISK permet aux organisations de capturer les valeurs de Monte Carlo telles que la VaR dans ARCHER pour un rapport plus centralisé ; capturez des données pertinentes telles que les pertes et l'élicitation d'experts dans ARCHER et transmettez-les à @Risk pour la simulation de Monte Carlo ; représenter graphiquement les histogrammes de distribution des pertes ; générer des estimations de la valeur à risque à des intervalles de confiance de 95 % et 99 %.

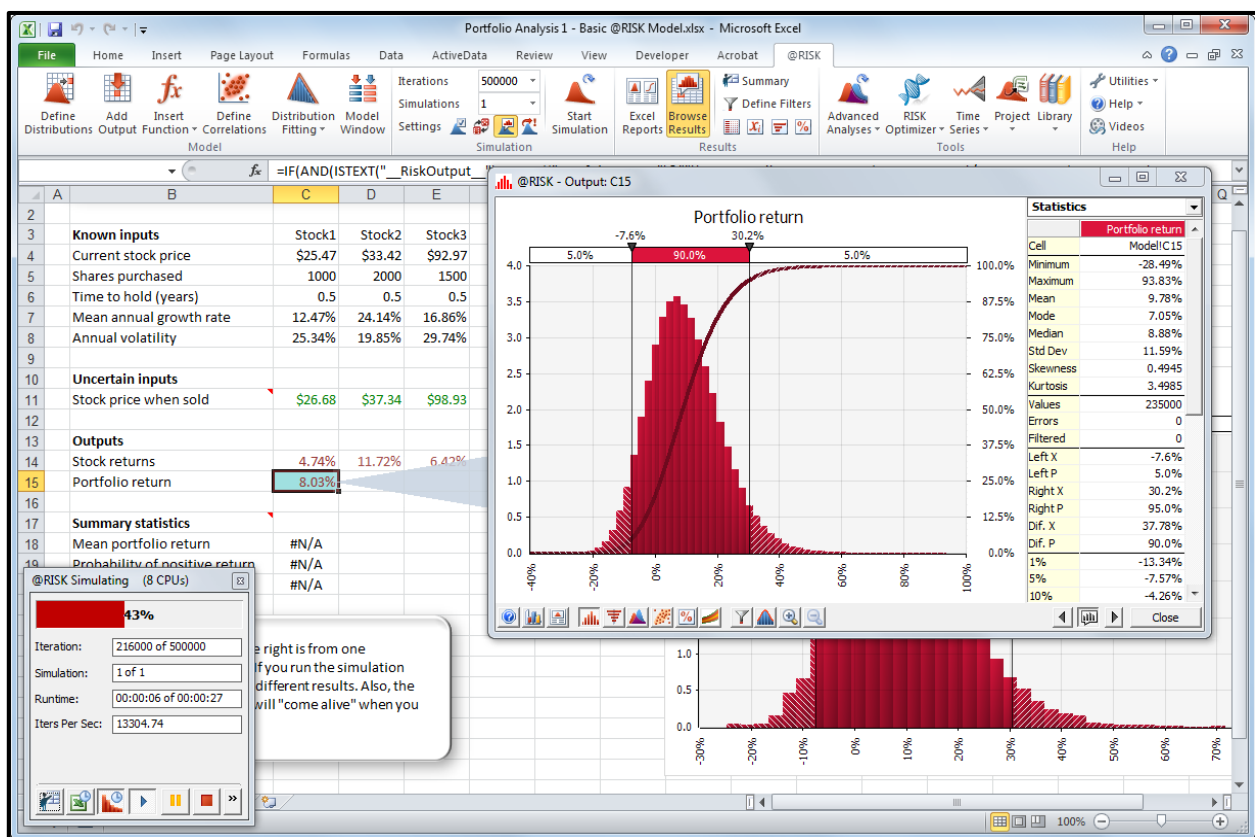


Figure 13: @RISK Palisade Excel

Conclusión

Générale

Conclusion Générale

La sécurité sanitaire des aliments est une responsabilité partagée entre professionnels (producteurs, transformateurs, distributeurs), services publics et consommateurs. Des mesures de prévention et de contrôle, mises en place ces dernières décennies tout le long de la chaîne alimentaire.

