

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire
Département : Biologie
Filière : Science Alimentaire

Fraude des produits alimentaires d'origine animale : techniques de détections rapides basées sur la spectroscopie

Présenté par :

Alouani Marwa
Boukerche Chaima
Chibani Samiha
Hashas Asma

Devant le jury composé de :

Pr. Mabrouk CHEMMAM (Professeur)	Président	Université de Guelma
Dr. Aissam BOUSBIA (MCA)	Encadrant	Université de Guelma
Dr. Abdelkader OUMEDDOUR (MCA)	Examineur	Université de Guelma

Juin 2022

Remerciement

Nous remercions d'abord le bon Dieu, pour le courage qu'il nous a donné pour surmonter toutes les difficultés durant nos années d'études et de nous avoir accordée la force, la volonté et le courage pour bien mener ce travail.

Nous faillirons à la tradition si nous n'exprimons pas ici notre gratitude envers tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'exécution de ce mémoire.

*Nous remercions très vivement notre encadreur **Mr BOUSBIA Aissam** Maître de Conférence à l'Université de du 8 Mai 1945 Guelma qui nous fait l'honneur de diriger ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude et de notre profond respect. Nous exprimons notre vive reconnaissance et immense gratitude pour leur aide précieuse et claire, ses relectures attentives et ses orientations.*

*Nos remerciements aussi adressés au membre de jury **Mr CHEMMEM Mebrouk** Professeur à l'université 8 Mai 1945 qui nous fait l'honneur de présider ce jury, hommage respectueux et **Mr DUMEDDOUR Abdellkader** Maître de Conférence à l'Université de du 8 Mai 1945.*

Nous tenons également à remercier infiniment l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers qui nous ont appris les bases de la science, et en particulier ceux du département de biologie.

Merci à vous, sans votre aide, ce travail n'aurait jamais pu être accompli.

Dédicace

Remercions tout d'abord **ALLAH** le tout puissant de nos avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Pour ceux qui m'ont donné tout l'amour et la tendresse de ma petite enfance. À ceux qui m'ont donné la force, confiance en moi et sens à mon existence, en offrant tout ce qui m'est cher. A ceux qui m'ont soutenu dans les longues nuits et m'ont veillé et enduré toutes les difficultés pour moi A ma mère *Djamila*. Au coeur généreux et source de tendresse et à mon père *Noureddine* mon ange gardien qui est toujours près de moi et me protège avec ses ailes des dimensions de la vie, Merci beaucoup du fond du cœur.

À monsieur *Bousbia aissam*, qui nous a soutenus jusqu'à la dernière minute malgré toutes les difficiles et ne nous a pas abandonnés et a travaillé dur pour nous diriger vers le bon chemin.

Merci beaucoup

À ma chère famille, à mon cœur, ma tante *Naima*, et mon deuxième père, oncle *Jamal*, et ma chère grand-mère *Kulthum* a toujours été avec moi à toutes les étapes de ma vie

A mes frères *Sami* et *Mahmoud*, qui ont toujours été à mes côtés et mon soutien dans cette vie

À mon mari, l'âme de mon cœur, *Abd al-Rahman*, qui s'est appuyé sur ses épaules et ne m'a pas abandonnée pendant les jours les plus difficiles de ma vie. Mes cousins *Marwa* et

Buthaina, *Baya* et *Nesrine*, que je considère plus que des sœurs

À mes oncles *Yazid*, *Yassin* et *Farid* et leurs fils *Abdel Nour*, *Abdel Zayyum*, *Yahia*,

Seif El Din et *Sajid* Vous avez mon plus grand respect et ma gratitude pour être à mes côtés avec toutes vos paroles aimables et vos actions aimables

À mes copaines *Chaima*, *Marwa* et *Asmaa* qui ont toujours été à mes côtés et m'ont donné la force de supporter les épreuves des études avec ses sourires, et à toutes leurs familles, en particulier leur parents

À mes chers amis qui ont fait de l'université plus qu'un lieu d'apprentissage au nom de tous De beaux souvenirs (*Warda*, *Aredj*, *Randa*, *Amina*, *chakra*, *Faris*, *Islam*, *Raouf* et *Ibrahim*)

À mes collègues de ma promo contrôle de qualité et sécurité alimentaire

SAMTA

Dédicace

Avec l'aide de dieu le tout puissant est enfin achevé ce travail lequel je dédie à toutes les :

Personnes qui me sont chères

À mon cher père LAID

Je retrouve dans ce simple travail la force que tu m'as transmise et récoltes aujourd'hui le fruit du gain que tu as semé hier, et qui m'a aidé tout au long de ma vie et qui a toujours rêvé de ma réussite.

À ma très chère mère SALIMA

À celle qui m'a donné la vie et ma raison de vivre, mon ange qui a souffert et s'est sacrifiée pour ma réussite

À toi qui m'avais suivi et aidé tout au long de mes études avec ton amour et ta généreuse tendresse qui m'illuminent la vie.

Toi qui seras et resteras pour moi symbole de courage, de sincérité et d'amour. Retrouves en ce modeste travail un des fruits de ton dévouement avec l'espoir de te satisfaire encore plus que Dieu te protège et te garde pour nous.

À ma cher tante « Djanet »

À ma grand-mère « Mohamed khrouf » merci pour tout ce que tu à fais à moi

À ma grand-mère « Khadija » et mes grand père « Moukhtar, Rabia » Tu resteras dans

Mon cœur pour toujours

Grande dédicace chaleureuse à mes frères «Imad Aldin, Sami yoceuf »

À mes chères cousines « Hadil, Donia, Ritaj, Rahma »

À mes binôme « Samiha, Marwa, Chaima et sa famille »

À mes chères copines « Chaima, Dalel, Khouloud, Hind, Sara, Aya »

À mes camarades de ma promo de qualités des produits et sécurités alimentaires.

Asma

Dédicace

Remercions tout d'abord *ALLAH* le tout puissant de nos avoir donné la santé, la patience,
la puissance et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce travail A

Ceux qui ont donné un sens à mon existence, en m'offrant une
Éducation digne de confiance

Ce qui a attendu avec patience Les fruits d'une bonne éducation

A celle qui ma donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et
ma réussite à ma mère *Karima*

A mon père *Nour eddin*, école de mon enfance, qui à été mon ombre durant toutes les années
d'études, et qui à veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me
protéger. Que dieu les gardes et les protèges

A mon cher mari *Bassem* qui n'ont pas cessé de me conseiller ; encourager et soutenir tout
au long de mes études que dieu le protégé et leur offre la chance et le bonheur

A mon adorable petite sœur *Amina* qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur
pour tout la famille

A ma chère sœur *Roumaïssa*

A mon frère *Oussama*

A mes grands-pères *Saleh* et *houssine* Que Dieu leur pardonne et leur accorde le plus haut
des paradis

A mes chères grands-mères *Fatiha* et *baya*

; mes oncles et mes tantes . que dieu leur donne une longue et joyeuse vie .

A tous les cousins ; les voisines et les amis que j'ai connu

A ma grande famille : *ALLIANI*

A mes copaines *samiha ,chaima , asma* et sa famille

A tous ceux qui me sont chères

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux que j'aime

À qui m'ont aidé pour la réalisation de ce travail monsieur « *Bousbia Aïssam*»

A toute la promotion de qualités des produits et sécurités alimentaires

A Tous les enseignants qui m'ont suivi tout au long de mon parcours éducatif.

Marwa

Dédicace

Remercions tout d'abord *ALLAH* le tout puissant de nos avoir donné la santé, la patience,
la puissance et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce travail A

Ceux qui ont donné un sens à mon existence, en m'offrant une Éducation digne de confiance

A ma chère mère : *rafess saida*

Tu m'as comblé de ta tendresse et de ton affection tout au long de mes études, et tu as
toujours été à mes côtés pour me réconforter en cas de besoin. Que Dieu vous accorde santé,
bonheur et longue vie.

A mon cher père : *boukerche rachide*

Cela m'a insufflé un sens des responsabilités, de l'optimisme et de la confiance en moi face
aux difficultés de la vie. Je te dois qui je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai
toujours de mon mieux pour être ta fierté et tu ne seras jamais déçu. Que Dieu Tout Puissant
vous protège et vous envoie santé, bonheur et sérénité.

à ma grand-mère : *hada et aycha*

Que cet acte humble soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé d'exprimer dans vos
prières. que Dieu vous bénisse tous les deux

à ma sœur : *rauneké*

Et je te le dis, tu es mon amie, avec le goût de ma sœur, avec un deuxième cœur et une autre
âme. Tu es la plus belle des choses. Tu es ma compagne et mon cadeau du Seigneur du Ciel.

à mon frère : *noufel*

Et je vous dis que le dernier du groupe est le meilleur, que Dieu perpétue la bénédiction
d'avoir mon petit frère toujours et à jamais.

A ma chère petite fille : *mayan*

Tu es la chose la plus précieuse que mes yeux n'aient jamais vue, que Dieu te protège pour
tes chers père et mère, et que Dieu te protège pour nous et te rende heureux éternellement.

A ma grande famille : *Boukerche et rafase*

A mon binôme *samiha ,marwa , asma* et sa famille

A tous ceux qui me sont chères

À qui m'ont aidé pour la réalisation de ce travail monsieur « *Bousbia Aissam* »

A toute la promotion de qualités des produits et sécurités alimentaires

A Tous les enseignants qui m'ont suivi tout au long de mon parcours éducatif.

Chaima

Fraude des produits alimentaires d'origine animale : techniques de détections rapides basées sur la spectroscopie

Résumé : la fraude alimentaire nécessite aujourd'hui de plus en plus de préoccupations ; elle ne doit pas être considérée comme un simple problème. Les produits alimentaires d'origine animale, comme le poisson, le miel, la viande, la volaille, le lait et les produits laitiers et jouent un rôle important dans la nutrition humaine. Cependant, la fraude dans ce secteur alimentaire se produit fréquemment, entraînant des impacts économiques négatifs sur les consommateurs et des risques pour la santé publique et l'environnement. Par conséquent, le développement de techniques analytiques qui détectent rapidement les fraudes et vérifient l'authenticité de ces produits est d'une importance primordiale. L'objectif de ce mémoire est de passer en revue les principaux axes liés à l'authenticité des aliments d'origine animale basée sur la spectroscopie à savoir : (i) les différents types de fraude ; (ii) les techniques de détection basée sur la spectroscopie, et (iii) quelques exemples d'application de la spectroscopie. Traditionnellement, une grande variété d'approches ciblées, telles que les approches chimiques, chromatographiques, moléculaires, et les techniques basées sur les protéines, ont été fréquemment utilisées pour identifier les espèces animales, les méthodes de production, la provenance et la transformation des produits alimentaires. Bien que ces méthodes classiques, sont précises et fiables, elles sont destructives, prennent du temps et ne peuvent être employées que à l'échelle du laboratoire. Au contraire, des méthodes alternatives basées principalement sur la spectroscopie sont apparues ces dernières années comme des outils pour surmonter la plupart des limitations associées aux mesures traditionnelles. Le nombre d'études scientifiques faisant état de divers problèmes d'authenticité étudiés par spectroscopie vibrationnelle, résonance magnétique nucléaire et spectroscopie de fluorescence a considérablement augmenté au cours des dernières années, indiquant l'énorme potentiel de ces techniques dans la lutte contre la fraude alimentaire.

Mots clés : fraudes alimentaires ; contrôles ; authenticité, risques ; adultération; méthodes analytiques ; spectroscopie ; animale.

Title: Fraud in animal origin food products: rapid detection techniques based on spectroscopy

Abstract: food fraud today requires more and more concern; it should not be seen as a mere problem. Food products of animal origin, such as fish, honey, meat, poultry, milk and dairy products play an important role in human nutrition. However, fraud in this food sector occurs frequently, resulting in negative economic impacts on consumers and risks to public health and the environment. However, fraud in this food sector occurs frequently, resulting in negative economic impacts on consumers and risks to public health and the environment. Therefore, the development of analytical techniques that quickly detect fraud and verify the authenticity of these products is of paramount importance. The objective of this master's thesis is to review the main axes related to the authenticity of foods of animal origin based on spectroscopy, namely: (i) the different types of fraud; (ii) detection techniques based on spectroscopy, and (iii) some examples of the application of spectroscopy. Traditionally, a wide variety of targeted approaches, such as chemical, chromatographic, molecular, and protein-based techniques, has been frequently used to identify animal species, production methods, provenance, and product processing food. Although these classical methods are accurate and reliable, they are destructive, time consuming and can only be used on a laboratory scale. On the contrary, alternative methods based mainly on spectroscopy have emerged in recent years as tools to overcome most of the limitations associated with traditional measurements. The number of scientific studies reporting various authenticity issues investigated by vibrational spectroscopy, nuclear magnetic resonance and fluorescence spectroscopy has increased considerably in recent years, indicating the enormous potential of these techniques in the fight against food fraud.

Keywords: food fraud; controls; authenticity, risks; adulteration; analytical methods; spectroscopy; animal.

الاحتتيال في المنتجات الغذائية من أصل حيواني : تقنيات الكشف السريع القائمة على التحليل الطيفي

ملخص : يتطلب الاحتتيال الغذائي اليوم المزيد والمزيد من القلق ؛ لا ينبغي أن ينظر إليها على أنها مجرد مشكلة. تلعب المنتجات الغذائية ذات الأصل الحيواني ، مثل الأسماك والحلوى والدواجن والحليب ومنتجات الألبان دوراً مهماً في تغذية الإنسان. ومع ذلك ، فإن الاحتتيال في قطاع الأغذية هذا يحدث بشكل متكرر ، مما يؤدي إلى آثار اقتصادية سلبية على المستهلكين ومخاطر على الصحة العامة والبيئة. لذلك ، فإن تطوير التقنيات التحليلية التي تكشف عن الاحتتيال بسرعة وتحقق من صحة هذه المنتجات له أهمية قصوى. الهدف من هذه الأطروحة هو مراجعة المحاور الرئيسية المتعلقة بأصالة الأطعمة ذات الأصل الحيواني على أساس التحليل الطيفي ، وهي: (1) أنواع الاحتتيال المختلفة ؛ (2) تقنيات الكشف القائمة على التحليل الطيفي ، و (3) بعض الأمثلة على تطبيق التحليل الطيفي. تقليدياً ، تم استخدام مجموعة متنوعة من الأساليب المستهدفة ، مثل التقنيات الكيميائية والكروماتوجرافية والجزئية والبروتينية ، في كثير من الأحيان لتحديد الأنواع الحيوانية ، وطرق الإنتاج ، والمنشأ ، ومعالجة المنتجات الغذائية. على الرغم من أن هذه الأساليب الكلاسيكية دقيقة وموثوقة ، إلا أنها مدمرة وتستغرق وقتاً طويلاً ولا يمكن استخدامها إلا على نطاق معمل. على العكس من ذلك ، ظهرت طرق بديلة تعتمد بشكل أساسي على التحليل الطيفي في السنوات الأخيرة كأدوات للتغلب على معظم القيود المرتبطة بالقياسات التقليدية. زاد عدد الدراسات العلمية التي تُبلغ عن قضايا الأصالة المختلفة التي تم التحقيق فيها بواسطة التحليل الطيفي الاهتزازي والرنين المغناطيسي النووي والتحليل الطيفي الضوئي بشكل كبير في السنوات الأخيرة ، مما يشير إلى الإمكانيات الهائلة لهذه التقنيات في مكافحة الاحتتيال الغذائي.

الكلمات المفتاحية: الاحتتيال الغذائي ؛ المراقبة ؛ الأصالة ؛ المخاطر ؛ غش ؛ طرق تحليلية ؛ التحليل الطيفي ؛ حيوان.

Liste des abréviations

Abréviation	Signification	Page
ADN	acide désoxyribonucléique	2
FAO	L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture	4
GFSI	Initiative mondiale pour la sécurité alimentaire (Global Food Safety Initiative)	4
SQF	Nourriture de qualité sûre (Safe Quality Food)	4
BRC	Consortium britannique de vente au détail (British Retail Consortium)	4
OGM	organismes génétiquement modifiés	10
AOC	Appellations d'origine contrôlée	11
EMA	L'Agence européenne des médicaments	11
RASFF	le système d'alerte rapide pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux (the Rapid Alert System for Food and Feed)	11
AAC-FF	Assistance administrative et système de coopération / Fraude alimentaire (Administrative Assistance and Cooperation-System / Food Fraud)	11
MedISys-FF	Système d'information médicale sur la fraude alimentaire (Medical information system for food fraud)	11
FCF	colorant alimentaire jaune	12
EMA	Adultération à motivation économique	16
NIR	Spectroscopie infrarouge proche	17
MIR	Spectroscopie infrarouge moyen	17
IR	Spectroscopie infrarouge	18
RMN	Résonance magnétique nucléaire	18
NADH	Nicotinamide adénine di nucléotide phosphate	19
FT-IR	Infrarouge à transformée de Fourier	21
PCR	Réaction en chaine par polymérase	22
PCR – RFLP	Réaction en chaine par polyméras Polymorphisme de longueur des fragments de restriction	22
PCR-TR	Réaction en chaine par polymérase en temps réel	23
HPLC	Chromatographie liquide à haute performance	25
CPG	La chromatographie en phase gazeuse	25
ICP-MS	Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif	25
NMFS	Service nationale des pêches maritimes	28
CO	Monoxyde de carbone	29
REIMS	Spectrométrie de masse à ionisation par évaporation rapide	32
FT-NIR	Spectroscopie proche infrarouge à transformée de Fourier	32
PLS-DA	Analyse discriminante des moindres carrés partiels	32
UV-Vis	L'ultraviolet visible	32
USA	Etats-Unis (United States of America)	36
FDA	Administration des aliments et des médicaments	36
UHT	Ultra haut température	37
HMF	<i>Hydroximéthylfurfural</i>	39

HFCS	sirop de maïs à haute teneur en fructose (high fructose corn syrup)	39
HPTLC	Chromatographie sur couche mince haute performance (High-performance thin-layer chromatography)	42
LC-MS	Chromatographie liquide spectrométrie de masse (liquid chromatography mass spectrometry)	42
MS	Spectrométrie de masse	42

Liste des figures

Figure 1: les produits d'origine animale les plus touchés par les fraude alimentaires	28
Figure 2: Les différentes formes de fraude alimentaire	29
Figure 3. l'authentification de la viande et des produits carnées	32
Figure 4:	37
Figure 5 : Les principaux type de falsification du miel	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemples de catégorisations de fraude alimentaire dans RASFF, EMA et HorizonScan	6
Tableau 2: origine de risque et les effets pour les disciplines alimentaires	9
Tableau 3: Type de fraude alimentaire selon	10
Tableau 4: quelques exemples de la fraude alimentaires selon la typologie	13
Tableau 5: quelques exemples sur les applications des techniques basées sur l'ADN et leurs avantages et inconvénients dans l'analyse des aliments	24
Tableau 6: Autres techniques de chromatographie utilisée pour détecter la fraude dans l'alimentation	27
Tableau 7: les méthodes de détection de fraude alimentaires dans les viandes..	33
Tableau 8 : applications des techniques spectroscopiques à divers problèmes d'authenticité dans le lait et les produits laitiers inspiré de	38
Tableau 9: Technique spectroscopique pour la détection de la fraude dans le miel	42

