



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Malak HAFID et Naziha HADDAD

Le : mercredi 7 octobre 2020

Thème

**Recherche et détection d'aflatoxine M1 dans le
lait infantile et le lait en poudre commercialisés
en Algérie**

Jury :

Mlle. Hanane ACHOUR	MAB	Université de Biskra	Président
Mme. Sara REDOUANE-SALAH	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
M. Mouhamed TITAOUINE	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020

Remerciements

Tout d'abord, louanges à Dieu, le tout puissant de nous avoir gratifié de la force, de courage, de volonté et de patience pour entamer et achever ce travail.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements et reconnaissances à notre promotrice REDOUANE-SALAH Sara pour avoir bien voulu nous encadré, pour sa disponibilité, ses encouragements, ses conseils et suggestions précieux, ses critiques constructives, sa générosité scientifique ainsi que sa patience tout au long de ce travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner notre mémoire.

Nous remercions vivement tous les membres du laboratoire de notre département pour leur aide.

Nos remerciements vont également aux membres du laboratoire du département des sciences de la matière.

Enfin, nous remercions tous ceux ou celles qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Nous tenons à dédier ce modeste et humble travail à :

Nos chers parents dont leur amour, soutien et prières nous ont comblés tout au long des années d'études et durant toutes les phases de la réalisation de ce travail, que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

Nos sœurs, frères et toutes nos familles pour leurs amour et encouragements.

Nos chères amies pour leur soutien.

A toutes les personnes qui ont contribuées, de près ou de loin, dans l'accomplissement de ce mémoire.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des tableaux	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations	III
Introduction générale	1

Première partie : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1. GENERALITES SUR LE LAIT

1.1. Définition du lait	2
1.2. Composition du lait	2
1.3. Types de lait commercialisé en Algérie	2
1.3.1. Le lait liquide.....	2
1.3.2. Le lait en poudre	2
1.3.3. Le lait infantile	3
1.4. Consommation du lait en Algérie	3
1.5. Contamination du lait par l'aflatoxine M1	3

Chapitre 2. AFLATOXINE M1 DANS LE LAIT

2.1. Historique	4
2.2. Etymologie de l'aflatoxine M1	4
2.3. Définition de l'aflatoxine M1	4
2.4. Structure de l'aflatoxine M1	4
2.5. Propriétés physico-chimiques de l'aflatoxine M1	5
2.6. Formation de l'aflatoxine M1	6
2.7. Toxicité de l'aflatoxine M1	6
2.8. Réglementation de l'aflatoxine M1	7
2.9. Détoxification de l'aflatoxine M1	7
2.9.1. Contrôle biologique et méthodes de décontamination à base d'argile	7
2.9.2. Décontamination microbienne de l'AFM1	8
2.9.3. Traitement enzymatique.....	8
2.10. Détection de l'aflatoxine M1	8

Deuxième partie : PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Objectif et méthode de travail	9
3.2. Matériel et méthodes	9
3.2.1. Echantillonnage	9
3.2.2. Méthodes	10
3.2.2.1. CCM des standards d'AFM1	10
3.2.2.2. Reconstitution du lait.....	12
3.2.2.3. Extraction liquide-liquide du lait infantile.....	12
3.2.2.4. CCM du standard d'AFM1 et des extraits de lait	13
3.2.2.5. Détection d'AFM1 dans le lait.....	13

Chapitre 4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. CCM des standards d'AFM1	14
4.2. Extraction liquide-liquide du lait infantile	15
4.3. CCM des standards d'AFM1 et extraits du lait	16
4.4. Détection d'AFM1 dans le lait	17
4.4.1. Détection d'AFM1 dans le lait infantile	17
4.4.2. Détection d'AFM1 dans le lait en poudre.....	21
Conclusion	25
Bibliographie.....	27
Annexes	
Résumés	

Liste des tableaux

Tableau 1. Propriétés physico-chimiques de l'AFM1.....	5
Tableau 2. Echantillons du lait infantile.....	10
Tableau 3. Volumes des extraits de lait et standards d'AFM1 déposés sur les plaques CCM.....	13
Tableau 4. Volumes des phases organiques récupérés par l'extraction.	15
Tableau 5. Concentrations d'AFM1 dans le lait infantile.	18
Tableau 6. Concentrations d'AFM1 dans le lait infantile.	18
Tableau 7. Concentrations d'AFM1 dans le lait infantile.	19
Tableau 8. Concentrations d'AFM1 dans le lait en poudre issues de 6 études.....	21

Liste des figures

Figure 1. Structure de l'aflatoxine M1.....	5
Figure 2. Illustration de la conversion d'AFB1 en AFM1.....	6
Figure 3. Les principales étapes de la détermination d'AFM1 dans le lait par CCM.....	9
Figure 4. Chambre noire pour CCM à lampe UV.....	11
Figure 5. Montage de l'extraction liquide-liquide.....	13
Figure 6. CCM des standards d'AFM1.....	14
Figure 7. CCM des standards d'AFM1.....	15
Figure 8. CCM des standards d'AFM1.....	16

Liste des abréviations

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

AFB1 : Aflatoxine B1.

AFM1 : Aflatoxine M1.

CCM : Chromatographie sur couche mince.

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer.

CYP1A2 : Cytochrome P1A2.

CYP450 : Cytochromes P450.

FDA : Food and Drug Administration

HPLC : Chromatographie en phase liquide à haute performance.

HSCAS : Hydrated Sodium Calcium Alumino Silicate.

ICA : Colonne d'immuno-affinité.

LC-MS : Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse.

ppt : partie par trillion.

TLC : Thin layer chromatography.

UE : Union Européenne.

UHT : Upérisation à Haute Température.

UV : Ultra-Violet.

Introduction générale

Introduction

Le lait est considéré comme étant l'aliment parfait pour tout groupes d'âge, fournissant les principaux ingrédients vitaux et fonctionnels à la vie humaine, sa composition biochimique complexe le rend l'aliment idéal qui répond aux besoins nutritionnels et immunologiques des adultes et des nourrissons (Campagnollo *et al.*, 2016 ; Jaiswal *et al.*, 2018 ; Awaisheh *et al.*, 2019 ; Alahlah *et al.*, 2020), cet aliment mondialement consommé, se taille une part majeure dans la ration alimentaire du consommateur algérien, et de ce fait, l'Algérie se classe parmi les pays les plus consommateurs en matière de lait et cela est dû aux coutumes alimentaires et à la valeur nutritive du lait (El Hassani, 2013).

Vu le rôle que prend le lait dans la nutrition humaine et étant donné qu'il est un composant principal dans notre alimentation, notamment pour les nourrissons qui dépendent du lait comme source majeure de nutriments, le lait peut être la voie d'entrée de contaminants chimiques dangereux, y compris les mycotoxines telles que l'aflatoxine M1, les métaux lourds, les antibiotiques, etc. Dans le corps de l'adulte et du nourrisson, ces contaminants peuvent poser de graves problèmes de santé (Nag, 2010 ; Jaiswal *et al.*, 2018).

L'intrusion de l'AFM1 dans le corps humain, en particulier chez les nourrissons et les jeunes enfants, peut avoir un impact négatif sur leur santé car le foie est le principal organe cible pour sa toxicité et sa cancérogénicité, de plus il peut également causer d'énormes dommages génomiques, de ce fait l'AFM1 est considérée comme un biomarqueur et sa détection dans le lait peut être utilisée pour évaluer l'exposition à l'aflatoxine chez les humains (Davoodi, 2013 ; Ishikawa *et al.*, 2016 ; Campone *et al.*, 2018 ; Seid et Mama, 2019).

Notre objectif initial consiste à détecter l'aflatoxine M1 dans 10 marques de lait infantile et 10 marques de lait en poudre commercialisées en Algérie par la méthode de CCM, et à quantifier le taux d'aflatoxine M1 par la technique d'HPLC en cas de sa révélation, mais en raison de la situation imposée par la pandémie du Coronavirus 2019 l'objectif de ce travail du mémoire n'a pu être atteint car les manipulations expérimentales ont été interrompues.

Ce travail vise en premier lieu à présenter les manipulations que nous avons pu réalisées et qui n'ont pas été achevées, et deuxièmement à donner un aperçu général sur les résultats de la détection et la quantification d'AFM1 dans le lait infantile et en poudre issues de plusieurs travaux de recherche, puis à comparer ces résultats avec les limites d'AFM1 fixées par les réglementations de la commission européenne, des Etats Unis et du Codex Alimentarius.

Première partie
Synthèse bibliographique

-Chapitre 1-

Généralités sur le lait

1.1. Définition du lait

L'organisme Américain Food and Drug Administration (FDA) définit le lait comme étant « La sécrétion lactée, totalement sans colostrum, obtenu par la traite complète d'une ou de plusieurs vaches saines, qui peut être clarifiée et ajustée en séparant une partie de la matière grasse ; il peut se présenter sous forme de lait concentré, lait reconstitué et lait entier en poudre. L'eau peut être ajoutée en quantité suffisante pour reconstituer les formes concentrées et sèches du lait » (Vaclavik *et al.*, 2008).

Le lait est généralement perçut comme étant un produit alimentaire de base qui procure divers aspects des besoins nutritionnelles et immunologiques de toutes tranches d'âge confondus, notamment les nourrissons et les enfants (Mohammadi *et al.*, 2017).

