

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE & BIOCHIMIE

N°:



DOMAINE: SCINCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE: SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION: NUTRITION ET SCIENCES DES ALIMENTS

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

Benmessahel Zaki

Sidali Batoul

Charef Nadjla

Dehilis Nadia

Intitulé

***Prévention des altérations et des contaminations
microbiennes des aliments***

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BISSET S.

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Président

Dr. RABAH N.

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Rapporteur

Dr. BENSEMANE L.

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Examineur

Année universitaire : 2023 /2024

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté, la foi et le courage pour réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier également toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus en particulier :

Notre promoteur Mme. RABAH Noura pour avoir accepté de diriger notre travail par ses conseils, sa disponibilité et ses orientations.

Que la présidente Mme. BISSET S. et l'examineur Mme. BENSEMANE L.

Vous trouvez ici l'expression de nos sincères remerciements, pour avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Merci à tous nos enseignants pour leurs efforts puissants au cours de toutes ces années et nous leur exprimons toute notre gratitude pour leur aide.

Nos vifs remerciements vont également à toutes les personnes, qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Qui a dit "Je suis à la hauteur" ... l'a obtenue.

Et moi, je suis à la hauteur, et même si elle refusait, malgré elle, je l'ai atteinte.

Je l'ai obtenue et j'ai embrassé aujourd'hui une grande gloire. Le rêve n'était pas proche et le chemin n'était pas facile, mais... je suis arrivé.

Grâce à Dieu, avec amour, gratitude et reconnaissance. Grâce à Dieu, j'ai atteint les plus nobles objectifs.

Je dédie avec tout mon amour mon mémoire de fin d'études à :

À moi-même, la grande et jeune âme qui a supporté tous les obstacles et a continué malgré les difficultés.

Aux personnes les plus importantes et les plus chères, à mon soutien... mon premier supporter, mon pilier et mon refuge après Dieu, ma fierté et mon honneur... ma mère.

À ceux dont les mains m'ont soutenu dans mes moments de faiblesse, à mon pilier inébranlable et à la sécurité de mon cœur. À ceux qui m'ont soutenu avec amour durant mes moments de faiblesse.....

À tous ceux qui m'ont tendu la main, de près ou de loin, et qui m'ont aidé dans ce parcours.

À mes chers lecteurs, vous qui ouvrez ces pages avec curiosité et intérêt, je vous invite à vous joindre à moi dans ce voyage. Que cet ouvrage vous inspire, vous émeuve, et vous rappelle l'importance de poursuivre vos rêves avec passion et persévérance. Que ces mots soient une source d'inspiration, de réconfort et d'espoir, vous offrant une évasion bienvenue, des moments de réflexion profonde et une connexion avec votre propre vérité intérieure.

zaki

Dédicace

Après avoir rendu grâce à ALLAH le tout puissant et le Miséricordieux. Je dédie ce
travail

À ma chère maman et mon cher papa, vos sourires illuminent ma vie chaque jour. Votre amour inconditionnel et votre soutien sans faille sont mes plus grands trésors. Merci pour tout ce que vous faites pour moi. Je vous aime plus que tout au monde mes chers frères et sœurs, cette réussite est le fruit de votre amour, de votre soutien et de vos encouragements constants. Merci d'avoir toujours été à mes côtés. Je vous aime tous énormément À mon cher mari, compagnon de vie et d'aventures, dont le soutien indéfectible et l'amour sans bornes ont été mes plus grands trésors. Tu es mon rocher, mon confident et mon meilleur ami, et chaque jour passé à tes côtés est un cadeau précieux

À mes chers fils Ryan, Mohamed, Amin et Taha, votre maman a atteint un grand accomplissement aujourd'hui grâce à votre amour et votre soutien. Que cette réussite soit un témoignage de persévérance pour vous. Je vous aime de tout mon cœur.

À nos chers professeurs, au directeur du département, Monsieur Rahali Abdellah, à son adjoint, Monsieur Derif, et à tous les camarades de promotion, votre soutien et vos enseignements ont été essentiels dans notre parcours.

Nous vous remercions du fond du cœur pour votre dévouement et votre guidance. Cette réussite est le fruit de votre travail acharné.

Merci pour tout.

Nadjla

Résumé :

Les aliments que nous consommons sont des produits fragiles et ne peuvent se conserver éternellement. Ils se dégradent naturellement avec le temps ou par développement des microorganismes (les bactéries, les levures, les champignons) qui les rendent impropres à la consommation. Ces altérations sont nombreuses et variées et peuvent être visuelles (dépigmentation, formation de colonies, gonflement) ou apparentes par l'odeur (odeur désagréables) ou le goût (goût désagréables). Elles surviennent depuis la production des denrées jusqu'à leur consommation. La contamination des denrées peut être à l'origine de leur altération, mais peut également affecter sérieusement la santé des consommateurs qui peuvent être victimes des maladies (toxi-infections et intoxications alimentaires) parfois graves. Pour prévenir ces altérations, assurer la sécurité alimentaire et réduire les risques de contamination des aliments par des micro-organismes, Il faut mettre des mesures telles que l'application rigoureuse des Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH), l'utilisation de technologies de conservation appropriées, L'intégration de la nanotechnologie dans l'industrie alimentaire, la sensibilisation des consommateurs aux pratiques sûres de manipulation des aliments. Une collaboration étroite entre les autorités sanitaires, l'industrie agroalimentaire et les consommateurs est indispensable pour assurer une chaîne alimentaire sécurisée et fiable.

Les mots clés: Les aliments, microorganismes, altérations, contamination, sécurité alimentaire, conservation,

ملخص:

إن الطعام الذي نتناوله هش ولا يمكن حفظه إلى الأبد، فهو يتدهور بشكل طبيعي بمرور الوقت أو نتيجة لتطور الكائنات الدقيقة (البكتيريا، الخمائر، الفطريات) التي تجعله غير صالح للاستهلاك. تتنوع هذه التدهورات وتظهر بصرياً (تغير اللون، تكوين مستعمرات، الانتفاخ) أو من خلال الرائحة (رائحة كريهة) أو الطعم (طعم سيء)، يمكن أن تحدث في أي مرحلة، من الإنتاج إلى الاستهلاك. يمكن أن يؤدي تلوث الطعام إلى تلفه وتعرض صحة المستهلكين لمخاطر جدية، مما يسبب أمراضاً متعددة (التسممات الغذائية) التي قد تكون أحياناً خطيرة، ولمنع هذه التدهورات، وضمان سلامة الغذاء، وتقليل خطر التلوث بالكائنات الدقيقة، من الضروري تنفيذ تدابير مثل التطبيق الصارم لممارسات النظافة الجيدة (BPH)، واستخدام تقنيات الحفظ المناسبة، ودمج تكنولوجيا النانو في صناعة الأغذية، وزيادة وعي المستهلكين بممارسات التعامل الآمن مع الطعام. يعتبر التعاون الوثيق بين السلطات الصحية وصناعة الأغذية والمستهلكين أمراً حيوياً للحفاظ على سلسلة إمداد غذائية آمنة وموثوقة.

الكلمات المفتاحية: الطعام، الكائنات الدقيقة، التدهورات، تلوثات، سلامة الغذاء، الحفظ

Abstract:

Foods are fragile products and cannot be preserved indefinitely. They naturally degrade over time or due to the development of microorganisms (bacteria, yeast, fungi) which render them unfit for consumption. These alterations can be numerous and varied, manifesting visually (depigmentation, colony formation, swelling) or perceptible through smell (unpleasant odors) or taste (unpleasant flavors). They occur from food production to consumption. Contamination of food can lead to their deterioration, but can also seriously affect consumers' health, leading to potentially severe illnesses (food poisoning and intoxications). To prevent these alterations, ensure food safety, and reduce the risks of food contamination by microorganisms, measures such as rigorous application of Good Hygiene Practices (GHP), use of appropriate preservation technologies, integration of nanotechnology in the food industry, and consumer awareness of safe food handling practices are necessary. Close collaboration between health authorities, the Agri-food industry, and consumers is essential to ensure a secure and reliable food chain.

The key words: foods, microorganisms, alterations, Contamination, food safety, preservation

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Sommaire	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Listes des tableaux	
Introduction	01

Chapitre I

Altérations des aliments

I.1. Définition	04
I.2. Catégories d'aliments basées sur la durée de conservation	04
I.3. Types d'altérations alimentaires	05
I.3.1. Altérations physiques	05
I.3.2. Altérations chimiques et biochimiques	05
I.3.3. Altérations microbiologiques	05
I.3.3.1. Flores d'altération	05
I.3.3.2. Facteurs chimiques et physiques qui influencent le développement microbien	06
I.3.3.3. La composition chimique et nutritionnelle du milieu	07
I.3.3.4. Modifications microbiennes des aliments	07
I.3.3.5. Les conséquences de la dégradation microbiennes	08
I.3.3.6. Principales altérations alimentaires d'origine microbienne	09

Chapitre II

Le comportement des micro-organismes en milieu alimentaire

II.1. Introduction	12
II.2. La contamination microbienne des aliments	12
II.2.1. Origine des microorganismes contaminants les aliments	12
II.2.2. Classification des microorganismes dans l'industrie alimentaire	14
II.2.2.1. Les bactéries	15
II.2.2.2. Les virus	16

II.2.2.3. Les parasites	16
II.2.2.4. Les levures	17
II.2.2.5. Les moisissures	17
II.3. Le risque pour la santé humaine	17
II.3.1. Définition des maladies d'origine alimentaire	17
II.3.2. Classification	17
II.3.2.1. Maladies d'origine infectieuse	17
II.3.2.2. Maladies d'origine toxique (intoxication alimentaire)	18
II.3.2.3. Intoxication	18
II.3.3. Facteurs favorisants	19
II.3.4. Symptomatologie.....	19

Chapitre III

Stratégies et techniques de prévention des altérations et des contaminations

microbiennes des aliments

III.1. Hygiènes des aliments et sécurité des denrées alimentaires	23
III.1.1. Grands principes d'hygiène	23
III.1.2. Sécurité des denrées alimentaires	25
III.2. Conservation des aliments	25
III.2.1. Définition	26
III.2.2. Les méthodes traditionnelles de conservation	26
III.2.3. Les méthodes modernes de conservation	27
III.2.3.1. Traitement thermique.....	28
III.2.3.2. Traitement non thermique.....	33
III.2.3.3. Fermentation	33
III.2.3.4. Utilisation des conservateurs	34
III.3. Application de la nanotechnologie à différents aspects de l'industrie alimentaire.....	36
III.3.1. Nanotechnologie dans la transformation des aliments.....	37
III.3.2. Nanotechnologie pour l'emballage alimentaire.....	37
III.3.2.1. L'emballage alimentaire	37
III.3.3.2. Les emballages actifs	38
III.3.3.3. Les emballages intelligents	39
CONCLUSION	42
Références bibliographiques	

Liste des abréviations :

C° : Degrée Celsius

PH : potentiel Hydrique

E. coli : *Escherichia coli*

OMS : organisation mondiale de sante

FAO : l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

MOA : Maladie d'Origine Alimentaire

TIA : Toxi-infection alimentaire

NP : Nanoparticule

Liste des figures :

Figure 01 : Origine des contaminants dans les aliments	14
Figure 02 : Les principales interactions entre aliment, microorganisme, consommateur ...	18
Figure 03 : Les facteurs favorisant les MOA	19
Figure 04 : Les 5 M majeurs pour éviter une contamination	24
Figure 05 : La classification des méthodes de conservation et de transformation des aliments.	28

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Importance de PH pour conservation des aliments	07
Tableau 02 : Catégories de microorganismes dans l'alimentation.....	15
Tableau 03 : Principaux genres de bactéries impliqués dans les produits alimentaires.....	16
Tableau 04 : Les principales maladies liées à la consommation des aliments.....	20
Tableau 05 : Barèmes de pasteurisation.....	30
Tableau 06 : Rôles de l'emballage.....	38

Introduction

Introduction :

Nos aliments proviennent de notre entourage immédiat, mais aussi, de plus en plus, de pays divers. Nous exigeons que nos aliments soient sans danger. Cependant, il arrive que ces aliments soient contaminés en cours de production, de transformation, de transport et de manipulation par des substances potentiellement dangereuses bien que notre environnement est pollué par des agents chimiques, physiques et biologiques qui risquent de porter atteinte à la santé du consommateur (Jean-Claude Panisset 2003).

La charge microbienne normale de la plupart de nos aliments est de l'ordre de 10^4 g. Il y a mort quand les microorganismes ne trouvent pas dans l'aliment les conditions nécessaires à leur croissance (composition, conditions d'entreposage, traitements antimicrobiens.....). La survie des microorganismes est liée à des conditions n'engendrant pas la mort mais ne permettant pas la multiplication (composition, froid.....). Il y a prolifération quand les microorganismes trouvent les conditions nécessaires à leur croissance. Dans ce cas généralement défavorable il y a altération de la qualité marchande si les germes sont saprophytes et altération de la qualité sanitaire (et parfois marchande) si les germes sont « pathogènes ». Dans la nature, les proliférations microbiennes succession de flores ont pour finalité de minéraliser complètement le produit (dans le cas de microorganismes hétérotrophes). La notion de charge microbienne en relation avec la qualité du produit est fonction de la nature du produit et de la nature du germe présent (Jean-Louis, 2007).

La mauvaise qualité d'un produit alimentaire peut entraîner des conséquences plus ou moins importantes, allant de la simple altération du produit, ce qui lui fait perdre ses qualités organoleptiques ou sa valeur commerciale, à des toxi-infections dangereuses pour la santé humaine (M. Benzaoui, H. Smadi, 2015) 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 (OMS, 2020)

Les maladies alimentaires entravent la croissance socio-économique en exigeant une charge importante des systèmes de santé et en nuisant aux économies nationales, au tourisme et au commerce. (OMS, 2020)

La stratégie de maîtrise du risque microbiologique doit intégrer de façon optimale les différentes démarches de prévention, de destruction, d'inhibition, d'élimination et de compétition des microorganismes dans les matières premières et dans les produits de transformation, au niveau du matériel et de l'environnement de la production. En ce qui concerne la prévention, tout doit être

fait afin d'éviter l'apport de microorganismes, en particulier pathogènes, à chacune des étapes de la chaîne agroalimentaire. L'emballage notamment permet de protéger les denrées du risque de contamination. (Jean-Yves LEVEAU, Jean-Paul LARPENT 2001)

Ce mémoire vise à fournir une vue d'ensemble exhaustive des défis posés par les altérations et contaminations microbiennes des aliments et à proposer des solutions pour améliorer la sécurité alimentaire

L'objectif de ce travail est de connaître :

- Les processus d'altération et identifier les altérations courantes.
- Les sources de contamination : Comprendre comment et où les aliments peuvent être contaminés par des micro-organismes ?
- Les micro-organismes nuisibles : Connaître les types de bactéries, moisissures, et autres micro-organismes qui peuvent altérer les aliments ou causer des maladies.
- Les risques pour la santé : Évaluer les conséquences des contaminations microbiennes sur la santé des consommateurs.
- Les méthodes de prévention : Recommander des techniques et pratiques pour éviter la contamination des aliments, comme l'hygiène, la conservation appropriée, et les traitements thermiques.