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
Chapitre 1 : Généralités sur la fraude alimentaire : Terminologie, Typologie et Risques	
1. Historique de la fraude alimentaire	4
2. Généralité de la fraude alimentaire	4
2.1. Définition de la fraude alimentaire.....	6
2.2. Les types de la fraude alimentaire.....	7
2.3. Terminologie liée à la fraude alimentaire.....	11
2.3.1 Authenticité alimentaire	11
2.3.2 Intégralité alimentaire.....	11
2.3.3 Criminalité alimentaire.....	11
2.3.4. Traçabilité.....	11
2.3.5. Falsification	11
2.4. Typologie des fraudes alimentaire	11
2.4.1. Typologie fonctionnelle	12
2.4.1.1. Fraude par adultération.....	12
2.4.1.2. Fraude pour « Non-Conformité ».....	12
2.4.1.3. Fraude par contamination.....	12
2.4.2. Autres types de classification.....	13
2.5. Le risque sanitaire lié à la fraude alimentaire.....	14
2.5.1. Adultération alimentaire.....	15
2.5.2. Contamination chimique	15

2.5.3. Contamination bactérienne.....	15
2.5.4. Utilisation abusive des additifs alimentaire	16

Chapitre 2 : Aperçu sur les techniques de détection de fraude

1. Généralité :	17
2. Aperçu sur les techniques rapides de détection de fraude.....	17
2.1 Techniques spectroscopiques	18
2.1.1. Spectroscopie vibrationnelle	18
2.1.1.1 Spectroscopie dans le moyen et proche infrarouge (MIR et NIR).....	18
2.1.1.2 Spectroscopie Raman	19
2.1.2. Résonance magnétique nucléaire (RMN).	19
2.1.3. Spectroscopie de fluorescence.....	20
2.1.4. Autre techniques spectroscopiques	20
2.1.4.1. Spectroscopie de masse (Spectroscopie d'absorption et d'émission atomique)	20
2.1.4.2. Technique de spectroscopie en ultraviolet-visible (une méthode ciblée).....	21
2.1.4.3. Spectroscopie infrarouge.....	22
2.1.4.4. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier	22
2.2. Autres méthodes analytiques.....	22
2.2.1. Technique basées sur l'ADN.....	22
2.2.2. Technique basée sur les protéines et les méthodes associées.....	25
2.2.3. Techniques isotopiques	25
2.2.4. Techniques élémentaires	25
2.2.5. La chromatographie.....	26
2.2.6. La spectrométrie de masse couplée à la chromatographie	26

Chapitre 3 :Exemples d'utilisation de méthodes spectroscopiques pour détecter la fraude

Généralité	28
1. Poissons et produits de la mer	29

2. Viande et produits carnés	30
2.1 Technique de détection de la fraude dans les viande et produits carnés	33
2.2. Cas de détection de fraude alimentaire dans les viandes.....	34
2.2.1. Injection des ingrédients non carnés	34
2.2.2. Viande et produits carnés sous le logo halal	35
2.3. Conséquences de la viande frelatée.....	35
3. Lait et produits laitiers.....	36
3.1. Fraude en lait et produit laitier	36
3.2. Méthode spectroscopique utilisée dans la détection de la fraude en lait et produit laitier	37
4. Miel et autre produits d'origine animale	39
Conclusion.....	43
Références bibliographiques	

Introduction générale

Introduction

Au cours des dernières années, les consommateurs se sont beaucoup plus préoccupés de la qualité et de la sécurité des produits alimentaires et se sont pleinement intéressés à savoir plus sur l'authenticité des aliments et la fraude alimentaire. Autrement dit, les consommateurs exigent des informations plus complètes sur leurs aliments, y compris ce qu'ils achètent réellement, d'où viennent les aliments, quand et comment ils ont été produits. Bien que la fraude et l'adultération soient pratiquées depuis longtemps, ce n'est que ces dernières années que les questions d'authenticité des aliments ont été plus évoquées, et l'attention du public a été intensivement portée à l'ampleur de ce problème et aux graves conséquences de la fraude alimentaire (Danezis et al., 2016; McGrath et al., 2018).

De plus, au cours de la période de pandémie actuelle, où le coronavirus a fait rage partout dans le monde, et où tous les aspects de la vie, y compris les choix alimentaires et les habitudes alimentaires, deviennent plus préoccupants pour les consommateurs. Cet intérêt accru pour l'authenticité des aliments peut aussi s'expliquer par les nombreux scandales alimentaires des dernières années (scandale de la viande d'âne en Algérie, la viande hachée mélangée à un conservateur de cadavres et autres exemples), et la sensibilisation accrue des consommateurs aux répercussions de la fraude alimentaire en termes de gains économiques illégaux, ainsi qu'aux effets négatifs sur la santé publique et l'environnement. Néanmoins, plusieurs études récentes ont indiqué que la fraude ou l'étiquetage trompeur est encore une pratique répandue, en particulier dans les produits alimentaires d'origine animale, qui sont souvent considérés parmi les aliments les plus fréquemment falsifiés (Delpiani et al., 2020). La mondialisation des marchés et l'augmentation du commerce international, la nature complexe des produits alimentaires d'origine animale, la grande variété de ces produits, ainsi que l'émergence de formes de fraude délicates et plus sophistiquées sont quelques-unes des raisons qui pourraient expliquer cette hausse de la fraude alimentaire et pourquoi la détection et la prévention sont des tâches difficiles (Fiorino et al., 2018).

La fraude dans les produits d'origine animale peut prendre de nombreuses formes, y compris l'étiquetage erroné de la provenance (origine géographique ou botanique), la substitution d'espèces, les différences dans les méthodes de production et les techniques d'élevage, l'ajout de substances non déclarées, ainsi que les traitements frauduleux et la non-déclaration de processus, tels que la congélation, l'irradiation et le chauffage par micro-ondes (Hassoun et al., 2020b). Un nombre très élevé d'études qui traite l'authenticité et de la détection de la fraude dans le poisson, la viande, le lait, le miel et les œufs ont été publiés au

cours des dernières années; le nombre d'articles publiés est passé de 530 entre 2010 et 2014 à 1000 entre 2015 et 2019 (Hassoun et al., 2020b).

La fraude dans le poisson et les autres produits de la mer est un problème répandu, et les produits de la mer sont souvent classés parmi les principales catégories de produits alimentaires susceptibles de faire l'objet de fraude. Le remplacement d'une espèce de poisson de grande valeur par une autre moins chère, et l'étiquetage erroné de l'origine géographique sont parmi les activités frauduleuses les plus courantes dans le secteur du poisson et des fruits de mer. (Ghidini et al., 2019)

Déterminer si le poisson est sauvage ou d'élevage, retracer les systèmes d'élevage et différenciation entre les fruits de mer frais et congelés-décongelés sont parmi les sujets d'authenticité des fruits de mer qui ont été largement étudiés (Ghidini et al., 2019). Selon Hassoun et al. (2020b) la viande et les produits carnés sont des aliments d'origine animale les plus étudiés en ce qui concerne l'authenticité ou la traçabilité.

L'authenticité de la viande a des problèmes similaires à ceux du poisson. Les questions d'authentification liées aux viandes de poisson, de volailles et de bétails présentent un large éventail de techniques fondées sur l'ADN, la chromatographie (profil protéique), le profilage élémentaire et l'analyse isotopique ont été fréquemment appliquées à ce problème (Creydt and Fischer, 2020; Medina et al., 2019).

Des techniques similaires ont également été établies dans les analyses courantes pour détecter la fraude qui se produit dans d'autres aliments d'origine animale comme le lait et les produits laitiers, miel et œufs (Medina et al., 2019).

Toutefois, la plupart des méthodes d'analyse susmentionnées sont associées à un certain nombre d'inconvénients, principalement liés à la nature destructrice des mesures et au temps requis pour effectuer l'analyse (Medina et al., 2019). Par conséquent, il y a toujours un grand intérêt pour le développement de méthodes analytiques non destructives, rapides, précises, robustes et à haut débit pour l'authentification des aliments sur place et en temps réel.

Les techniques spectroscopiques ont gagné beaucoup d'importance au cours des dernières années, et la spectroscopie a été un mot à la mode dans le contexte de la lutte contre la fraude et de la vérification de l'authenticité des produits alimentaires. L'intérêt considérable pour ces techniques d'empreintes digitales non ciblées peut être dû aux progrès réalisés dans les instruments analytiques et à la sensibilisation accrue de l'industrie alimentaire et à la recherche des aspects avantageux de l'application de ces techniques (Hassoun et al., 2020a). Selon Hassoun et al. (2020b) le nombre d'ouvrages scientifiques concernant l'utilisation de la spectroscopie pour l'authenticité des aliments est passé de 134 articles en 2010-2014 à 369

articles en 2015-2019, tandis que le nombre total de citations a doublé au cours des cinq dernières années. (20784 citations entre 2015 et 2019 contre 9666 entre 2010 et 2014). Quelques exemples d'applications récentes des techniques spectroscopiques pour l'authentification des produits alimentaires d'origine animale comprennent la détection de la falsification dans la viande (Jiang et al., 2020). L'identification des espèces laitières (Genis et al., 2020), détection des viandes décongelés (Parastar et al., 2020), l'identification des différentes espèces bouchères (Jiang et al., 2019), et la détermination de l'origine botanique du miel (Noviyanto and Abdulla, 2020). En effet, ces chercheurs susmentionnés ont développé des techniques analytiques qui permettent de détecter la fraude alimentaire.

Il existe des techniques lourdes, qui sont des techniques traditionnelles et classiques, comme les techniques chimiques et chromatographie, ces techniques sont précises, mais elles prennent beaucoup de temps et ne sont utilisées qu'en laboratoire. Les méthodes alternatives qui se caractérisent par la rapidité ont été développées sur la base de la spectroscopie. C'est dans ce contexte que ce travail de Master a été proposé, dont l'objectif primordial était comment vérifier l'authenticité des aliments d'origine animale en utilisant la technique de la détection rapide basée sur la spectroscopie. En effet, cette revue se compose principalement de trois chapitres : (1) généralités sur la fraude alimentaire (2) aperçu sur les techniques de détection basée sur la spectroscopie de la fraude alimentaire (3) exemples d'application des méthodes spectroscopiques et comparaison avec les techniques traditionnelles pour détecter la fraude.

Chapitre 1 :
Généralités sur la fraude alimentaire :
Terminologie, Typologie et Risques

1. Historique de la fraude alimentaire

La fraude a accompagné les civilisations humaines depuis la nuit des temps, car le gain rapide a été et restera le but ultime des producteurs (FAO., 2007). Les règlements et les lois établis contre la fraude dans le domaine alimentaire par chaque civilisation à travers l'histoire témoignent de l'importance attribuée à la lutte contre ce phénomène ; en témoignent les exemples ci-après :

- Civilisation assyrienne : découverte de tablettes décrivant la méthode de détermination correcte de poids et des mesures des grains ;
- Civilisation égyptienne : établissement des premières conditions d'étiquetage de certains aliments ;
- Cité athénienne de l'antiquité : les gens ont eu recours à l'inspection de la bière et des vins afin de garantir leur pureté ;
- Civilisation romaine : mise en place d'un système étatique de contrôle des aliments et de répression de la fraude

Au milieu du 13^{ème} siècle, il y avait, en Angleterre par exemple, une directive sur le pain qui stipulait des exigences telles que la taille, le poids, la nature des ingrédients, ainsi que le prix autorisé. Les boulangers qui faisaient fi de cette directive étaient poussés dans les rues avec un de leurs pains frelatés autour du cou. Les récidivistes perdaient leur licence.

Le premier à avoir mis en lumière la fraude alimentaire et ses techniques de détection s'appelle Frederick Accum (Pesteil, 2021). Ce chimiste allemand vivait au 19^e siècle à Londres et a mis en évidence différents cas de fraude alimentaire qui mettaient la vie des consommateurs en danger. Déjà à cette époque, de nombreux composés chimiques dangereux pour la santé étaient ajoutés dans les produits alimentaires pour leur donner un meilleur aspect et un meilleur goût : par exemple, l'addition d'oxyde de plomb dans le fromage ou dans le poivre de Cayenne, ou encore l'addition d'acide sulfurique dans le vinaigre

2. Généralité de la fraude alimentaire

Dans les dernières années, des mots tels que « adultération », « substitution » et « fraude alimentaire » ont vu leur apparition dans le jargon des différentes normes régissant l'industrie agroalimentaire mondiale. Pendant longtemps, les référentiels, comme le GFSI, le SQF et le BRC, se concentraient plus spécifiquement sur les aspects de salubrité et de sécurité alimentaire. Au fil du temps, des mesures de contrôle se devaient d'être mises en place face à l'ampleur grandissante de ce fléau. Bien que les médias se passionnent depuis peu pour la fraude alimentaire, il serait faux de penser que ce fléau touche les consommateurs depuis seulement quelques années, car la fraude alimentaire existe depuis que l'homme vend des

produits alimentaires. De fait, des textes de loi datant de l'époque de Rome et d'Athènes parlent de l'adultération du vin avec des saveurs ou des colorants (Barrère et al., 2017).

L'émergence du terme « fraude alimentaire » remonte à la Rome antique et à Athènes, car la fraude alimentaire est un problème qui touche toutes les chaînes d'approvisionnement alimentaire y compris l'industrie alimentaire, clients et consommateurs. Par conséquent, le besoin de trouver des moyens de détection est devenu une nécessité afin d'atténuer la fraude alimentaire. La fraude alimentaire est un acte délibéré et intentionnel de substituer, de modifier ou de déformer des denrées alimentaires à des fins lucratives.(Brooks et al., 2021). Les problèmes de sécurité alimentaire reçoivent une grande attention après l'augmentation des scandales alimentaires dans diverses parties du monde, en particulier après la propagation de l'épidémie de Covid-19, qui a accru la possibilité d'une augmentation de la fraude alimentaire à la lumière du manque et de l'absence d'inspections des produits alimentaire. Plusieurs cas de fraude alimentaire ont été enquêtés par MedISys-FF sur une période de 6 ans (2015-2020), le système a collecté 4 375 articles sur des incidents de fraude alimentaire provenant de 164 pays dont 41 langues différentes. La fraude a été le plus souvent signalée avec la viande et les produits à base de viande (27,7 %), suivie du lait et des produits laitiers (10,5 %), des céréales et des produits de boulangerie (8,3 %) et du poisson et les produits à base de poisson (7,7 %). La plupart des fraudes étaient liées à la date de péremption (58,3 %), suivies de la manipulation (22,2 %) et de l'étiquetage incorrect du pays d'origine (11,4 %).(Marvin et al., 2022). Les lois et les directives doivent être respectées dans l'industrie alimentaire afin d'éviter de tomber dans la fraude (Robson et al., 2021). Comme il a été déjà signalé la propagation de l'épidémie du Covid-19 a augmenté la possibilité de fraude alimentaire compte tenu du manque et de l'absence de contrôle, ce qui a conduit à une variété de méthodes de fraude sur la composition des produits. Diverses bases de données qui répertorient les incidents de fraude alimentaire ont été développées comme : iRASFF, EMA, HorizonScan, AAC-FF et MedISys-FF. Ceux-ci ont le potentiel d'analyser les tendances et de fonctionner comme des référentiels de données qui peuvent fournir des signaux d'alertes. Le système MedISys-FF est accessible aux consommateurs via Internet. Il montre les tendances mondiales et l'évolution des activités de fraude alimentaire dans tous les pays du monde. Garantir l'hygiène alimentaire et détecter la fraude alimentaire nécessite une contribution complète à chaque étape de la chaîne de production/d'approvisionnement alimentaire, avec un accent accru sur la mise en œuvre de systèmes de gestion et une traçabilité assurée des intrants tout au long de la chaîne alimentaire.(Brooks et al., 2021). Les systèmes de fraude

alimentaire ont une classification des types de fraude très différente les uns des autres. Le RASFF comprend à la fois les notifications de fraude alimentaire intentionnelle et non intentionnelle, qui sont classées en six types de fraude différents (tableau 1) : certificats sanitaires inappropriés, frauduleux, manquants ou absents ; importation illégale ; falsification ; documents d'entrée communs ou déclarations d'importation incorrects, périmés, frauduleux ou manquants ; date d'expiration ; et étiquetage erroné. La base de données de l'EMA propose neuf types différents de fraude alimentaire (tableau 1), dont les plus importants sont : la substitution, l'amélioration artificielle, la dilution, le transbordement, la contrefaçon et le faux marquage. La base de données HorizonScan comprend principalement six types de fraude alimentaire (Tableau 1) : falsification/substitution, certificat/document sanitaire frauduleux, produit sans inspection, locaux non agréés, changements de date de péremption, transport non autorisé/inadapté (Bouzembrak et al., 2018).

Tableau 1 : Exemples de catégorisations de fraude alimentaire dans RASFF, EMA et HorizonScan (Bouzembrak et al., 2018)

RASFF	EMA	HorizonScan
1- Certificats de santé irréguliers, frauduleux, manquants ou absents	1- Étiquetage erroné	1- Falsification/substitution de certificat de santé/documentation frauduleux
2- Importation illégale	2- Amélioration artificielle	2- Produit sans contrôle
3- Falsification	3- Substitution	3- Locaux non agréés
4- déclarations d'importation incorrecte, périmées, frauduleuse ou manquantes	4- Dilution	4- Changements de date d'expiration
5- Date d'expiration	5- Transbordement/masquage de l'origine	5- Transport non autorisé/inadapté
6- Étiquetage erroné	6- Contrefaire	
	7- Distribution intentionnelle de produit contaminé	
	8- Substitution par une substance non alimentaire	
	9- Vol et revente	

2.1. Définition de la fraude alimentaire

La définition de la fraude alimentaire est focalisée sur quatre volets : la qualité, la sécurité, la fraude et le « food defense ». Le risque « qualité » est une menace économique non intentionnelle. Les incidents relevant du volet « food defense » sont intentionnels : il s'agit d'actes de malveillance (incluant les actes de terrorisme) ayant pour but de déclencher une réaction de panique médiatique ou de ruiner une filière économique, ou bien tout simplement de s'attaquer à une marque ou une multinationale. Toute entreprise peut être confrontée à des situations qui ont trait à des problèmes de sûreté (intrusions, vols, sabotage).