L'évaluation du risque est une étape essentielle de l'analyse de risque, doit opérer sur de multiples échelles, secteurs et parties prenantes. C'est sur ses résultats que se basent les décisions de gestion. Elle permet la compréhension des mécanismes pouvant aboutir à l'apparition des risques. Elle permet de modéliser le risque, et de lui associer une probabilité d'apparition qu'elle soit qualitative ou quantitative. Nous avons notamment vu que la modélisation est très importante au sein de la démarche. L'analyse de risque est une méthode de plus en plus utilisée en épidémiologie. De plus, d'autres méthodes dérivées de l'analyse de risque se développent actuellement telle que l'évaluation quantitative des systèmes de surveillance. Cette méthode a pour but d'estimer la sensibilité des systèmes de surveillance à travers d'arbres de scénario proches de ceux utilisés en analyse de risque. Il existe une variété d'outils logiciels pour soutenir l'évaluation quantitative du risque microbiologique. Le Risk Ranger (Australie) et @RISK de Palisade (USA) sont parmi les outils disponibles les plus utilisés.

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

AFSSA, (2008). Une méthode qualitative d'estimation du risque en santé animal. [En ligne] Accès internet : <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT-Ra-MethodeRisque.pdf> consultée le 11/05/2022.

Ahl, A. S., Acree, J. A., Gipson, P. S., McDowell, R. M., Miller, L., McElvaine, M. D. (1993). Standardization of nomenclature for animal Health risk analysis. *Sci. tech. Off. int. Epiz.*, 12, 1045-1053.

Barker, G.C., Bayley, C., Cassidy, A., French, S., Hart, A., Malakar, P.K., Maule, I.J., Petkov, M., Shepherd R., (2010). Can a Participatory Approach Contribute to Food Chain Risk Analysis? *Risk Analysis*, 30(5):766-781

Bassett, J., Nauta, M., Lindqvist, R., Zwietering, M. (2012). Tools for Microbiological risk assessment. ILSI Europe. ILSI Europe Report Series. <http://www.ilsa.org/europe/pages/viewitemdetails.aspx?webid=84d7fa4a0fd5-40cd-a49a-2da6fcdfd654&listid=0348eb34-df85-49dd-9ade-77ed136643f1&itemid=266>.

Bennett, J.W., Klich, M. (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16, 497-516. <http://dx.doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003>.

Benoit horion, Ir. (2005). L'application des principes HACCP dans les entreprises alimentaires. Guide d'application de la réglementation, version 2, p5

Birembaux, J.(2017). Conseil à l'Officine : prévention de l'infection alimentaire chez la population à risques. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie : Université de Lille 2. 31,16, 20 p.

Bonfoh, B., Fokou, G., Traoré, S.G., Kouamé-Sina, S.M, Bechir, M., Zinsstag, J., Grace, D., Dao, D. (2013). Valeur ajoutée de la participation à l'analyse des risques des produits d'origine animale vendus dans le secteur informel. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales (RASPA)*, 11(S), 15-21

BOUTOU, O. (2008). Management de la sécurité des aliments : de l'HACCP à l'ISO 22000. AFNOR, Paris, 332p.

Busta, F. F. (2000). Evolution and Current Trends in HACCP and Risk Assessment. In: *Microbehavior and Macroresults: Proceedings of the Tenth Biennial Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*, Corvallis, Oregon, USA.

CFDRA. (1992). HACCP : A practical guide. Campden Food and Drink Research association. Technical Manual NO. 38.

Chevassus-au-Louis, B. (2001). L'analyse du risque alimentaire: quels principes, quels modèles, quelles organisations pour demain?. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 8(4), 287-294.

Coleman, M., Marks, H. (1998). Topics in dose-response modeling. *Journal of Food Protection*, 61, 1550-1559

Commission des communautés européenne. (2000). livre Blanc sur la sécurité alimentaire. Commission des communautés européennes. Bruxelles, 61 p.