1.2. Composition du lait

Le lait est considéré comme une source biologique à valeur biologique précieuse qui englobe plusieurs macros et micros nutriments, il contient quatre constituants principaux: l'eau, les lipides, les protéines et le lactose. Le lait est une précieuse source de calcium, de vitamines et d'antioxydants (Fox *et al.*, 2017 ; Mohammadi *et al.*, 2017 ; Moussa, 2020).

1.3. Types de lait commercialisé en Algérie

1.3.1. Le lait liquide

En Algérie le processus de production de lait est en grande partie, réalisé en usine après avoir subit une reconstitution. Il peut se présenter sous forme de lait entier, partiellement-écrémé ou écrémé. Il est ensuite conditionné en sachet polypropylène, en bouteille et tétra-pack (Leksir, 2012).

Les acteurs du secteur laitier procurent essentiellement du lait pasteurisé conditionné en sachet. Certains d'entres eux ont même introduit :

- Le lait entier conditionné.
- Le lait UHT (Leksir, 2012).

1.3.2. Le lait en poudre

Ce lait résulte de l'enlèvement partiel de l'eau du lait (Kabir, 2015).

1.3.3. Le lait infantile

Ce type de lait est majoritairement consommé par les nouveau-nés et les enfants afin de subvenir à leurs besoins. Il est fabriqué à partir de lait de vache, selon l'un des deux types de processus: soit un processus de «mélange à sec» ou un processus de «mélange à séchage humide par pulvérisation» (Nasirpour *et al.*, 2006 ; Jiang et Guo., 2014 ; Kabir, 2015).

Les ingrédients préparés à partir de lait bovin (poudres de lait entier ou écrémé, caséinates, etc.) sont souvent utilisés comme source de protéines dans les préparations pour nourrissons. Les propriétés physico-chimiques des poudres sont influencées par les paramètres de traitement (chauffage, évaporation et séchage...) (Masum *et al.*, 2020).

1.4. Consommation du lait en Algérie

Le lait est considéré comme étant un produit de base dans le modèle de consommation algérien avec en moyenne une consommation de 110 litres par an et par habitant. L'Algérie est classée comme le second pays importateur au monde de lait et de ses dérivés (Bekhouche-guendouz, 2011 ; El Hassani, 2013).

La consommation des produits laitiers est en hausse continue ; l'Algérie demeure le premier consommateur de lait au sein du grand Maghreb (Leksir, 2012).

1.5. Contamination du lait par l'aflatoxine M1

Le lait et ses produits dérivés sont particulièrement prédisposés à la contamination par l'AFM1 et sont considérés comme présentant certains risques pour la santé humaine. Par conséquent, le lait présente le plus grand potentiel avéré d'introduction de résidus d'aflatoxine dans l'alimentation humaine (Campagnollo *et al.*, 2016).

Le lait est plus susceptible de transmettre les résidus d'aflatoxine des tissus animaux vers l'alimentation humaine. En outre, les enfants dépendent principalement du lait dans leur nutrition, et sont de ce fait, plus vulnérables que les adultes. Ainsi, l'hygiène alimentaire dans les produits laitiers est principalement perturbée par la prévalence de la « toxine du lait » ou de l'AFM1 dans le lait et ses produits dérivés (Mohammadi *et al.*, 2017).

-Chapitre 2-
Aflatoxine M1 dans le lait

2.1. Historique

Les aflatoxines ont été identifiées pour la première fois comme étant la toxine soupçonnée d'être la cause de la mortalité de plus de 100000 dindons et d'autres animaux d'élevage (Turquie X disease) en Angleterre au début des années 1960 (Quadri *et al.*, 2012).

La cause de la maladie a été due à une alimentation contaminée utilisant la chromatographie sur couche mince qui a révélé une série de composants fluorescents, appelés plus tard aflatoxines, responsables en faite de l'épidémie (Razzaghi-Abyaneh, 2013).

2.2. Etymologie de l'aflatoxine M1

Le nom aflatoxine, acronyme, qui a été formé à partir de la combinaison suivante: la première lettre, "A" désignant le genre *Aspergillus*, quant à la série suivante de trois lettres, "FLA", désignant l'espèce *flavus*, le nom "TOXIN" signifiant poison (Razzaghi-Abyaneh, 2013) ; tandis que la lettre M « Milk » s'applique à cette aflatoxine présente dans le lait et ses produits dérivés (Campagnollo *et al.*, 2016).

2.3. Définition de l'aflatoxine M1

L'AFM1 est le métabolite hydroxylé de l'aflatoxine B1 (AFB1) (Xiong *et al.*, 2020), cette dernière peuvent être produite principalement par deux espèces du genre *Aspergillus*: *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus* (Shahbazi, 2017).

L'AFM1 est produite dans le foie des bovins suite à l'ingestion de l'AFB1 dans les fourrages contaminés, elle est l'une parmi les mycotoxines les plus toxiques (Guo *et al.*, 2019 ; Mohammédi-Ameur *et al.*, 2020). Ce métabolite a été classée comme cancérogène humain du groupe 1 par le CIRC (Assaf *et al.*, 2019).

2.4. Structure de l'aflatoxine M1

Schématiquement, les aflatoxines sont des difurocoumarines, elles se composent d'un noyau de coumarine (en couleur verte au milieu de la figure 1) auquel sont attachées une partie difurane d'un seul côté (en couleur bleue à gauche dans la figure 1) et aussi d'un cycle pentène (en couleur rouge à gauche dans la figure 1) (Benkerroum, 2020).

Les doubles anneaux de furane constituent la structure toxique de base, et la coumarine est liée à la cancérogénicité (Xu *et al.*, 2019).

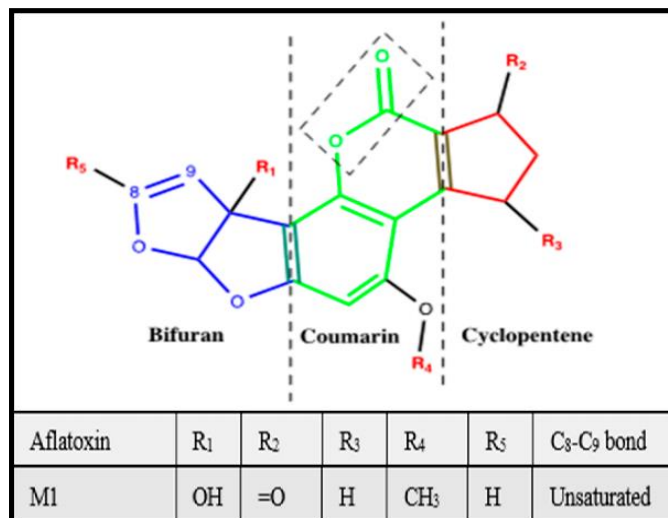


Figure 1. Structure de l'aflatoxine M1 (Benkerroum, 2020).

2.5. Propriétés physico-chimiques de l'aflatoxine M1

Les aflatoxines sont des cristaux incolores à jaune pâle, présentant une fluorescence sous la lumière UV (Kumar, 2018). Le tableau suivant résume les propriétés physico-chimiques de l'AFM1.

Tableau 1. Propriétés physico-chimiques de l'AFM1 (Quadri *et al.*, 2012).

Formule chimique	C ₁₇ H ₁₂ O ₇
Poids moléculaire	328 g/mol
Point de fusion	299 °C
Solubilité	Légèrement soluble dans l'eau; insoluble dans les solvants non polaires; soluble dans les solvants organiques modérément polaires (le chloroforme et le méthanol).
Stabilité	Extrêmement stable même à des températures supérieures à 100 °C. Instable à la lumière ultraviolette en présence d'oxygène, aux pH extrêmes (<3,> 10) et aux agents oxydants.
Fluorescence	Fortement fluorescente, émettant une lumière bleue-violette (à 365 nm).

2.6. Formation de l'aflatoxine M1

Après la consommation de fourrages déjà contaminés par l'AFB1, une portion de ce même AFB1 va être absorbée dans le tube digestif des cheptels par diffusion passive et subir une biotransformation hépatique (Campagnollo *et al.*, 2016). Une partie de cet aflatoxine ingérée va subir une hydroxylation dans son noyau furanique terminal (Giovati *et al.*, 2015).

Cette biotransformation microsomale de l'AFB1 par les enzymes CYP450 comprend l'hydroxylation de la toxine, conduisant à la formation de métabolites plus polaires et moins toxiques, principalement l'AFM1 (fig. 2). Le CYP1A2 est l'un des isoenzymes les plus actives de cette famille, responsable de la formation de l'AFM1 hydroxylée. Les réactions qui aboutissent à la formation d'AFM1 sont très rapides, car l'AFM1 apparaît dans le lait de 2 à 3 jours après avoir mangé des fourrages contaminés (Campagnollo *et al.*, 2016 ; Marchese *et al.*, 2018 ; Barreto *et al.*, 2019).

L'AFM1 est principalement considérée comme un produit de détoxification du métabolisme de l'AFB1, révélant seulement 10% de mutagénicité par rapport à son précurseur, cette AFM1 est excrétée principalement dans le lait et également dans l'urine, le sang et les organes internes (Mulunda *et al.*, 2013 ; Marchese *et al.*, 2018).