Le risque « fraude » est intentionnel à motivation économique, mais n'intègre pas dans son caractère intentionnel la menace pour la santé publique. Les 4 disciplines de la matrice des risques alimentaires se distinguent davantage en explorant des motivations ou des causes spécifiques, et les effets de chaque type (Tableau 2). La fraude peut être entendue sous des appellations diverses dont les plus fréquentes sont, historiquement parlant, la contrebande, la contrefaçon, la contrefaction, le frelatage etc. (Figeac-Monthus and Lastécouères, 2012).

La fraude alimentaire est un terme collectif utilisé pour englober la substitution, l'ajout, la falsification ou la fausse déclaration délibérés et intentionnels d'aliments, d'ingrédients alimentaires ou d'emballages alimentaires : des déclarations fausses ou trompeuses faites sur un produit, à des fins économiques.(Spink and Moyer, 2011) (Robson et al., 2021). La falsification intentionnelle de la nourriture pour un avantage financier commis lorsque des aliments sont délibérément mis sur le marché à des fins lucratives, avec l'intention de tromper les consommateurs .(Everstine et al., 2013) (Robson et al., 2021). La fausse déclaration intentionnelle d'un fait par une seule personne, ou agissant au nom d'une organisation, afin d'encourager une autre personne à se séparer par erreur de quelque chose de valeur intrinsèque (Manning, 2016) (Robson et al., 2021). La définition officielle la plus utilisée dans la littérature scientifique est celle de (Spink and Moyer, 2011) qui définissent la fraude alimentaire comme « la substitution, l'addition, l'altération ou la présentation inexacte des aliments, des ingrédients alimentaires ou des emballages alimentaires, ou des déclarations fausses ou trompeuses faites à propos d'un produit de manière délibérée et intentionnelle à des fins de gain économique ».

La fraude alimentaire a été souvent considérée comme un problème économique et à moindre échelle une préoccupation de sécurité des produits alimentaires. Les scandales de la mélamine de 2008, de la viande chevaline en 2013, et la problématique actuelle de la fraude à grande échelle sur les produits de pêche aux Etats-Unis, révèlent aussi bien le caractère imprévisible de la fraude que la vulnérabilité des systèmes de contrôle officiels.

2.2. Les types de la fraude alimentaire

Les recherches réalisées par (Robson et al., 2021; Spink and Moyer, 2011), ont identifié et définit sept types de fraude alimentaire. Ce sont l'adultération, la falsification, le dépassement, le vol, le détournement, la simulation et la contrefaçon (Tableau 3).

La falsification d'aliments à motivation économique et la fraude alimentaire peuvent constituer un problème grave pour la sécurité sanitaire des aliments : le cas de la mélamine dans le lait a entraîné la maladie de plus de 300 000 personnes (BCC, 2010), tandis que le

syndrome d'huile d'olive toxique résultant de l'aniline dans l'huile d'olive a conduit à environ 300 décès peu après le début de la maladie et à un plus grand nombre développé de maladies chroniques (Gelpí et al., 2002).

Tableau 2: origine de risque et les effets pour les disciplines alimentaires (Spink and Moyer, 2011)

Type de risque	Exemple	Cause et motivation	Effets	Type de risque de la santé publique
Qualité d'aliment	Meurtrissure accidentelle de fruits	Mauvaise gestion ou traitement	Produit invendable ou Eventuelle contamination Additionnelle avec E. coli	Absent ou sécurité Alimentaire
Fraude alimentaire	Contamination volontaire du lait avec de la mélamine	Augmentation de la marge	Empoisonnement toxique	Sécurité alimentaire
Sécurité alimentaire	Contamination involontaire des légumes crus par E. coli	Limitation de la protection sur le terrain et des contrôles lors de la récolte et de la transformation	Morbidité et/ou mortalité	Sécurité alimentaire
« food defense »	Contamination volontaire du bœuf haché par la nicotine	Intention de vengeance contre le magasin/ directeur en s'attaquant aux consommateurs	Empoisonnement non légal	Food defense

Des exemples de fraudes alimentaires incluent l'ajout de sucre au miel, l'injection de gel aux crevettes pour les faire paraître plus grosses et peser plus. Alors que ces exemples de fraude alimentaire nuisent principalement au portefeuille et à la confiance du client, d'autres formes de fraude alimentaire peuvent constituer une menace directe pour la santé des clients et des consommateurs ; comme l'ajout de mélamine aux préparations pour nourrissons (Hilts and Pelletier, 2009). Enfin, la menace pour la santé peut être indirecte, par exemple lorsque la qualité nutritionnelle de l'aliment n'est pas celle promise en raison d'ingrédients de moindre qualité, ce qui prive le consommateur des bienfaits pour la santé pour lesquels il a payé. En tant que telle, la fraude alimentaire concerne toujours la qualité des aliments et peut être liée soit au processus (par exemple, la vente de produits non halal comme halal sans affecter intentionnellement la sécurité alimentaire (Ahmad et al., 2018)). Cependant, la fraude alimentaire peut présenter un risque pour la sécurité sanitaire des aliments en tant qu'effet secondaire et peut rendre le produit nocif pour les consommateurs, comme le formaldéhyde dans le poisson et les allergènes non déclarés ajoutés aux produits alimentaires (Tableau 3).

Tableau 3: Type de fraude alimentaire selon (Robson et al., 2021)

Terme	Définition	Exemple
Adultération	Un composant du produit final est frauduleux.	Mélamine ajoutée au lait.
Falsification	Le produit et l'emballage sont utilisés de manière frauduleuse.	Informations de péremption modifiées, étiquetage du produit, etc.
Dépassement	Le produit légitime est fabriqué au-delà des accords de production.	Sous-déclaration de la production.
Vol	Le produit légitime est volé et fait passer pour acquis légitimement.	Les produits volés sont mêlés à des produits légitimes.
Détournement	La vente ou la distribution de produits légitimes en dehors des marchés visés.	Aide alimentaire redirigée vers les marchés où l'aide n'est pas nécessaire.
Simulation	Le produit illégitime est conçu pour ressembler mais pas exactement à la copie du produit légitime.	« contrefaçons » des aliments populaires non produits avec les mêmes garanties de sécurité alimentaire.
Contrefaire	Tous les aspects du produit et de l'emballage frauduleux sont entièrement reproduits.	Copies des aliments populaires non produits avec les mêmes garanties de sécurité alimentaire.

2.3. Terminologie liée à la fraude alimentaire

2.3.1 Authenticité alimentaire

L'authenticité des aliments consiste à s'assurer que les aliments proposés à la vente ou vendus sont de la nature, de la substance et de la qualité attendues par l'acheteur (Elliott, 2014). L'authentification est le processus de vérification des caractéristiques indiquées sur une étiquette d'un produit, ce processus garantit également si un aliment est frelaté ou non, certains paramètres chimiques sont utilisés pour différencier les aliments authentiques des aliments frelatés. Plusieurs variables telles que l'origine géographique, la variété et les techniques de production doivent être évaluées lors de l'authentification des produits.

1.3.2 Intégralité alimentaire

L'intégrité alimentaire a été définie comme l'état d'être entier, non diminué ou en parfait état (Manning, 2017).

1.3.3 Criminalité alimentaire

Toute fraude alimentaire est une forme de comportement criminel, quelle que soit la définition du crime alimentaire. (Robson et al., 2021; Van Ruth et al., 2018) « La violation d'une loi pénale utilisant de la nourriture » et un « incident grave de fraude alimentaire » (Spink et al., 2019b) (Robson et al., 2021)

2.3.4. Traçabilité

La traçabilité est le processus de vérification de la relation entre une denrée alimentaire et sa source de matière. Les procédures de traçabilité étudient les paramètres chimiques pour comprendre les chemins des différentes phases au sein d'une chaîne de production. Si un échantillon alimentaire pouvait être lié à ses matières premières ; cela pourrait être authentique. Authentification et capacité sont des concepts différents, mais suivez les objectifs de partage qui garantissent la qualité des produits alimentaires pour le bénéfice des consommateurs (Pestel, 2021).

2.3.5. Falsification

La falsification est l'action par laquelle un produit alimentaire est modifié en y ajoutant des produits inférieurs ou faux, ou en prenant une partie de son contenu précieux. L'ajout d'un faux produit peut être fait pour augmenter le poids ou l'apparence d'un produit à Améliorer son allure générale, voire lui offrir une fausse solidité (Saadat et al., 2022).

2.4. Typologie des fraudes alimentaires

D'après la littérature il y a deux types de classifications pour les fraudes alimentaires, une classification fonctionnelle et autres types de classification (Plavinet and Jolivet, 2003)

2.4.1. Typologie fonctionnelle

2.4.1.1. Fraude par adultération

Ce type de fraude consiste à l'ajout d'une substance dans un produit dans le but d'augmenter la valeur apparente d'un produit ou de réduire le coût de sa production ; elle comprend la dilution des produits avec de plus grandes quantités d'une substance déjà présente dans la mesure où cette dilution présente un risque connu ou possible pour la santé des consommateurs, ainsi que l'ajout ou la substitution des substances afin de masquer la dilution ». Ce type de fraude est appelé souvent l'appellation : Adultération à motivation économique «EMA» (Spink and Moyer, 2011). L'adultération à motivation économique peut inclure plusieurs pratiques de fraude, les produits les plus touchés par ce type de fraude sont : l'huile d'olive, le lait, le miel, le safran, le jus d'orange, le café, et le jus de pomme (Spink, 2019). Le mouillage du lait ou des jus de fruits, l'ajout de sucre au miel, la présentation du lait écrémé comme lait entier, un fromage de chèvre à base de lait de vache, la mention « Halal » sur un produit pouvant par exemple contenir de la viande porcine, les OGM « organismes génétiquement modifiés » que les industriels peuvent utiliser dans un produit sans mention d'étiquetage, l'allégation « 100% végétal » alors que l'analyse de produit montre la présence d'ingrédients d'origine animale et le remplacement d'un arôme naturel par un arôme synthétique représentent les exemples qui illustrent le mieux l'adultération à motivation économique (Tableau 4).

2.4.1.2. Fraude pour « Non-Conformité »

La fabrication des produits alimentaires est soumise à des législations/réglementations spécifiques. Lorsqu'un produit alimentaire ne respecte pas les textes auxquels il est soumis, ce produit est qualifié non conforme d'où la notion de fraude pour non-conformité. La fraude pour non-conformité se résume par l'acte de violation d'un texte réglementaire sur les AOC (Appellations d'origine contrôlée), la certification de qualité (Label Agricole, Agriculture Biologique...), ainsi que les Codes d'Usages Professionnels et les codes des Bonnes Pratiques d'Hygiène (Tableau 4). (Plavinet and Jolivet, 2003).

2.4.1.3. Fraude par contamination

cette catégorie de fraude prend définition lorsqu'un produit alimentaire contient parmi ses ingrédients, une substance dite « xénobiotique », c'est à dire une molécule chimique polluante et parfois toxique dont l'origine peut être variable et qui peut être recherchée tout le long de la chaîne de fabrication d'un produit (Chambolle, 1999). Une substance xénobiotique peut être une substance interdite, une substance non interdite mais dépassant un niveau fixé par voie réglementaire, une substance naturelle nouvelle, peu ou pas utilisée ou consommée

ou une substance totalement étrangère à l'élaboration du produit et à sa composition habituelle. Cette catégorie de fraude diffère des deux précédentes par le fait que le produit comporte un risque pour la santé publique (Tableau 4).

Tableau 4: quelques exemples de la fraude alimentaires selon la typologie

Typologie des frauds	
Fraude adultération	par - La dilution d'un ingrédient afin de réduire les coûts de fabrication. - Le remplacement d'un ingrédient par un autre ingrédient moins cher sans modifier la déclaration des ingrédients sur l'étiquette du produit. - L'omission intentionnelle d'un ingrédient qui est par ailleurs inclus dans la déclaration des ingrédients sur l'étiquette du produit. - La soustraction d'une substance sans modification de l'étiquetage.
Fraude pour « Non- Conformité »	- Non-conformité à une origine géographique : Miel importé présenté comme miel national. - Non-conformité à une origine spécifique : le changement des noms des végétaux butinés par les abeilles selon la préférence majoritaire des consommateurs en vue de mieux vendre ce miel - Non-conformité à une origine variétale
Fraude contamination	par - Violation d'un texte législatif ou réglementaire relatif à la sécurité des aliments : substances anabolisantes, des additifs chimiques - Contamination par une substance naturelle ou biologique non autorisée : l'aspect toxique de la substance utilisée comme ingrédient - Contamination par une substance étrangère : la contamination des produits laitiers par les dioxines

2.4.2. Autres types de classification

La classification des fraudes alimentaires peut reposer non seulement sur une base Fonctionnelle mais aussi en se focalisant sur les différentes formes qu'elle peut prendre dans les divers produits commercialisés sur le marché comme la dilution, le surglazurage, Le trempage, le lestage, le masquage d'un défaut de qualité, dissimulation d'un traitement technologique de la denrée, substitution par un produit de moindre qualité ou par une autre espèce et fraude sur l'étiquetage (Spink et al., 2019a).

2.5. Le risque sanitaire lié à la fraude alimentaire

La sécurité alimentaire est une question importante qui concerne tous les peuples du monde. De nombreux pays à travers le monde sont de plus en plus interdépendants de la disponibilité de leur approvisionnement alimentaire et de sa sécurité. Par conséquent, partout dans le monde, les gens accordent de plus en plus d'importance à la sécurité alimentaire ; la production alimentaire doit être effectuée en toute sécurité afin de maximiser les gains de santé publique et les avantages environnementaux. La sécurité alimentaire traite de la protection de la chaîne d'approvisionnement alimentaire contre l'introduction, la croissance ou la survie d'agents microbiens et chimiques dangereux (Uyttendaele et al., 2016)

La fraude alimentaire ne pose pas toujours de risques directs pour la sécurité sanitaire des aliments. Cependant, lorsqu'un aliment est frelaté ou autrement modifié, transformé ou (ré) emballé frauduleusement, il en résulte un produit qui présente des risques importants pour la santé et le bien-être des personnes qui le consomment. Les fraudeurs alimentaires ajoutent des matières telles que des colorants, des agents de rétention d'eau et des conservateurs non approuvés pour augmenter le prix de vente de l'aliment ou pour prolonger sa durée de conservation. Les résultats pour les consommateurs peuvent inclure une intoxication chimique aiguë, des réactions à médiation allergène, une intoxication chronique et des maladies causées par des agents pathogènes introduits au cours des processus de falsification (Spink et al., 2019b). Un exemple alarmant des risques pour la santé posés par la fraude alimentaire peut être trouvé dans le curcuma, une épice généralement réputée pour ses propriétés bénéfiques pour la santé. Une proportion importante de curcuma en poudre commercialisé dans le monde s'est avérée contenir des niveaux dangereux de chromate de plomb toxique, ajouté comme rehausseur de couleur pendant le processus de polissage. Le plomb a également été trouvé dans la poudre de curry, le cumin et la cannelle. Une enquête récente portant sur 50 épices de 41 pays a révélé que plus de 30 % des 1 496 échantillons contenaient du plomb à des concentrations supérieures à 2 ppm, un niveau 200 fois supérieur au maximum recommandé pour les bonbons aux États-Unis. Au-delà de l'adultération, d'autres types de fraude alimentaire présentent également des risques pour la sécurité alimentaire. Les exemples comprennent: la viande de cheval provenant de chevaux de sport entrés illégalement dans la chaîne alimentaire humaine. Les chevaux de sport sont traités avec des médicaments vétérinaires qui peuvent présenter un risque pour la santé humaine. Le changement des dates de péremption des produits de la mer pour rendre les produits périmés commercialisables. La fabrication de produits alimentaires contrefaits dans des locaux non agréés et insalubres.

2.5.1. Adultération alimentaire

La falsification des aliments a été discutée comme un risque majeur pour la santé publique associé aux problèmes de sécurité alimentaire sur le marché alimentaire. La plupart des denrées alimentaires sur le marché sont falsifiées à des degrés divers. Produits chimiques (tels que les engrais à base d'urée, arômes artificiels, colorant textile, formol, chlorofluorocarbène, bicarbonate de sodium, neutralisants, détergents, peroxyde d'hydrogène, soude caustique, chlorure de sodium, acide borique, sulfate d'ammonium, sorbitol, jaune de métanil, bleu outremer, rhodamine B., anhydride maléique, chlorophylle de cuivre, jaune de diméthyle/diéthyle); les articles qui ne sont pas le véritable composant des aliments (comme la purée de pommes de terre, la graisse et les intestins de vache dans le ghee¹, l'eau dans le lait, le sucre dans le miel, etc.) ; produits de mauvaise qualité; et les agents physiques ou inertes (comme la sciure² de bois et la poudre de brique) sont les adultérants les plus courants ajoutés à différents produits alimentaires (Gizaw, 2019).

2.5.2. Contamination chimique

La contamination des aliments par des produits chimiques dangereux est un problème majeur de santé publique associé au marché alimentaire. Les composés chimiques les plus utilisés ont été rapportés dans l'article de Gizaw (2019) à savoir les métaux lourds (comme le cadmium, le nickel, le plomb, le cuivre, le zinc, le fer, le mercure et le manganèse), les résidus de pesticides (comme le dichlorvos, le diméthoate, le parathion-méthyl, le pirimiphos-méthyl et le parathion), les polluants organiques persistants (comme les métabolites du dichlorodiphényltrichloroéthane, biphényles polychlorés, acide perfluorooctanoïque, endosulfans et aldrine), composés organiques (comme la patuline, le chloroforme, le formol et l'urée), composés organiques volatils (comme l'éthylbenzène, l'o-xylène et le benzène), hydrocarbures (comme le benzo[a]pyrène et toluène).

2.5.3. Contamination bactérienne

Plusieurs maladies liées au contamination bactérienne sont provoquées principalement par : *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Shigella* spp., *Enterobacter* spp., *Proteus* spp., *Citrobacter* spp. *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter* spp., *Listeria* spp., *Alklegens* spp., *Bacillus cereus*, *Pseudomonas* spp., *Clostridium perfringens*, *Arcobacter* spp. et *Enterococcus* spp. De plus, différents champignons tels que *Blastomyces*, *Fusarium* spp., *Mucor* spp., *Aspergillus niger*, *Fusarium avenaceum*, *Penicillium digitatum*, *Rhizopus*

¹ Le ghee : beurre clarifié, ingrédient phare de la gastronomie traditionnelle indienne

² La sciure² de bois désigne l'ensemble des petites particules et fins copeaux issus du sciage de bois.

stolonifer, *Saccharomyces* sp, *Fusarium solani*, *Aspergillus flavus*, *Saccharomyces dairensis* et *Saccharomyces exiguus*. Les coliformes totaux, les coliformes fécaux et différents champignons ont été fréquemment signalés dans les pays en développement par rapport aux pays développés. D'autre part, différentes espèces de *Campylobacter* ont été signalées dans les pays développés par rapport aux pays développés (Ghsemain et al., 2011; Gizaw, 2019).