Références bibliographiques

- Commission des communautés européennes. (2002).** Regulation (EC) n° 178/2002 of the European Parliament and of the Council laying down the general principles and requirements of food law establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. Off. J. Eur. Union, L31, 24-31.
- Commission des communautés européennes. (2005).** Regulation (EC) n° 2073/2005. Microbiological criteria for foodstuffs. Off. J. Eur. Union, 338/331-338/326.
- Commission du Codex Alimentarius. (1999).** Principes et directives régissant la conduite de l'évaluation des risques microbiologiques. Doc. no. CAC/GL-30.
- Commission du Codex Alimentarius. (2004).** Procedural manual, fourteenth edition. FAO, Rome.
- Commission du Codex Alimentarius. (2019).** Codex Alimentarius Commission Procedural Manual. 27th edition. Codex Alimentarius Commission.
- Covello, V. T., Merkhoffer, M. W. (1993).** Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks. Plenum Press, New York.
- Delhalle, L., Saegerman, C., Farnir, F., Korsak, N., Daube, G. (2008).** L'évaluation quantitative du risque microbiologique. Trois modèles liés à Salmonella dans les aliments, 152, 116-129
- Easter, M. C., Mortimore, S. E., Sperber, W. H. (1994).** The role of HACCP in the management of food safety and quality. Journal of the Society of Dairy Technology, 47, 42-43
- EFSA (European Food Safety Authority). (2015).** Scientific Opinion on the development of a risk ranking toolbox for the EFSA BIOHAZ Panel. *Efsa Journal*, 13(1), 3939
- EFSA (European Food Safety Authority). (2012a).** Scientific opinion on risk assessment terminology. *EFSA Journal*, 10(5): 2664. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2664>.
- EFSA (European Food Safety Authority). (2012b).** Scientific opinion on the development of a risk ranking framework on biological hazards. *EFSA Journal*, 10(6): 2724. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2724>
- FAO/WHO. (1995).** Application of risk analysis to food standards issues. rapport de la consultation mixte d'experts FAO/OMS, Genève
- FAO/WHO. (2003).** Hazard Characterization for Pathogens in Food and Water. Microbiological Risk Assessment Series, Rome.
- FAO/WHO. (2004).** Caractérisation des dangers liée à la présence de pathogènes dans l'aliment et dans l'eau. Série d'évaluation des risques microbiologiques n°03. Rome, Italy.
- FAO/WHO. (2006a).** Comprendre le Codex alimentarius. 3e édition. Lavoisier: Paris, 48 p
- FAO / WHO. (2006b).** Enterobacter sakazakii and Salmonella in powdered infant formula. Microbiological Risk Assessment Series n°10. Rome, Italy.
- FAO/WHO. (2007a).** Analyse des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments : guide à l'usage des autorités nationales responsables de la sécurité sanitaire des aliments. Alimentation et nutrition, Rome.

Références bibliographiques

- FAO/ WHO. (2007b).** Enterobacter sakazakii and other microorganisms in powdered infant formula. Microbiological Risk Assessment Series, Rome .
- FAO/WHO. (2008).** Exposure assessment of microbiological hazards in food: guidelines. Microbiological Risk Assessment Series N°07. Rome, 92pp
- FAO/WHO. (2009).** Risk characterization of microbiological hazards in food: Guidelines. Microbiological Risk Assessment Series N°17. Rome, pp116.
- FAO/WHO. (2021a).** En bref: Évaluation des risques microbiologiques dans les aliments. FAO/ WHO, Rome.
- FAO/WHO. (2021b).** Microbiological risk assessment : Guidance for food. Microbiological Risk Assessment Series N°36. Rome.
- Fazil, A.M. (2005).** A primer on risk assessment modelling: focus on seafood products. FAO Fisheries Technical Paper, pp 56.
- Feinberg, M., Bertail, P., Tressou, J., Verger., P.(2006).** Analyse de risque alimentaire. Lavoisier, Paris.
- Gkogka, E., Reij, M. W., Gorris, L. G. M., Zwietering, M. H. (2013b).** Risk assessment strategies as a tool in the application of the Appropriate Level of Protection (ALOP) and Food Safety Objective (FSO) by risk managers. International Journal of Food Microbiology, 167, 8-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.04.013>
- Gkogka, E., Reij, M. W., Gorris, L. G. M., Zwietering, M. H. (2013a).** The application of the Appropriate Level of Protection (ALOP) and Food Safety Objective (FSO) concepts in food safety management, using *Listeria monocytogenes* in deli meats as a case study. Food Control, 29, 382-393. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.04.020>.
- Grace, D., Randolph, T., Olawoye, J., Dipelou, M., Kang'ethe, E., (2008).** Participatory risk assessment: a new approach for safer food in vulnerable African communities. Development in Practice, 18 (4-5): 611- 61
- Guo, C., Hoekstra, R. M., Schroeder, C. M., Pires, S. M., Ong, K. L., Hartnett, E., Naugle, A., Harman, J., Bennett, P., Cieslak, P., Scallan, E., Rose, B., Holt, K. G., Kissler, B., Mbandi, E., Roodsari, R., Angulo, F. J., Cole, D. (2011).** Application of Bayesian techniques to model the burden of human salmonellosis attributable to U.S. food commodities at the point of processing: Adaptation of a Danish model. Foodborne Pathogens and Disease, 8, 509-516. <https://doi.org/10.1089/fpd.2010.0714>.
- Hald, T., Vose, D., Wegener, H. C., Koupeev, T. (2004).** A Bayesian approach to quantify the contribution of animal-food sources to human salmonellosis. Risk Analysis, 24, 255-269. <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00427.x>.
- Havelaar, A.H., Nauta, M.J., Jansen, J.T. (2004).** Fine-tuning food safety objectives and risk assessment. International Journal of Food Microbiology. 93, 11-29.
- Huang, Y., Haas, C. N. (2009).** Time dose - response models for microbial risk assessment. *Risk Analysis: An International Journal*, 29, 648-661