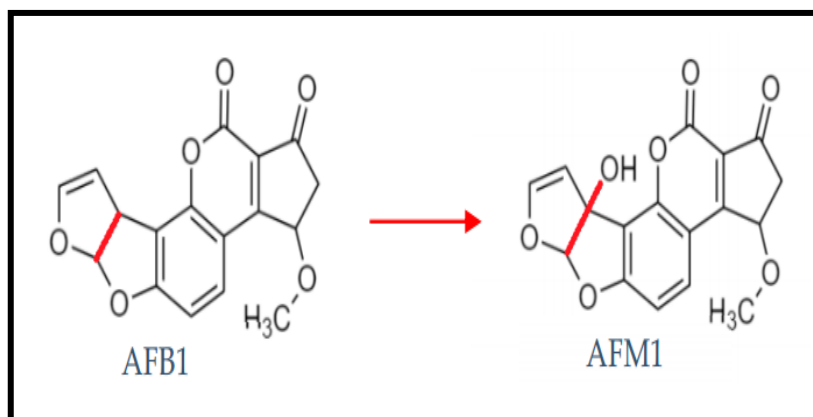


Figure 2. Illustration de la conversion d'AFB1 en AFM1 (Vaz *et al.*, 2020).

2.7. Toxicité de l'aflatoxine M1

La présence d'AFM1 dans le lait et dans les produits laitiers constitue un risque majeur pour l'homme car ces produits sont consommés régulièrement dans notre régime alimentaire (Vaz *et al.*, 2020), ces produits sont principalement consommés par les enfants, qui sont considérés comme beaucoup plus sensibles aux effets néfastes de cet aflatoxine (Ketney *et al.*, 2017).

L'AFM1 est à l'origine de toxicoses aiguës et chroniques, principalement par l'ingestion de lait et de produits laitiers contaminés, ou du métabolisme de l'AFB1 dans le foie (Giovati *et al.*, 2015). Etant donné que le principal organe visé par l'AFM1 est le foie, il est considéré comme un métabolite hépatotoxique. En outre, il peut entraîner d'autres effets néfastes, notamment la suppression de l'immunité, une réduction de production de lait et une diminution de l'apport d'oxygène aux tissus corporels (Assaf *et al.*, 2019).

L'aflatoxine M1 présente un niveau élevé d'activité génotoxique et représente certainement un risque pour la santé en raison de son éventuelle accumulation et sa liaison à l'ADN (Mulunda *et al.*, 2013). Elle est également un facteur pathogène de l'insuffisance pondérale chez l'enfant, de déficit immunitaire, des dommages neurologiques et même d'une mortalité élevée (Li *et al.*, 2018).

2.8. Réglementation de l'aflatoxine M1

En raison de la toxicité potentielle de l'AFM1, la plupart des pays ont fixé des niveaux maximaux admissibles pour l'AFM1 dans le lait et ses produits dérivés. Dans l'Union européenne (UE), le niveau légal maximal d'AFM1 est de 0,050 µg/kg pour le lait et ses produits dérivés et 0.025 ug/kg pour le lait infantile. L'organisme Américain FDA et le Codex Alimentarius Onusien ont fixé un niveau de tolérance d'AFM1 dans le lait à 0.05 µg/kg. Malheureusement, la concentration maximale autorisée d'AFM1 dans le lait n'a pas été établie en Algérie (EC, 2010 ; Mohammedi-Ameur *et al.*, 2020).

2.9. Détoxification de l'aflatoxine M1

La contamination du lait peut ainsi être réduite soit directement, en diminuant la teneur en AFM1 du lait contaminé, soit indirectement, en diminuant la contamination en AFB1 dans l'alimentation des animaux laitiers (Giovati *et al.*, 2015).

2.9.1. Contrôle biologique et méthodes de décontamination à base d'argile

Une meilleure gestion des conditions près et post récolte est une étape essentielle pour réduire la contamination par l'aflatoxine. Plusieurs techniques de pointes utilisent différents types d'argiles minérales qui ont été testés pour leur capacité à lier l'aflatoxine dans les aliments pour animaux, tel le HSCAS (Assaf *et al.*, 2019).

2.9.2. Décontamination microbienne de l'AFM1

L'utilisation de levures probiotiques et de bactéries lactiques pour lier l'aflatoxine dans les aliments liquides contaminés a été largement testée. Ces adsorbants biologiques peuvent être communément trouvés dans plusieurs produits laitiers tels que le lait et utilisés dans la décontamination vue que ils ont une capacité à se lier rapidement à l'AFM1 (Assaf *et al.*, 2019).

2.9.3. Traitement enzymatique

Il existe une autre voie possible de traitement basée sur l'action des enzymes des espèces microbiennes sur la dégradation de l'aflatoxine. De nombreuses études utilisant des extraits microbiens pour dégrader l'AFB1 ont été testé, cependant, l'application pour aboutir à la dégradation d'AFM1 s'est révélée limitée (Nguyen *et al.*, 2020).

2.10. Détection de l'aflatoxine M1

En raison de la toxicité de cette molécule, sa détection et sa quantification sont extrêmement importantes. Différentes méthodes analytiques ont été développées, ayant différents niveaux de précision qui pourraient être utilisés à d'autres fins scientifiques (Mwanza *et al.*, 2015 ; Vaz *et al.*, 2020).

L'analyse de l'AFM1 est basée sur les étapes suivantes: échantillonnage, préparation des échantillons, extraction, purification et analyse (identification et quantification). Nombres de méthodes existant permettent la détection et la quantification de ces composés, notamment la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS), la chromatographie sur couche mince (TLC), la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC), le dosage sur colonne d'immuno-affinité (ICA) et le dosage d'immunoabsorption par enzyme liée (ELISA) (Vaz *et al.*, 2020).

Les méthodes d'analyse quantitative concernant l'AFM1 de même que 'la chromatographie sur couche mince' a été largement utilisée en raison de sa simple fonctionnalité, de sa capacité à répéter la détection et la quantification, et de la rentabilité de l'analyse car de nombreux échantillons peuvent être analysés sur une même plaque avec une faible utilisation de solvant (Womack *et al.*, 2016).

Deuxième partie
Partie expérimentale

-Chapitre 3-

Matériel et méthodes

3.1. Objectif et méthode de travail

L'objectif initial de cette étude était la recherche et la détection de l'aflatoxine M1 dans 20 marques de lait commercialisées en Algérie par CCM et de déterminer sa concentration par HPLC en cas de révélation de ce métabolite.

Afin d'atteindre la 1^{ère} partie de cet objectif un protocole adopté par l'AOAC (Association of Official Analytical Chemists), l'IDF (International Dairy Federation) et l'IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) a été suivi. Le schéma suivant représente les principales étapes du protocole.

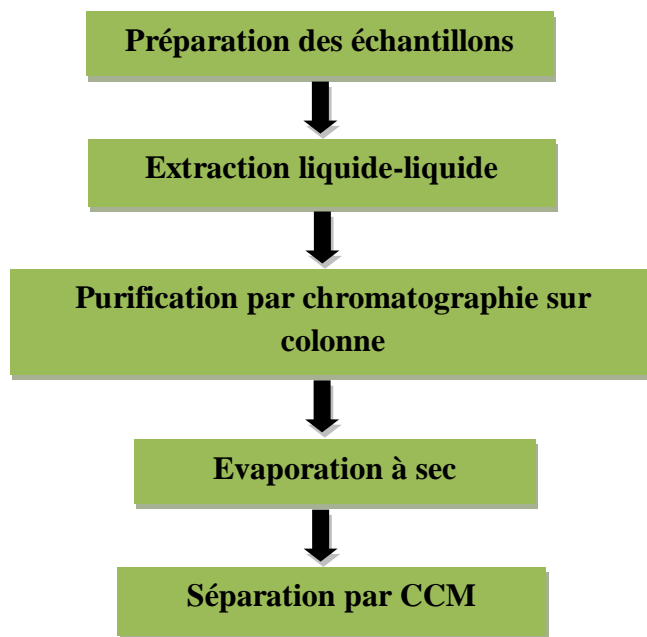


Figure 3. Les principales étapes de la détermination d'AFM1 dans le lait par CCM (Stubblefield, 1986).

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Echantillonnage

Dans la présente étude 5 échantillons de lait infantile de différentes marques ont été achetés à des pharmacies de la wilaya de Biskra, pendant la période de 10 à 13 Février 2020 (tab. 2).

Tableau 2. Echantillons du lait infantile.

Marque	Date de production	Date d'expiration	Numéro de l'échantillon
Nursie Confort	10/02/2019	18/02/2021	1
Aptajunior	14/08/2019	02/06/2021	2
Biomil	01/07/2019	01/07/2021	3
France lait confort	12/05/2019	12/05/2022	4
Gloria Junior	13/03/2019	02/03/2021	5

3.2.2. Méthodes

3.2.2.1. CCM des standards d'AFM1

Des chromatographies sur couche mince ont été effectuées pour les standards d'AFM1 (de la marque Bio-Shield) à l'abri de la lumière et selon les étapes suivantes :

-Préparation de la phase stationnaire

Une plaque CCM d'une dimension de 20×20 cm a été coupée en 4 petites plaques, puis une ligne de dépôt à 2 cm du bas de chaque plaque a été tracé au crayon.