2.5.4. Utilisation abusive des additifs alimentaire

L'utilisation abusive des additifs alimentaires sur le marché alimentaire met en danger la santé publique comme il a été indiqué par (Gizaw, 2019), même si certains colorants et édulcorants alimentaires sont autorisés à utiliser, tels que le jaune du soleil FCF (SSYFCF), la tartrazine, l'érythrosine, la nouvelle coccine, le ponceau et la saccharine (certains peuvent ne pas être autorisés en fonction des réglementation alimentaire de chaque pays), leur concentration dépassait la limite prescrite. De plus, l'utilisation de colorants et d'édulcorants non autorisés tels que la rhodamine B, le jaune de métil, l'orange II, le vert de malachite, l'auramine, le jaune de quinoléine, l'amarante, la carmoisine, le colorant soudan et le cyclamate.

Chapitre 2 :
**Aperçu sur les techniques de détection
de fraude**

1. Généralité :

Le nombre croissant des scandales liés aussi bien à la sécurité sanitaire des produits alimentaires, qu'aux pratiques frauduleuses ont incité les autorités concernées dans chaque pays dans le monde à renforcer les systèmes de traçabilité déjà présents et à mettre en œuvre des techniques analytiques rapides ou classiques permettant la détection des fraudes et l'authentification des aliments (Careri et al., 2002). Le terme « Authentification », utilisée dans le contrôle alimentaire, fait référence à la confirmation de toutes les exigences en ce qui concerne la description légale du produit ou la détection des fraudes. Il tient particulièrement compte de :

- La substitution par des ingrédients moins chers, mais similaires ;
- L'adultération (par l'eau, l'amidon, y compris un matériel exogène) ou des processus de mélange et /ou non déclarés (par exemple irradiation, extraction) ;
- L'origine, par exemple géographique, des espèces ou les méthodes de production.

La stratégie de l'authentification alimentaire repose sur deux approches analytiques. La première approche dite « classique » ou « ciblée » consiste à rechercher des marqueurs spécifiques indicateurs d'une certaine qualité du produit, elle se focalise sur la l'absence d'un adultérant spécifique. C'est une approche très utilisée dans la détection de la fraude alimentaire ; elle reste cependant limitée car elle ne permet pas de détecter d'autres adultérants inconnus. La seconde approche dite « non ciblée » basée sur empreintes alimentaires « fingerprinting » qui teste spécifiquement l'identité, l'authenticité et la pureté d'un ingrédient alimentaire (c'est-à-dire ce qui est censé être présent et en quelle quantité) au lieu de ce qui ne devrait pas être présent. L'approche a pour avantage de détecter les adultérants tant connus qu'inconnus (Moore et al., 2012). D'après Esslinger et al. (2014) Il existe deux autres stratégies : la réalisation du profil alimentaire « Food Profiling » qui est une approche intermédiaire « ciblé » et « non-ciblé », et la technologie dite « La métabolomique » ou « metabolomics »

2. Aperçu sur les techniques rapides de détection de fraude

Les stratégies traditionnelles de contrôle de la qualité ne sont pas conçues pour trouver un nombre infini de contaminants potentiels. Pour ces raisons, une approche plus globale est nécessaire, basée sur la mesure, et l'évaluation de plusieurs composés à la fois, c'est à dire une approche de « fingerprinting » ou « l'emprunt alimentaire ». En outre, dans les milieux industriels et de laboratoires, il y a toujours la nécessité de mettre en œuvre des méthodes de dépistage qui sont en mesure d'identifier de manière fiable, pour un grand nombre d'échantillons, ceux q ui sont potentiellement non-conformes. Le « fingerprinting » se réfère à

un spectre caractéristique ou à une image d'un matériau d'essai qui peut être liée à ses propriétés et donc à son authenticité, de la même manière qu'une empreinte digitale est spécifique à chaque humain (Capuano and Van Ruth, 2012).

2.1 Techniques spectroscopiques

2.1.1. Spectroscopie vibrationnelle

La spectroscopie vibrationnelle étudie les interactions entre le rayonnement électromagnétique et les états vibrationnels du noyau atomique. Les longueurs d'onde auxquelles se produisent les processus d'absorption, ce sont des caractéristiques propres à chaque type de liaison, et cette technique dépend de l'environnement et de la structure moléculaire de la molécule. Par conséquent, la mesure de l'absorption radioactive sur la gamme de longueurs d'onde doit être appropriée, car cela fournit des informations distinctives et précises sur les types et le nombre de particules dans l'échantillon à détecter. (Downey, 2013). La Spectroscopie vibrationnelle, se compose en de deux méthodes : (i) l'absorption infrarouge dans les domaines spectraux proche (NIR) et moyen (MIR), ainsi que la spectroscopie Raman, permettent une analyse chimique d'empreintes digitales d'un échantillon alimentaire intact *in situ*, et (ii) la spectroscopie Raman (Hassoun et al., 2020a). La spectroscopie vibrationnelle fournit des informations physiques et chimiques sur les molécules en fonction de leur force vibratoire, les méthodes qui sont basée sur spectroscopie vibrationnelle, sont peu coûteuses et rapides, et leurs efficacité pratique est grande, précise et facile. Elles ne détruisent pas l'échantillon, et sont exempts de réactifs, et peuvent être utilisées directement sur la surface de l'aliment et la technologie peut être portable, ce qui aide à l'analyse et à l'évaluation rapides du produit alimentaire tout au long de la chaîne de fabrication alimentaire et à toutes les étapes.

2.1.1.1 Spectroscopie dans le moyen et proche infrarouge (MIR et NIR)

La spectroscopie infrarouge est une technique rapide et non destructive pour l'authentification des échantillons d'aliments. L'analyse d'un échantillon alimentaire en utilisant le spectre MIR (4000- 400 cm^{-1}) révèle des informations sur les liaisons moléculaires présentes et peut donc donner des détails sur les types de molécules présentes dans les aliments. La spectroscopie NIR utilise la gamme spectrale de 14 000 à 4000 cm^{-1} , et fournit beaucoup plus d'informations sur des structures complexes, liées au comportement vibratoire des combinaisons des liens. Ces techniques sont adaptées à l'utilisation en milieu industriel en raison de leur facilité d'utilisation et des coûts relativement faibles en investissement et en fonctionnement.

La spectroscopie dans le proche infrarouge a été exploitée pour la recherche de la falsification des purées de fruits, des jus, du sirop d'érable, du miel, du lait en poudre, de l'huile d'olive avec une variété d'adultérant communs et avec des limites d'erreur très faibles, ainsi que pour la différenciation des vins sur la base de cépage, ce qui a abouti à des niveaux de classification correcte jusqu'à 100% (Böhme et al., 2017). Les spectres NIR ont été utilisés pour détecter la présence des substituants d'azote (mélamine, urée...) dans les poudres de lait.

2.1.1.2 Spectroscopie Raman

La spectroscopie Raman fournit un spectre unique de l'empreinte de plusieurs composantes. La technique est apparemment adaptée à l'analyse des produits alimentaires, principalement en raison de la diversité des composantes qui peuvent être sondés, allant de macro-composants alimentaires, tels que des lipides, des hydrates de carbone, et des protéines à des composants mineurs tels que des colorants, des pigments et des composés de l'arôme. La spectroscopie Raman offre un net avantage sur la spectroscopie IR en permettant l'analyse des produits alimentaires au travers du conditionnement (plastique ou en verre) (Ellis et al., 2015).

2.1.2. Résonance magnétique nucléaire (RMN).

La résonance magnétique nucléaire permet d'étudier le rayonnement absorbé par les noyaux des atomes, d'où le terme « nucléaire ». Comme il peut absorber un rayonnement électromagnétique monochromatique (une fréquence), d'où le terme « résonance », en présence d'un fort champ magnétique, d'où le terme « magnétique ». (Hassoun et al., 2020a). Cette technique est considérée comme l'une des techniques chimiques les plus puissantes, et les plus avancées pour analyser la qualité des aliments, permettant de donner clairement le contenu, la pureté et la structure de la substance (Parik and Güzeler, 2016). L'accent mis sur la recherche RMN pour authentifier les compositions lipidiques dans les aliments est dû au fait que les lipides dans les mélanges de lipides semblent être caractéristiques de leur origine. La haute résolution de la RMN permet la découverte de la spécificité de la composition lipidique au niveau moléculaire. Effets solvants, semblent cependant compliquer les affectations spectrales. Les travaux de Schmidt et al. (2019) ont pu vérifier que les techniques de RMN peuvent parfaitement distinguer les acides gras oméga-3 des acides gras oméga-6 dans les mélanges. Authentification des empreintes digitales des lipides est un composant essentiel et une condition préalable pour vérifier correctement l'adultération. La RMN a été également utilisée pour la réalisation des profils des différents métabolites du lait (Sundekilde et al., 2013).

2.1.3. Spectroscopie de fluorescence

La spectroscopie de fluorescence est basée sur la mesure de la distribution spectrale de l'intensité de la lumière émise par des molécules excitées électroniquement. La fluorescence couplée à la chimométrie a été largement utilisée dans les études alimentaires, y compris pour les produits d'origine animale (Shaikh and O'Donnell, 2017). Les principaux avantages de la fluorescence par rapport aux autres techniques spectroscopiques sont la sensibilité et la sélectivité les plus élevées. En raison de ces caractéristiques, la fluorescence est particulièrement utile pour étudier les composants mineurs et traces dans les matrices alimentaires complexes (Kumar et al., 2017).

Le lait et les produits laitiers possèdent plusieurs fluorophores³ intrinsèques notamment la vitamine A, les chlorophylles, le nicotinamide adénine di nucléotide (NADH), les porphyrines, les produits de réaction de Maillard, la riboflavine et les produits d'oxydation des lipides (Shaikh and O'Donnell, 2017). Ainsi que la viande et poissons et d'autres fruits de mer contiennent beaucoup de fluorescents tel que la pyridinoline dans le collagène, résidus de tryptophane, dans les protéines, les produits d'oxydation des lipides, la vitamine, la riboflavine, le NADH, et les acides aminés et nucléiques aromatiques (Hassoun et al., 2019). Les comportements de fluorescence unique des produits alimentaires ont été utilisés avec succès dans des études d'authentification d'aliments d'origine animale, y compris le miel, le lait, le produit laitier, la viande, le poisson et les fruits de mer.

2.1.4. Autres techniques spectroscopiques

2.1.4.1. Spectroscopie de masse (Spectroscopie d'absorption et d'émission atomique)

L'avancement des technologies dans la production alimentaire permet aux chercheurs de concevoir des techniques analytiques pour assurer la qualité et la sécurité des aliments contre les contaminants bactériens et chimiques et la toxicité alimentaire (Khan and Rahman, 2021). Afin d'analyser certains composés alimentaires inconnus, une technique largement utilisée, qui est la technique de spectrométrie de masse. Par rapport à d'autres techniques, cette technique nécessite une petite quantité d'échantillon, et cette technique se caractérise par une grande précision et la possibilité de répéter ses résultats. D'autre part, le spectromètre de masse remplit trois fonctions de base, dont la plus importante est l'ionisation des molécules pour produire des ions, positifs ou négatifs, grâce à certaines techniques telles que l'influence électronique ou la pression atmosphérique, ainsi que la séparation des ions. La charge et enfin

³ fluorophores : composé chimique fluorescent

la détection des ions séparés, l'échantillon est inséré dans le spectromètre de masse soit directement soit par la sonde d'entrée (Zeb, 2021). La spectrométrie par absorption permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques à l'état de traces (quelques mg/litre). L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental ; on utilise à cet effet en général des solutions. Cette méthode est quantitative et nécessite une courbe d'étalonnage. Elle présente de nombreux avantages : très sélective, pas d'interférences spectrales ou interférences connues, simple, mais relativement coûteuse. La spectroscopie atomique est utilisée pour l'établissement profil de la composition minérale et xénobiotique des produits alimentaire, comme le lait, le miel ou la viande.

2.1.4.2. Technique de spectroscopie en ultraviolet-visible (une méthode ciblée)

En raison de l'expansion des domaines de recherche en science alimentaire et dans l'industrie des aliments transformés, de nombreuses méthodes ont été utilisées pour détecter et analyser un large éventail des échantillons alimentaires tels que la viande, les produits laitiers et les aliments transformés. La spectroscopie d'absorption de la lumière ultraviolette était la méthode la plus utilisée pour détection et identification de certains composés organiques et inorganiques en raison de sa simplicité, de sa rapidité et de la précision de ses résultats (Khan and Rahman, 2021). Cette technique est basée sur le phénomène d'absorption de la lumière, et la quantité d'analyse est proportionnelle à la lumière absorbée (plus le pourcentage d'absorption de la lumière est élevé, plus le pourcentage d'analyse est élevé) Onde de rayonnement électromagnétique afin d'obtenir un spectre. C'est une technique de spectroscopie mettant en jeu les photons dont les longueurs d'onde sont dans le domaine de l'ultraviolet (200 nm - 400 nm), du visible (400 nm - 750 nm) ou du proche infrarouge (750 nm -1400 nm). Soumis à un rayonnement dans cette gamme de longueurs d'ondes, molécules, ions ou complexes sont susceptibles de subir une ou plusieurs transitions électronique (s). Les substrats analysés sont le plus souvent en solution, mais peuvent également être en phase gazeuse et plus rarement à l'état solide. Le spectre électronique est la fonction qui relie l'intensité lumineuse absorbée par l'échantillon analysé en fonction de la longueur d'onde. Le spectre est le plus souvent présenté comme une fonction de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde. Il peut aussi être présenté comme le coefficient d'extinction molaire en fonction de la longueur d'onde. Cette méthode analytique a été appliquée à la détermination de la teneur en collagène des viandes incorporées dans les produits de charcuterie par le dosage de l'hydroxyproline (Reid et al., 2006), ainsi qu'à la détection de la présence de colorants étrangers dans le colorant Carmin de cochenille (E-120).

2.1.4.3. Spectroscopie infrarouge

Le développement remarquable dans le domaine de la fabrication alimentaire a conduit à l'émergence de nombreuses techniques de fabrication, qui peuvent contribuer à la triche dans certains aliments. Par conséquent, les scientifiques ont travaillé à inventer de nombreuses techniques pour le détecter, y compris la spectroscopie infrarouge. La spectroscopie infrarouge est une spectroscopie utilisant la lumière infrarouge. La plupart des liaisons moléculaires sont caractérisées par l'absorption de fréquences spécifiques du rayonnement infrarouge. Cette technologie fournit des résultats avec une grande précision, une vitesse élevée (plusieurs secondes) et est peu coûteuse. Cette technologie est considérée comme respectueuse de l'environnement, car elle peut s'affranchir des analyses de laboratoire chronophages et est la plus courante pour mesurer la qualité de nombreux produits laitiers (Zaharescu and Mocioiu, 2013).

2.1.4.4. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

La spectroscopie FT-IR permet une analyse rapide, non-destructive et à haut débit d'un large éventail d'échantillons. Cette technique est basée sur le principe que lorsqu'un échantillon est exposé à un faisceau infrarouge (généralement dans le moyen ou le proche infrarouge), les groupements fonctionnels au sein de l'échantillon absorbent ce rayonnement et vibrent selon un mode reconnu (tel que les vibrations d'étirement ou de flexion). Ces absorptions/vibrations peuvent ensuite être directement corrélées avec des espèces chimiques. Le spectre d'absorption infrarouge qui en résulte peut donc être décrit comme "empreinte" d'un produit chimique (Hassoun et al., 2020a).

2.2. Autres méthodes analytiques

2.2.1. Technique basées sur l'ADN

Le sujet de l'industrie alimentaire est devenu controversé en raison des changements et de la fraude alimentaire qui s'y déroulent. Pour améliorer la détection de la fraude alimentaire, un ensemble de techniques basées sur l'ADN ont été développées, toutes basées sur des polymorphismes dans les codes génétiques de différentes espèces, et ces techniques ont été appliquées pour faire la distinction entre de nombreux types de sources de nourriture et de quoi il s'agit (Mazzara et al., 2013). Les techniques basées sur l'ADN sont utiles pour étudier la pertinence des aliments en raison de leur grande résistance à la dégradation, de leur grande sensibilité et de leurs résultats prouvés. Selon Saadat et al. (2022) Les techniques générales basées sur l'ADN passent par trois étapes : (i) Extraction d'ADN, (ii) Réaction en chaîne par polymérase PCR suivie d'une amplification et (iii) la détection. Pour tester l'authenticité des produits alimentaires, par exemple, le code-barres ADN a été utilisé pour identifier les

espèces dans les poissons comestibles et les produits laitiers. L'application du codage à barres de l'ADN et du métabolisme de l'ADN à l'analyse des aliments a été examinée (Tableau 5). Ces techniques sont rapides, abordables et sensibles mais ne conviennent pas toujours aux aliments hautement transformés en raison de la perte d'intégrité de l'ADN. Dans la nourriture (Saadat et al., 2022), chaque type d'aliment a une méthode d'analyse spéciale et différente pour fournir des résultats plus satisfaisants dans la détection de la fraude. Ces techniques sont aussi applicables pour la détection de la pollution générale dans les aliments qui proviennent de sources animales et sont donc utiles dans les applications de détection de fraude alimentaire (Saadat et al., 2022). Ainsi, les techniques basées sur l'ADN connaissent un développement technologique continu en termes de rapidité, de performance, de flexibilité et de sensibilité, et la technique la plus utilisée est la PCR, qui a ajouté aux enquêtes sur la fraude alimentaire plus de rapidité, de précision et la capacité d'identifier les espèces dans les aliments. Les techniques de prise d'empreinte alimentaire par PCR ont été largement utilisées pour l'identification des espèces. Par exemple, l'identification des dix espèces du genre de saumon dans une large gamme de produits commerciaux peut être réalisée par PCR-RFLP basée sur l'amplification d'une région spécifique du gène du cytochrome b mitochondrial suivie d'une électrophorèse sur gel de polyacrylamide. Les empreintes génomiques montrent un potentiel unique pour l'authentification de l'espèce ou de la variété des produits alimentaires. L'introduction de la PCR a notamment augmenté le potentiel de cette approche. Cependant, par rapport à d'autres techniques d'empreintes, elle est relativement longue et nécessite une main d'œuvre importante. Son applicabilité aux problèmes de fraude autres que l'identification génétique est limitée. En outre, la transformation des aliments peut dégrader la molécule d'ADN et réduire sa récupération et donc affecter négativement les résultats d'une analyse lorsqu'elle est appliquée à des aliments fortement transformés.