Chapitre I

Altérations des aliments

I.1. Définition :

L'altération des aliments est le processus par lequel un produit alimentaire devient impropre à la consommation. La cause d'un tel processus est due à de nombreux facteurs extérieurs, comme un effet secondaire du type de produit, ainsi que de la façon dont le produit est emballé et stocké. En raison de l'altération des aliments, un tiers de la nourriture produite dans le monde pour la consommation humaine est perdue chaque année (Garcha 2018).

Elle se traduit par un changement, d'apparence, d'odeur et de goût qui les rend impropres à la consommation (MADIGAN et MARTINKO ,2007).

I.2. Catégories d'aliments basées sur la durée de conservation :

Les produits alimentaires peuvent être classés comme périssables, semi-périssables et non périssables :

- Aliments périssables :

On désigne par périssable les aliments dont la durée de conservation varie de plusieurs jours à environ trois semaines. Les denrées périssables incluent le lait et les produits laitiers, les viandes, les volailles, les œufs et les fruits de mer. En l'absence de techniques de conservation spécifiques, les aliments pourraient être immédiatement agréments. (Doyle MP, 2009)

- Aliments semi-périssables :

Plusieurs aliments peuvent être conservés pendant une durée prolongée (environ six mois) dans des conditions de stockage adéquates. On qualifie ces aliments de semi-périssables. Quelques exemples d'aliments semi-périssables sont les légumes, les fruits, les fromages et les pommes de terre. (Doyle MP, 2009)

- Aliment non périssables :

On désigne sous le terme de produits alimentaires non périssables les aliments naturels et transformés qui ont une durée de conservation indéfinie. La conservation de ces aliments peut durer plusieurs années ou plus. Les aliments non périssables comprennent des haricots secs, des noix, du sucre, des fruits en conserve. (Doyle MP, 2009)

I.3. Types d'altérations alimentaires :

I.3.1. Altérations physiques :

Il s'agit d'une variation de la teneur en eau, changement de couleur ou d'état. Les modifications de la consistance du produit, notamment par production d'exopolysaccharides (Guiraud, 1998).

I.3.2. Altérations chimiques et biochimiques :

Cette altération se traduit par l'apparition de colorations, d'odeurs et de saveurs anormales due aux phénomènes d'oxydation (rancissement) par les enzymes (brunissement enzymatique, lyses, destruction des vitamines et de certains nutriments). Il existe aussi une altération par protéolyse et lipolyse.

- La protéolyse conduit à la formation d'acides aminés libres et volatiles puis de produits de leur décarboxylation ou de leur désamination qui sont à l'origine d'odeurs et de saveurs désagréables
- La lipolyse conduit à la libération d'acides gras libres. (Cuq, 2007).

I.3.3. Altérations microbiologiques :

C'est le types d'altération le plus connu et le plus risqué (*Pseudomonas*, *Shewanella*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Bacillus* et les entérobactéries).

I.3.3.1. Flores d'altération :

La plupart des groupes de micro-organismes possèdent des membres qui, dans certaines conditions, peuvent être responsables de la dégradation des aliments. En théorie, il est possible de supposer que tous les micro-organismes sont d'abord présents sur un produit alimentaire, puis qu'une sélection se produit, principalement en fonction de la composition nutritionnelle et des paramètres chimiques et physiques. (Gram, 2002)

La flore d'altération est essentiellement une flore aérobie. L'altération se fait donc essentiellement à la surface des aliments. Dans la flore d'altération, on distingue :

- Les bactéries **lactiques**, modifient les sucres contenus dans le lait pour leur donner un goût aigre et acide
- Les bactéries de **putréfaction** (ex : *Pseudomonas*), s'attaquent aux protéines des viandes, poissons, œufs. Elles produisent des gaz responsables de très mauvaises odeurs.

- Les bactéries de **rancissement** (ex : *Bacillus cereus*), dégradent les lipides (gras), de la crème fraîche, et des graisses animales en produits toxiques et acides. L'aliment prend une odeur rance et ne doit pas être consommé.
- Les champignons (moisissures et levures) se développent dans de nombreux aliments (fruits, légumes, confitures, viandes etc.) (Leyral et Vierling, 2007).

I.3.3.2. Facteurs chimiques et physiques qui influencent le développement microbien :

Le développement des microorganismes est influencé par certains facteurs. Afin de ralentir leur croissance qui entraîne la dégradation des aliments et peut être dangereuse pour l'homme, il est essentiel de comprendre les éléments qui favorisent leur croissance ou leur destruction.

La température, l'eau, la présence d'oxygène, l'acidité et la composition chimique du milieu sont les éléments clés. (FAO, 2007)

- Température:

On distingue différentes catégories de micro-organismes selon leur optimum de croissance en fonction de la température :

- Psychrophiles : -5 à +15 C°,
- Mésophiles : +15 à +40 C°,
- Thermophiles : +40 à +55 C°. (Nout, 2003)

- L'eau :

Les microbes ont besoin d'eau pour vivre et se développer. Les aliments, selon leur type et leur nature, contiennent une quantité variable d'eau. Les aliments d'origine animale contiennent une quantité d'eau disponible suffisante pour le développement et la multiplication de tous les microbes. (FAO, 2007)

- PH :

Le comportement des micro-organismes par rapport au PH est variable :

Tableau 01 : Importance de PH pour conservation des aliments. (Nout, 2003)

PH	Valeur important pour industrie alimentaire
6,0-7,5	tous les micro-organismes survivent, c'est le PH de la plupart des aliments
4,5-6,0	seulement les micro-organismes acidotolérants survivent, c'est le PH de beaucoup de fruits.
2,2 - 4,5	activité et survie des micro-organismes sont très limités; concentré de fruits (citrons)

I.3.3.3. La composition chimique et nutritionnelle du milieu :

Les microorganismes, comme tous les organismes vivants, nécessitent des nutriments pour leur développement. Ainsi, la nature chimique des aliments joue un rôle essentiel dans l'inhibition ou le développement des microorganismes. Plus la quantité de nutriments (protéines, glucides, vitamines et sels minéraux) et d'eau dans l'aliment est élevée, plus il favorise la prolifération des microorganismes, ce qui augmente les risques d'altération et de contamination. (FAO 2007)

I.3.3.4. Modifications microbiennes des aliments :

- La modification des glucides :

Les glucides sont modifiés de différentes manières :

- par l'hydrolyse des polysaccharides, ce qui a un impact sur la texture du produit ;
- par des fermentations alcoolique, lactique, butyrique, gluconique, ... etc.
- le développement des acides carboxyliques, des alcools, des cétones, des aldéhydes, des parfums et des goûts. (Nout, 2003)

- La modification des protéines :

Cela se produit de différentes manières :

- l'hydrolyse des protéines en peptides et acides aminés, ce qui a un impact sur la structure du produit.
- les réactions de décarboxylation qui entraînent la formation d'amines ;

- Les différentes réactions de désamination entraînent la création d'acides organiques NH_3^+ , ce qui entraîne une fermentation putride et une putréfaction. (Nout, 2003)

- La modification des lipides :

Elle est la résultante de deux types de réactions :

- la lipolyse qui conduit à la libération des acides gras,
- l'oxydation des lipides conduisant au phénomène de rancissement. (Nout, 2003)

I.3.3.5. Les conséquences de la dégradation microbiennes :

Une prolifération microbienne entraîne de nombreuses modifications favorables ou non qui affectent l'odeur, la saveur, l'aspect, la couleur, la texture mais aussi la valeur alimentaire.

- Modifications de l'odeur :

Le développement de microorganismes dans un produit est d'abord détecté par des modifications d'odeurs en raison de la sensibilité de notre système olfactif. Les composés odorants produits par les microorganismes sont pour la plupart d'entre eux détectés quand la charge microbienne atteint 10^6 à 10^7 germes/g:

- viandes : un développement microbien en surface se traduit par une odeur de relent quand l'entreposage est réalisé à 10°C et d'une odeur ammoniacale et d' H_2S quand l'entreposage est réalisé à température ambiante.
- fromages : Une odeur ammoniacale survient après protéolyse (*Cl. butyricum* synthétise de l'acide butyrique). (Jean-Louis.2007)

- Modifications du goût :

Elles sont liées à la présence de composés volatils ou non. La plus fréquente correspond à une acidification liée à la production d'acide lactique. Certains des goûts associés à la présence de certains microorganismes sont présentés ci-dessous :

- Goût de malt : levures dans le lait.
- Rancissement : *Pseudomonas* dans les produits de réfrigération.
- Goût crayeux : levures (*Endomycopsis* ou *Trichosporum*) dans le pain. (Jean-Louis.2007)

- Modifications de l'aspect et de la couleur :

Ces modifications sont chronologiquement détectables visuellement bien après l'apparition d'odeurs. Dans une première phase il s'agit de petites zones qui présentent des caractéristiques

variables (leur forme ; aspect ; couleur sont multiples). Ces zones sont constituées de bactéries, levures et de sécrétions muqueuses. Exemple : la tavelure des fruits.

Les modifications de couleur résultent d'un ou plusieurs phénomènes :

- synthèse d'un ou plusieurs pigments par le microorganisme. Les genres producteurs de pigments les plus souvent rencontrés sont : *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Serratia*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Rhodotorula*.
- transformation d'un pigment endogène à l'aliment : Modifications de la myoglobine (dérivés nombreux de couleur marron à vert).
- destructions cellulaires mettant en contact enzyme et substrat.
- production d'un composant réactif et chromogène. (Jean-Louis, 2007)

- Modifications de la structure et de la texture :

La structure d'un produit alimentaire est liée à la présence de macromolécules comme les pectines, celluloses, hémicelluloses (amidon et protéines) chez les produits végétaux et les protéines chez les produits animaux. Si les microorganismes contaminants synthétisent et excrètent des hydrolases (pectinases, protéases etc.) un ramollissement apparaît.

Exemple : La synthèse de polymères (dextranes à partir de saccharose avec *Leuconostoc*) augmente la viscosité de certains sirops ou jus. (Jean-Louis.2007)

- Modification de la valeur alimentaire :

L'altération d'origine microbienne des aliments peut entraîner une modification de leur valeur nutritionnelle, ce qui peut entraîner leur amélioration ou, le plus souvent, leur perte. L'importance nutritionnelle est influencée par :

- la réduction de la valeur calorique possible;
- la synthèse de molécules à activités biologiques.
- la destruction des composants toxiques : (ex les *Pseudomonas* sont capables de dégrader une variété de composant organique toxique, y compris les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les solvants chlorés) (Nout, 2003)

Dans le cas de produits obtenus par fermentation : Les microorganismes impliqués dans ces processus consomment des substances énergétiques élevées, ce qui entraîne une diminution de la valeur calorique des produits fermentés par rapport au produit initial. (Jean-Louis, 2007)

I.3.3.6. Principales altérations alimentaires d'origine microbienne :

- Altération des viandes et volailles :

La viande fraîche est un excellent environnement de culture pour les microorganismes en raison de sa richesse en nutriments, de son PH élevé et son humidité élevée.

L'altération aérobie engendrée par les bactéries et les levures se manifeste par la création de dépôts visqueux, de mauvaises odeurs et de saveurs désagréables (de putréfaction). Les couleurs se modifient et on constate fréquemment l'apparition de marques de rancissement et de saveurs suiffeuses ou crayeuses en raison de la dégradation des lipides. Les décolorations causées par une oxydation des pigments sont des décolorations grises, brunes ou vertes. La détérioration aérobie causée par les moisissures se manifeste par un dépôt superficiel visqueux, des odeurs de moisi, des saveurs alcoolisées et une décoloration blanchâtre, noire ou verte.

L'altération anaérobie se manifeste par une acidité due à la production d'acides organique et de gaz. (sheridan, 1994)

- Altérations du lait :

La flore microbienne du lait est constituée essentiellement des *lactobacilles*, des *streptocoques lactique* et les microorganismes issus de la contamination. Les bactéries de la flore laitière ont la capacité d'altérer cet aliment en utilisant trois processus principaux :

- Le processus de fermentation du lactose avec acidification du lait entraîne la précipitation de la caséine et la prise en masse du lait.
- La protéolyse est favorisée par une conservation prolongée à une température basse de 4 C⁰. La protéolyse peut se traduire par des altérations sensorielles : saveur amère, saveur de pomme de terre, alcalinisation du lait.
- Des espèces protéolytiques ont également une action lipolytique en dégradant les globules graisseux du lait. Les acides gras insaturés de la lipolyse peuvent subir une oxydation (Rancissement). (Leyral et Vierling, 2007).

- Altération des fruits et légumes :

La flore microbienne des fruits et légumes est constitué principalement des bactéries de l'environnement. Accidentellement les microorganismes pathogènes provenant de l'eau, de manipulation...

- Les altérations d'origine microbienne sont principalement observés chez les légumes : La pourriture molle, qui se manifeste par le rancissement, le noircissement et le dessèchement combinés des racines et des tubercules, est l'évolution la plus courante.