Ensuite sur chaque ligne de dépôt les emplacements où les standards vont être déposées ont été marqués en laissant une distance d'environ 1.5 cm entre les emplacements et à 1 cm des bords.

A la fin des étapes précédentes les plaques ont été réactivées dans une étuve à 100°C pendant 30 minutes.

-Préparation de la phase mobile

Dans un bocal en verre qui a été lavé auparavant et stérilisé dans un four pasteur, l'éluant composé de 8.5 ml de chloroforme, 1 ml d'acétone et de 0.5 ml d'isopropanol a été versé.

Ensuite le bocal a été fermé et son couvercle bouché par du parafilm pour permettre la saturation de l'atmosphère.

-Dépôts des standards d'AFM1

A l'aide d'une micropipette 5 μ l de chaque concentration des standards d'AFM1 a été prélevée puis déposée sur la ligne de dépôt de chaque plaque CCM à l'emplacement marqué en changeant l'embout a chaque fois.

-Développement des plaques

Lorsque les dépôts sont secs chaque plaque CCM a été placée verticalement dans le bocal qui contient l'éluant contre son paroi en mettant la ligne de dépôt en bas ensuite après avoir bien fermé le bocal la diffusion de l'éluant à travers les plaques a été surveillés.

Les plaques ont été retirées quand l'éluant est à environ 1 cm du bord supérieur et le niveau atteint par les solvants a été marqué par un crayon.

Finalement les plaques ont été laissées sécher puis conservé dans des boites en verre stériles recouverte d'aluminium.

-Révélation

Au sein du laboratoire de chimie du département de science de la matière de l'université Mohamed Khider la révélation des plaques, a été effectuée en les déposants dans la chambre noire pour CCM munie d'une lampe UV (fig. 4), la longueur d'onde adéquate est 365 nm.



Figure 4. Chambre noire pour CCM à lampe UV.

3.2.2.2. Reconstitution du lait

Dans un bécher contenant 50 ml d'eau distillée 10 g de lait infantile a été dissoute sous agitation de 5 minutes.

3.2.2.3. Extraction liquide-liquide du lait infantile

La présente étape a été réalisé dans un endroit du laboratoire à l'abri de la lumière et le protocole extractif a été effectué selon la méthode de Stubblefield (1986) et comporte les étapes suivantes :

- Initialement le lait reconstitué a été introduit dans l'ampoule à décanter avec 10 ml de solution de chlorure de sodium saturée (voir annexe 1) puis 120 ml de chloroforme a été rajouté.

- Par la suite l'ampoule à décanter après l'avoir bouché et retiré de son support a subit une agitation énergique durant laquelle elle a été dégazée régulièrement.

- Puis l'ampoule à décanter a été reposée sur son support et débouchée ; ensuite le mélange a été laissé se séparer pendant 2 minutes.

- Après l'écoulement des 2 minutes le décantage a été effectué (fig. 5) en récupérant la phase inférieure (la phase organique) dans un erlenmeyer contenant 10 g de sulfate de sodium anhydre sous une agitation de 2 minutes (voir annexe 2).

- Ensuite le mélange a été filtré sur papier Whatman n°1.

- Finalement après avoir récupéré le filtrat dans des tubes à essais biens fermés ils ont été recouverts par du papier aluminium dans le but d'éviter tout contact de lumière, pour empêcher toute dégradation de l'AFM1 ; puis ils ont été conservés dans le réfrigérateur à 4°C.

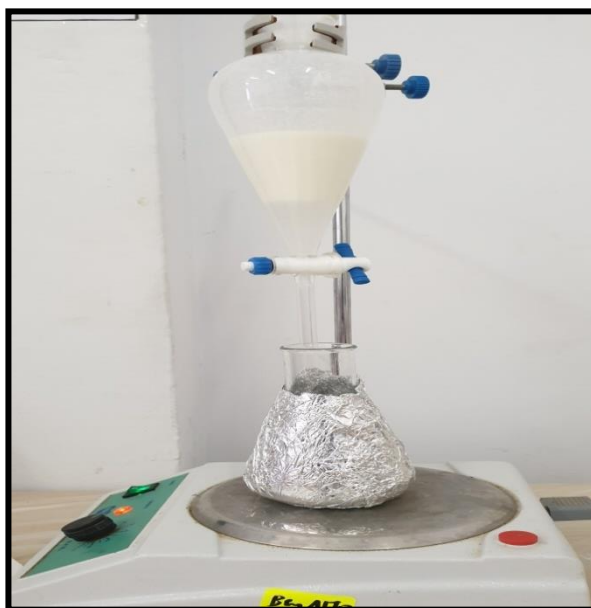


Figure 5. Montage de l'extraction liquide-liquide.

3.2.2.4. CCM du standard d'AFM1 et des extraits de lait

Les mêmes étapes suivies dans la partie CCM des standards de la marque Bio-Shield ont été appliquées dans cette partie (voir annexe 3), avec un changement au niveau de la 3^{ème} étape :

-Dépôts des standards et extraits du lait

Tableau 3. Volumes des extraits de lait et standards d'AFM1 déposés sur les plaques CCM.

Plaque	Extraits du lait	Standards d'AFM1
1	20 μ l de l'E ₁	3 μ l du S
2	20 μ l de l'E ₁ 20 μ l de l'E ₃ 20 μ l de l'E ₄	1 μ l du S

E₁ : extrait du lait Nursie, E₃ : extrait du lait Biomil, E₄ : extrait du lait France lait, S : standard d'AFM1 15 ppt.

3.2.2.5. Détection d'AFM1 dans le lait

L'absence des résultats nous ont contraints à compléter ce travail par des résultats extraits des articles de recherche traitant la détection d'aflatoxine M1 dans le lait infantile et dans le lait en poudre (voir annexe 4).

-Chapitre 4-
Résultats et discussions

4.1. CCM des standards d'AFM1

La chromatographie sur couche mince est une ancienne méthode sélective et rapide utilisée pour la séparation, l'évaluation de pureté et l'identification des composés organiques (Iqbal *et al.*, 2015 ; Campagnollo *et al.*, 2016). Cette méthode a été appliquée sur les standards d'AFM1 de la marque Bio-Shield pour vérifier leur efficacité.

Après la révélation des plaques qui a été effectuée dans la chambre noire pour CCM ; les profils chromatographique obtenus sous lampe UV à la longueur d'onde 365 nm sont regroupés dans la figure ci-dessous.



Figure 6. CCM des standards d'AFM1.

Les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 réfèrent respectivement aux concentrations 5, 10, 25, 50, 100, 250 et 1000 ppt des standards d'AFM1.

La révélation des 3 plaques a montré tous les standards d'AFM1 sous forme de spots émettant une fluorescence bleu-violette d'une intensité différente dans chaque concentration et qui non pas migré à travers les plaques ; ils sont restés dans la ligne de dépôt (la ligne tracée dans la partie inférieure de chaque plaque).

Les standards d'AFM1 qui ont une concentration de 25 et 1000 ppt ont subit une 2ème CCM. Les mêmes résultats obtenus par la CCM précédente ont été obtenus dans celle-ci (fig. 7).



Figure 7. CCM des standards d'AFM1.

Les résultats obtenus par la 1^{ère} et 2^{ème} CCM ont permis de conclure que tous les standards d'AFM1 sont défectueux et ne peuvent pas être utilisés dans la détection d'AFM1 dans nos échantillons. Cela est peut être dû à une mauvaise conservation des standards étant donné que ces derniers nécessitent un stockage dans l'obscurité à une température de 2 à 8 °C, afin d'empêcher toute dégradation de la molécule d'AFM1.

4.2. Extraction liquide-liquide du lait infantile

L'extraction liquide-liquide du lait infantile reconstitué a été effectuée en suivant la méthode de Stubblefield (1986) et qui consiste à utiliser le chloroforme comme solvant organique d'extraction. Le tableau 4 regroupe les volumes des phases organiques récupérés par cette extraction.

Tableau 4. Volumes des phases organiques récupérés par l'extraction.

Marque de lait	Volume récupéré	Code
Nursie confort	71 ml	E1
Aptajunior	60 ml	E2
Biomil	77 ml	E3
France lait confort	80 ml	E4
Gloria junior	65 ml	E5

Rahmani *et al.* (2009) expliquent que dans l'étape d'extraction l'aflatoxine M1 et tous les composés, ayant des propriétés similaires, vont migrer vers le solvant d'extraction jusqu'à l'équilibre soit établi. De cette façon, le composé souhaité peut être concentré dans le solvant et les interférences peuvent être éliminées.

4.3. CCM des standards d'AFM1 et extraits du lait

Les résultats obtenus par la CCM précédente sont considérés comme non satisfaisants ; d'autres standards d'AFM1 qui ont été fournis gracieusement par Mme. Redouane-Salah Sara ont été également testés avec les extraits 1,3 et 4 du lait (fig. 8).

Les profils chromatographiques obtenus par la révélation des plaques sous lampe UV à la longueur d'onde 365 nm ne montrent aucune fluorescence bleu-violette qui caractérise l'AFM1 ni au niveau des emplacements des standards d'AFM1 ni au niveau de la zone de migration sur les 2 plaques.