Tableau 5: quelques exemples sur les applications des techniques basées sur l'ADN et leurs avantages et inconvénients dans l'analyse des aliments (Saadat et al., 2022).

Techniques	Application alimentaire médico-légale	Avantages	Inconvénients (Saadat et al., 2022)
Test PCR	Identification de la viande des différentes espèces	<ul style="list-style-type: none"> - Haute résistance à la dégradation - Reproductible - Spécifique - Sensible 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitatif - Détection du point final - La manipulation post-PCR augmente - Les contaminations Moins sensible - Prend du temps Sujet aux inhibiteurs
PCR-TR	<ul style="list-style-type: none"> - Détection de l'adultération du lait de bufflonne dans le lait de vache - Identifier les espèces animales telles que la vache le mouton et la chèvre 	<ul style="list-style-type: none"> - Fiable - Sensible - Rapide - Spécifique 	<ul style="list-style-type: none"> - Matériel de/détection :et consommable coûteux - Nécessité d'une sonde fluorescente - Limité au laboratoire de référence
Code-barres ADN	- transparence des marchés des produits de la mer	<ul style="list-style-type: none"> - Pas cher - Sensible - identifier les espèces de n'importe quel stade 	<ul style="list-style-type: none"> - Dégradation. - Une standardisation. Du protocole est nécessaire
Puce à ADN	<ul style="list-style-type: none"> - Identification des traces dans le lait et de la viande - Authentification de la viande pour les enquêtes médico-légales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rapide - Sensible 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible intensité du Signal - Analyse inexacte

2.2.2. Technique basée sur les protéines et les méthodes associées

La plupart des aliments qui existent à l'heure actuelle sont produits à partir d'organismes vivants et des tissus, où les protéines et les peptides font partie des composants de base, et jouent un rôle efficace dans la détermination de certaines propriétés et fonctions des aliments. Les techniques basées sur les protéines, dans lesquelles on mesure le poids moléculaire des protéines, par exemple, nous prenons la fabrication de produits laitiers, qui est souvent trompée en mélangeant du lait de valeur commerciale avec du lait de vache, afin de profiter de la alternatives des acides aminés de long des chaînes protéiques qui affectent Il est détecté par électrophorèse par spectrométrie de masse (Mamone et al., 2009)

D'autre part, il existe plusieurs autres façons de détecter les protéines, grâce aux rayons ultraviolets, grâce auxquels les quantités de protéines sont déterminées, car cela dépend de l'absorption de protéines contenant une très petite quantité de liaisons.

2.2.3. Techniques isotopiques

La technique isotopique est une technique largement utilisée dans authenticités des aliments, en raison du fait qu'elle contient des isotopes lourds $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, isotopes stable à la lumière $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$, et $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$. L'analyse des isotopes est une technique très utilisée dans la détection du fraude alimentaire et surtout dans la détermination de l'origine géographique d'un produit animal, ainsi dans les produits issus de l'aquaculture (élevage biologique ou conventionnel intensif ou extensif) (Li et al., 2016). Les isotopes stables des produits d'origine animale peuvent être affectés par un facteur environnemental, tel que la salinité. La salinité d'un écosystème marin est différente à écosystèmes d'eau douce a généralement contient de faible valeurs de ^{13}C et ^{15}N .

2.2.4. Techniques élémentaires

L'une des méthodes analytiques par laquelle la composition des composés organiques est trouvée à travers les gaz émis par la combustion de l'échantillon, car les éléments prédominants sont le carbone, l'azote, l'oxygène et l'hydrogène, qui peuvent traiter de nombreuses données de manière continue, séparés du laboratoire et automatiquement, fournissant des informations de base, donc des techniques chromatographiques sont utilisées pour séparer ces gaz, afin de lever leurs ambiguïtés en les analysant avec des techniques spectroscopiques telles que la spectrométrie de masse, la résonance magnétique nucléaire , fluorescence spectroscopique (Francis Rouessac, 2007).

Cette technique est utilisée pour vérifier l'authenticité et la qualité des aliments Par conséquent, plusieurs échantillons de miel au Brésil ont été analysés en identifiant 42

éléments et en les analysant par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS), dans le but de connaître la région d'où il provenait (Batista et al., 2012).

2.2.5. La chromatographie

Les méthodes chromatographiques les plus utilisées dans le domaine des analyses alimentaires, sont la chromatographie en phase gazeuse et la chromatographie liquide à haute performance HPLC. La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une technique qui permet de séparer des molécules volatiles d'un mélange éventuellement très complexe. Le mélange à analyser est vaporisé à l'entrée d'une colonne le plus souvent capillaire greffée d'une phase stationnaire active solide ou liquide. Le mélange vaporisé est transféré à travers la colonne au moyen d'un gaz vecteur. Les différentes molécules du mélange vont se séparer et éluer de la colonne après un certain laps de temps qui est fonction de l'affinité de la phase stationnaire pour ces molécules. La CPG est typiquement utile pour l'analyse de produits chimiques non polaires et semi-polaires, volatiles et semi-volatiles, elle est souvent utilisée pour l'analyse des stérols, des huiles, des acides gras à courtes chaînes, des composants d'arôme, et de nombreux contaminants, tels que les pesticides, les polluants industriels, et certains résidus de médicaments retrouvés dans les aliments (Lehotay and Hajšlová, 2002). Dans le domaine spécifique de la fraude alimentaire, cette méthode est utile pour la détection de l'adultération de l'huile d'olive, par la détermination de leur composition en acides gras. La chromatographie en phase liquide est une technique d'analyse quantitative, qualitative, et séparative. Ce type de chromatographie repose sur la séparation de composés entraînés par un liquide (phase mobile) à travers une phase stationnaire greffée sur une colonne chromatographique, soit fixé sur une surface inerte. La séparation s'opère suivant les interactions chimiques ou physiques des composantes avec la phase mobile ainsi qu'avec la phase stationnaire. Cette méthode est utilisée pour la recherche de composés-marqueurs spécifiques à certains produits alimentaires comme les tocophérols pour la vérification de l'authenticité des amandes, la teneur en hydroxyméthylfurfural dans le miel et de la teneur en théobromine dans le chocolat, l'authentification du miel du Manoka par la recherche du Facteur-Unique-Manoka « unique factor Manoka », et la détection du colorant Soudan I et de la mélamine dans le lait. Actuellement, les méthodes chromatographiques sont très souvent couplées à la spectrométrie de masse.

2.2.6. La spectrométrie de masse couplée à la chromatographie

La spectrométrie de masse couplée aux méthodes chromatographiques (chromatographie en phase gazeuse et liquide), a été utilisée pour l'authentification des lipides de certains aliments comme le beurre de cacao. La spectrométrie de masse, seule, permet la

réalisation du profil des composés phénoliques, ainsi que les composés volatiles, tandis que la chromatographie s'applique aux acides aminés, les glucides, et les composés phénoliques (Careri et al., 2002)

Tableau 6: Autres techniques de chromatographie utilisée pour détecter la fraude dans l'alimentation

Techniques de chromatographie	Exemple de l'application
Chromatographie en phase gazeuse	Analyse d'aliments liquides tels que le lait
Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse	
La chromatographie en phase liquide avec à haute performance	Détection d'adultérant tels que la phosphodiesterase 5 dans les produits alimentaire
Chromatographie en phase liquide à haute performance	Identification du colorant dans les aliments
La chromatographie en couche mince	Agents colorants synthétique solubles dans l'eau dans les viandes et produits à base de viande
Spectrométrie de masse haute résolution	
Chromatographie nano-liquide avec la spectrométrie de masse	Détection quantitative de médicaments vétérinaires dans le lait et le miel

Figure :les techniques de chromatographie (figure dressée par nos soins à partir des données de Saadat et al. (2022)

Chapitre 3 :
**Exemples d'utilisation de méthodes
spectroscopiques pour détecter la fraude**

Généralité

La fraude alimentaire est considérée comme une menace mondiale, en raison de ses conséquences économiques et sanitaires, et appelle une attention urgente pour la réduire. Les crises mondiales qui se sont produites ont accru la sensibilisation des consommateurs à la fraude alimentaire. Afin de lutter contre ce phénomène tout au long des étapes de la chaîne d'approvisionnement, un ensemble de méthodes analytiques ont été utilisées pour étudier l'empreinte alimentaire et détecter ses composants et éléments étrangers et également révéler la source géographique (Onyeaka et al., 2022).

Les denrées alimentaires les plus vulnérables à la fraude alimentaire en raison de leur forte demande par les consommateurs sont : la viande, le lait, le poisson, le miel et tous leurs dérivés (Figure 1).

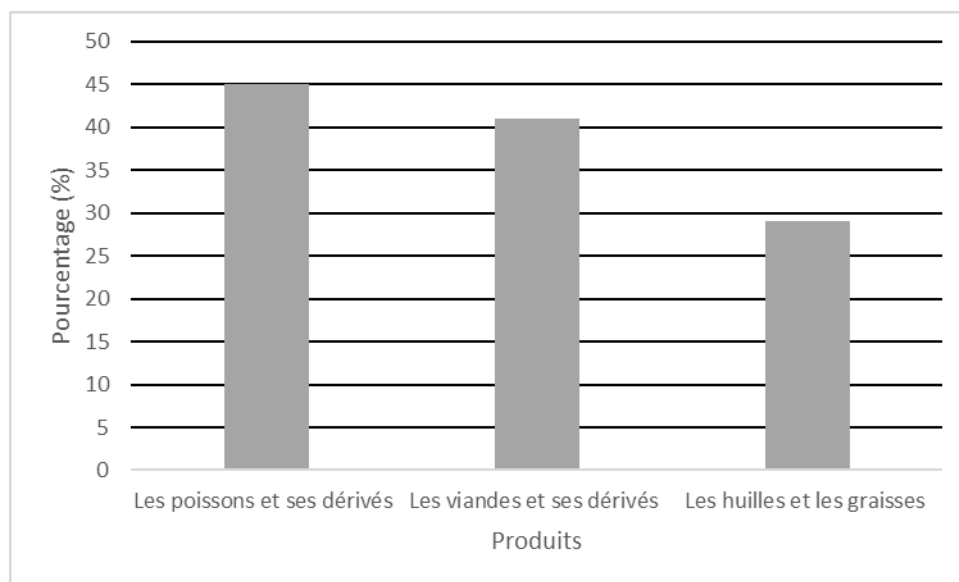


Figure 1: les produits d'origine animale les plus touchés par les fraude alimentaires (figure dressée par nos soins à partir des données) (l'UE, 2018).

Les produits d'origine animale les plus touchés par les fraude alimentaires les poissons et ses dérivés soit 45 % du total des fraudes enregistrées. Dans ce chapitre, nous aborderons des exemples, des techniques, et leurs applications pour détecter la fraude alimentaire dans les différents aliments mentionnés précédemment. Les différents types de fraude les plus fréquentes sont représentées dans la figure 2.

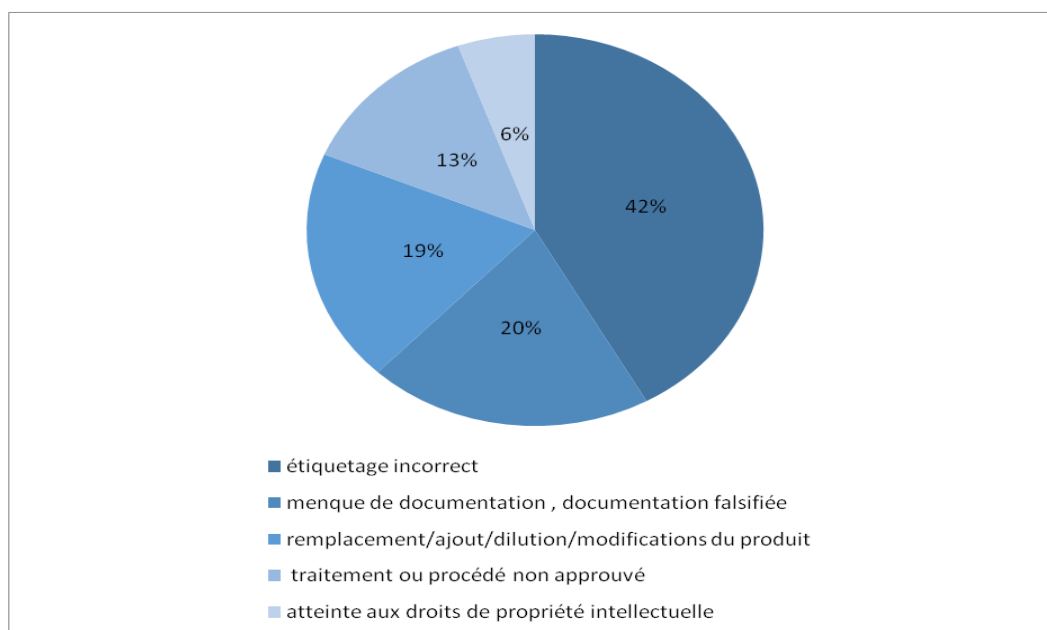


Figure 2: Les différentes formes de fraude alimentaire (figure dressée par nos soins à partir des données (l'UE, 2018).

1. Poissons et produits de la mer

Le poisson est une source alimentaire principale car il contient de faibles niveaux de graisses saturées, de glucides de cholestérol, et contient plusieurs micronutriments et nutriments essentiels (vitamines, minéraux et divers acides gras) (Bianchi et al., 2014). C'est un produit alimentaire hautement périssable en raison de sa forte teneur en humidité, en graisses et en protéines et de la faiblesse de ses tissus, où des changements drastiques se produisent en termes de qualité sensorielle et nutritionnelle, et tous ces changements dépendent du moment de sa chasse et du moment où il est présenté à la consommation (Velioğlu et al., 2015). La pêche et l'aquaculture fournissent 148 millions de tonnes de poisson (Bianchi et al., 2014). Les poissons et produits de la mer ont une place importante dans l'alimentation pour prévenir plusieurs maladies telles que les maladies mentales et cardiovasculaires (Hernández-Martínez et al., 2013).

La fraude sur les produits de la pêche touche 37% de poissons, 13 % des fruits de la mer et des autres produits, selon une étude réalisée par « *National Marine Fisheries Service's* (NMFS) et « *National Seafood Inspection Laboratory* » entre 1988-1997. Cette fraude comporte une variété d'activités illégales afin de réaliser un gain économique et qui se présentent généralement sous la forme des actions suivantes : (i) le transbordement pour contourner l'obligation de droits de douane à l'importation, (ii) le sur-traitement : comme un surglazage, afin d'augmenter le poids du produit (iii) la substitution de l'espèce (iv) la modification de la couleur : afin de donner aux filets de poisson un aspect de fraîcheur, les

industriels ajoutent du monoxyde de carbone (CO) comme un "pigment fixateur ". Cette pratique peut induire une confusion chez le consommateur dont le choix de produit repose sur la couleur rouge de la chair en tant qu'indicateur de fraîcheur (Calosso et al., 2020). La technique de spectrométrie de masse à ionisation par évaporation rapide est une technique très utilisées dans la détection de fraude dans les produits de la mer. Cette technique est utilisée aussi dans le domaine médical. Cette technique a été appliquée à cinq types de poissons blancs de renommée mondiale, et génétiquement similaires (morue, chou, églefin, goberge et merlan). Le résultat était rapide et précis, contrairement à la plupart des autres techniques. À mesure que la demande et la production d'aliments augmentent, le potentiel de gain économique important des aliments frelatés augmente également. La technique Raman est aussi utilisée pour ce genre de matrice alimentaire (Velioglu et al., 2015).

2. Viande et produits carnés

Les produits de grande valeur tels que la viande font souvent l'objet de fraude alimentaire. La viande et les produits à base de viande représentent une partie vitale et indispensable de l'alimentation humaine, riche en protéines, en vitamine (B12), et de minéraux précieux tels que le fer et le zinc, ces éléments sont essentiels à la croissance et au fonctionnement de l'organisme, ainsi qu'une variété de produits à base de viande augmente le risque de fraude alimentaire entraînant la perte des caractéristiques de la viande (Alamprese et al., 2016). La fraude qui a touché la viande est devenue une source d'inquiétude, et de crainte pour les consommateurs en termes de santé, d'allergie et d'aspect religieux. Surtout après l'émergence de plusieurs crises qui ont affecté la sécurité et la santé des consommateurs.

En 1993, une épidémie de maladie de la vache folle est apparue, qui affecte les vaches. Cette crise prend toute son ampleur en 1996, lorsque cette épidémie s'est transmise à l'homme, où 190 000 animaux infectés ont été recensés, faisant plus de 224 morts dans le monde, pendant cette période, le bœuf britannique était interdit. (Josset, 2016).

En 1976, 2,5 millions de chevaux en France ont été consommés comme une viande de bœuf. A Paris en 1986, environ 300 patients ou plus ont présenté les symptômes d'épidémie de trichinose suivants: fièvre, myalgies, asthme, œdème du visage, céphalée, éruption cutanée, diarrhée, conjonctivite, troubles de la vue et vertiges. La traçabilité dans une expérience simple réalisée par un grossiste, il a été constaté que la viande de cheval infectée par des larves de trichines est la cause de l'infection du consommateur par d'épidémie de trichinose (Dupouy-Camet et al., 1985). En Grande-Bretagne, en janvier 2013, une fraude

alimentaire a été découverte en falsifiant les étiquettes de lasagnes de bœuf d'origine française, alors qu'elles étaient faites avec de la viande de cheval (Zirar, 2013).

En 2003 à Alger, plus de 55 tonnes (1514 ânes) ont été vendues, les forces de la gendarmerie nationale ayant pu confisquer 1867 kg de viande d'âne qui devait être vendue comme viande bovine dans le wilaya de Annaba, des squelettes et des têtes d'ânes et de mulets ont été retrouvés près du château de Santa Cruz à Oran par l'Organisation algérienne de protection et d'orientation des consommateurs et ses environs. (Fallahi, 2022). Plus grave, des sels de nitrate (utilisé pour conserver les cadavres) ont été ajoutés à la viande hachée et aux saucisses, car 12 kg de viande hachée ont été saisis, cette substance provoque le cancer et présente un danger aux nourrissons et aux femmes enceintes, ainsi que des malformations congénitales du fœtus. Les pratiques les plus courantes consistent à remplacer partiellement la viande plus chère par de la viande moins chère. Pour cette raison, diverses technologies ont été utilisées et développées pour prévenir ce type de fraude sur la viande et les produits carnés, les consommateurs attachent une grande importance au type et à l'origine de la viande. La nature complexe de la viande transformée pose un défi dans la définition de ses types, et cela est rendu encore plus difficile par les conditions de transformation telles que la chaleur et la pression, et les formulations de produits telles que les additifs, et tout cela rend difficile la détermination de l'efficacité des résultats des techniques de détection de protéines car elles dépendent principalement de la stabilité des protéines, et de la nature des protéines (types de structure, forme moléculaire, poids, etc.), affectées par la température et la pression pendant le traitement, ce qui augmente la difficulté d'analyse.(Sezer et al., 2022). La disponibilité de produits à base de viande de diverses espèces animales, l'écart de prix et la baisse du pouvoir d'achat des groupes de consommateurs ont augmenté les possibilités de publicité erronée des ingrédients et des ingrédients en termes de qualité et de quantité, et il a donc été possible de les remplacer et de les mélanger. Ces comportements étaient artificiels ou non, ou le résultat d'une manipulation imprudente des aliments, les régulateurs de la sécurité alimentaire doivent intervenir ici pour faire appliquer des réglementations strictes, des abattoirs aux sites de distribution de viande. Les principaux type de fraude en viande sont présentés dans la figure 3.