- Les altérations d'origine fongique se manifestent lorsque leur mycélium se développe, ce qui entraîne l'apparition de zones colorées et la dissociation des tissus sous-jacents. (Leyral et Vierling, 2007)

Chapitre II

Le comportement des micro- organismes en milieu alimentaire

II.1. Introduction :

La qualité des aliments est caractérisée par ses divers aspects, tels que nutritionnel, organoleptique, sanitaire, environnemental... . Les microorganismes peuvent avoir un impact sur les qualités organoleptiques et sanitaires. Quelques-uns de ces microorganismes contaminants peuvent compromettre la qualité ou la sécurité des aliments. Dans le cas de microorganismes non pathogènes et qu'ils peuvent se développer jusqu'à atteindre des niveaux de population élevés (généralement supérieurs à 10^6 bactéries/g), la qualité marchande (organoleptique) est altérée. Par exemple, l'apparence des produits est altérée en raison de l'apparition de mycéliums de moisissures visibles sur la surface d'un aliment, ou de l'émergence d'odeurs ou de goûts désagréables causés par la production de métabolites microbiens. Ces aliments sont devenus inappropriés à la consommation, mais cette dégradation biologique n'a pas d'impact sur la santé publique, même si elle a des conséquences financières importantes. Par contre, lorsque le microorganisme contaminant est pathogène et qu'il est présent à un niveau considéré comme inacceptable, la sécurité sanitaire du produit n'est plus assurée, ce qui peut avoir des répercussions sur la santé publique, avec le risque de déclenchement d'une intoxication alimentaire microbiologique. (Guillier L., Florence Dubois-Brissonnet. 2020)

II.2. La contamination microbienne des aliments :

Un contaminant alimentaire désigne toute substance non intentionnellement ajoutée qui se trouve dans l'aliment lors de sa production, de sa transformation, de son emballage, de son transport ou de son stockage, ou à la suite d'une contamination environnementale.

Les contaminants microbiens désignent divers micro-organismes tels que les bactéries, les virus, les levures, les moisissures et les parasites. Il est possible que ces contaminants soient pathogènes et entraînent des maladies en cas de consommation. D'autres espèces microbiennes peuvent entraîner une dégradation des aliments, ce qui affecte la qualité des produits et entraîne des pertes et des gaspillages alimentaires. (Elena Alexandra Alexa, 2024)

II.2.1. Origine des microorganismes contaminants les aliments :

Les réservoirs de microorganismes pathogènes pouvant contaminer les aliments sont multiples (Behraves, 2012). Beaucoup de pathogènes alimentaires trouvent leur origine dans les réservoirs animaux et contaminent les aliments parce qu'ils sont présents chez l'animal vivant, le lait ou les œufs, ou parce qu'ils sont présents dans les matières fécales d'animaux infectés qui contaminent ensuite les aliments. La contamination des aliments ou des ingrédients alimentaires par les animaux sauvages constitue également un sérieux potentiel de transmission de maladies (Karesh, 2012). Une part non négligeable de maladies d'origine alimentaire, causées par *E. coli*

pathogènes, *Campylobacter* ou encore *Salmonella* a eu pour origine des espèces sauvages telles que les rongeurs, les cervidés, les sangliers et les oiseaux (Greig, 2014). Les maladies causées par les parasites sont également fortement liées à la faune sauvage.

L'Homme peut être l'hôte de pathogènes qui contaminent les aliments via les personnes infectées. Il existe plusieurs types de réservoirs humains : les personnes malades (présentant des signes ou des symptômes de maladie) et les porteurs asymptomatiques ou porteur sain (les individus sont infectés mais ne présentent aucun signe ni symptôme). L'Homme peut ainsi transmettre l'ensemble des microorganismes d'origine entérique. Il peut être un réservoir parmi d'autres (cas des *E. coli* pathogènes) ou être le réservoir unique (cas de *Salmonella Typhi*). Le portage cutané ou nasal de *Staphylococcus aureus* (37 % de porteurs sains) est également un problème reconnu de longue date.

L'environnement peut également être une source de contamination des aliments. Certains agents pathogènes peuvent survivre pendant de longues périodes dans le sol et l'eau, avant d'infecter de nouveaux hôtes et/ou de contaminer des produits alimentaires par des voies très diverses reflétant la variété des écosystèmes qui sont en lien avec notre chaîne de production des aliments (Fremaux, 2008). La survie dans l'environnement est notamment favorisée pour les formes sporulées ou les bactéries organisées en biofilm. Le changement climatique pourrait à moyen terme bouleverser la persistance et la dynamique des agents pathogènes dans l'environnement (Hellberg et Chu, 2015).

Parmi les sources potentielles de contamination des plantes avant la récolte, on peut mentionner l'eau d'irrigation, l'épandage de fumier non traité, l'eau de ruissellement provenant des exploitations d'élevage, ou encore l'intrusion de la faune sauvage dans les champs (Beuchat, 2006).

Enfin, Le matériel industriel est une source de contamination, en particulier les surfaces poreuses (plans de travail), les outils et machines, les tissus (torchons, toiles diverses), etc., de même que le sol, les murs et l'air. les habitudes de nettoyage et la nature des produits utilisés, les conditions de fabrication vont également «sélectionner» diverses catégories de micro-organisme: thermophiles, thermorésistants, psychrophiles, acidophiles, etc., les conditions de stockage et de conservation influent par les conditions physico-chimiques et par la possibilité de contaminations nouvelles, les déchets industriels sont aussi une source potentielle de contamination particulièrement importante. (Figure 01)

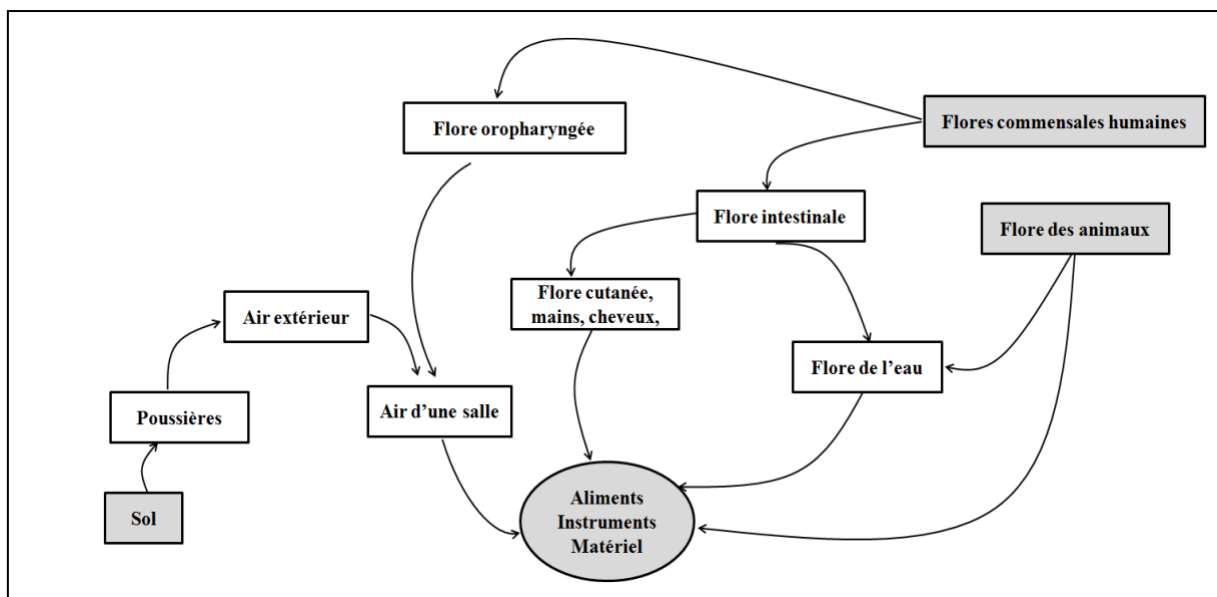






Figure 01 : Origine des contaminants dans les aliments (Leyral et Vierling, 2007).

II.2.2. Classification des microorganismes dans l'industrie alimentaire :

Les micro-organismes des produits naturels et des aliments sont pour la plupart des champignons microscopiques (levures et moisissures) et des bactéries. Certaines denrées peuvent aussi renfermer des parasites tels que des protozoaires, des métazoaires et des virus pouvant être responsables de maladies d'origine alimentaire. (Jean-Yves, Jean-Paul 2001). Il existe quatre catégories de microorganismes importants dans les aliments (tableau 02) :

- Les micro-organismes « utiles », qui vont apporter à la denrée des propriétés organoleptiques (arômes, acidité, texture) ou une meilleure conservation.
- Les micro-organismes « d'altération » qui dégradent les propriétés organoleptiques de l'aliment.
- Les micro-organismes « indicateurs d'hygiène », dont le faible niveau de concentration indique l'acceptabilité du procédé de production.
- Les micro-organismes « pathogènes », susceptibles de provoquer une maladie chez le consommateur (par l'invasion des cellules et/ou la production de toxines). (M. Abdelmassih, 2020)

Tableau 02 catégories de microorganismes dans l'alimentation. (M. Abdelmassih, 2020)

Micro-organismes		Exemples	Effets
Utiles		Levure ; <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ; Bactéries lactiques	Fermentation (pain, bière, choucroute) Acidification(yaourt,charcuteries)
D'altération		Germes Anaérobies Moisissures <i>Pseudomonas</i>	Gonflement, texture visqueuse, dégradation de l'aspect, goût rance, odeur désagréable
Indicateurs d'hygiène		Flore totale Entérobactéries	Témoins d'un défaut de production ou de conservation
Pathogènes		<i>Salmonella</i> spp <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>E. coli</i> O157:H7	Maladies : Salmonellose, Listériose, vomissements, fièvre, diarrhée sanglante

II.2.2.1. Les bactéries :

Ce sont des organismes procaryote qui seraient apparues il y a plus de 8 milliard d'années (ce sont les cellules vivantes les plus anciennes). Elles ne contiennent pas de noyaux, le chromosome bactérien n'est donc pas séparé du cytoplasme par une membrane plasmique. Elles ont une taille de l'ordre du micromètre ce qui est très petit comparé aux cellules eucaryotes, qui ont une taille d'environ 10 à 100 micromètres. (Leclère Phillipe, Revol Anne Marie, 2014)

Le tableau 03 résume les principaux genres de bactéries impliqués dans les produits alimentaires :

Tableau 03 : Principaux genres de bactéries impliqués dans les produits alimentaires (Modifie), (BERGEY (D.H.). 1984)

	Forme spiralée	Micro aérophile	<i>Campylobacter</i>
Gram -	Bacilles	Aérobies	<i>Pseudomonas</i> <i>Brucella</i>
		Aérobies fac.	<i>Escherichia</i> <i>Shigella</i> <i>Salmonella</i> <i>Citrobacter</i> <i>Enterobacter</i> <i>Proteus</i> <i>Vibrio</i>
Gram +	Coques	Non sporulées	<i>Micrococcus</i> <i>Staphylococcus</i>
			<i>Streptococcus</i> <i>Leuconostoc</i> <i>Pediococcus</i>
	Bacilles	Sporulés	<i>Bacillus</i> <i>Clostridium</i>
		Non sporulés	<i>Lactobacillus</i> <i>Listeria</i>
	Formes irrégulières	<i>Bifidobacterium</i>	

II.2.2.2. Les virus :

Les virus sont de taille beaucoup plus petite que celle des bactéries. Ils ne sont visibles qu'avec microscope électronique. Isolés, les virus sont incapables de se reproduire. Ils ne se multiplient que lorsqu'ils ont pu pénétrer dans une autre cellule vivante dont ils peuvent profiter des apports énergétiques et métaboliques: ce sont des parasites intracellulaires obligatoires. Les virus parasitent aussi bien les animaux que l'homme. (FAO 2007)

II.2.2.3. Les parasites :

Les protozoaires sont des microorganismes appartenant au règne animal. Ils sont composés d'une seule cellule et sont capables de se déplacer dans les milieux liquides. Beaucoup d'entre eux sont parasites de l'homme et des animaux. Ils se caractérisent par des changements de forme en produisant des kystes ou d'autres formes de résistance. Les protozoaires sont responsables de maladies parfois très graves telles que les maladies intestinales comme la giardiose (*Giardia lamblia*) et l'amibiase (*Entamoeba histolytica*). (FAO 2007)

II.2.2.4. Les levures :

Les levures font partie des micro-organismes les plus utilisés dans l'industrie alimentaire de leur importance en panification et en brasserie, elles sont utilisées pour leur cellules, à l'opposé des industries de panification et du brassage, pour lesquelles la fermentation en anaérobiose est favorisée, la production de cellules de levures nécessite une respiration pour une production maximale. Ex : *Saccharomyce sérvéciae*, *Pichia* (MADIGAN et MARTINKO, 2007).

II.2.2.5. Les moisissures :

Les moisissures sont des microorganismes composés de plusieurs cellules. On les appelle des champignons microscopiques ou mycètes. Leurs cellules constitutives sont unies les unes aux autres par des filaments fins et ramifiés appelés "mycellium". Elles se présentent sous forme de taches de tailles et de couleurs variables. Les moisissures sont utilisées dans l'industrie, notamment pour la production d'antibiotiques. Mais certaines provoquent des maladies chez l'homme et les animaux par l'intermédiaire des toxines (appelées mycotoxines) qu'elles produisent, (FAO 2007)
Ex : *Penicillium*, *Aspergillus*

II.3. Le risque pour la sante humaine :

Si l'hygiène est défaillante ou insuffisamment appliquée ou n'est pas du tout appliquée, il y a un risque pour la santé des consommateurs (MFOUAPON NJUEYA, 2006).

II.3.1. Définition des maladies d'origine alimentaire :

Une Maladie d'Origine Alimentaire (MOA) est une affection de nature infectieuse (Imputable à des microorganismes) ou de nature toxique, provoquée par des agents ou toxines qui pénètrent dans l'organisme par le biais d'aliments ingérés de toute nature (eau, produits carnés, légumes,...) (DIALLO, 2010).