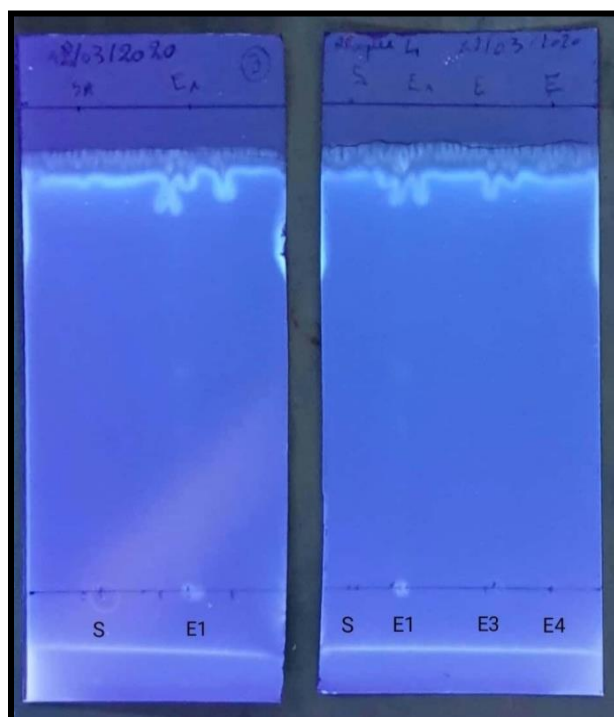


Figure 8. CCM des standards d'AFM1.

Les lettres S, E1, E3 et E4 réfèrent respectivement au standard d'AFM1 (15 ppt), extrait de lait 1, extrait de lait 3 et extrait de lait 4.

Dans les 2 plaques une légère fluorescence émise par 2 spots qui ont migrés de l'extrait de lait E1 (extrait de lait Nursie confort) a été observée, l'origine de cette fluorescence reste à confirmer parce qu'il n'y a pas de standards de référence qui permettent l'identification des molécules responsables de cette fluorescence vu que les standards utilisée sont défaillants.

4.4. Détection d'AFM1 dans le lait

La consommation de lait et des produits laitiers par la population humaine est assez élevée, notamment chez les nourrissons et les jeunes enfants ; la présence possible d'AFM1 dans le lait et les produits laitiers est une préoccupation mondiale en raison de ses implications négatives pour la santé des consommateurs (Rastogi *et al.*, 2004 ; Zinedine *et al.*, 2007 ; Redouane-salah *et al.*, 2015).

Théoriquement, si la partie expérimentale ait été achevée nous aurions été face à 3 résultats possibles : soit l'AFM1 n'aura pas été détecté dans nos échantillons, soit elle aura été détectée mais les concentrations n'auront pas dépassées le niveau légal maximal fixé par l'union européenne ou bien elles auront dépassées ce niveau. Ces mêmes possibilités ont été démontrées dans beaucoup d'études menées dans différents pays du monde.

4.4.1. Détection d'AFM1 dans le lait infantile

Les nourrissons sont les principaux consommateurs de lait et aussi le groupe le plus vulnérable de la population, ce qui les rend plus sensibles aux effets indésirables de l'AFM1, en particulier au cancer du foie. (Awaisheh *et al.*, 2019).

L'AFM1 est considérée depuis longtemps une préoccupation en matière de nutrition infantile (Gomez -Arranz et Navarro-Blasco, 2010) ; les nombreux chercheurs qui ont menés des études sur cette aflatoxine dans le lait infantile ont trouvés des résultats avec des variations remarquables, contrairement à l'Algérie où aucune étude sur ce sujet n'a été réalisée jusqu'à notre connaissance.

Dans une étude menée en Espagne, l'occurrence d'AFM1 a été évaluée dans 69 marques de lait infantile dont 24 marques de lait sous forme de poudre destinées aux nouveau-nés prématurés et nourrissons du 1 jour jusqu'à 4 à 6 mois (tab. 5).

Tableau 5. Concentrations d'AFM1 dans le lait infantile (Gomez-Arranz et Navarro-Blasco, 2010).

Lait infantile	Nombre d'échantillons	Echantillons négatifs	Echantillons positifs	Concentrations d'AFM1 (ng/kg)
Prématuré	7	6	1	0.6
1 ^{er} âge (0-6 mois)	17	11	6	(0.6-3.0)
Totale	24	17	7	(0.6-3.0)

Les résultats ont montrés que l'AFM1 a été détecté dans 7 échantillons avec des concentrations qui varient de 0.6 jusqu'à 3 ng/kg ; les concentrations d'AFM1 les plus élevées ont été observées dans les marques de lait destinées aux nourrissons de 0 jusqu'à 6 mois avec une valeur qui a atteint 3 ng/kg.

Des concentrations d'AFM1 plus élevées et qui varient entre 1 à 14 ng/kg ont été détectées dans les travaux menés par Oveisi et ses collaborateurs (2007) dans 116 marques de lait infantile commercialisées en Iran (tab. 6).

Tableau 6. Concentrations d'AFM1 dans le lait infantile (Oveisi *et al.*, 2007).

Lait infantile	Nombre d'échantillons	Echantillons positifs	Concentrations d'AFM1 (ng/kg)
	120	116	(1-14)

Globalement, les concentrations d'AFM1 enregistrées dans les 2 études précédentes ne dépassent pas les limites d'AFM1 fixées par les règlements de la commission européenne tolérant 25 ng/kg pour le lait infantile (EC, 2010).

Gomez-Arranz et Navarro-Blasco (2010) ont associé l'occurrence modérée d'AFM1 dans les 7 échantillons positifs et le nombre élevé d'échantillons non contaminés par l'AFM1 au processus de fabrication et manipulation du lait.

Il est bien connu que l'aflatoxine M1 dans le lait est principalement associée par des liaisons hydrophobes aux caséines et de ce fait le traitement thermique appliqué durant le processus de séchage du lait bovin en lait infantile en poudre provoque des changements dans l'interaction entre l'AFM1 et les caséines ce qui conduit à la dissociation d'AFM1 de ces protéines (Deveci et Sezgin, 2006 ; Gomez-Arranz et Navarro-Blasco, 2010 ; Campagnollo *et al.*, 2016).

Pradini et ses collègues (2009) considèrent le séchage de lait comme étant un facteur qui peut provoquer la séparation d'AFM1 des autres composants du lait, cette séparation rend cette toxine plus sensible à l'O₂ et à la lumière.

Oveisi et son équipe (2007) dans leur étude ont associés leurs résultats de la contamination du lait infantile par l'AFM1 à l'utilisation des fourrages contaminés par l'AFB1 dans l'alimentation des bovins iraniens.

Il en résulte de l'exposition des bovins à l'AFB1 via les fourrages contaminés un lait contaminé par l'AFM1 ; cette mycotoxine restera stable pendant le stockage et la transformation du lait (Rastogi *et al.*, 2004 ; Ismaiel *et al.*, 2020).

Les concentrations d'AFM1 dans le lait infantile ne sont pas toujours modérées car de nombreuses études réalisées dans plusieurs pays ont détectées des concentrations élevées d'AFM1 qui ont dépassées la limite fixée par les règlements de la commission européenne (tab. 7).

Tableau 7. Concentrations d'AFM1 dans le lait infantile.

Pays	Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons négatifs	Nombre d'échantillons positifs	Concentrations d'AFM1	Références
Italie	92	42	50	<1-79.6 ng/kg	(Galvano <i>et al.</i> , 2001)
Jordanie	20	-	20	16.55-154.14 ng/kg	(Omar., 2016)
	120	62	58	<5-213.84 ng/kg	(Awaisheh <i>et al.</i> , 2019)

Mexique	55	44	11	0-450 ng/l	(Quevedo- Garza <i>et al.</i> , 2020)
---------	----	----	----	---------------	--

Les résultats regroupés dans le tableau 7 montrent que Galvano et son équipe (2001) dans leurs travaux menés en Italie ont détectés des concentrations élevées d'AFM1 dans 50 marques de lait infantile où la concentration maximale a atteint 79.6 ng/kg.

Les résultats précédents étaient inférieurs à ceux obtenus par Omar (2016) qui a réalisé que sur les 20 échantillons de lait infantile commercialisé en Jordanie qui l'a étudié étaient contaminés par l'AFM1 à des concentrations de 16.55 jusqu'à 154.14 ng/kg.

En accord mais supérieur à Omar (2016) ; Awaisheh *et al.* (2019) dans leur étude réalisée en Jordanie ont rapportés des concentrations d'AFM1 plus élevées dans 58 marques de lait infantile, les concentrations ont atteint 213.84 ng/kg.

L'étude récente de Quevedo-Garza *et al.* (2020) a pu enregistrées les concentrations d'AFM1 les plus élevées par rapport aux 3 études précédentes avec une concentration maximale de 450 ng/l.

En se référant aux limites d'AFM1 fixées par les règlements de la commission européenne (EC, 2010), il a été remarqué que tous les résultats de ces études dépassaient la concentration de 25 ng d'AFM1 par kg de lait infantile.

Les résultats obtenus dans ces 4 études ont enregistrées des concentrations élevées d'AFM1 qui varient considérablement d'une étude à une autre mais la cause de ces contaminations élevées n'a pas été précisée dans les études.