Références bibliographiques

- Huyghebaert, A., Debevere, J., Saegerman, C. (2005).** Terminologie en matière d'analyse des dangers et des risques selon le codex alimentarius. *Comité scientifique de l'Agence fédérale belge pour la Sécurité de la chaîne alimentaire.*
- InVS/Afsse. (2005).** Estimation de l'impact sanitaire d'une pollution environnementale et évaluation quantitative des risques sanitaires.
- ISO. (1999).** « Aspects liés à la sécurité : Principes directeurs pour les inclure dans les normes », Organisation internationale de normalisation.
- Jacquot, J. C. (2010).** L'analyse de risques pour les débutants. *Les cahiers techniques de CASE France.*
- JORA (Journal Officiel de la République Algérienne). (2017).** Fixant les conditions d'hygiène et de salubrité lors du processus de mise la consommation humaine des denrées alimentaires. Article 03, 17-140.
- Jost, C.C., Mariner, J.C., Roeder, P.L., Sawitri, E., Macgregor-Skinner, G. J., (2007).** Participatory epidemiology in disease surveillance and research. *Scientific and Technical Review*, 26(3): 537-47
- Kaplan, S., Garrick, B. J. (1981).** On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*, 1, 11–27.
- Karen, L. H., Wayne, S. (2002).** Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) History and Conceptual Overview. *John Wiley and sons*, 22, 547-552
- Kris, H., Frémy, R. (2002).** Phycotoxines et produits de la mer: risques sanitaires associés et mesures de prévention, *Revue française des laboratoires*, N° 348, 29-38.
- Krueger, R. A., Casey, M. A, (2000).** Focus groups. A practical guide for applied research. In *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research* (Vol. 3, No. 4).
- Lammerding, A. (2007).** Using microbiological risk assessment (MRA) in food safety. Summary report of a workshop in Prague, Czech Republic, October 2006. ILSI Europe Report Series. ILSI Europe, Brussels. Available http://www.ilsi.org/Europe/Publications/R2007Usi_Mic.pdf.
- Laurentiu, C., Mihai, J. (2007).** Consideration sur les (HACCP)- Analyse des dangers points critiques pour leur maîtrise .Fascicle of Management and Technological Engineering. 6, 2295-2299.
- Ledrans, M. (2008).** L'épidémiologie : un outil pour la veille et la décision en santé environnementale. *Environnement Risques et Santé*, 7, 21-26.
- Levi, Y., Harvey, M., Cervantès, P. (2006).** Rapport sur l'évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives, Affsa, France, pp 21-70.
- Membré, J. M., Boué, G. (2018).** Quantitative microbiological risk assessment in food industry: Theory and practical application. *Food Research International*, 106: 1132– 1139. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.025>.
- Moreau, A ., Dedianne, M. C., Letrilliart, L., Le Goaziou, M. F, Labarère, J., Terre, J. L., (2004).** S'approprier la méthode du focus group. *La revue du praticien - médecine générale*. Tome 18. n° 645 du 15 mars: 382-384.