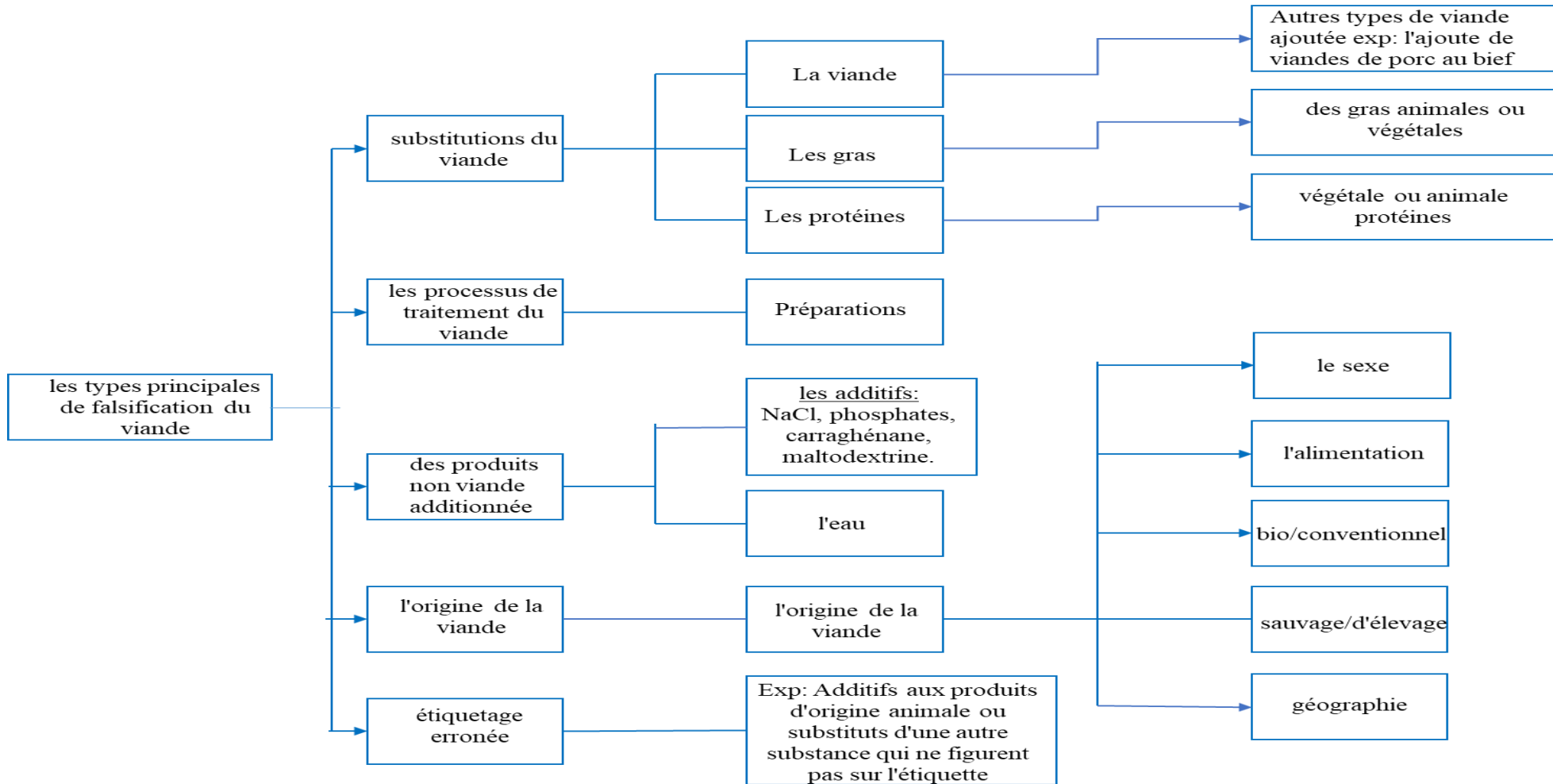


Figure 3. l'authentification de la viande et des produits carnés (Ballin, 2010)

2.1 Technique de détection de la fraude dans les viande et produits carnés

Il existe plusieurs méthodes pour détecter l'adultération des viandes, telles que les méthodes électriques, enzymatiques, chromatographiques et spectroscopiques. Les méthodes analytiques pour détecter l'adultération dans la viande reposent souvent sur l'analyse des protéines et de l'ADN. Cependant, cette méthode est longue, coûteuse et nécessite un personnel hautement qualifié. D'autre part, les méthodes basées sur la spectroscopie ont suscité l'intérêt des chercheurs en raison de leur nature et de leur applicabilité rapide et non invasive. Les techniques de spectroscopie telles que le proche infrarouge (NIR), l'infrarouge moyen (MIR), l'ultraviolet visible (UV-Vis) et Raman en plus de l'imagerie multi spectrale ou hyper spectrale, ces techniques servent à : identifier les espèces de viande ; détecter l'adultère d'origine animale ou végétale dans la viande et les produits à base de viande, la détection de viande congelée décongelée. (Fengou et al., 2021).

Tableau 7: les méthodes de détection de fraude alimentaires dans les viandes

Techniques de détection	Type de fraude
Multiplex PCR	Détection de graines de soja contrefaites dans la viande de hamburger (Nunes et al., 2019).
HPLC	Détection de soja, pois et lupin dans la viande (Nunes et al., 2019) .
Spectroscopie vibrationnelle combinée à la chimiométrie.	Détection de la fraude alimentaire dans viande hachée aux protéines de soja(Nunes et al., 2019)
FT-NIR	La fraude à le bœuf haché avec la dinde.(Alamprese et al., 2016).
PLS-DA et NIR	Détection de porc dans les boulettes de bœuf et le bœuf haché (Hassoun et al., 2020b)
Méthode de réaction en chaîne par polymérase multiplex	Détection simultanée de l'ADN du poulet, du canard et de l'oie dans les produits carnés dérivés du bœuf, du porc, de l'agneau ou de la caille.(Hou et al., 2015)
PCR en temps réel	Détection de viande de goéland dans les mélanges de viande (bœuf, agneau, etc.)(Kesmen et al., 2013)
Spectrométrie de masse à ionisation par évaporation rapide REIMS	Détection de fraude du bœuf haché avec la cervelle, le cœur, les reins, le gros intestin et le foie de bœuf (Black et al., 2019)

Technique FTIR	Détecter la viande et le poulet frais et congelés/décongelés (Grunert et al., 2016)
Raman spectroscopie	Discrimination de la viande bovine et chevaline. (Boyacı İ et al., 2014)
Spectroscopie FT-NIR	-Détection de l'adultération de porc dans les produits de veau. (Schmutzler et al., 2015) -Détection de viande de bœuf hachée frelatée avec de la viande de dinde. (Alamprese et al., 2016)

Ces techniques sont très efficaces et efficientes pour détecter des substances étrangères dans la viande, ou pour analyser des composants de viande, et ces techniques sont des techniques spectroscopiques et des techniques analytiques. Il peut également être classé en méthodes destructives et non destructives. Par exemple, les techniques de spectroscopie, dont la plupart sont non destructives, telles que NIR et FTIR, n'exposent pas le produit à un danger, n'affectent pas négativement les propriétés et la qualité de aliments et ne modifient pas la substance, c'est-à-dire obtenir des données quantitatives, qualitatives, chimiques et physiques. Quant aux méthodes destructives telles que la chromatographie et la PCR, elles affectent négativement l'échantillon lors des analyses (Edwards et al., 2021).

2.2. Cas de détection de fraude alimentaire dans les viandes

Parmi les méthodes de fraude les plus fréquentes qui sont souvent constatées dans les viandes et les produits carnés nous avons abordé dans cette partie deux aspects : l'injection des produits non carnés et l'attribution du logo halal à des produits non halal.

2.2.1. Injection des ingrédients non carnés

Injection des ingrédients non carnés dans la viande tels que les sels, les polysaccharides, chlorure de sodium, phosphates, carraghénane (un polysaccharide extrait d'algues comestibles), malt dextrine, gomme de xanthine, gomme de polysaccharide de haut poids moléculaire. Ces substances sont ajoutées à la viande, en particulier aux viandes des vaches, pour augmenter la capacité de rétention d'eau afin de rendre la viande plus tendre en raison de la relaxation des muscles et des fibres, et une augmentation de la masse musculaire. Il existe une autre façon d'ajouter de l'eau à la viande peut être déterminée par la méthode basée sur rapport l'eau /protéiques, avec l'ajout d'eau, le pourcentage d'eau devient supérieur à son niveau normal (Nunes et al., 2019).

L'ajout des additifs alimentaires tels que des colorants et des protéines étrangères ayant une origine végétale à la viande, par exemple l'ajout de colorant rouge pour rehausser la couleur de la viande et la montrer de qualité comme s'il s'agissait de viande nouvelle et fraîche. (Iammarino et al., 2017).

2.2.2. Viande et produits carnés sous le logo halal

Les habitudes alimentaires des consommateurs doivent être respectées, notamment en ce qui concerne la religion, comme l'interdiction des aliments ou des boissons. Pour cette raison, les personnes concernées des usines et des entreprises spécialisées dans la transformation de produits alimentaires pour certains groupes de consommateurs doivent suivre et respecter les lois et principes énoncés.

En Turquie, de nombreux hôtels et restaurants touristiques incluent le porc dans leur menu et ne font aucun effort pour séparer les ustensiles utilisés pour manipuler le porc des autres aliments halal traditionnels. Par exemple, il a publié des articles sur la façon dont un hôtel 5 étoiles a été condamné à une amende pour avoir servi du porc lors de la préparation de l'Iftar (le dîner quotidien du Ramadan). Car la juxtaposition de porc avec de la viande halal est interdite en Turquie (İsababayeva, 2013). Il existe également un risque d'utilisation d'additifs dérivés du porc dans l'industrie alimentaire. Les musulmans d'Europe sont également des victimes de la fraude de viande halal (Batu and Regenstein, 2014).

2.3. Conséquences de la viande frelatée

La fraude alimentaire dans la viande a des répercussions importantes sur la santé existante. Le problème qui se pose est qu'il n'est pas possible de savoir si ces produits sont transformés de manière correcte, et que les produits à base de viande ne contiennent pas d'informations sur la traçabilité. Des produits contaminés et pathogènes sont présents dans le marché pendant une période plus longue sans être détectés. Si des accidents continuent de se produire, les consommateurs perdront la confiance dans l'intégrité de la chaîne d'approvisionnement de la viande et des produits à base de viande, ce qui affecte la réputation de l'industrie, en plus des maladies associées à viande frelatée comme les allergies, les intoxications alimentaires et les maladies liées aux systèmes digestif et immunitaire. (Chris Elliott, 2019).

La crise de la viande de cheval a fortement impacté la confiance des consommateurs vis-à-vis des plats cuisinés élaborés à l'avance. En France, un mois après l'éclatement de l'affaire, la firme d'études de marché *Symphony IRI* annonce 30% de diminution du volume des ventes de plats cuisinés, sans signes de redressement. Cette baisse s'effectue au profit des produits issus de l'agriculture biologique et des boucheries chevalines. Les Britanniques

interviewés déclarent à 31% vouloir renoncer à l'achat de plats cuisinés, à 7% ne plus vouloir consommer de viande. 53% souhaitent l'interdiction de toute importation de viande (Hassoun et al., 2020b).

3. Lait et produits laitiers

Le lait est un produit d'origine animale produit par des mammifères femelles comme les vaches, les chèvres, les brebis, etc. Il est considéré comme une matière première dans de nombreuses chaînes de production telles que la production de yaourt, de crème fraîche, de crème glacée, de fromage et même de lait en poudre (Spyros and Dais, 2012). A cause la richesse en protéines, des lipides, des glucides, des vitamines, des minéraux et en autres composants, le lait est très consommé par tous les groupes d'âge. Cependant, le lait est un support biologique très fragile et plus susceptible d'être endommagé et infecté par des micro-organismes qui altèrent ses caractéristiques physiques et chimiques (Balthazar et al., 2021).

3.1. Fraude en lait et produit laitier

En 2008, la presse mondiale rapporte les cas de bébés chinois qui tombaient malades suite à l'ingestion de lait pour nourrissons produit par une firme chinoise ; La cause reste inconnue jusqu'à ce qu'une coopérative néo-zélandaise associée à cette entreprise alerte le gouvernement chinois de l'addition délibérée, par cette firme, de la mélamine, afin de faire augmenter frauduleusement le niveau de protéines. En septembre 2008, le gouvernement chinois procède au retrait/rappel de tous les produits laitiers appartenant aux firmes suspectes, après confirmation, suite à des analyses en laboratoires, de la contamination délibérée de ces produits par la mélamine. L'adultération a causé la mort de six nourrissons et 300000 sont tombés malades (Hassoun et al., 2020b).

La mélamine ($C_3H_6N_6$) est un composé dérivé de l'urée. Mise au point dans les années 1930, elle résiste à la lumière, à la chaleur et au contact de nombreuses substances chimiques corrosives. Autant de propriétés qui, au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, l'ont rendue indispensable à l'industrie. Il est trouvé dans des plastiques, des résines, des colles, des insecticides, des engrais et même des médicaments. De fait, la mélamine est omniprésente dans notre environnement et dans notre alimentation. L'ingestion de fortes doses régulières de cette matière entraîne une éventuelle atteinte rénale avec formation de calculs rénaux Ce n'était pas la première fois que la mélamine était utilisée par l'industrie alimentaire afin de falsifier le taux de protéines. Déjà en 1982, des auteurs italiens rapportaient que 56% des échantillons de farine de poisson qu'ils avaient analysés étaient adultérés par la mélamine à des teneurs comprises entre 0.52 et 2.5% (Pesteil, 2021)

En 2007, des cas de mortalités de chiens et de chats ont été observés aux USA et au Canada, à cause de l'ingestion d'un aliment pour animaux contaminé par la mélamine. Le rapport de la FDA réalisé en 2007 suite à cet incident a montré que des dérivés de blé et de riz, en provenance de la Chine, contenaient entre 2 et 80 g de mélamine par kg. Les aliments contaminés présentaient des teneurs en mélamine oscillant entre 9,4 et 1 952 mg/kg.

A partir de 1995, la Chine a connu une multiplication du nombre de fermes laitières ainsi que des unités spécialisées dans le lait et les produits laitiers. Le secteur laitier chinois connaît ainsi une forte concurrence, qui pousse ces firmes à baisser les prix de leurs produits afin qu'ils soient plus concurrentiels. Cette situation oblige ces sociétés à réduire les coûts de la fabrication, via la dilution frauduleuse des laits tout en la masquant par l'ajout de la mélamine (Pei et al., 2011).

3.2. Méthode spectroscopique utilisée dans la détection de la fraude en lait et produit laitier

La spectroscopie RMN est une technique de plus en plus utilisée pour la recherche laitière. Il nous fournit des informations uniques qui peuvent être appliquées à la recherche ou au contrôle de la qualité des échantillons laitiers. De plus, il s'agit d'une technique non destructive et très polyvalente, fournissant des données sur le même échantillon sous différents paramètres. Ce paragraphe vise à donner un aperçu du type d'informations qui peuvent être obtenues, sur la base de certains résultats obtenus dans la recherche laitière. Il comprend l'application de la RMN pour l'analyse qualitative et quantitative (figure 3) (Belloque and Ramos, 1999).

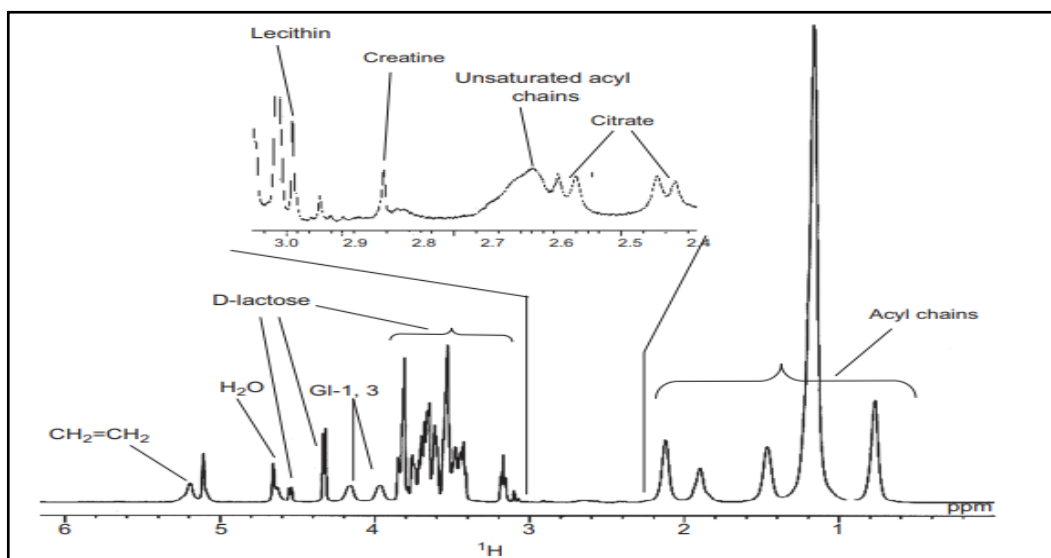


Figure 4: Spectre RMN du lait entier(Dais, 2013b)

Les techniques spectroscopiques (tableau 7), étant rapides, faciles à utiliser et applicables aux mesures en en ligne de production, ainsi que fournissant une grande quantité de données, sont des alternatives qui peuvent être utilisées pour surmonter les inconvénients des méthodes existantes (Kamal and Karoui, 2015).