Selon Galvano et ses collaborateurs (1996) la comparaison des résultats de la contamination par l'aflatoxine M1 issus de plusieurs études est assez difficile en raison des grandes différences propres à chaque pays de par l'alimentation, les facteurs animaux et environnementaux ainsi que les procédures d'extraction et d'analyse, mais généralement les contaminations élevées du lait infantile par l'AFM1 est dû principalement à la consommation des bovins des aliments hautement contaminés par AFB1 (Rastogi *et al.*, 2004 ; Iqbal *et al.*, 2015).

La comparaison des résultats de Galvano *et al.* (2001), Omar (2016), Awaisheh *et al.* (2019), Quevedo-Garza *et al.* (2020) avec celle de Gomez-Arranz et Navarro-Blasco (2010) montre bien que le processus de séchage du lait n'est pas toujours un facteur influant sur la contamination d'AFM1 dans les 4 premières études vu que les concentrations enregistrées d'AFM1 ont été élevées ; en relation avec ces études précédentes Mohammadi (2011) a prouvé que la destruction de l'AFM1 durant le processus de séchage de lait dépend de la combinaison du temps et de la température du traitement thermique appliqué.

4.4.2. Détection d'AFM1 dans le lait en poudre

En plus de l'occurrence d'aflatoxine M1 dans le lait infantile, l'occurrence de cette mycotoxine dans le lait en poudre commercialisé représente un enjeu important pour les personnes qui consomment ce produit quotidiennement (Elkak *et al.*, 2012 ; Elsayed et Abd El-Fatah, 2015).

La présence d'AFM1 dans le lait en poudre a été largement rapportée dans différents pays, notamment l'Algérie (Redouane-Salah *et al.*, 2015), Brésil (Gonçalves *et al.*, 2018), Jordanie (Omar, 2016), Lebanon (Assem et Mohamad, 2011), Maroc (Alahlah *et al.*, 2020), Soudan (Ali *et al.*, 2014) et la Syrie (Ghanem et Orfi, 2009) ; les résultats obtenus dans ces études ont été regroupés dans le tableau suivant.

Tableau 8. Concentrations d'AFM1 dans le lait en poudre issues de 6 études.

Pays	Nombre d'échantillons	Echantillons positifs	Concentrations d'AFM1	Références
Algérie	14	3	9-20 ng/l	(Redouane-Salah <i>et al.</i> , 2015)
		1	103 ng/l	
Brésil	10	6	88-2800 ng/kg	(Gonçalves <i>et al.</i> , 2018)
Jordanie	15	15	18-288.68 ng/kg	(Omar, 2016)
Lebanon	14	5	9.18-16.5 ng/l	(Assem et Mohamad, 2011)
Maroc	7	7	15.2-39.9 ng/l	(Alahlah <i>et al.</i> , 2020)

Soudan	12	12	10-850 ng/kg	(Ali <i>et al.</i> , 2014)
Syrie	8	1	12 ng/l	(Ghanem et Orfi, 2009)

Les résultats illustrés dans le tableau 8 montrent qu'il y a des différences notables dans les niveaux de contamination d'AFM1 dans le lait en poudre rapportées par ces études.

Dans la seule étude réalisée en Algérie sur la détection d'AFM1 dans le lait en poudre, 4 marques de lait ont été trouvées contaminées avec des valeurs qui varient de 9 jusqu'à 103 ng/l ; dans cette étude 3 concentrations d'AFM1 non pas dépassées les règlements de la commission européenne tolérant 50 ng/l, tandis qu'une concentration détectée dans une marque de lait importée d'Argentine l'a dépassée ; il est à mentionner qu'aucune limite maximale autorisée d'AFM1 dans le lait n'a été établie en Algérie jusqu'à présent, et ceci suivant notre propre régime alimentaire (Redouane-Salah *et al.*, 2015 ; Mohammedi-Ameur *et al.*, 2020).

Dans la récente étude de Alahlah et ses collaborateurs (2020), réalisée au Maroc, les niveaux de contamination par l'aflatoxine M1 qui ont été détectés dans les 7 marques de lait en poudre fabriquées localement et qui varient de 15.2 jusqu'à 39.9 ng/l n'ont dépassés ni la limite européenne ni la limite de la réglementation nationale tolérant 50 ng/l.

Selon Alahlah *et al.* (2020) le nombre élevé d'échantillons contaminés par l'AFM1 est probablement dû à la réduction de la quantité d'eau durant la transformation du lait liquide en lait en poudre ; ce processus conduit à une forte augmentation de la concentration d'AFM1, car cette dernière molécule est fortement liée à la caséine.

Cependant, les valeurs d'AFM1 rapportées dans les deux études précédentes étaient plus élevées par rapport à ceux de Ghanem et Orfi (2009) et Assem et Mohamad (2011) qui ont détectés respectivement des concentrations d'AFM1 plus faibles de 12 ng/l et de 9.18 jusqu'à 16.5 ng/l ; les résultats de ces études montrent que les contaminations par cette toxine sont modérées et ne dépassent pas la limite fixée par la commission européenne ; de plus la concentration enregistrée dans l'étude de Ghanem et Orfi (2009) réalisée en Syrie ne dépasse pas la limite nationale autorisée d'AFM1 à tolérance de 50 ng/l.

La faible contamination enregistrée dans l'étude de Ghanem et Orfi (2009) peut être expliquée par le fait que le lait en poudre en Syrie est principalement importé des pays européens et ces derniers appliquent un niveau de tolérance maximal stricte d'AFM1 dans le lait en poudre (50 ng/l).

Globalement, les résultats des 4 études précédentes sont tolérables et non pas dépassées la limite de la commission européenne ainsi que les limites nationales néanmoins, cela n'empêche pas la présence de risques majeurs pour la santé des consommateurs Algériens, Marocains, Libanais et Syriens car selon Galvano *et al.* (1996) et Elsayed et Abd El-Fatah (2015) même si les niveaux d'AFM1 sont dans les limites réglementaires, cela ne peut pas empêcher l'effet chronique des aflatoxines, principalement l'effet cancérigène, en raison d'une exposition prolongée à de faibles niveaux ; cet effet cancérigène des aflatoxines M1 est influencé par la durée et le niveau d'exposition (Elkak *et al.*, 2012).

Contrairement aux études précédentes, des travaux menés au Soudan, Jordanie et Brésil ont pu détecter des concentrations très élevées d'AFM1 dans leurs échantillons.

Omar (2016) a détecté des niveaux de contamination dans les 15 échantillons qui l'a testé et qui varient de 18 jusqu'à 288.68 ng d'AFM1 par kg de lait en poudre, ces valeurs ont dépassées les limites d'AFM1 fixées par les règlements de la commission européenne, le Codex Alimentarius tolérants 50 ng/kg ; néanmoins ils non pas dépassées la valeur limite (500 ng/kg) acceptée par la réglementation des Etats Unis.

Des concentrations d'AFM1 plus élevées par rapport à ceux de Omar (2016) ont été enregistrées dans les travaux de Ali et ses collaborateurs (2014) qui ont trouvés les 12 échantillons analysés contaminés par cette mycotoxine avec des concentrations de 10 jusqu'à 850 ng/kg dépassants les limites de la commission européenne, le Codex Alimentarius ainsi que la concentration limite d'AFM1 fixée par la réglementation des Etats Unis.

Les résultats de la détection quantitative de l'aflatoxine M1 obtenus par Gonçalves et son équipe (2018) ont révélés 6 marques de lait en poudre contaminées à des valeurs qui varient de 88 jusqu'à 2800 ng/kg, ces niveaux de contaminations par l'AFM1 très élevées ont dépassées les valeurs fixées par la commission européenne ainsi que la réglementation des Etats Unis (500 ng/kg), réglementation adoptée aussi par le Brésil.

Les niveaux de contamination trop élevés obtenus dans les 3 études précédentes peuvent être associés principalement à l'utilisation du lait liquide déjà contaminé par des quantités élevées d'AFM1.

Ce derniers apparait dans le lait suite à l'ingestion des fourrages contaminés par l'AFB1 par les bovins laitiers, cette contamination par l'AFB1 peut être causée par plusieurs facteurs propres à chaque pays, notamment les conditions météorologiques, et de stockage des fourrages ; par conséquent l'aflatoxine M1 va se présenter dans tous les produits fabriqués avec ce lait contaminé et vue que le processus de pasteurisation du lait ne détruit pas cette toxine cela provoque son transfert dans le lait en poudre (Prandini *et al.*, 2009 ; Elkak *et al.*, 2012 ; Durate *et al.*, 2013 ; Gonçalves *et al.*, 2018).

Le lait sans aflatoxine est considéré comme souhaitable, mais il n'est pas facile d'atteindre cet idéal. Toutefois, tous les pays acceptent la contamination du lait par cette toxine, à condition que les quantités d'AFM1 soient limitées au niveau le plus bas possible ; néanmoins l'observation des concentrations d'AFM1 détectées dans les 3 études précédentes a montré que les niveaux de contamination était trop élevées ce qui peut augmenter les risques de développer un cancer du foie, l'hépatite, la jaunisse et la cirrhose pour les consommateurs (Tajkarimi *et al.*, 2007 ; Elkak *et al.*, 2012 ; Davoodi *et al.*, 2013).