II.3.2. Classification :

La définition internationale des maladies d'origine alimentaire permet de les classer en maladies d'origine infectieuse et maladies d'origine toxique (intoxication alimentaire ou intoxication). (Figure 02)

II.3.2.1. Maladies d'origine infectieuse :

Une toxi-infection alimentaire est une maladie, souvent infectieuse et accidentelle, contractée suite à l'ingestion de nourriture ou de boisson contaminées par des agents pathogènes qu'il s'agisse de bactéries, de virus, de parasites ou de prions. L'attaque microbienne peut être liée

aux propriétés invasives du microorganisme et/ou aux produits toxiques qu'il est capable d'élaborer au cours de sa croissance. (Rachida Soulaymani-Bencheikh, 2010)

II.3.2.2. Maladies d'origine toxique (intoxication alimentaire) :

On parle d'intoxication alimentaire seulement pour les maladies d'origine alimentaire provoquées par l'ingestion de produits non comestibles ou toxiques (médicaments vétérinaires, métaux lourds, champignons vénéneux, produits chimiques) .Ces toxiques peuvent être d'origine biologique ou chimique. (Rachida Soulaymani-Bencheikh... 2010)

II.3.2.3. Intoxination :

Elles se produisent à la suite de l'ingestion des toxines préformées dans l'aliment. Les signes cliniques sont très variés et il existe des syndromes neurologiques (GAUTHIER, 1983). Les plus connues sont :

- L'intoxination staphylococcique due à *Staphylococcus aureus* ;
- L'intoxination botulinique due à *Clostridium botulinum* (DIOUF, 2013)

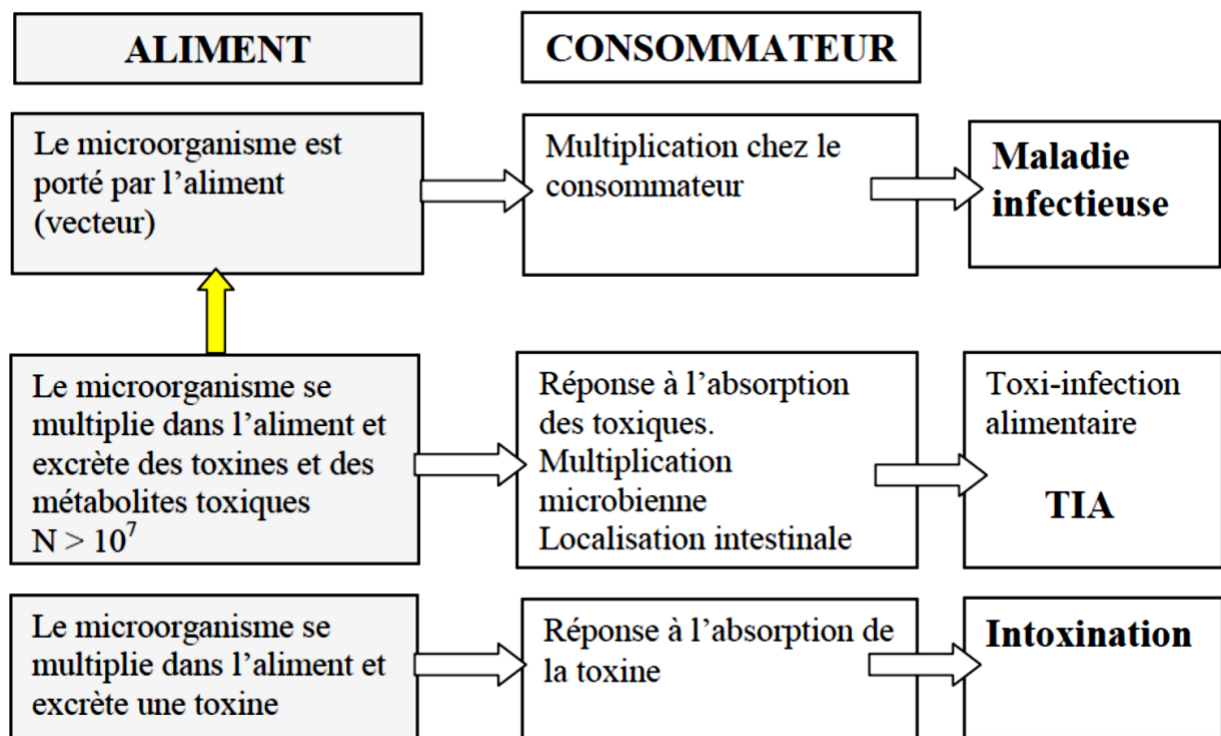


Figure 02 : les principales interactions entre aliment, microorganisme, consommateur

(Jean-Louis, 2007, p16)

II.3.3. Facteurs favorisants :

Les facteurs qui contribuent à l'écllosion des foyers de MOA sont en rapport avec les conditions et modalités de préparation des repas, Ces facteurs sont représentés dans la figure (03) suivante (HAMZA, 1998).

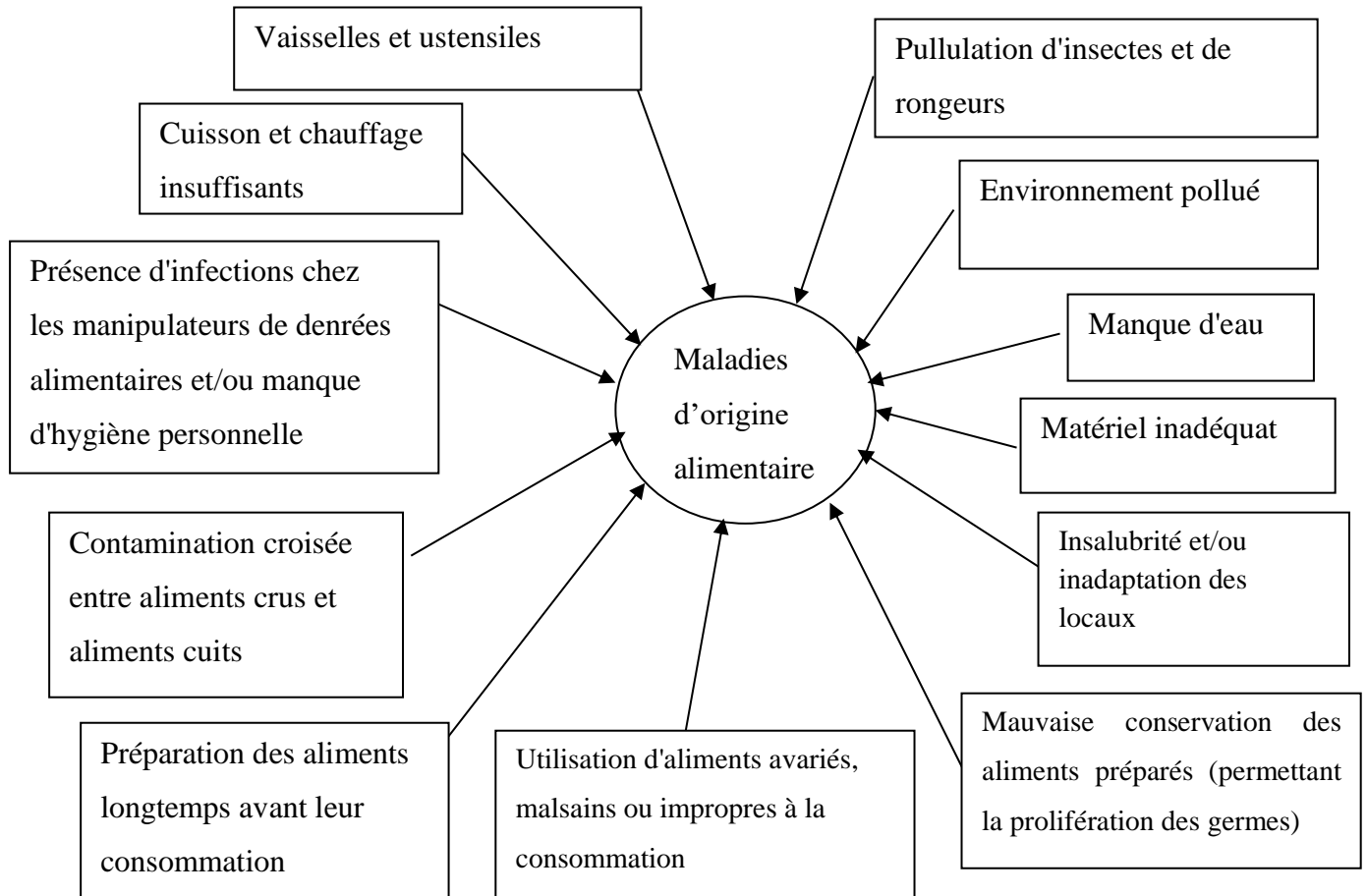


Figure 03: Les facteurs favorisant les MOA (HAMZA, 1998).

II.3.4. Symptomatologie :

Le tableau ci-dessous présente une brève description des maladies infectieuses d'origine alimentaire qui sont les plus fréquentes :

Tableau 04 : les principales maladies liées à la consommation des aliments (modifiée)

Maladie	Micro-organismes	Symptômes	Aliments à risqué
fièvre typhoïde	<i>Salmonella Typhi</i>	Diarrhée, fièvre élevée, crampe abdominale, vomissements, maux de tête.	- Les volailles, les œufs, viandes, poisson, produit laitiers.
Listériose	<i>Listeria monocytogenes</i>	-Diarrhée, douleurs abdominales chez les adultes et les nouveau nés se forme de septicémie -cause d'avortement spontané chez la femme Enceinte.	-Fromage au lait cru, charcuterie (ex : pâté, jambon etc.) -crème glacées, beurre.
Toxi-infection à <i>shigella</i>	<i>Shigella.</i>	Douleurs abdominales, diarrhée sanglante, nausées, vomissements.	-Crustacés, légumes, eau -denrées alimentaires Manipulé par les personnes.
Toxi-infection à <i>E-coli</i>	<i>E-coli.</i>	Crampes abdominales, diarrhées aqueuse puis Sanglante	-Viande hachée de bœuf insuffisamment cuite. -les produits laitiers non pasteurisés. -Végétaux crus -Produits d'origine végétale non pasteurisées -l'eau de boisson
Toxi-infection à <i>Bacillus cereus</i>	<i>Bacillus cereus</i>	-Forme émétique : nausées et vomissements causées par l'ingestion d'une toxine (céréulide) qui produite dans l'aliment. -Forme diarrhéique : Diarrhées, crampes parfois, vomissements.	-Produit émétique : Céréales, riz, pate alimentaires, plat préparés à base de pomme de terre. -produit diarrhéiques: produits laitiers, légumes, viandes.
Botulisme	<i>Clostridium botulinum</i>	-Sécheresse de la bouche, gorge, faiblesse, maux de tête, nausées, vomissements, douleur abdominale, paralysie des muscles respiratoire ou cardiaque pouvant entrainer le décès. -vision trouble oudiplopie.	-les aliments conservés dans les milieux peu acides (haricot vert, sauce, maïs,...) - jus de fruits peu acide (jus de carotte) -viande contaminés ou moment de l'abatage.

L'entérototoxicose staphylococciques	<i>Staphylococcus aureus</i>	- nausées, vomissement, douleurs abdominales, Crampes et diarrhée.	-Le lait et la crème, les pâtisseries à la crème, beurre, jambon, fromages, sandwiches.
Hépatite A	<i>Virus de type A</i>	- forme ictérique : ictère, fièvre, perte de poids, décoloration des selles, urines foncées. -forme anictérique	-transmission féco-orale directe : (lors du change d'un enfant malade) indirecte : (poignée de porte contaminée) -Par de l'eau ou des aliments contaminés (crustacés, mollusques, fruits, salades).
Norovirus	<i>Norovirus</i>	- diarrhées soudaine, nausées, vomissements et crampes abdominales. par fois associées à des céphalées, faible fièvre	
Dysenterie amibienne	<i>Entamoeba histolytica</i>	des maladies chroniques très graves (colite aiguë, diarrhée sanglante et fièvre) et compliquer (péritonite, abcès hépatique).	- Formation des kystes dans l'eau de boisson. -L'ingestion d'aliment ou d'eau contaminées par des matières fécales.
Giardiose	<i>Giardia lamblia</i>	- diarrhée chronique -mal absorption - perte de poids - et le principal symptôme diarrhée irrégulière	-L'ingestion de kystes dans l'eau de boisson qui sont résistants au chlore

Chapitre III

*Stratégies et techniques de
prévention des altérations et des
contaminations microbiennes des
aliments*

III.1. Hygiène des aliments et sécurité des denrées alimentaires :

L'hygiène de vie correspond à une alimentation saine, répondant aux besoins de l'organisme, et n'engendrant pas de problèmes de santé. Pour avoir une bonne hygiène de vie, il faut faire attention à notre alimentation en veillant à ne pas manger trop de produits sucrés, gras, mais aussi salés et en mangeant équilibré c'est-à-dire des fruits et des légumes et ne cause pas maladie. (Cristian C, 2015)

L'hygiène alimentaire repose sur trois actions : le nettoyage, la désinfection et la conservation. Ces différentes pratiques à adopter lors de la manipulation des aliments permettent de manger en toute sécurité et d'éviter les problèmes de santé, en limitant les risques de contaminations des aliments lors de différentes étapes de la chaîne alimentaire (FAO/OMS, 2005)

III.1.1. Grands principes d'hygiène :

La méthode des 5 M vise à identifier les sources et les facteurs de contamination et prolifération microbiennes possibles et par la même, de mettre en place des moyens de surveillance et de contrôle visant à la maîtrise des risques à chaque étape de fabrication :

- Main d'œuvre : il est impératif que le personnel se lave correctement les mains avant son entrée en cuisine et entre chaque manipulation. La tenue de travail doit être adaptée et propre.
- Milieu : un plan de travail et des surfaces propres diminuent les contaminations.
- Matériel : nettoyage et désinfection après chaque utilisation de matériel à risque.
- Matières premières : contrôle qualitatif et quantitatif à réception, lavage des fruits et légumes (l'eau de javel). Attention à la date de péremption, contrôle des températures de stockage, et conditions de stockage adaptées.
- Méthode : respect de la marche en avant, cuisson suffisante des plats, refroidissement et réchauffage éventuel rapides (Tanouti, 2016).