Références bibliographiques

- Mortimore, S., Wallace, C. (1996).** HACCP : a practical approach. Polytechnica.
- Muehlemann, M., Aebischer, S. (2007).** Food safety and health protection in practice. Suisse d'agriculture (Switzerland), 39, 311-316.
- Naresh, L., Shailaja, U., Merchant, C., Nikunj, C. (2006).** Food safety using haccp quality management system. Food Promotion Chronicle, P5
- Nauta, M. J., van der Wal, F. J., Putirulan, F. F., Post, J., van de Kasstele, J., Bolder, N.M. (2009).** Evaluation of the “testing and scheduling” strategy for control of Campylobacter in broiler meat in The Netherlands. International Journal of Food Microbiology, 134: 216–222.
- Nauta, M., Havelaar, A. (2008).** Risk-based standards for Campylobacteria the broiler meat chain. Food Control 19, 372-381
- Notermans, S., Mead, G. C., Jouve, J. L. (1996).** Aliments et protection du consommateur. Approche conceptuelle et définitions des termes, 30, 175-185.
- OMC (Organisation mondial du commerce). (1994).** Accord sur l’application des mesures sanitaires et phytosanitaires. OMC. Genève, 77-100.
- ORS (Observatoire régional de santé). (2006).** L’évaluation des risques sanitaires : principe et méthode. Institut d’aménagement et d’urbanisme de la région d’Île-de-France, 6p.
- PALISADE. (2004).** Risk advanced risk analysis for spreadsheet. New York, 503p.
- Pedro, A., Boris, S. (2005).** Zoonoses and communicable diseases to man and animals. World Health Organization : Geneva, pp382.
- Pouillot, R., Sanaa, M., Dufour, B. (2002).** Principes de l'appréciation quantitative probabiliste des risques. Epidémiologie et santé animale, numéro spécial : analyse de risque, Association pour l'Etude de l'Epidémiologie des Maladies Animales (AEEMA), 41 : 95-112.
- Pujol, L., Albert, I., Johnson, N.B., Membré, J. M. (2013).** Potential application of quantitative microbiological risk assessment techniques to an aseptic-UHT process in the food industry. International Journal of Food Microbiology, 162(3): 283–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.01.021>.
- Quittet, C., Nelis, H. (1999).** HACCP pour les petites et moyennes entreprises alimentaires et artisans : Secteur viande et poisson. Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique.
- Rige, F., Cardon, F., Doussin, J. P. (2004).** Gestion et prévention des risques alimentaires. Weka, Suisse, 421p.
- Rogy, C. (2002).** Contexte de l’utilisation de l’analyse de risque : national, communautaire, international. Epidemiologie et Santé Animale, 41, 19
- Ross, T., Sumner, J. (2002).** A simple, spreadsheet-based, food safety risk assessment tool. International Journal of Food Microbiology, 77, 39-53.
- Sanaa, M., Cerf, O. (2002).** La démarche d’analyse quantitative des risques de maladies infectieuses transmises par les aliments. Epidemiologie et santé animale, 41, 157-168.

Références bibliographiques

- Skjerve, E. (1999).** Possible increase of human *Taenia saginata* infections through import of beef to Norway from a high prevalence area. *Journal of Food Protection*, 62(11): 1314–1319. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.11.1314>.
- Stringer, M. (2004).** Food safety objectives-role in microbiological food safety management. *FoodControl*, 16, 775-794
- Terfay, N. (2004).** Démarche qualité dans l'entreprise et analyse des risques. Houma, Alger.
- Thrusfield, M. (2007).** *Veterinary epidemiology*. 3rd edition. Blackwell Publishers : Oxford , pp 610.
- Toma, B., Dufour, B., Sanaa, M. (2002).** Généralités sur l'Analyse de Risque. *Epidémiologie et santé animale*, 41, 5-17.
- Toma, B., Dufour, B., Sanaa, M., Benet, J. J., Ellis, P., Moutou, F., Louza, A. (2001).** *Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies majeures AEEMA*. Maisson Alford, Paris.
- USDA. (2004).** United States Department of Agriculture. Food safety and inspection service, (pages consultées le 6 Janvier 2004). Generic HACCP model for beef slaughter, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.fsis.usda.gov/index.htm>.
- VAN GERWEN, S. J. C., GORRIS, L. G. M. (2004).** Application of Elements of Microbiological Risk Assessment in the Food Industry Via a Tiered Approach. *Journal Food Prot*, 67(9): 2033–2040. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.9.2033>
- Voysey, P.A., Brown, M. (2000).** Microbiological risk assessment: a new approach to food safety control. *International Journal of Food Microbiology*. 58, 173-179.
- WHO (World Health Organization). (2002).** WHO Global strategy for food safety: safer food for a better health. World Health Organization, Geneva, Switzerland. ISBN 92 4 1545747.
- WHO (World Health Organization). (2003).** Assessing microbial safety of drinking water improving approaches and methods: improving approaches and methods. OECD.
- WHO (World Health Organization). (2020).** Sécurité sanitaire des aliments <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>.
- Zamora-Luna, M. B. V., Azanza, M. P. V. (2003).** Barriers of HACCP team members to guideline adherence. *food control*. 16, 15-22.

Références bibliographiques