Conclusion

La consommation du lait en poudre et du lait infantile contaminés par l'AFM1 peut avoir un impact négatif sur la santé des consommateurs, en particulier pour les nourrissons et les enfants qui sont plus exposés à l'ingestion de cette toxine, car le lait est le principal constituant de leur alimentation.

Notre travail est réalisé dans l'objectif de présenter des résultats issus de plusieurs travaux de recherche traitant de la détection et de la quantification d'AFM1 dans le lait infantile et dans le lait en poudre, ainsi qu'à comparer les concentrations enregistrées avec les valeurs maximales d'AFM1 fixées par les réglementations afin de pouvoir donner un aperçu général sur les variations de concentrations de cette toxine dans le lait infantile et le lait en poudre.

Les réglementations gouvernementales dans le monde concernant les limites d'AFM1 diffèrent les unes des autres, la concentration la plus basse d'AFM1 a été approuvée par l'Union européenne (UE) et le Codex Alimentarius, fixant un niveau maximal admissible de 50 ng/kg dans le lait séchés et 25 ng/kg pour le lait infantile.

La comparaison des concentrations d'AFM1 dans le lait infantile et dans le lait en poudre issus des études sélectionnées dans notre travail avec les limites d'AFM1 fixées par les réglementations européennes et le Codex Alimentarius a pu révéler des variations notables dans les valeurs enregistrées d'AFM1 ; plusieurs travaux ont détectés des concentrations faibles et modérées et qui n'ont pas dépassées les limites de 25 ng/kg pour le lait infantile et 50 ng/kg pour le lait en poudre, à l'inverse d'autres études, où des valeurs d'AFM1 trop élevées et qui ont dépassée les valeurs maximales fixées par les réglementations européennes et onusien du codex alimentarius et/ou les limites d'AFM1 fixées par les Etats Unis ont été détectées.

Les taux faibles et les taux élevés des contaminations du lait infantile et du lait séché enregistrés dans ces études sont dus principalement à l'utilisation du lait de vache plus ou moins contaminé par l'aflatoxine M1. Cette toxine est très stable à la chaleur et de ce fait le traitement du lait tel que la pasteurisation et le séchage ne peuvent pas la détruire totalement.

Les concentrations faibles et les concentrations élevées d'AFM1 détectées dans ces études présentent un risque particulier pour la santé humaine due à leur intoxication aigue et chronique.

La recherche et la quantification de l'aflatoxine M1 dans le lait est d'une grande importance dans l'évaluation de l'exposition à l'aflatoxine M1 chez les humains, ainsi que dans le contrôle des contaminations par cette mycotoxine, cependant elle ne représente qu'une étape préliminaire dans le contrôle de cette toxine ; néanmoins de nombreux travaux s'imposent :

- Rechercher régulièrement et contrôler l'AFB1 dans les fourrages des vaches bovins.
- Rechercher et quantifier l'AFM1 dans le lait cru destiné à la fabrication du lait en poudre, pasteurisé et UHT en Algérie.
- Etablir une réglementation nationale pour les limites maximale d'AFM1 dans le lait et ses dérivés.

Bibliographie

A

Alahlah N., El Maadoudi M., Bouchriti N., Triqui R., & Bougtaib H. 2020. Aflatoxin M1 in UHT and powder milk marketed in the northern area of Morocco. *Food Control* 114:107-262.

Ali M. A. I., El Zubeir I. E. M., & Fadel Elseed A. M. A. 2014. Aflatoxin M1 in raw and imported powdered milk sold in Khartoum state, Sudan. *Food Additives & Contaminants* 7(3):208-212.

Assaf J. C., Nahle S., Chokr A., Louka N., Atoui A., & El Khoury A. 2019. Assorted methods for decontamination of Aflatoxin M1 in milk using microbial adsorbents. *Toxins* 11(6):2-23.

Assem E., & Mohamad A. 2011. A survey on the occurrence of aflatoxin M1 in raw and processed milk samples marketed in Lebanon. *Food Control* 22(12):1856-1858.

Awaisheh S. S., Rahahleh R. J., Algroom R. M., Al-Bakheit A. A. A., Al-Khaza'leh J. F. M., & Al-Dababseh B. A. 2019. Contamination level and exposure assessment to Aflatoxin M1 in Jordanian infant milk formulas. *Italian journal of food safety* 8(3):127-130.

B

Barreto F., Jank L., Castilhos T., Rau R. B., Tomaszewski C. A., Ribeiro C., & Hillesheim D. R. 2019. Chemical residues and mycotoxins in raw milk. In *Raw milk*. Academic Press, pp. 273-293.

Bekhouche-Guendouz N. 2011. Evaluation de la durabilité des exploitations bovines laitières des Bassins de la Mitidja et d'Annaba. Thèse de doctorat d'état, Institut National Polytechnique de Lorraine, 310 p.

Benkerroum N. 2020. Aflatoxins: Producing-Molds, Structure, Health Issues and Incidence in Southeast Asian and Sub-Saharan African Countries. *International journal of environmental research and public health* 17(4):12-15.

C

Campagnollo F. B., Ganey K. C., Khaneghah A. M., Portela J. B., Cruz A. G., Granato D. & Sant'Ana A. S. 2016. The occurrence and effect of unit operations for dairy products processing on the fate of aflatoxin M1: A review. *Food Control* 68:310-329.

Campono L., Piccinelli A. L., Celano R., Pagano I., Di Sanzo R., Carabetta S. & Rastrelli L. 2018. Occurrence of aflatoxin M1 in milk samples from Italy analysed by online-SPE UHPLC-MS/MS. *Natural product research* 32(15):1803-1808.

D

Davoodi H., Esmaili S., & Mortazavian A. M. 2013. Effects of milk and milk products consumption on cancer: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12(3):249-264.

Deveci O., & Sezgin E. 2006. Changes in concentration of aflatoxin M1 during manufacture and storage of skim milk powder. *Journal of food protection* 69(3):682-685.

Duarte S. C., Almeida A. M., Teixeira A. S., Pereira A. L., Falcão A. C., Pena A., & Lino C. M. 2013. Aflatoxin M1 in marketed milk in Portugal: Assessment of human and animal exposure. *Food Control* 30(2): 411-417.

E

EC (European Commission). 2010. Commission regulation (EU) No 165/2010 of 26 February 2010 amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards aflatoxins. *Official Journal of European Union* 50:8-12.

El Hassani S. K. 2013. La Dépendance Alimentaire en Algérie: Importation de Lait en Poudre versus Production Locale, Quelle Evolution? *Mediterranean Journal of Social Sciences* 4(11):152-158.

Elkak A., El Atat O., Habib J., & Abbas M. 2012. Occurrence of aflatoxin M1 in cheese processed and marketed in Lebanon. *Food Control* 25(1):140-143.

Elsayed M. S., & Abd El-Fatah E. N. 2015. Prevalence of aflatoxin M1 in some milk products widely consumed by infants and children, marketed in Sharkia, Egypt. *Global Veterinaria* 14(4):560-566.

F

Fox P. F., Guinee T. P., Cogan T. M., & McSweeney P. L. 2017. Chemistry of milk constituents. In *Fundamentals of Cheese Science*. 1^{ère} édition, Springer, Boston. p. 71.

G

Galvano F., Galofaro V., & Galvano G. 1996. Occurrence and stability of aflatoxin M1 in milk and milk products: a worldwide review. *Journal of Food protection* 59(10):1079-1090.

Galvano F., Galofaro V., Ritieni A., Bognanno M., De Angelis A., & Galvano G. 2001. Survey of the occurrence of aflatoxin M1 in dairy products marketed in Italy: second year of observation. *Food Additives & Contaminants* 18(7):644-646.

Ghanem I., & Orfi M. 2009. Aflatoxin M1 in raw, pasteurized and powdered milk available in the Syrian market. *Food Control* 20(6):603-605.

Giovati L., Magliani W., Ciociola T., Santinoli C., Conti S., & Polonelli L. 2015. AFM1 in milk: physical, biological and prophylactic methods to mitigate contamination. *Toxins* 7(10):4330-4349.

Gomez-Arranz E., & Navarro-Blasco I. 2010. Aflatoxin M1 in Spanish infant formulae: Occurrence and dietary intake regarding type, protein-base and physical state. *Food Additives and Contaminants* 3(3):193-199.

Gonçalves K. D. M., Sibaja K. V. M., Feltrin A. C. P., Remedi R. D., de Oliveira Garcia S., & Garda-Buffon J. 2018. Occurrence of aflatoxins B1 and M1 in milk powder and UHT consumed in the city of Assomada (Cape Verde Islands) and southern Brazil. *Food Control* 93: 260-264.

Guo X., Wen F., Qiao Q., Zheng N., Saive M., Fauconnier M. L., & Wang J. 2019. A novel graphene oxide-based aptasensor for amplified fluorescent detection of aflatoxin M1 in milk powder. *Sensors* 19(18):1-9.

I

Iqbal S. Z., Jinap S., Pirouz A. A., & Faizal A. A. 2015. Aflatoxin M1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. *Trends in Food Science & Technology* 46(1):110-119.