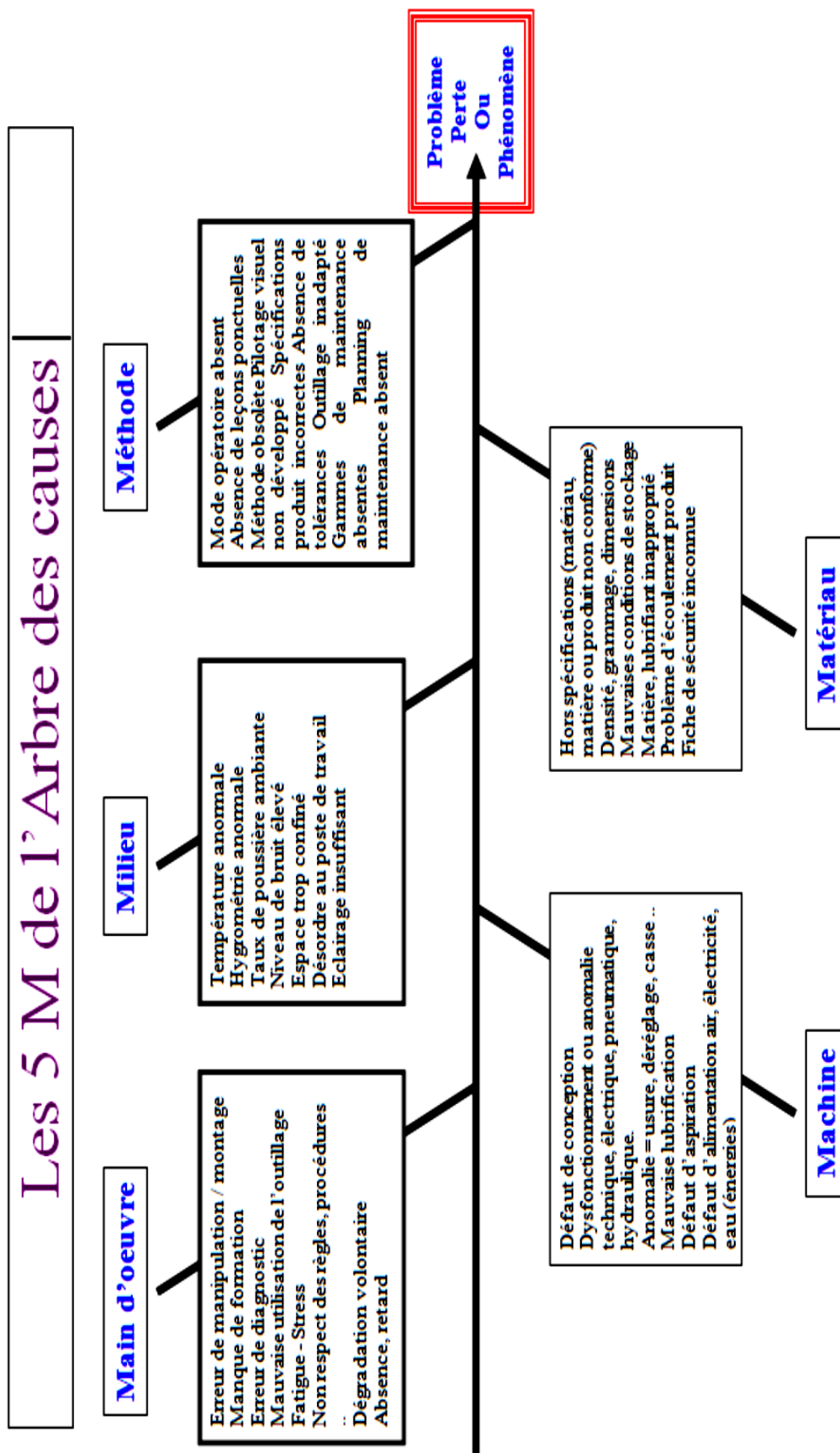


Figure 04 : les 5 M majeurs pour éviter une contamination

III.1.2. Sécurité des denrées alimentaires :

La sécurité des denrées alimentaires est utilisée pour désigner l'innocuité des aliments, c'est-à-dire la garantie que les aliments n'entraînent pas des conséquences néfastes pour la santé du consommateur quand ils sont préparés et ingérés, conformément à l'usage auquel ils sont destinés (BECILA, 2009).

La sécurité sanitaire des aliments; est l'assurance que les denrées alimentaires sont sans danger pour le consommateur quand elles sont préparées et/ou consommées conformément à l'usage auquel elles sont destinées (JORA, 2017).

III.2. Conservation des aliments :

Pratiquement tous les aliments sont dérivés de cellules vivantes d'origine animale et végétale et, dans certains cas, de certains micro-organismes par des méthodes biotechnologiques. Ainsi, les aliments sont pour la plupart composés de « produits biochimiques comestibles ». L'un des objectifs les plus importants des scientifiques en alimentation est de rendre les aliments aussi sûrs que possible, qu'ils soient utilisés frais ou transformés. L'application judicieuse des méthodes de transformation, de stockage et de conservation des aliments contribue à prévenir les épidémies de maladies d'origine alimentaire, c'est-à-dire l'apparition d'une maladie résultant de la consommation d'aliments contaminés. La conservation des aliments est une action ou une méthode conçue pour maintenir les aliments à un niveau de qualité souhaité. Un certain nombre de nouvelles techniques de conservation sont en cours de développement pour répondre aux exigences actuelles de préservation économique et de satisfaction des consommateurs en matière de sécurité, d'aspects nutritionnels et sensoriels. (McElhatton, Marshall, 2007).

La conservation, la transformation et le stockage des aliments sont essentiels pour un approvisionnement continu en aliments pendant les saisons et hors-saisons. Une considération très importante qui différencie les processus agricoles de tous les autres processus industriels est leur nature saisonnière. Les principales raisons de la transformation et de la conservation des aliments sont : surmonter la production saisonnière dans l'agriculture; produire des produits à valeur ajoutée ; et assurer une alimentation variée. Les gens aiment manger une grande variété d'aliments, ayant des goûts, des saveurs, des caractéristiques nutritionnelles, diététiques et autres différents. (McElhatton, Marshall, 2007).

La conservation des aliments vise à préserver tous les bénéfices liés à la qualité de vos organes (obtenir, manger, conserver) et des nutriments. En effet, cela affecte le développement des

bactéries ; de champignons; Ainsi que les micro-organismes qui se déversent dans l'environnement pour prévenir une infection toxique.

III.2.1. Définition :

La conservation est l'ensemble des procédés de traitement dont le but est de conserver des aliments, préserver leur comestibilité et leur propriété gustative et nutritive. Elle implique notamment d'empêcher la croissance de microorganismes et de retarder l'oxydations graisses qui provoque le rancissement (Darinmou, 2000) .

La consommation d'aliments frais est toujours préférable car la conservation diminue la valeur nutritive des produits. Autrement dit, les aliments conservés sont moins bons pour la santé que les aliments frais (Corlien, 2005)

III.2.2. Les méthodes traditionnelles de conservation :

- Le salage :

La conservation par le sel ou salage consiste à soumettre une denrée alimentaire à l'action du sel soit en le répandant directement à la surface de l'aliment (salage à sec) soit en immergeant le produit dans une solution d'eau salée (saumurage). (Sherawat et al, 2021). En diminuant l'activité de l'eau du produit, ce procédé permet de freiner ou de bloquer le développement microbien.

Cette technique est la plupart du temps utilisée pour les poissons et les viandes (Emilie, 2009). Les industriels utilisent donc le sel pour diminuer artificiellement l'activité de l'eau des aliments afin d'augmenter leur conservation (Colun et al., 2004)

- Le Sucrage :

Le sucre est le processus dans lequel le sucre est utilisé pour conserver les aliments. Il agit de la même manière que le sel pour éliminer l'humidité. Une concentration d'environ 65 % de solution sucrée est utilisée comme agent de conservation dans les produits alimentaires. Lorsque la concentration de la solution est inférieure, les microbes peuvent facilement se développer dans les aliments. Certains microbes rares peuvent se développer et survivre à une concentration de 20 à 25 % de solution sucrée, ce qui entraîne une détérioration des aliments (Sherawat et all, 2021).

La concentration en sucre ne peut se faire qu'à chaud puisque l'aliment doit perdre une partie de l'eau qu'il contient par évaporation tandis que le sucre une fois dissous, se lie aux molécules d'eau et les rend indisponibles pour la croissance des micro-organismes (Sherawat et al, 2021). De plus, la cuisson solubilise la pectine des fruits, qui se solidifie en refroidissant, mais

uniquement s'il y a assez de sucre dans le milieu. Le gel ainsi formé limite la dispersion des contaminants et la progression des microbes (Sherawat et al, 2021).

- Fumage :

C'est la méthode la plus ancienne utilisée pour améliorer et préserver la qualité des produits alimentaires. Il est le plus couramment utilisé dans la conservation du poisson et des produits carnés (Sherawat et al, 2021). Il préserve partiellement les aliments en séchant la surface des aliments tout en éliminant l'humidité présente à la surface. Mais à l'heure actuelle, elle n'est pas considérée comme une méthode de conservation intéressante, contrairement aux méthodes de salage ou de séchage (Sherawat et al, 2021)

III.2.3. Les méthodes modernes de conservation :

Il existe plusieurs méthodes utilisées pour empêcher la contamination des aliments. Les chercheurs se concentrent entièrement sur les techniques et les méthodes permettant de prévenir la contamination des produits alimentaires utilisés dans la vie quotidienne (Ekpenyong et al., 2017). La classification des méthodes de conservation et de transformation des aliments est présentée à la Figure 05 :

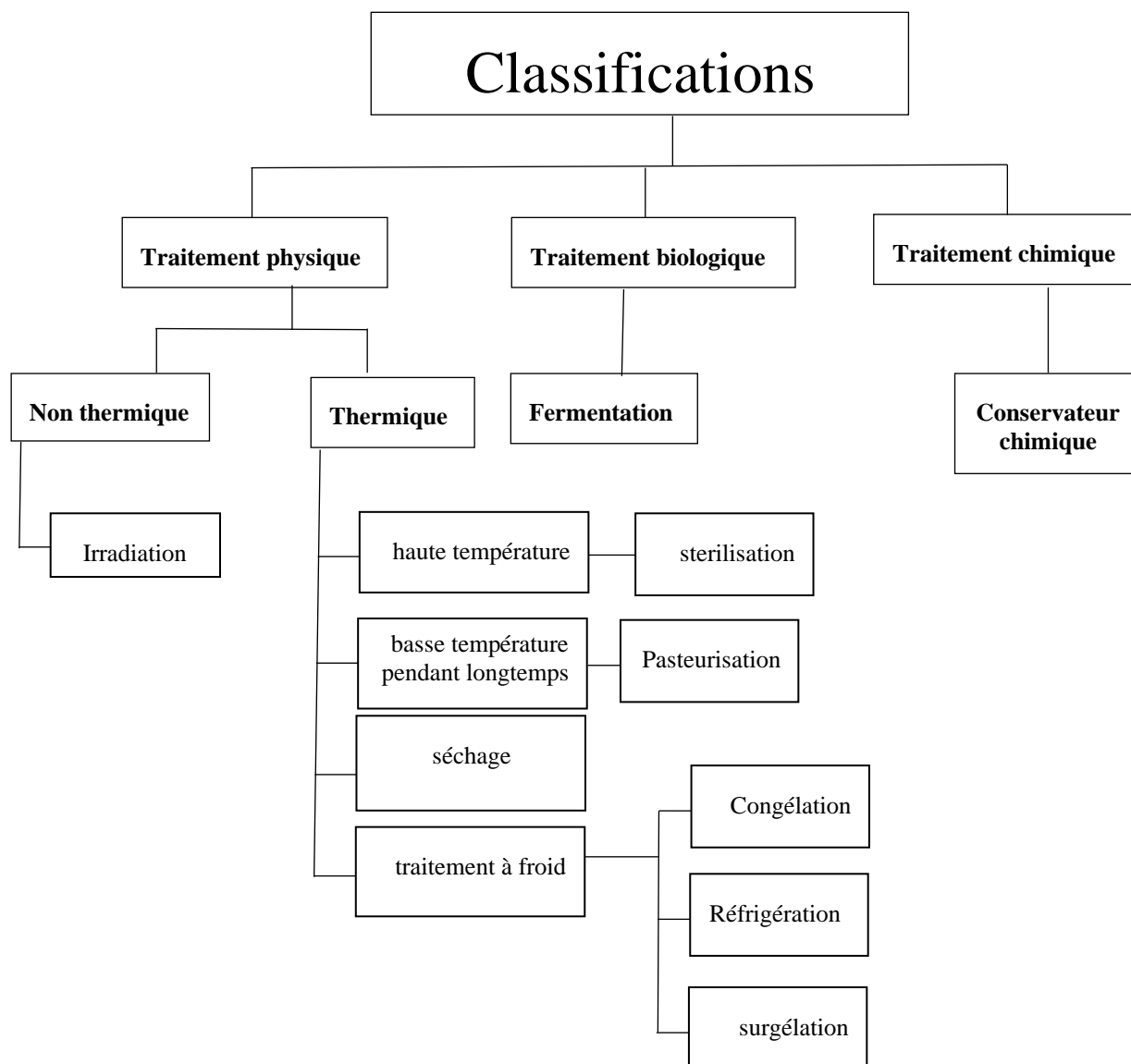


Figure 05 : La classification des méthodes de conservation et de transformation des aliments. (Sherawat et al, 2021)

III.2.3.1. Traitement thermique :

- Stérilisation :

Technique par chaleur correspond à un traitement permettant d'éliminer tous les microorganismes (y compris sous forme sporulée). Les paramètres du traitement sont supérieurs à ceux de la pasteurisation et il varie selon le produit entre 10 minutes à 115°C et 30 minutes à 121°C. La vapeur est réalisée dans un autoclave à 121°C pendant 15 minutes. Elle provoque la dégradation des acides nucléiques et la dénaturation des enzymes et autres protéines (Guiraud, 1998 ; Meyer *et al.*, 1984; Prescott *et al.*, 2010).

- L'Ultra Haute Température :

Le traitement à ultra haute température qui consiste à chauffer le produit à une température assez élevée, entre 135° C et 150° C, pendant un temps très court, entre 1 à 5 secondes. Ce processus est utilisé pour la stérilisation des produits liquides (lait, jus de fruits,...) ou de consistance plus épaisse (desserts lactés, crème, jus de tomates...) (Boumendjel, 2005).

- La pasteurisation :

La pasteurisation est une technique de conservation physique dans laquelle les aliments sont chauffés à une température spécifique pour détruire les micro-organismes et les enzymes responsables de la détérioration.

Presque toutes les bactéries pathogènes, levures et moisissures sont détruites par ce procédé. En conséquence, la durée de conservation des aliments augmente. Ce procédé doit son nom au scientifique français Louis Pasteur (1822-1895), qui a expérimenté ce procédé en 1862. Il a utilisé ce procédé pour traiter le vin et la bière. (Amit et al. 2017)

La pasteurisation est une technique utilisée très fréquemment en agroalimentaire. L'objectif est d'allonger de façon significative la durée de conservation des aliments. La pasteurisation réduit au maximum les activités biologiques d'un produit tout en évitant de modifier ses caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles. Les activités biologiques détruites ou inactivées par la pasteurisation sont :

- Les flores non pathogènes d'altération des aliments;
- Les flores pathogènes et toxigènes (*Salmonella*, *Brucella*, *Listeria*, etc);
- Les enzymes endogènes comme la lipoxygénase du soja (oxygénase qui catalyse l'oxygénation des acides gras polyinsaturés) ou la plasmine présente dans le lait (protéase dont le spectre d'action est assez large);
- Les enzymes intracellulaires nuisibles. (Chillet, 2011)

La pasteurisation, comme tout traitement thermique, doit permettre :

- De préserver l'aspect nutritionnel du produit tel que la non-destruction des vitamines.
- De ne pas modifier ses qualités organoleptiques telles que l'absence de brunissement, de décoloration, de goûts de cuit, de rupture de l'émulsion, de coagulation des protéines, etc. (Chillet, 2011)

La pasteurisation présente donc un inconvénient majeur : elle ne détruit pas les flores sporulées.