Tableau 8 : applications des techniques spectroscopiques à divers problèmes d'authenticité dans le lait et les produits laitiers inspiré de (Hassoun et al., 2020b)

Problème d'authenticité	Lait ou produits laitiers	Technique analytique
Détection des adultérant	Lait cru	RMN
	Lait en poudre	NMR
	Lait bovin ultra haut température (UHT)	NMR
	Lait de chèvre	FT-NIR
	Lait en poudre	NIR
	Lait de vache et de chèvre	MIR and Raman
		Spectroscopie Raman
Identification des espèces dont il issu le produit	Yaourt et fromage	Spectroscopie de la fluorescence
	Lait	Spectroscopie de la fluorescence
	Lait	NIR
	Lait	FT-IR
	Lait cru et pasteurisé	Raman
Identification de l'origine géographique	Lait	MIR

Les spectres de fluorescence des échantillons de yaourt et de fromage renseignent sur la fluoroflavine (acides aminés aromatiques, acides nucléiques et résidus de tryptophane, vitamine A et riboflavine) la plus couramment retrouvée dans les produits laitiers. Cette expérience étudie l'origine biologique du lait (de vache, de bufflonne, de brebis et de chèvre)

dans des échantillons de yaourt et de fromage et leur différence de fluorescence. Les résultats obtenus ont montré la possibilité de remplacer l'analyse des protéines et de l'ADN par la nouvelle méthode, qui est l'identification des fluorophores en appliquant la spectroscopie de fluorescence simultanée, qui a donné des résultats précis à 100 % pour l'analyse qualitative et à plus de 95 % pour l'analyse quantitative. Le principal avantage de cette méthode est qu'elle est rapide par rapport aux autres et ne nécessite aucun traitement physique/chimique. La technologie de fluoration simultanée peut être appliquée avec succès pour évaluer la qualité des produits de yaourt et de fromage, identifier l'adultération et valider les étiquettes (Genis et al., 2019).

La crème glacée est un produit laitier qui contient de l'eau, des graisses, des sucres, des protéines et des émulsifiants, elle est analysée uniquement par RMN, où le type de graisse, de sucre, de protéines et d'émulsifiant est étudié à des températures allant de 13 à 20 C°. Les composants de la crème glacée ont été préparés, dans lesquels le type de graisse, de sucre, de protéines et d'émulsifiant ont été modifiés, et leurs propriétés ont été étudiées par RMN avant et après la préparation de la crème glacée. Il a été constaté que le type de protéine influence les cristaux de glace ; graisses liquides et eau, tandis que le type d'émulsifiant affectait les graisses solides (Dais, 2013a).

La résonance magnétique nucléaire (RMN) a démontré que le remplacement de la graisse de lait de brebis par des oligosaccharides nutritionnels dans la crème glacée au lait de brebis augmentait considérablement le brunissement, la blancheur et la légèreté de la crème glacée, et la taille des cristaux de glace était réduite, ce qui est souhaitable pour les consommateurs (Balthazar et al., 2017).

4. Miel et autres produits d'origine animale

Le miel est défini comme une substance sucrée naturelle produite par les abeilles *Apis mellifera* à partir du nectar des plantes ou des sécrétions de parties vivantes de plantes ou des sécrétions d'insectes suceurs de plantes sur les parties vivantes des plantes, que les abeilles récoltent, transforment en combinant avec des substances spécifiques qui leur sont propres, déposer, déshydrater, stocker et laisser dans le nid d'abeilles pour mûrir et mûrir. (Roshan et al., 2013) donc, on peut diviser le miel en deux grandes catégories : l'une est le miel de fleurs, qui est fabriqué à partir du nectar des fleurs, l'autre est le miel de miellat, qui est fabriqué à partir de sécrétions d'autres parties de plantes que fleur ou excréments d'insectes (Zhang and Abdulla, 2022).

Le miel est consommé par l'homme depuis l'Antiquité en raison de ses bienfaits prouvés pour la santé. La consommation de miel est connue pour présenter des effets antimicrobiens, anti-inflammatoires, anti-cancérogènes, anti-athérogènes, anti-thrombotiques et anti-oxydants ainsi que des activités analgésiques dans l'organisme humain (Maione et al., 2019). Récemment, plusieurs études ont rapporté l'utilisation du miel et des produits à base de miel pour le soin avancé des plaies (Boateng et al., 2022). La grande quantité de glucides et de sucres dans le miel, est une bonne source d'énergie et il est également utilisé en cuisine comme édulcorant naturel (Maione et al., 2019).

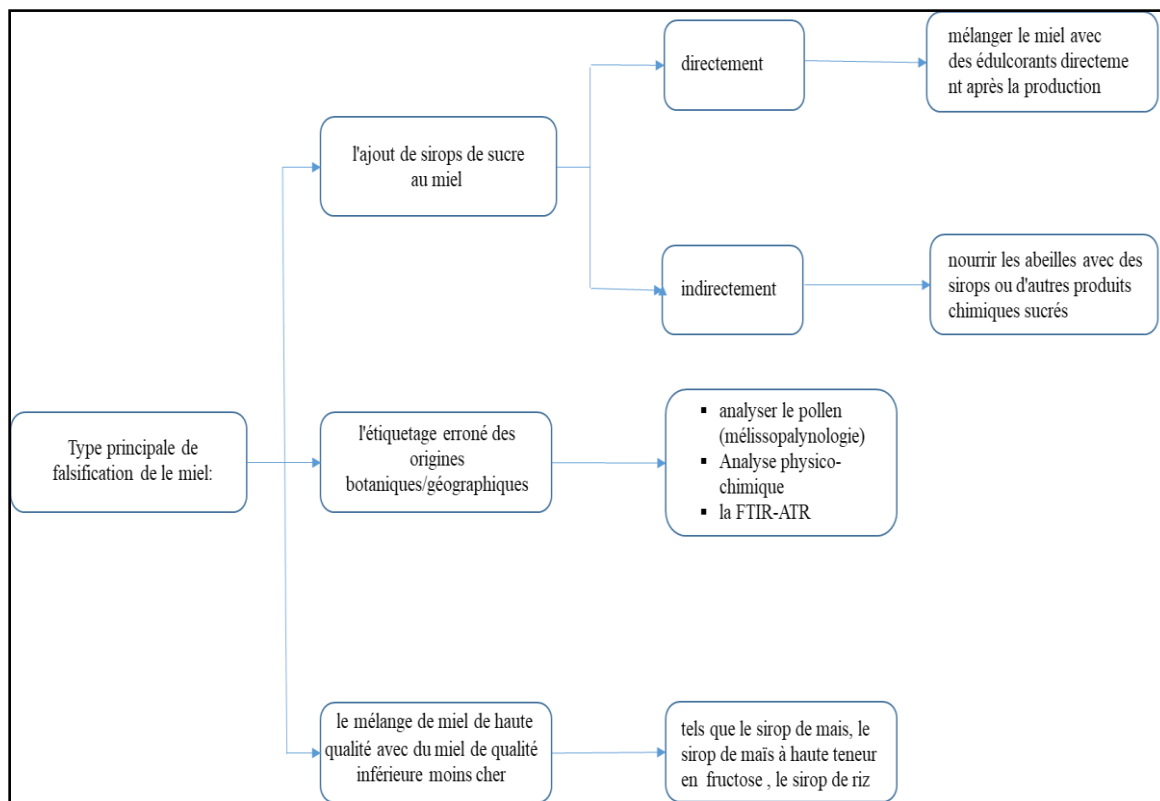
Les miels de différentes origines botaniques et géographiques diffèrent considérablement dans leur valeur marchande en raison de leur qualité, de leur saveur ou de leurs bienfaits pour la santé. Cependant, la valeur élevée du miel et la demande croissante ont motivé des actes frauduleux de miel (Zhang and Abdulla, 2022). Les miels monofloraux (à partir du nectar d'une fleur d'épices) sont souvent plus chers que les miels multifloraux (produits par les abeilles à partir du nectar de nombreuses sources de fleurs) (Stanek et al., 2019)

Traditionnellement, la détermination de l'origine florale et géographique du miel est réalisée par l'analyse du pollen (mellisopalynologie) présent dans le miel. Cette méthode est basée sur l'identification du pollen par examen microscopique. Cela nécessite un analyste très expérimenté, cela prend beaucoup de temps et dépend de la capacité et du jugement de l'expert. (Radovic et al., 2001) Les Critères physico-chimiques tels que le pH, teneur en sucre, conductivité électrique, proline, activité enzymatique, teneur en eau, diastase, et *Hydroxyméthylfurfural* (HMF), invertase sont utilisées pour établir l'origine d'un miel. (Serrano et al., 2004).

L'authenticité est un sujet important puisque le miel frelaté a été couramment signalé dans le monde entier. La falsification de miel est réalisée par trois types de fraude (figure 4) : l'étiquetage erroné de l'origine botanique/géographique, le mélange de miel de haute qualité avec du miel de qualité inférieure moins cher et l'ajout de sirops (Maione et al., 2019). Le miel d'acacia comme exemple est un miel de grande valeur, qui est souvent frelaté avec du sirop de maïs à haute teneur en fructose (HFCS) peu coûteux, en raison de leur couleur et de leur composition en sucre similaire. Le miel et le HFCS sont tous les deux riches en sucre, particulièrement riches en monosaccharides, et sont donc susceptibles de subir spontanément des réactions de Maillard et de caramélisation, notamment en cas de traitement thermique. La réaction de Maillard est un outil très utile pour déterminer la qualité du miel. (Yan et al., 2021)

. La falsification de miel par la fermentation, la fermentation se produit fréquemment lorsque le miel est récolté prématurément, et cela a un effet négatif sur la qualité car la teneur en eau qui est plus élevée. Le miel vieilli doit contenir environ 19% d'eau et le miel avec une teneur en eau plus élevée est sensible à la fermentation. L'humidité la plus élevée pendant le stockage ou le traitement peut diluer la couche supérieure de miel. Une température de stockage plus élevée entraîne également un plus grand risque de fermentation.

Figure 5 : Les principaux type de falsification du miel (figure dressée par nos soin à partir des travaux de Zhang and Abdulla (2022))



La fermentation peut être détectée en déterminant l'acidité titrable, et la falsification au caramel du sulfite d'ammoniaque, du caramel à l'ammoniaque (E150d) est aussi souvent ajoutée.(Zábrowská and Vorlová, 2015). Les techniques spectroscopiques ont montré un potentiel considérable en tant que méthodes rapides et souvent non destructives utilisées pour étudier l'authenticité du miel. Ainsi que La méthode de chromatographie est plus utilisée dans L'authenticité des échantillons de miel (Tableau 8).

Tableau 9: Technique spectroscopique pour la détection de la fraude dans le miel

Techniques	Principe et objectifs	Référence
NIR	La spectroscopie NIR peut être appliquée à l'analyse du miel pour les principaux composants et pour les paramètres physique, ainsi que pour la prédiction des origines géographiques des miels.	(Escuredo et al., 2015)
la FTIR-ATR	en combinaison avec l'analyse des paramètres physicochimiques pour la détection du miel frelaté avec les types de sirops suivants : maïs, riz, sucre inverti ...etc.	(Ciursă et al., 2021)
Spectroscopie Infrarouge (IR)	pour prédire l'origine géographique et botanique du miel pour détecter le miel frelaté et aussi pour quantifier certains composés (glucose, fructose, saccharose, maltose, mélézitose et turanose ou paramètres : pH, conductivité électrique	(Ciursă et al., 2021)
Spectroscopie de Fluorescence	Lorsque le miel contient plusieurs fluorophores tels que divers acides aminés, des polyphénols et des vitamines. Par conséquent, les caractéristiques des spectres de fluorescence des différents échantillons de miel devraient être des traceurs d'origines botaniques et géographiques. La configuration de l'angle pour enregistrer les spectres de fluorescence affecte l'intensité de fluorescence (atténuation due à l'auto-absorption)	(Zhang and Abdulla, 2022)
HPTLC	La technique utilisée pour étudier les composés de faible poids moléculaire est la chromatographie sur couche mince à haute performance	(Stanek et al., 2019)
HPLC	HPLC est une technique la plus couramment utilisée pour l'analyse quantitative et qualitative de cette classe de composés	(Stanek et al., 2019)
(LC-MS MS)	La détermination de la teneur en caramel de sulfite d'ammoniac	(Zábrodská and Vorlová, 2015)

Conclusion

Conclusion

Au terme de ce travail bibliographique, nous pouvons dégager les conclusions suivantes :

- Les fraudes alimentaires sont de nature non conventionnelle; l'approche de lutte par des contrôles préventifs reste limitée car les risques ne sont pas toujours connus et ne sont pas prévisibles.
- Selon les derniers scandales alimentaires, il y aujourd'hui une prise de conscience que la fraude alimentaire ne peut se résumer à un acte économique qui ne présente pas de risques pour la santé publique ; la dimension « risque sanitaire » est bien présente.
- La littérature disponible dans le domaine a montré une augmentation du nombre des applications basée sur la spectroscopie (par exemple, spectroscopie vibrationnelle)
- La lourdeur et le coût des techniques analytiques non ciblées en matière d'authentification alimentaire peuvent être remplacées par des techniques comme la spectroscopie dans le moyen infrarouge permettent la détection de tout adultérant affectant le spectre normal.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Ahmad, A. N., Ungku Zainal Abidin, U. F., Othman, M., and Abdul Rahman, R. (2018). Overview of the halal food control system in Malaysia. *Food Control* **90**, 352-363.
- Alamprese, C., Amigo, J. M., Casiraghi, E., and Engelsens, S. B. (2016). Identification and quantification of turkey meat adulteration in fresh, frozen-thawed and cooked minced beef by FT-NIR spectroscopy and chemometrics. *Meat Science* **121**, 175-181.
- Ballin, N. Z. (2010). Authentication of meat and meat products. *Meat Science* **86**, 577-587.
- Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Rocha, R. S., Pimentel, T. C., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Graça, J. S., Alves Filho, E. G., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Granato, D., Rodrigues, S., Raices, R. S. L., Silva, M. C., Sant'Ana, A. S., and Cruz, A. G. (2021). Nuclear magnetic resonance as an analytical tool for monitoring the quality and authenticity of dairy foods. *Trends in Food Science & Technology* **108**, 84-91.
- Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Vieira, A. H., Neto, R. P. C., Cappato, L. P., Coimbra, P. T., Moraes, J., Andrade, M. M., Calado, V. M. A., Granato, D., Freitas, M. Q., Tavares, M. I. B., Raices, R. S. L., Silva, M. C., and Cruz, A. G. (2017). Assessing the effects of different prebiotic dietary oligosaccharides in sheep milk ice cream. *Food Research International* **91**, 38-46.
- Barrère, V., Audet, M., and Amiot, J. (2017). La fraude alimentaire. *Biosourcé* **5**.
- Batista, B. L., da Silva, L. R. S., Rocha, B. A., Rodrigues, J. L., Berretta-Silva, A. A., Bonates, T. O., Gomes, V. S. D., Barbosa, R. M., and Barbosa, F. (2012). Multi-element determination in Brazilian honey samples by inductively coupled plasma mass spectrometry and estimation of geographic origin with data mining techniques. *Food Research International* **49**, 209-215.
- Batu, A., and Regenstein, J. M. (2014). HALAL FOOD CERTIFICATION CHALLENGES AND THEIR IMPLICATIONS FOR MUSLIM SOCIETIES WORLDWIDE. *Electronic Turkish Studies* **9**.
- BCC (2010). China dairy products found tainted with melamine.
- Belloque, J., and Ramos, M. (1999). Application of NMR spectroscopy to milk and dairy products. *Trends in Food Science & Technology* **10**, 313-320.
- Bianchi, M., Chopin, F., Farme, T., Franz, N., Fuentesvilla, C., Garibaldi, L., and Laurenti, A. (2014). FAO: the state of world fisheries and aquaculture. *Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy*, 1-230.
- Black, C., Chevallier, O. P., Cooper, K. M., Haughey, S. A., Balog, J., Takats, Z., Elliott, C. T., and Cavin, C. (2019). Rapid detection and specific identification of offals within minced beef samples utilising ambient mass spectrometry. *Scientific Reports* **9**, 6295.
- Boateng, A. A., Sumaila, S., Lartey, M., Oppong, M. B., Opuni, K. F. M., and Adutwum, L. A. (2022). Evaluation of chemometric classification and regression models for the detection of syrup adulteration in honey. *LWT* **163**, 113498.
- Böhme, K., Barros-Velázquez, J., and Calo-Mata, P. (2017). Chapter 2 - Fingerprinting for Detecting Contaminants in Food. In "Food Protection and Security" (S. Kennedy, ed.), pp. 15-42. Woodhead Publishing.
- Bouzembrak, Y., Steen, B., Neslo, R., Linge, J., Mojtahed, V., and Marvin, H. (2018). Development of food fraud media monitoring system based on text mining. *Food Control* **93**, 283-296.
- Boyacı İ, H., Temiz, H. T., Uysal, R. S., Velioglu, H. M., Yadegari, R. J., and Rishkan, M. M. (2014). A novel method for discrimination of beef and horsemeat using Raman spectroscopy. *Food Chem* **148**, 37-41.
- Brooks, C., Parr, L., Smith, J. M., Buchanan, D., Snioch, D., and Hebishy, E. (2021). A review of food fraud and food authenticity across the food supply chain, with an examination of the impact of the COVID-19 pandemic and Brexit on food industry. *Food Control* **130**, 108171.
- Calosso, M. C., Claydon, J. A., Mariani, S., and Cawthorn, D.-M. (2020). Global footprint of mislabelled seafood on a small island nation. *Biological Conservation* **245**, 108557.
- Capuano, E., and Van Ruth, S. M. (2012). QA: Fraud control for foods and other biomaterials by product fingerprinting. *Latest research into Quality control*, 111-143.