Concernant les échelles de pasteurisation, le tableau suivant indique la température et le temps nécessaire pour cela pour certains aliments:

Tableau 05 : Barèmes de pasteurisation (Leyral et Vierling, 2007).

Denrée	Température et temps nécessaires
Lait	30 min à 62 °C ou 15 s à 72 °C
Crèmes/Crèmes dessert	30 min à 71 °C ou 16 s à 20 s à 82 °C
Jus de pommes en bouteilles Boissons gazeuses à base de jus de fruits	30 min à 77 °C
	30 min à 66 °C

- Réfrigération :

La réfrigération est utilisée pour réduire le taux de modifications biochimiques et microbiologiques et ainsi pour prolonger la durée de conservation des aliments frais et transformés.

Les aliments réfrigérés sont regroupés en trois catégories selon leur plage de température de stockage, comme suit :

- 1) De -1°C à +1°C, poissons frais, viandes, saucisses, viandes hachées, etc.
- 2) De 0°C à +5°C, lait pasteurisé, crème, yaourts, salades préparées, sandwichs, pâtisseries, pâtes fraîches, soupes et saucisses fraîches, pizzas, etc.
- 3) De 0°C à +8°C, viandes entièrement cuites, poissons, tartes, charcuteries cuites et crues, beurre, margarine, fromages, fruits et légumes, etc. (McElhatton, Marshall, 2007)

La réfrigération doit être faite le plus tôt possible après collecte, elle doit s'appliquer à des aliments initialement sains et être continue tout au long de la filière de distribution. (Leyral, Vierling, 2006)

Le refroidissement empêche la croissance de micro-organismes thermophiles et de nombreux micro-organismes mésophiles. Les principaux problèmes microbiologiques liés aux aliments réfrigérés concernent un certain nombre d'agents pathogènes qui peuvent se développer lors d'un stockage réfrigéré prolongé en dessous de 5 °C ou à la suite de toute augmentation de la température (abus de température), ce qui peut provoquer une intoxication alimentaire.

Mais on sait désormais que certaines espèces pathogènes peuvent soit se développer en grand nombre à ces températures, soit être suffisamment virulentes pour provoquer un empoisonnement après ingestion de quelques cellules seulement. (McElhatton, Marshall, 2007)

- La congélation :

La congélation est une méthode de conservation des aliments dans laquelle la température des aliments est réduite en dessous de son point de congélation et une proportion de l'eau subit un changement d'état pour former des cristaux de glace, ce qui entraîne une concentration de solutés dissous dans l'eau non congelée, réduisant respectivement l'activité de l'eau et le PH. La conservation est obtenue par une combinaison de basses températures, d'une activité réduite de l'eau dans certains aliments, d'un prétraitement par blanchiment et également d'un retard dans la croissance des micro-organismes.

La proportion d'eau qui reste non congelée à la température utilisée dans la congélation commerciale dépend du type et de la composition des aliments ainsi que de la température de stockage. Par exemple, à une température de stockage de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, le pourcentage d'eau congelée est de 88 % dans l'agneau, 91 % dans le poisson et 93 % dans l'albumine d'œuf. (McElhatton, Marshall, 2007)

La congélation agit en réduisant la température des aliments, ce qui ralentit les réactions enzymatiques et chimiques qui contribuent à la détérioration. Elle inhibe également la croissance microbienne en réduisant la disponibilité de l'eau dans les aliments. Lorsque les aliments sont congelés à des températures suffisamment basses, les micro-organismes présents deviennent inactifs, ce qui permet de prévenir leur multiplication.

Elle permet de préserver la qualité nutritionnelle, la texture, la saveur et la couleur des aliments, car elle ralentit les processus de détérioration. De plus, la congélation est une méthode polyvalente qui peut être utilisée pour conserver une grande variété d'aliments, des fruits et légumes aux produits carnés et aux plats préparés. (Rahman, M.S. 2016)

- Surgélation:

La surgélation est une méthode de conservation des aliments qui consiste à abaisser rapidement la température des aliments à des niveaux très bas, généralement inférieurs à -18°C , afin de les préserver pendant une période prolongée. Cette technique permet de préserver la qualité des aliments en arrêtant les réactions enzymatiques et chimiques responsables de la détérioration.

La surgélation agit en abaissement rapide de la température des aliments, ce qui permet de former de petits cristaux de glace. Ces cristaux de glace n'endommagent pas les tissus cellulaires

des aliments et préservent leur qualité. De plus, la surgélation inhibe la croissance microbienne en rendant l'eau indisponible pour les micro-organismes, ce qui ralentit leur activité et prévient leur multiplication.

Elle permet de préserver la valeur nutritionnelle, la texture, la saveur et la couleur des aliments, car elle ralentit considérablement les processus de détérioration. De plus, la surgélation est une méthode polyvalente qui peut être utilisée pour conserver une grande variété d'aliments, des fruits et légumes aux produits carnés et aux plats préparés.

Les techniques à basse température n'éliminent pas la possibilité de développement des micro-organismes, qui peuvent être activés lors de la décongélation. La conservation des aliments à basse température permet de conserver les aliments pendant un temps limité – quelques jours, semaines ou mois – et, bien entendu, nécessite une réfrigération lors du transport et du stockage. (Ieyral, Vierling, 2006)

- Séchage :

Le séchage est la plus ancienne méthode de conservation des aliments. Les microorganismes ne peuvent plus se développer dans un produit auquel on a retiré suffisamment d'eau. (CORLIEN H., 2005)

Le séchage est un procédé de conservation extrêmement ancien que, privant l'aliment d'eau libre, interdit toute activité microbienne ou enzymatique. (Sherawat et al, 2021). Il permet de conserver de bons aliments naturels, d'avoir tout au long de l'année des aliments sains. Les produits séchés, bien conservés à l'abri de la lumière, gardent leur saveur et leur valeur nutritive pendant environ un an. Le volume des aliments est parfois réduit jus qu'à 90 %. Par exemple, un kilo de pommes fraîches donne 100 grammes de pomme séchée. (Yolande B, 2001)

- Lyophilisation :

Autrefois appelée cryodessiccation est un procédé de séchage dont le principe consiste à sublimer le glace d'un produit congelé: l'eau du produit passe donc directement de l'état solide à vapeur. (MAFART P., 1991)

La lyophilisation est un processus de déshydratation qui consiste en l'élimination de l'eau par sublimation. Le principal avantage de cette technique est la qualité supérieure du produit fini. Grâce à l'abaissement de l'activité de l'eau du produit, la lyophilisation réduit les risques de la réaction d'altération et inhibe la croissance des micro-organismes. Cette technique permet de conserver à la fois le volume, l'aspect et les propriétés du produit traité. (MACHACINE A., 2007)

III.2.3.2. Traitement non thermique :

- Irradiation :

L'irradiation est utilisée pour la première fois en Allemagne en 1958, irradiation étudiée pour la sécurité alimentaire et la santé publique (Sherawat et al, 2021). Il s'agit d'une technique réalisable pour garantir la sécurité des aliments pendant longtemps, réduire la croissance des agents pathogènes et éliminer la détérioration des aliments. Il existe trois types de rayonnements utilisés, mais les rayonnements les plus couramment utilisés sont les rayons gamma. De nos jours, l'irradiation gamma est plus efficace pour tuer le coléoptère brun de la farine. Ce sont les techniques non thermiques qui ont émergé pour fabriquer des aliments sûrs et maintenir leur valeur nutritionnelle. Cette technique est plus efficace pour offrir des produits alimentaires sains au consommateur. Il s'agit des techniques mondiales de décontamination et de désinfection des produits alimentaires. (Sherawat et al, 2021)

III.2.3.3. Fermentation:

La fermentation est le processus au cours duquel se produit l'oxydation des glucides qui produit de l'acide et de l'alcool. C'est la méthode la plus utilisée et la plus ancienne pour la conservation des aliments. Certains produits alimentaires sont conservés par processus de fermentation comme le vinaigre, les produits laitiers, les boissons, la bière, les vins et les cornichons sont également conservés par fermentation (solution acide ou vinaigre) (Sherawat et al, 2021).

Il existe plusieurs méthodes de fermentation, notamment :

- La fermentation alcoolique :

La fermentation alcoolique est une méthode anaérobie qui consiste à décomposer les monosaccharides par les levures dans une série de réactions enzymatiques appelée glycolyse. À partir de 1 molécule de glucose, on obtient 2 molécules d'acide pyruvique en tant que produits de la glycolyse. Les deux molécules de pyruvate sont converties en deux molécules de CO₂ gazeux et deux molécules d'acétaldéhyde, qui sont transformées en deux molécules d'éthanol à l'aide de 4H. (Nout, 2003)

- La fermentation lactique:

Le processus de fermentation lactique (un processus anaérobie) peut se produire à partir du glucose ou du lactose (par les micro-organismes qui peuvent acidifier le lait). Le point commun de toutes les fermentations lactiques est la production de pyruvate. Il existe trois options à partir du pyruvate :

La fermentation lactique homofermentative obligatoire : Lors de la fermentation homofermentative, seul l'acide lactique est produit. Par exemple, ce genre de fermentation est réalisé avec *Lactococcus lactis* et *Lactobacillus salivarius ssp. bulgaricus*. (Nout, 2003)

La fermentation hétérofermentative obligatoire : Pendant cette fermentation, il y a non seulement de l'acide lactique, mais aussi du CO₂, de l'acide acétique et de l'éthanol. On réalise cette fermentation en utilisant par exemple *Lactobacillus fermentum* et *Leuconostoc citrovorum*. Afin d'améliorer l'arôme et le goût, il est primordial de garantir une répartition équilibrée des deux types de fermentation. L'option de fermentation hétérofermentative est possible. Les organismes fermentent le glucose de manière homofermentative, tandis que certains autres saccharides (mannose, ribose) sont fermentés de manière hétérofermentative. (Nout, 2003)

- Fermentation acétique :

La fermentation acétique est une méthode aérobie nécessaire pour convertir l'éthanol en acide acétique. Par exemple, *Acetobacter aceti* est utilisé pour transformer une solution alcoolique en acide acétique. Au cours du processus, il est essentiel de maintenir une régulation adéquate des quantités d'oxygène et d'alcool fournies, ainsi que de la pureté de l'organisme utilisé. Lorsqu'une infection par *Acetobacter peroxydans* se produit, par exemple, une fermentation se produit, c'est-à-dire que l'acide acétique est oxydé, ce qui entraîne la formation de H₂O et de CO₂. Cela peut également se produire lorsque la concentration d'oxygène est excessive ou lorsque la concentration d'alcool est trop faible. (Nout, 2003)

III.2.3.4. Utilisation des conservateurs :

La conservation chimique des aliments implique l'utilisation d'agents chimiques tels que les antioxydants, les additifs alimentaires pour prévenir l'oxydation, inhiber la croissance des micro-organismes et prolonger la durée de conservation des aliments en préservant leur qualité sensorielle, nutritionnelle et microbiologique.

- Définition :

Ce sont des composés qui sont ajoutés aux denrées alimentaires dans le but de Prévenir ou tuer les microbes nocifs, qu'ils soient dus à l'action de micro-organismes, d'enzymes ou de réactions chimiques, afin de prolonger la période de stockage. (DJAMEL MED ALI, 2020)

- Conservateurs chimiques organiques :

*** l'acide acétique :**

C'est un conservateur sûr et approuvé Il est utilisé dans certains produits alimentaires, tels que le fromage et certains produits de boulangerie, afin de stopper la croissance de champignons

et de bactéries. Cependant, il est nocif s'il est utilisé à des concentrations élevées, car il donne un goût âcre et inacceptable. (DJAMEL MED ALI, 2020)

*** Acide benzoïque :**

On le trouve naturellement dans certaines plantes, comme la cannelle, et est utilisé dans les aliments sous forme de sel de calcium ou de sodium. Il a une grande capacité à inhiber la croissance des levures et des champignons. Premier conservateur approuvé pour une utilisation par la Food and Drug Administration et est utilisé pour conserver les aliments acides tels que les jus et les fruits ainsi que les boissons et les cornichons. Quant à la sécurité des benzoates, des recherches l'ont indiqué. Qu'ils ne présentent pas de danger lorsqu'ils s'accumulent dans le corps humain. (DJAMEL MED ALI, 2020)

*** Acide ascorbique :**

Ce composé est l'un des acides gras les plus importants Qui joue un rôle important dans le domaine de la conservation des aliments, car son utilisation est autorisée partout dans le monde ; Parce qu'il s'agit du conservateur le plus sûr, c'est le seul acide organique insaturé approuvé pour une utilisation comme conservateur dans les aliments. Il est considéré comme un bon antioxydant et un bon inhibiteur de la croissance fongique. Il convient comme conservateur, car il est ajouté à de nombreux aliments. Produits alimentaires. Il est ajouté au fromage cuit, à la farine aux gâteaux et aux tartes, et il n'est pas ajouté à la farine à partir de laquelle le pain est fabriqué car son effet est un inhibiteur de l'activité des levures. Il est également ajouté aux huiles, aux graisses, eau gazeuse, levure chimique et jus dans des proportions spécifiques pour chaque type de ces aliments. Ce composé a des effets toxiques nocifs lorsqu'il est utilisé à des concentrations élevées supérieures à la quantité autorisée, qui est de (0,3 %). (DJAMEL MED ALI, 2020)

- Conservateurs chimiques inorganiques :

Les plus importants d'entre eux Les matériaux sont les suivants :

*** Nitrates et nitrites :**

Ce composé est utilisé sous forme de sel de potassium ou Sodique et mélangé au sel de table comme conservateur dans les produits carnés, il a été démontré que les nitrates et les sels de nitrite ont un pouvoir conservateur et inhibent la croissance bactérienne grâce à un processus de réduction qui conduit à la formation de composés nitrites. Qui a un effet antimicrobien. (Ieyral, Vierling, 2006)

Il a été prouvé que l'ajout de nitrates et de sels de nitrite en concentrations élevées aux aliments a un effet nocif sur la santé du consommateur, car cela entraîne Les tumeurs cancéreuses résultent de la formation de composés nitreux. (DJAMEL MED ALI, 2020)

*** Anhydride sulfureux :**

On le trouve sous forme de sels de soufre (sulfate de potassium ou de sodium) et est utilisé dans la conservation de nombreux produits alimentaires, notamment dans les produits secs comme les raisins secs et les abricots secs, et également dans la conservation des jus de fruits, du fromage, du pain , etc. (leyral, Vierling, 2006).

Ce composé chimique provoque plusieurs méfaits Il est nocif pour la santé du consommateur, notamment : Ce composé entraîne la destruction de certains types de vitamines présentes dans les aliments, comme la vitamine thiamine (B). Ce composé se transforme en substance toxique s'il est utilisé à une concentration supérieure à la limite autorisée. s'il dépasse (50 parties par million). Certaines personnes peuvent souffrir de la consommation d'aliments traités avec ce composé. Comme être exposé à des maladies de peau, à de la diarrhée, à des nausées ou à des blessures Choc grave ou apnée, entraînant la mort. (DJAMEL MED ALI, 2020)

III.3. Application de la nanotechnologie à différents aspects de l'industrie alimentaire :

La nanotechnologie consiste à manipuler les nanomatériaux (qui ont au moins une dimension allant de 1 à 100 nm) à diverses fins, jouant un rôle essentiel dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture. Elle aide à améliorer les cultures, la qualité et la sécurité des aliments et à promouvoir la santé humaine grâce à des méthodes nouvelles et novatrices. Les scientifiques et les acteurs du secteur ont déjà repéré des applications potentielles de la nanotechnologie dans presque tous les domaines de l'industrie alimentaire, allant de l'agriculture jusqu'à l'industrie alimentaire. En processus de transformation des aliments, en emballage alimentaire et en suppléments nutritifs. (Duncan, 2011)

Les nanomatériaux utilisés dans l'industrie alimentaire incluent les nanomatériaux inorganiques (NP de métaux et d'oxydes métalliques), organiques (principalement les NP de produits naturels) et combinés (c'est-à-dire l'argile). Dans l'ensemble des NP métalliques, le NP d'argent est le plus produit et commercialisé en raison de son activité antimicrobienne, tandis que le NP d'or est largement étudié en tant que capteur/détecteur. Les nanoparticules de dioxyde de titane ont également fait l'objet d'études approfondies en tant qu'agent désinfectant, additif alimentaire (pigment de couleur blanche) et aromatisant. Les produits naturels sont généralement

élaborés comme un système de distribution et sont également employés comme ingrédients ou suppléments dans le secteur de l'alimentation. (He, 2019)

III.3.1. Nanotechnologie dans la transformation des aliments :

La nanotechnologie offre un potentiel considérable dans la transformation des aliments. Il favorise la biodisponibilité, le goût, la texture et la consistance des aliments. (Nile, 2020)

Les nano revêtements comestibles (revêtements minces d'environ 5 nm) peuvent être employés dans divers produits tels que la viande, les fruits, les légumes, le fromage, les produits de boulangerie et de confiserie. Ils jouent un rôle de barrière contre les gaz et l'humidité ils apportent de la saveur, de la couleur, des enzymes, des antioxydants, des composés anti-brunissement et une conservation prolongée des produits fabriqués. (Nile, 2020)

La nanotechnologie est également utilisée dans la production d'aliments plus sains contenant moins matières grasses, de sucre et de sel pour prévenir les maladies alimentaires. Des produits tels que Nanogreen, capsules Neosino, huile active de Canola, Aquanova, Nutralease, jus de fruits, boissons nutritionnelles à base d'avoine, nanothés, nanocapsules et shakes minces sont quelques-uns des aliments nano-transformés disponibles sur le marché. (Nile, 2020)

III.3.2. Nanotechnologie pour l'emballage alimentaire :

Les innovations actuelles en termes d'emballage permettant de diminuer le gaspillage alimentaire, de limiter la pollution environnementale, ou encore d'éviter le suremballage tout en assurant la sécurité et la qualité des produits. Les emballages actifs et les emballages intelligent permettant de suivre la qualité, l'altération par les pathogènes ou encore les traçabilités des produits, ces emballages constituent une solution durable pour répondre aux enjeux sociétaux, environnementaux et économiques actuels. (Axel Malgoire, Véronique Santé –Lhoutellier, Thierry Astruc , Marrie-Ellies-Oury 2020)

III.3.2.1. L'emballage alimentaire :

- Définition:

« Tout objet, quelle que soit la nature des matériaux dont il est constitué, destiné à contenir et à protéger des marchandises, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et assurer leur présentation ». (CNE ,2011)

- Types d'emballage alimentaire :

On distingue de Façon générale, trois types d'emballages selon la fonction qu'ils remplissent :

- L'emballage primaire ou emballage de vente : c'est la plus petite unité de contenant destinée à la vente. Il entre directement en contact avec le produit de consommation. Les professionnels du milieu l'appellent aussi « conditionnement »
- L'emballage secondaire ou emballage de groupage est le rassemblement de plusieurs emballages primaires contenant des denrées. Il est aussi appelé sur emballage (sur packaging)
- L'emballage tertiaire ou emballage de transport ; c'est le regroupement des emballages secondaires en colis compacts de grande taille. On parle de packaging. (Heillbrunn et Barré, 2012)

- Rôle technique de l'emballage :

D'après Benslimane (2014), les emballages jouent un rôle très important dans la protection et la prévention des produits contre de toute contamination, ainsi que dans leur distribution et leur utilisation. Ils sont essentiels pour garantir la qualité et la sécurité des produits tout au long de leur cycle de vie, de la production à la consommation, jusqu'à leur élimination finale. Le tableau 06 résume les différents rôles et intervenants en emballage alimentaire.

Tableau 06 : Rôles de l'emballage (Benslimane, 2014)

Rôle technique	Role marketing	Intervenants
Contenir	Vendre	Fabricants
Préserver	Communiquer	Transformateurs
Transporter	Motiver	Détaillants/ grossiste
Utiliser	Informé	Consommateurs

III.3.2.2. Les emballages actifs :

L'emballage actif est un emballage destiné à prolonger la durée de conservation ou à maintenir ou améliorer l'état des denrées alimentaires emballées. Il est conçu de façon à intégrer délibérément des constituants qui libèrent ou absorbent des substances dans les denrées alimentaires emballées ou dans leur environnement (Règlement n°450/2009 de la commission Européenne du 29 mai 2009).

- Les emballages actifs antimicrobiens :

Le rôle de l'emballage actif antimicrobien est donc de mieux contrôler le développement de ces microorganismes en maîtrisant l'environnement du produit, pour :

- Assurer la sécurité des consommateurs
- Préserver plus longtemps les propriétés organoleptiques des produits
- Mais aussi allonger la date limite de consommation (Kerry, O'Grady, et Hogan, 2006)

Les emballages actifs antimicrobiens peuvent être actifs de plusieurs manières selon leur situation dans l'emballage (Coma, 2008 ; Cooksey, 2001 ; Fang et al., 2017)

- Les emballages actifs antioxydants :

Au-delà du risque de développement des microorganismes aérobies en présence d'oxygène le contact des aliments avec l'oxygène favorise l'oxydation. Afin de répondre à une demande sociétale orientée sur une production alimentaire plus naturelle et répondant aux enjeux du développement durable (Vermeiren et al., 1999), des alternatives aux capteurs d'oxygènes, aux emballages sous atmosphère modifiée (emballages non « actifs »), aux composés actifs synthétiques habituellement utilisés tels que l'hydroxyanisole butyle (BHA), l'hydroxytoluène butyle (BHT), le terbutylhydroquinone (TBHQ) et le propyl galate (PG) ont été développées ces dernières années.

Les antioxydants naturels végétaux les plus courants sont la vitamine E, les huiles essentielles et extraits de plantes telles que le romarin, l'origan et thé, ou encore la sauge et les piments. Afin de bénéficier de l'effet synergique observé entre certains antioxydants, la tendance actuelle consiste à associer ces composés naturels à des bio-polymères. (Fang et al, 2017).

III.3.2.3. Les emballages intelligents :

Selon l'article 3 du règlement n°450/2009 de la commission du 29 mai 2009, les « matériaux et objets intelligents contrôlent l'état des denrées alimentaires emballées ou leur environnement » (Commission Européenne 2009).

Les emballages intelligents ont ainsi majoritairement pour fonction de capter, mesurer, suivre la qualité du produit ou de son environnement, et communiquer cette information au consommateur ou au professionnel (Fang et al, 2017 ; Vermeiren. et al., 1999 ; Yam, Takhistov, et Miltz, 2005). L'usage d'emballages intelligents assure ainsi la détection précoce et précise d'un problème de qualité de produit, et permet une meilleure gestion de sa consommation. Il s'avère également être une piste pertinente pour la réduction du gaspillage alimentaire avant même l'ouverture de l'emballage. Commercialement, un système d'emballage intelligent contient des

étiquettes capables de recueillir, stocker et transmettre des informations sur les fonctions et propriétés des aliments emballés.

CONCLUSION

CONCLUSION :

La sécurité des aliments constitue un pilier essentiel de la santé publique mondiale, intégrant des dimensions économiques, sociales et environnementales cruciales. Assurer que les aliments sont exempts de contaminants et de risques potentiels est une responsabilité collective qui incombe aux gouvernements, aux industries alimentaires et aux consommateurs.

Les gouvernements jouent un rôle fondamental en définissant des réglementations rigoureuses et en veillant à leur application à travers des systèmes de surveillance et de contrôle robustes. Ces cadres réglementaires couvrent tous les aspects de la chaîne alimentaire, depuis la production agricole jusqu'à la consommation. L'harmonisation des normes internationales, telles que celles du Codex Alimentarius, facilite le commerce mondial tout en garantissant une protection élevée des consommateurs.

Du côté des industries alimentaires, l'adhésion à des pratiques exemplaires de sécurité sanitaire est impérative. La traçabilité des produits et la formation continue du personnel sont essentielles pour prévenir les risques. L'innovation technologique joue également un rôle clé, avec le développement de nouvelles méthodes de détection des contaminants et de meilleures techniques de conservation et de transformation des aliments.

Les consommateurs ont également un rôle crucial en étant informés et vigilants sur les questions de sécurité alimentaire. L'éducation et la sensibilisation aux bonnes pratiques d'hygiène, à l'interprétation des dates de péremption et aux méthodes de conservation des aliments sont indispensables pour réduire les risques d'intoxications alimentaires.

La coopération internationale est essentielle pour faire face aux défis mondiaux de la sécurité alimentaire. Les échanges d'informations, la recherche collaborative et les initiatives conjointes pour lutter contre les épidémies alimentaires renforcent les capacités des différents acteurs à prévenir et à gérer les crises alimentaires.

La durabilité doit également être au cœur des efforts pour assurer la sécurité des aliments. Des pratiques agricoles et industrielles respectueuses de l'environnement et des ressources naturelles contribuent non seulement à la sécurité alimentaire, mais aussi à la préservation de notre planète pour les générations futures. En adoptant des approches intégrées et en favorisant des systèmes alimentaires résilients, nous pouvons non seulement protéger la santé publique, mais aussi promouvoir une économie et une société plus équilibrées et équitables.

En conclusion, ce mémoire souligne que la prévention des altérations et des contaminations microbiennes des aliments repose sur une approche intégrée et collaborative impliquant tous les acteurs de la chaîne alimentaire :

- Normes d'hygiène strictes : L'application rigoureuse des normes d'hygiène est cruciale. Cela comprend le nettoyage et la désinfection des équipements, des surfaces de travail, et des locaux, ainsi que l'hygiène personnelle des travailleurs. Les établissements doivent implémenter des protocoles d'hygiène robustes et veiller à leur respect constant.
- Technologie de Conservation: Utiliser des méthodes de conservation comme la pasteurisation, la stérilisation, la réfrigération, la congélation, le séchage et l'ajout de conservateurs pour prolonger la durée de conservation des aliments et réduire le risque de contamination.
- Contrôle rigoureux des températures : La maîtrise des températures de stockage et de cuisson est essentielle pour inhiber la prolifération des micro-organismes. Les denrées périssables doivent être conservées dans des conditions thermiques adaptées, respectant la chaîne du froid, et les températures de cuisson doivent être suffisantes pour éliminer les pathogènes
- Le développement de la nanotechnologie dans l'industrie alimentaire peut offrir des solutions innovantes pour améliorer la sécurité, la qualité et la durabilité des produits alimentaires: Emballage intelligent, Nanocapteurs, Amélioration des nutriments,
- Formation et sensibilisation : Une formation continue et approfondie du personnel sur les bonnes pratiques de fabrication, d'hygiène et de sécurité alimentaire est essentielle. Les entreprises doivent également sensibiliser les consommateurs sur les pratiques de manipulation, de stockage et de cuisson des aliments pour minimiser les risques à domicile

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Adrien Agoulon, (2012). Impact des paramètres de surgélation sur les caractéristiques des denrées alimentaires, Air Products and Chemicals, Inc.
 - Agariya, A. K., Johari, A., Sharma, H. K., Chandraul, U. N. S., & Singh, D. (2012). The Role of Packaging in Brand Communication. ISS N, 3(2), 13.
 - Amit, S.K., Uddin, M.M., Rahman, R. *et al.* (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agric & Food Secur* **6**, 51
 - Anna McElhatton, Richard J. Marshall, (2007). Food Safety A Practical and Case Study Approach, Springer, New York, USA.
 - Axel Malgoire¹, Véronique Santé-Lhoutellier², Thierry Astruc², Marie-Pierre Ellies-Oury^{1,3}, Etat des lieux des emballages innovants en viande bovine , Référence de l'article : VPC-2020-36-4-6 Date de publication : 3 Décembre 2020 www.viandesetproduitscarnes.com
 - Behravesh CB, Williams IT & Tauxe RV (2012) Emerging food borne pathogens and problems: expanding prevention efforts before slaughter or harvest. *Improving Food Safety Through a One Health Approach: Workshop Summary*, (Choffnes ER, Relman DA, Olsen L, Hutton R & Mack A, eds.), National Academies Press, Washing (DC).
 - Behravesh CB, Williams IT & Tauxe RV (2012) Emerging foodborne pathogens and problems: expanding prevention efforts before slaughter or harvest. *Improving Food Safety Through a One Health Approach: Workshop Summary*, (Choffnes ER, Relman DA, Olsen L, Hutton R & Mack A, eds.), National Academies Press, Washing (DC).
 - Benslimane, N. (2014). Contribution à l'élaboration d'un plan de contrôle des emballages plastiques en contact avec les denrées alimentaires. (Mémoire de maîtrise). Université Abou Bekr Belkaid-Tlemsen, Algérie.
 - BERGEY (D.H.), (1984). Bergey's manual of systematic bacteriology Williams et Wilkins, Baltimore.
 - Beuchat LR (2006) Vectors and conditions for preharvest contamination of fruits and vegetables with pathogens capable of causing enteric diseases. *British Food Journal* **108**: 38-53.
 - Bone, P. F., & France, K. R. (2001). [No title found]. *Journal of Business and Psychology*, **15**(3), 467-489. <https://doi.org/10.1023/A:1007826818206>
 - Boumendjel, (2005). Conservation des denrées alimentaires. Centre Universitaire d'ElTarf
-