Références bibliographiques

- Careri, M., Bianchi, F., and Corradini, C. (2002). Recent advances in the application of mass spectrometry in food-related analysis. *Journal of Chromatography A* **970**, 3-64.
- Chambolle, M. (1999). Food safety. *Techniques de l'Ingénieur. Agroalimentaire (France)*.
- Chris Elliott, K. R., Moira Dean (2019). Meat fraud: facts and consequences of parallel beef supply chains. In "new food magazine".
- Ciursă, P., Pauliuc, D., Dranca, F., Ropciuc, S., and Oroian, M. (2021). Detection of honey adulterated with agave, corn, inverted sugar, maple and rice syrups using FTIR analysis. *Food Control* **130**, 108266.
- Creydt, M., and Fischer, M. (2020). Food authentication in real life: How to link nontargeted approaches with routine analytics? *Electrophoresis* **41**, 1665-1679.
- Dais, A. S. a. P. (2013a). Ice Cream. In "NMR Spectroscopy in Food Analysis" (t. R. S. o. Chemistry, ed.), pp. 290 -291. the Royal Society of Chemistry.
- Dais, A. S. a. P. (2013b). NMR Spectroscopy in Food Analysis. (R. Publishing, ed.), pp. 342.
- Danezis, G. P., Tsagkaris, A. S., Camin, F., Brusica, V., and Georgiou, C. A. (2016). Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **85**, 123-132.
- Delpiani, G., Delpiani, S. M., Deli Antoni, M. Y., Covatti Ale, M., Fischer, L., Lucifora, L. O., and Díaz de Astarloa, J. M. (2020). Are we sure we eat what we buy? Fish mislabelling in Buenos Aires province, the largest sea food market in Argentina. *Fisheries Research* **221**, 105373.
- Downey, G. (2013). 6 - Vibrational spectroscopy in studies of food origin. In "New Analytical Approaches for Verifying the Origin of Food" (P. Brereton, ed.), pp. 94-116. Woodhead Publishing.
- Dupouy-Camet, J., Ancelle, T., and Lapierre, J. (1985). Une Nouvelle Epidemie De Trichinose Due A La Consommation De Viande De Cheval. Note Preliminaire. *Médecine et Maladies Infectieuses* **15**, 569.
- Edwards, K., Manley, M., Hoffman, L., and Williams, P. (2021). Non-Destructive Spectroscopic and Imaging Techniques for the Detection of Processed Meat Fraud. *Foods* **10**, 448.
- Elliott, C. (2014). Elliott Review into the integrity and assurance of food supply networks-Final report: A national food crime prevention framework.
- Ellis, D. I., Muhamadali, H., Haughey, S. A., Elliott, C. T., and Goodacre, R. (2015). Point-and-shoot: rapid quantitative detection methods for on-site food fraud analysis—moving out of the laboratory and into the food supply chain. *Analytical Methods* **7**, 9401-9414.
- Escuredo, O., González-Martín, M. I., Rodríguez-Flores, M. S., and Seijo, M. C. (2015). Near infrared spectroscopy applied to the rapid prediction of the floral origin and mineral content of honeys. *Food Chemistry* **170**, 47-54.
- Esslinger, S., Riedl, J., and Fauhl-Hassek, C. (2014). Potential and limitations of non-targeted fingerprinting for authentication of food in official control. *Food Research International* **60**, 189-204.
- Everstine, K., Spink, J., and Kennedy, S. (2013). Economically motivated adulteration (EMA) of food: common characteristics of EMA incidents. *Journal of food protection* **76**, 723-735.
- Fallahi, S. A. (2022). La viande d'âne et de mulet envahit les marchés d'Oran. *echoroukonline*.
- FAO. (2007). "Renforcement des systèmes nationaux de contrôle alimentaire: directives pour l'évaluation des besoins en renforcement des capacités," Food & Agriculture Org.
- Fengou, L.-C., Lianou, A., Tsakanikas, P., Mohareb, F., and Nychas, G.-J. E. (2021). Detection of Meat Adulteration Using Spectroscopy-Based Sensors. *Foods* **10**, 861.
- Figeac-Monthus, M., and Lastécouères, C. (2012). "Territoires de l'illicite: ports et îles: De la fraude au contrôle (XVIe-XXe s.)," Armand Colin.
- Fiorino, G. M., Garino, C., Arlorio, M., Logrieco, A. F., Losito, I., and Monaci, L. (2018). Overview on untargeted methods to combat food frauds: a focus on fishery products. *Journal of food quality* **2018**.

Références bibliographiques

- Francis Rouessac, A. R., Daniel Cruche (2007). analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales modernes. (dunod, ed.), pp. 481.
- Gelpí, E., de la Paz, M. P., Terracini, B., Abaitua, I., de la Cámara, A. G., Kilbourne, E. M., Lahoz, C., Nemery, B., Philen, R. M., Soldevilla, L., Tarkowski, S., and Tóxico, W. C. S. C. f. t. T. O. S. C. d. I. p. e. S. d. A. (2002). The Spanish toxic oil syndrome 20 years after its onset: a multidisciplinary review of scientific knowledge. *Environmental health perspectives* **110**, 457-464.
- Genis, D. O., Bilge, G., Sezer, B., Durna, S., and Boyaci, I. H. (2019). Identification of cow, buffalo, goat and ewe milk species in fermented dairy products using synchronous fluorescence spectroscopy. *Food Chemistry* **284**, 60-66.
- Genis, D. O., Sezer, B., Bilge, G., Durna, S., and Boyaci, I. H. (2020). Development of synchronous fluorescence method for identification of cow, goat, ewe and buffalo milk species. *Food Control* **108**, 106808.
- Ghidini, S., Varrà, M. O., and Zanardi, E. (2019). Approaching Authenticity Issues in Fish and Seafood Products by Qualitative Spectroscopy and Chemometrics. *Molecules* **24**, 1812.
- Ghsemain, S., Jalali, M., Hosseini, A., Narimani, T., Sharifzadeh, A., and Raheimi, E. (2011). The prevalence of bacterial contamination of table eggs from retails markets by Salmonella spp., Listeria monocytogenes, Campylobacter jejuni and Escherichia coli in Shahrekord, Iran.
- Gizaw, Z. (2019). Public health risks related to food safety issues in the food market: a systematic literature review. *Environmental Health and Preventive Medicine* **24**, 68.
- Grunert, T., Stephan, R., Ehling-Schulz, M., and Johler, S. (2016). Fourier Transform Infrared Spectroscopy enables rapid differentiation of fresh and frozen/thawed chicken. *Food Control* **60**, 361-364.
- Hassoun, A., Heia, K., Lindberg, S.-K., and Nilsen, H. (2020a). Spectroscopic Techniques for Monitoring Thermal Treatments in Fish and Other Seafood: A Review of Recent Developments and Applications. *Foods* **9**, 767.
- Hassoun, A., Måge, I., Schmidt, W. F., Temiz, H. T., Li, L., Kim, H.-Y., Nilsen, H., Biancolillo, A., Aït-Kaddour, A., Sikorski, M., Sikorska, E., Grassi, S., and Cozzolino, D. (2020b). Fraud in Animal Origin Food Products: Advances in Emerging Spectroscopic Detection Methods over the Past Five Years. *Foods* **9**, 1069.
- Hassoun, A., Sahar, A., Lakhali, L., and Aït-Kaddour, A. (2019). Fluorescence spectroscopy as a rapid and non-destructive method for monitoring quality and authenticity of fish and meat products: Impact of different preservation conditions. *LWT* **103**, 279-292.
- Hernández-Martínez, M., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., Almaraz-Abarca, N., Ponce-Mendoza, A., and Vásquez-Murrieta, M. S. (2013). Prediction of total fat, fatty acid composition and nutritional parameters in fish fillets using MID-FTIR spectroscopy and chemometrics. *LWT - Food Science and Technology* **52**, 12-20.
- Hilts, C., and Pelletier, L. (2009). Background paper on occurrence of melamine in foods and feed. Prepared for the WHO Expert Meeting on Toxicological and Health Aspects of Melamine and Cyanuric Acid. . (W. Geneva., ed.).
- Hou, B., Meng, X., Zhang, L., Guo, J., Li, S., and Jin, H. (2015). Development of a sensitive and specific multiplex PCR method for the simultaneous detection of chicken, duck and goose DNA in meat products. *Meat Science* **101**, 90-94.
- Iammarino, M., Marino, R., and Albenzio, M. (2017). How meaty? Detection and quantification of adulterants, foreign proteins and food additives in meat products. *International Journal of Food Science & Technology* **52**, 851-863.
- İsababayeva, A. (2013). Turkish Studies-International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic. *Turkish Studies (Elektronik)* **8**, 299-308.
- Jiang, H., Cheng, F., and Shi, M. (2020). Rapid Identification and Visualization of Jowl Meat Adulteration in Pork Using Hyperspectral Imaging. *Foods* **9**, 154.

Références bibliographiques

- Jiang, H., Wang, W., Zhuang, H., Yoon, S.-C., Yang, Y., and Zhao, X. (2019). Hyperspectral imaging for a rapid detection and visualization of duck meat adulteration in beef. *Food Analytical Methods* **12**, 2205-2215.
- Josset, C. (2016). EN IMAGES. Il y a 20 ans, la crise de la vache folle tournait à la psychose.
- Kamal, M., and Karoui, R. (2015). Analytical methods coupled with chemometric tools for determining the authenticity and detecting the adulteration of dairy products: A review. *Trends in Food Science & Technology* **46**, 27-48.
- Kesmen, Z., Celebi, Y., Güllüce, A., and Yetim, H. (2013). Detection of seagull meat in meat mixtures using real-time PCR analysis. *Food Control* **34**, 47-49.
- Khan, M. S., and Rahman, M. S. (2021). Introduction on Techniques to Measure Food Safety and Quality. In "Techniques to Measure Food Safety and Quality: Microbial, Chemical, and Sensory" (M. S. Khan and M. Shafiur Rahman, eds.), pp. 1-10. Springer International Publishing, Cham.
- Kumar, K., Tarai, M., and Mishra, A. K. (2017). Unconventional steady-state fluorescence spectroscopy as an analytical technique for analyses of complex-multifluorophoric mixtures. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **97**, 216-243.
- l'UE, L. D. g. d. l. S. e. d. l. s. a. d. (2018). RAPPORT ANNUEL UE 2018 : FRAUDE ALIMENTAIRE.
- Lehotay, S. J., and Hajšlová, J. (2002). Application of gas chromatography in food analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **21**, 686-697.
- Li, L., Boyd, C. E., and Sun, Z. (2016). Authentication of fishery and aquaculture products by multi-element and stable isotope analysis. *Food Chemistry* **194**, 1238-1244.
- Maione, C., Barbosa, F., and Barbosa, R. M. (2019). Predicting the botanical and geographical origin of honey with multivariate data analysis and machine learning techniques: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* **157**, 436-446.
- Mamone, G., Picariello, G., Caira, S., Addeo, F., and Ferranti, P. (2009). Analysis of food proteins and peptides by mass spectrometry-based techniques. *Journal of Chromatography A* **1216**, 7130-7142.
- Manning, L. (2016). Food fraud: Policy and food chain. *Current Opinion in Food Science* **10**, 16-21.
- Manning, L. (2017). Food integrity. *British Food Journal* **119**, 2-6.
- Marvin, H. J. P., Hoenderdaal, W., Gavai, A. K., Mu, W., van den Bulk, L. M., Liu, N., Frasso, G., Ozen, N., Elliott, C., Manning, L., and Bouzembrak, Y. (2022). Global media as an early warning tool for food fraud; an assessment of MediSys-FF. *Food Control* **137**, 108961.
- Mazzara, M., Paoletti, C., Corbisier, P., Grazioli, E., Larcher, S., Berben, G., De Loose, M., Folch, I., Henry, C., Hess, N., Hougs, L., Janssen, E., Moran, G., Onori, R., and Van den Eede, G. (2013). Kernel Lot Distribution Assessment (KeLDA): a Comparative Study of Protein and DNA-Based Detection Methods for GMO Testing. *Food Analytical Methods* **6**, 210-220.
- McGrath, T. F., Haughey, S. A., Patterson, J., Fauhl-Hasek, C., Donarski, J., Alewijn, M., van Ruth, S., and Elliott, C. T. (2018). What are the scientific challenges in moving from targeted to non-targeted methods for food fraud testing and how can they be addressed? – Spectroscopy case study. *Trends in Food Science & Technology* **76**, 38-55.
- Medina, S., Pereira, J. A., Silva, P., Perestrelo, R., and Câmara, J. S. (2019). Food fingerprints—A valuable tool to monitor food authenticity and safety. *Food chemistry* **278**, 144-162.
- Moore, J. C., Spink, J., and Lipp, M. (2012). Development and application of a database of food ingredient fraud and economically motivated adulteration from 1980 to 2010. *Journal of food science* **77**, R118-R126.
- Noviyanto, A., and Abdulla, W. H. (2020). Honey botanical origin classification using hyperspectral imaging and machine learning. *Journal of Food Engineering* **265**, 109684.
- Nunes, K. M., Andrade, M. V. O., Almeida, M. R., Fantini, C., and Sena, M. M. (2019). Raman spectroscopy and discriminant analysis applied to the detection of frauds in bovine meat by the addition of salts and carrageenan. *Microchemical Journal* **147**, 582-589.

Références bibliographiques

- Onyeaka, H., Ukwuru, M., Anumudu, C., and Anyogu, A. (2022). Food fraud in insecure times: challenges and opportunities for reducing food fraud in Africa. *Trends in Food Science & Technology* **125**, 26-32.
- Parastar, H., van Kollenburg, G., Weesepeel, Y., van den Doel, A., Buydens, L., and Jansen, J. (2020). Integration of handheld NIR and machine learning to "Measure & Monitor" chicken meat authenticity. *Food Control* **112**, 107149.
- Parik, Y., and Güzeler, N. (2016). Nuclear magnetic resonance spectroscopy applications in foods. *Curr. Res. Nutr. Food Sci* **4**, 161-168.
- Pei, X., Tandon, A., Aldrick, A., Giorgi, L., Huang, W., and Yang, R. (2011). The China melamine milk scandal and its implications for food safety regulation. *Food policy* **36**, 412-420.
- Pestel, P. (2021). Fraude et signes de qualité. la certification: un remède en débat. *Anthropology of food*.
- Plavinet, J.-P., and Jolivet, G. (2003). " FRAUDES ALIMENTAIRES : APPROCHE REGLEMENTAIRE ET METHODOLOGIE ANALYTIQUE " Ducauze, C.
- Radovic, B. S., Careri, M., Mangia, A., Musci, M., Gerboles, M., and Anklam, E. (2001). Contribution of dynamic headspace GC-MS analysis of aroma compounds to authenticity testing of honey. *Food Chemistry* **72**, 511-520.
- Reid, L. M., O'donnell, C. P., and Downey, G. (2006). Recent technological advances for the determination of food authenticity. *Trends in Food Science & Technology* **17**, 344-353.
- Robson, K., Dean, M., Haughey, S., and Elliott, C. (2021). A comprehensive review of food fraud terminologies and food fraud mitigation guides. *Food Control* **120**, 107516.
- Roshan, A., Gad, H., El-Ahmady, S., Khanbash, M., Aboushoer, M., and Al-Azizi, M. (2013). Authentication of the Monofloral Yemeni Sidr Honey Using UV Spectroscopy and Chemometric Analysis. *Journal of agricultural and food chemistry* **61**.
- Saadat, S., Pandya, H., Dey, A., and Rawtani, D. (2022). Food forensics: Techniques for authenticity determination of food products. *Forensic Science International* **333**, 111243.
- Schmidt, W. F., Chen, F., Broadhurst, C. L., Nguyen, J. K., Qin, J., Chao, K., and Kim, M. S. (2019). GTRS and 2D-NMR studies of alpha and gamma linolenic acids each containing the same H₂C₁₄-(H-CC-H)-C₁₁H₂-(H-CC-H)-C₈H₂ moiety. *Journal of Molecular Structure* **1196**, 258-270.
- Schmutzler, M., Beganovic, A., Böhler, G., and Huck, C. W. (2015). Methods for detection of pork adulteration in veal product based on FT-NIR spectroscopy for laboratory, industrial and on-site analysis. *Food Control* **57**, 258-267.
- Serrano, S., Villarejo, M., Espejo, R., and Jodral, M. (2004). Chemical and physical parameters of Andalusian honey: classification of Citrus and Eucalyptus honeys by discriminant analysis. *Food Chemistry* **87**, 619-625.
- Sezer, B., Bjelak, A., Murat Velioglu, H., and Hakki Boyaci, I. (2022). Identification of meat species in processed meat products by using protein based laser induced breakdown spectroscopy assay. *Food Chemistry* **372**, 131245.
- Shaikh, S., and O'Donnell, C. (2017). Applications of fluorescence spectroscopy in dairy processing: A review. *Current Opinion in Food Science* **17**, 16-24.
- Spink, J., Bedard, B., Keogh, J., Moyer, D. C., Scimeca, J., and Vasan, A. (2019a). International survey of food fraud and related terminology: Preliminary results and discussion. *Journal of food science* **84**, 2705-2718.
- Spink, J., Chen, W., Zhang, G., and Speier-Pero, C. (2019b). Introducing the food fraud prevention cycle (FFPC): A dynamic information management and strategic roadmap. *Food Control* **105**, 233-241.
- Spink, J., and Moyer, D. C. (2011). Defining the Public Health Threat of Food Fraud. *Journal of food science* **76**, R157-R163.
- Spink, J. W. (2019). The current state of food fraud prevention: overview and requirements to address 'How to Start?' and 'How Much is Enough?'. *Current Opinion in Food Science* **27**, 130-138.

Références bibliographiques

- Spyros, A., and Dais, P. (2012). "NMR spectroscopy in food analysis," Royal Society of Chemistry.
- Stanek, N., Teper, D., Kafarski, P., and Jasicka-Misiak, I. (2019). Authentication of phacelia honeys (*Phacelia tanacetifolia*) based on a combination of HPLC and HPTLC analyses as well as spectrophotometric measurements. *LWT* **107**, 199-207.
- Sundekilde, U. K., Larsen, L. B., and Bertram, H. C. (2013). NMR-based milk metabolomics. *Metabolites* **3**, 204-222.
- Uyttendaele, M., Franz, E., and Schlüter, O. (2016). Food safety, a global challenge. Vol. 13, pp. 67. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Van Ruth, S. M., Luning, P. A., Silvis, I. C., Yang, Y., and Huisman, W. (2018). Differences in fraud vulnerability in various food supply chains and their tiers. *Food Control* **84**, 375-381.
- Velioğlu, H. M., Temiz, H. T., and Boyaci, I. H. (2015). Differentiation of fresh and frozen-thawed fish samples using Raman spectroscopy coupled with chemometric analysis. *Food Chemistry* **172**, 283-290.
- Yan, S., Song, M., Wang, K., Fang, X., Peng, W., Wu, L., and Xue, X. (2021). Detection of acacia honey adulteration with high fructose corn syrup through determination of targeted α -Dicarbonyl compound using ion mobility-mass spectrometry coupled with UHPLC-MS/MS. *Food Chemistry* **352**, 129312.
- Zábrodská, B., and Vorlová, L. (2015). Adulteration of honey and available methods for detection – a review. *Acta Veterinaria Brno* **83**, S85-S102.
- Zaharescu, M., and Mocioiu, O. C. (2013). Infrared Spectroscopy. In "Chemical Solution Deposition of Functional Oxide Thin Films" (T. Schneller, R. Waser, M. Kosec and D. Payne, eds.), pp. 213-230. Springer Vienna, Vienna.
- Zeb, A. (2021). Spectroscopy of Phenolic Antioxidants. In "Phenolic Antioxidants in Foods: Chemistry, Biochemistry and Analysis", pp. 517-548. Springer International Publishing, Cham.
- Zhang, G., and Abdulla, W. (2022). On honey authentication and adulterant detection techniques. *Food Control* **138**, 108992.
- Zirar, W. (2013). Best-of 2013 : le scandale de la viande de cheval. In "usinenouvelle".