- Boumendjel, (2005). Conservation des denrées alimentaires. Centre Universitaire d'ElTarf
 - BRAINGER A., (1983), Fabrication de produits alimentaires par fermentation, Paris, P: 06, 07;08,13
 - CNE., (2011). Prévention de gaspillage et des pertes des produits de grande consommation : le rôle clé de l'emballage. Siret n°41513678700025 APE : 913, Paris
 - Colun., thomas T., (2004) .le sel dans les industries alimentaires . Tuteur Mme Roy-moumel.
 - Coma V. (2008). Bioactive Packaging Technologies for Extended Shelf Life of Meat-Based Products. Meat Science, 78, 1-2, 90-103.
 - Cooksey K. (2001). Antimicrobial Food Packaging Materials. Additives for Polymers, 8, 6-10. Debeaufort F., Kurek M., (2017). Le projet EMAC : un emballage actif antimicrobien et durable. CIAG INRA, 8 juin 2017. Disponible sur : <https://www6.inrae.fr/ciag/content/download/6134/45560/file/CIAG41-2-Debeaufort.pdf>
 - Corlien h, (2005). La conservation du poisson et de la viande. FonctionAgromisa. WageningenAgrodok 12.
 - Darinmou, (2000). Conseil pour le consommateur. Laboratoire darinmoub. Site darinmoub. Com/conseils.pdf déitique. 2eme Edition Lavoisier. ISBN : 978-7430-1156-7 et du Tourisme . Alexandre Dumas Strasbourg-Illich.
 - Diallo, M. L. (2010). Contribution à l'étude de la qualité bactériologique des repas servis par Dakar catering selon les critères du groupe Servair. Thèse : Méd, vét. Université Cheikh Anta Diop-Dakar ; N° 07, 86 p.
 - Diallo, M. L. (2010). Contribution à l'étude de la qualité bactériologique des repas servis par Dakar catering selon les critères du groupe Servair. Thèse : Méd, vét. Université Cheikh Anta Diop-Dakar ; N° 07, 86 p.
 - Diouf, L. (2013). Appréciation du niveau d'hygiène et proposition d'un système de traçabilité en restaurant collective : cas de Kiki traiteur SARL .Thèse : Méd, vét. Université Cheikh Anta Diop-Dakar ; N° 24, 110p.
 - Djamal Mouhamed Youssef Ali (2020). Nouvelles technologies chimiques pour la transformation et la conservation des aliments du point de vue de la jurisprudence islamique, Journal du Collège d'études islamiques et arabes pour les filles de Sohag, Volume 26, numéro 1, (2020), p 742-934, DOI : 10.21608/mkebs.2020.123555 .
-

- Doyle MP. (2009). Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages. Food microbiology and food safety. New York: Springer;
 - Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors.
 - Ekpenyong, C. E., & Akpan, E. E. (2017). Use of *Cymbopogon citratus* essential oil in food preservation: Recent advances and future perspectives. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(12), 2541–2559.
 - Elena Alexandra Alexa, Angelos Papadochristopoulos, Triona O'Brien, Catherine M. Burgess, (2024), Food Packaging and Preservation, Chapter 1 - Microbial contamination of food, Editor(s): Amit K. Jaiswal, Shiv Shankar, Academic Press, Pages 3-19
 - Elizabeth V., (2007). Microbiologie et toxicologie des aliments. Hygiène et sécurité alimentaires. 4^{ème} édition Douin éditeurs, centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.
 - Emilie F. (2009). Connaissance des aliments. Bases alimentaires et notionnelles de la diététique. 2^{ème} Edition Lavoisier. ISBN : 978-7430-1156-7 et du Tourisme. Alexandre Dumas Strasbourg-Illich.
 - Fang Z., Zhao Y., Warner R.D., Johnson S.K. (2017). Active and Intelligent Packaging in Meat Industry. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 60-71.
 - FAO. (2007). Les bonnes pratiques d'hygiène dans la préparation et la vente des aliments de rue en Afrique. P8, 9, 11
 - Fremaux B, Prigent-Combaret C & Vernozy-Rozand C (2008) Long-term survival of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in cattle effluents and environment: an updated review. *Veterinary microbiology* 132: 1-18.
 - Gauthier, R. (1983). Chaîne chaude - Chaîne froide. Technologie et hygiène sur la restauration sociale et commercialisation. In : la restauration sociale et commerciale. Paris :I.T.S.V, 195-205.
 - Greig J, Rajić A, Young I, Mascarenhas M, Waddell L & LeJeune J (2014) A scoping review of the role of wildlife in the transmission of bacterial pathogens and antimicrobial resistance to the food chain. *Zoonoses and public health* 62: 269-284.
 - Gret : Groupe de recherche et d'échange technologique, (1993). Conserver et transformer le poisson .Collection le point sur :Saint-Etienne.
 - Guiraud J.P. (1998). Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris, pp 652.
-

- Guy I elizabeth v., (2007). Microbiologie et toxicologie des aliments. Hygiène et sécurités alimentaires. Doin éditeur, Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, 4^{ème} édition.
 - Guy leyrat, Elisabeth vierling, (2006). microbiologie et toxicologie des aliments (higiene et sécurité alimentaire s), 4 eme Ed, doin éditeur.
 - Hamza, R., (1998). Particularités des Toxi-infections alimentaires collectives en milieu hospitalier. Rev. Microb. Hyg. Ali. Vol 10, 25 – 27.
 - Hamza, R., Sghair, I., Mechri, A., Béjaoui, R., Falfoul, A., Slama, A., Rafrafi, M., Mchirgui, S., Belhadj, S., et Boubakri, M. (2007). Perception de l'hygiène alimentaire domestique par les consultantes des centres de sante de la ville de Bizerte .Rev Tun Infectiol .Vol 1, 12 - 21.
 - He, X. H.-m. (2019). The current application of nanotechnology in food and agriculture.
 - Heilbrunn, B. Barré, B. (2012). Le packaging. Paris: Presses Universitaires de France «Que sais-je?».P 128
 - Hellberg RS & Chu E (2015) Effects of climate change on the persistence and dispersal of foodborne bacterial pathogens in the outdoor environment: A review. Critical reviews in microbiology .P 1-25.
 - Jean-claude Panisset, Eric Dewailly, Hélène Doucet Leduc (2003). Contamination alimentaire (chapitre 14)
 - Jean-louis cuq, (2007) : microbiologie alimentaire, Science et technologies des industries alimentaire 4^{ème} année, université Montpellier 2.
 - Jean-Yves LEVEAU, Jean-Paul LARPENT et Marielle BOUIX, (2001). Sécurité microbiologique des procédés alimentaire, p3, 16
 - Jean-Yves LEVEAU, Jean-Paul LARPENT et Marielle BOUIX, (2001). Sécurité microbiologique des procédés alimentaire, p3, 16
 - Karesh WB (2012) Food safety: a view from the wild side. 207. National Academies Press.
 - Kerry J.P., O'Grady M.N., Hogan S.A., (2006). Past Current and Potential Utilization of Active and Intelligent Packaging Systems for Meat and Muscle-Based Products: A Review. Meat Science, 74, 1, 113-130
 - Lapointe, R. (2012). Bioplastiques biodégradables, composables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles, mais significatives. (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke. Québec, Canada.Récupéré le 26 juin 2015 de:
-

https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/essais/2012/Lapointe_R_06-09-2012_.pdf

- Laurent Guillier et Florence Dubois-Brissonnet (2020). Les maladies microbiennes d'origine alimentaire
 - Leclère Phillipe, Revol Anne Marie. 2014. les micro-organismes dans l'alimentation université de Lorraine, p01
 - Leyral, G., Vierling, E. (2007). Microbiologie et toxicologie des aliments: Hygiène et sécurité alimentaires. Wolters Kluwer, France. P157, 287
 - M. Abdelmassih, J. Mahillon, M-J. Goffaux, F. Ferber et V. Planchon. (2020) Guide pratique de microbiologie alimentaire p3
 - Machacine a., (2007). Apport du procédé de lyophilisation sur la qualité de fraises marocaines.
 - MADIGAN M.T et MARTINKO J.M., (2007), Brock biologie des microorganismes, Ed .Pearson éducation France, 936,978.
 - Megha Sherawat, Ravi Kant Rahi, Varsha Gupta, Deepesh Neelamand Devki Sain, (2021). Prevention and Control of Food Spoilage: An Overview, International Journal of Pharmacy and Biological Sciences-IJPBS 11 (1): 124-130
 - Messaoud Benzouai, Hacene Smadi., (2015). La maîtrise de la sécurité sanitaire des aliments. Industrie agroalimentaire. QUALITA' 2015, Mar 2015, Nancy, France <hal-01149803>
 - Meyer A., J. Deiana et H. Leclerc. (1984). Cours de microbiologie alimentaire. Doin éditeur. Paris
 - Mfouapon Njueya, M. L. (2006). Etude de la contamination des surfaces dans la restauration collective universitaire : Cas du centre des oeuvres universitaires de Dakar(C.O.U.D). Thèse : Méd, vét. Université Cheikh Anta Diop-Dakar; N° 19,109.
 - Mihindukulasuriya S.D.F., Lim L.T., (2014). Nanotechnology development in food packaging: A review. Trends in Food Science & Technology, 40, 149–167.
 - Mohammad, Z.H., Ahmad, F., Ibrahim, S.A. *et al.*, (2022). Application of nanotechnology in different aspects of the food industry. *Discov Food* 2, 12.
 - Mohebi E., Marquez L., (2015). Intelligent Packaging in Meat Industry: An Overview of Existing Solutions. Journal of Food Science and Technology, 52, 7, 3947-3964.
-

- Müller P., Schmid M., (2019). Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview. *Foods*, 8, 1, 16, 12p.
 - O’Grady M.N., Kerry J.P., (2008). Smart Packaging Technologies and Their Application in Conventional Meat Packaging Systems. *Meat Biotechnology*, 19, 423-462
 - Multon, J.-L. Bureau, G. (1998). L'emballage de denrées alimentaires de grande consommation. Paris: Édition Lavoisier. 1128p. Récupéré de:
<http://www.youscribe.com/catalogue/livres/savoirs/1-emballage-des-denrees-alimentaires-de-grande-consommation-2-23-93-3-7-4>
 - Munyaradzi Mutsikiwa, M. M. (2013). The Impact of Aesthetics Package Design Elements on Consumer Purchase Decisions : A Case of Locally Produced Dairy Products in Southern Zimbabwe. *IOSR Journal of Business and Management*, 8(5), 6471. <https://doi.org/10.9790/487X-0856471>
 - Murielle M., (2009). Nutrition humain et sécurité alimentaire. Edition Lavoisier
 - Nile, S.H., Baskar, V., Selvaraj, D. *et al.* Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. *Nano-Micro Lett.* **12**, 45 (2020).
 - Nout, Van Boekel, Hounhouiganc. (2003). Aliments transformation conservation qualité. p20, 21, 28, 29
 - OMS, (2020), Sécurité sanitaire des aliments
 - OTENG-GY ANG K., (1984), Introduction à la microbiologie alimentaire dans les pays chauds, Ed. Lavoisier, P: 67, 71, 74, 76, 77.
 - Pascal Chillet, (2011), Opérations unitaires en génie biologique Tome 2, LA PASTEURISATION, biologie Technique, CRDP d'Aquitaine Scéren
 - Prescott L.M., Harley J.P. et Klein D. (2003). Microbiologie. 2eme édition.
 - Rachida Soulaymani-Bencheikh, (2010). Sécurité sanitaire des aliments : une priorité mondiale, N° 6 - 3ème trimestre 2010 Publication officielle du Centre Anti Poison du Maroc Ministère de la santé, p3
 - Radio-identification. (2019). In Wikipedia.
<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio-identification&oldid=164215147>.
 - Rahman, M.S., (2016). Methods of Food Preservation."
 - Realini C.E., Begonya M., (2014). Active and Intelligent Packaging Systems for a Modern Society. *Meat Science*, 98, 3, 404- 419
-

- Redlingshofer Barbara, Bernard Coudurier, Martine Georget, (2017) . Quantifying food loss during primary production and processing in France
 - Règlement (ce) n°450/2009 de la commission Européenne du 29 mai 2009
 - Rettie, R., & Brewer, C. (2000). The verbal and visual components of package design. *Journal of Product & Brand Management*, 9(1), 5670.
<https://doi.org/10.1108/10610420010316339>
 - Sadat Kamal Amit, Md. Mezbah Uddin, Rizwanur Rahman, S. M. Rezwanul Islam and Mohidus Samad Khan, (2017), A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing, *Agriculture & Food Security*,
 - Shafiur (2007). *Handbook of food preservation / editor M. Shafiur Rahman, 2nd ed. p. cm., (Food science and technology ; 167) Includes bibliographical references and index. (alk. paper) (alk. paper) Food--Preservation. I. Rahman, Shafiur. II. Title. III.*
 - Sheridan, H.J., Allen, P., Ziegler, J.H., Marinkov, M., Suvakov, M.D. (1994). *Abattage, découpe de la viande et traitement ultérieur . FAO. P16*
 - Tanouti, A. (2016). *Microorganismes pathogènes portés par les aliments : classification, épidémiologie et moyen de prévention. Thèses de doctorat en médecine, Faculté de Médecine et de Pharmacie : Université MOHAMED V –REBAT. 80-81p.*
 - Vermeiren L., Devlieghere F., Beest M., van Kruijf N., de Debevere J., Centraal Instituut voor Voedingsonderzoek TNO. (1999). *Trends in Food Science And technology.*
 - Yam K. L., Takhistov P.T., Miltz J., (2005). *Intelligent Packaging: Concepts and Applications. Journal of Food Science, 70, 1, R1-10.*
-