Ishikawa A. T., Takabayashi-Yamashita C. R., Ono E., Bagatin A. K., Rigobello F. F., Kawamura O., Hirooka E. Y. & Itano E. N. 2016. Exposure assessment of infants to aflatoxin

M1 through consumption of breast milk and infant powdered milk in Brazil. *Toxins* 8(9):246-257.

Ismail A. A., Tharwat N. A., Sayed M. A., & Gameh S. A. 2020. Two-year survey on the seasonal incidence of aflatoxin M1 in traditional dairy products in Egypt. *Journal of Food Science and Technology* 57(6):2182–2189.

J

Jaiswal P., Jha S. N., Kaur J., Borah A., & Ramya H. G. 2018. Detection of aflatoxin M1 in milk using spectroscopy and multivariate analyses. *Food chemistry* 238:209-214.

Jiang Y. J., & Guo M. 2014. *Human milk biochemistry and infant formula manufacturing technology*. Woodhead Publishing pp. 211.

K

Kabir A. 2015. *Contrainte de la production laitière en Algérie et évaluation de la qualité du lait dans l'industrie laitière (constats et perspectives)*. Thèse de doctorat d'état, université Ahmed Ben Bella, Oran, 153 p.

Ketney O., Santini A., & Oancea S. 2017. Recent aflatoxin survey data in milk and milk products: A review. *International Journal of Dairy Technology* 70(3):320-331.

Kumar V. V. 2018. Aflatoxins: Properties, toxicity and detoxification. *International Journal of Nutrition & Food Science* 6(5):555-696.

L

Leksir C. 2012. *Caractérisation et contrôle de la qualité de ferments lactiques utilisés dans l'industrie laitière algérienne*. Mémoire de magister, université Mentouri, Constantine, 162 p.

Li H., Xing L., Zhang M., Wang J., & Zheng N. 2018. The toxic effects of aflatoxin B1 and aflatoxin M1 on kidney through regulating L-proline and downstream apoptosis. *BioMed research international* 2018:907-4861.

M

Marchese S., Polo A., Ariano A., Velotto S., Costantini S., & Severino L. 2018. Aflatoxin B1 and M1: Biological properties and their involvement in cancer development. *Toxins* 10(6):2-19.

Masum A. K. M., Chandrapala J., Huppertz T., Adhikari B., & Zisu B. 2020. Production and of infant milk formula powders: A review. *Drying Technology* 1-21.

Mohammadi H. 2011. Aflatoxins, biochemistry and molecular biology. Ed. DRG Guevara-Gonzalez pp. 397.

Mohammadi H., Mazloomi S. M., Eskandari M. H., Aminlari M., & Niakousari M. 2017. The Effect of Ozone on Aflatoxin M1, Oxidative Stability, Carotenoid Content and the Microbial Count of Milk. *Ozone: Science & Engineering* 39(6):447-453.

Mohammedi-Ameur S., Dahmane M., Brera C., Kardjadj M., & Ben-Mahdi M. H. 2020. Occurrence and seasonal variation of aflatoxin M1 in raw cow milk collected from different regions of Algeria. *Veterinary World* 13(3):433-439.

Moussa A. I., Sobeih A. M., Al-Hawary I. I., Elkassas W. M., & Barakat R. 2020. Efficacy of Kaolin and Bentonite Clay to Reduce Aflatoxin M1 Content in Contaminated Milk and Effects on Milk Quality. *Pakistan Veterinary Journal* 40(2):181-186.

Mulunda M., Ngoma L., Nyirenda M., Motsei L., & Bakunzi F. 2013. A decade of aflatoxin M1 surveillance in milk and dairy products in developing countries (2001-2011): A Review. *Mycotoxin and Food safety in developing countries* 2013:39-60.

Mwanza M., Abdel-Hadi A., Ali A. M., & Egbuta M. 2015. Evaluation of analytical assays efficiency to detect aflatoxin M1 in milk from selected areas in Egypt and South Africa. *Journal of dairy science* 98(10):6660-6667.

N

Nag S. K. 2010. Contaminants in milk: routes of contamination, analytical techniques and methods of control. In *Improving the safety and quality of milk*. Elsevier p. 146.

Nasirpour A., Scher J., & Desobry S. 2006. Baby foods: formulations and interactions (a review). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46(8):665-681.

Nguyen T., Flint S., & Palmer J. 2020. Control of aflatoxin M1 in milk by novel methods: A review. *Food Chemistry* 2020:39-60.

O

Omar S. S. 2016. Aflatoxin M1 levels in raw milk, pasteurised milk and infant formula. *Italian Journal of Food Safety* 5(3):158-160.

Oveisi M. R., Jannat B., Sadeghi N., Hajimahmoodi M., & Nikzad A. 2007. Presence of aflatoxin M1 in milk and infant milk products in Tehran, Iran. *Food Control* 18(10):1216-1218.

P

Prandini A., Tansini G. I. N. O., Sigolo S., Filippi L. A. U. R. A., Laporta M., & Piva G. 2009. On the occurrence of aflatoxin M1 in milk and dairy products. *Food and chemical toxicology* 47(5):984-991.

Q

Quadri S. H., Niranjana MS., Chaluvaram Kc., Shantaram U., & Enamul Hs. 2012. An overview on chemistry, toxicity, analysis and control of aflatoxins. *International Journal of Chemical and Life Sciences* 2:1071-1078.

Quevedo-Garza P. A., Amador-Espejo G. G., Salas-García R., Ramos-Peña E. G., & Trujillo A. J. 2020. Aflatoxin M1 determination in infant formulae distributed in Monterrey, Mexico. *Toxins* 12(2):2-8.

R

Rahmani A., Jinap S., & Soleimany F. 2009. Qualitative and quantitative analysis of mycotoxins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 8(3):202-251.

Rastogi S., Dwivedi P. D., Khanna S. K., & Das M. 2004. Detection of aflatoxin M1 contamination in milk and infant milk products from Indian markets by ELISA. *Food control* 15(4):287-290.

Razzaghi-Abyaneh M. 2013. Aflatoxins: recent advances and future prospects. 1^{ère} édition, In Tech. 406 p.

Redouane-Salah S., Morgavi D. P., Arhab R., Messai A., & Boudra H. 2015. Presence of aflatoxin M 1 in raw, reconstituted, and powdered milk samples collected in Algeria. *Environmental monitoring and assessment* 187(6):375-378.

S

Seid A., & Mama A. 2019. Aflatoxicosis and Occurrence of aflatoxin M1 (AFM1) in milk and dairy products: A Review. *Austin J Vet Sci & Anim Husb* 6(1):1-12.

Shahbazi Y. 2017. Aflatoxin M1 Contamination in Milk and Dairy Products: Implications on Human Health. In *Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease*. Elsevier. pp. 237-250.

Stubblefield R. D. 1986. Thin layer and high performance liquid chromatographic methods for the analysis of aflatoxins in animal tissues and fluids. *Diagnosis of Mycotoxicoses*. 1ère édition, Springer, USA, pp. 257-269.

T

Tajkarimi M., Aliabadi F. S., Nejad M. S., Pursoltani H., Motallebi A. A., & Mahdavi H. 2007. Seasonal study of aflatoxin M1 contamination in milk in five regions in Iran. *International journal of food microbiology* 116(3):346-349.

V

Vaclavik V. A., Christian E. W., & Christian E. W. 2008. *Essentials of food science*, Vol. 42, New York. p. 238.

Vaz A., Cabral Silva A. C., Rodrigues P., & Venâncio A. 2020. Detection methods for aflatoxin M1 in dairy products. *Microorganisms* 8(2):2-16.

W

Womack E. D., Sparks D. L., & Brown A. E. 2016. Aflatoxin M1 in milk and milk products: a short review. *World Mycotoxin Journal* 9(2):305-315.

X

Xiong J., Peng L., Zhou H., Lin B., Ya, P., Wu W., Liu Y., Wu L., & Qiu Y. 2020. Prevalence of aflatoxin M1 in raw milk and three types of liquid milk products in central-south China. *Food Control* 108:106-111.

Xu C., Kuang H., & Xu L. 2019. *Food Immunoassay*. Springer, Singapore, 371 p.

Z

Zinedine A., González-Osnaya L., Soriano J. M., Moltó J. C., Idrissi L., & Manes J. 2007. Presence of aflatoxin M1 in pasteurized milk from Morocco. *International journal of food microbiology* 114(1):25-29.

Annexes

Annexe 1. Préparation de la solution de chlorure de sodium saturée (Stubblefield, 1986)

La solution a été préparée en ajoutant, par intermittence, 10 g de chlorure de sodium à 50 ml d'eau distillée sous agitation, puis le volume est complété à 100 ml, ensuite la solution a subi une agitation de 10 minutes.

Annexe 2. Appareillages et matériels chimiques utilisés lors d'extraction

Tableau 1. Appareillages et matériels chimiques utilisés lors d'extraction

Appareillages	Matériels chimiques
Agitateur magnétique (FALC F30)	Chloroforme (Sigma-Aldrich)
Ampoule à décanter (250 ml)	Solution de chlorure de sodium saturé
Balance normale (OHAUS Scout SE)	Sulfate de sodium anhydre (Biochem)

Annexe 3. Appareillages et matériels chimiques utilisés lors des CCM

Matériels chimiques :

- Acétone, chloroforme, isopropanol (Sigma-Aldrich).
- Plaques CCM gel de silice 60 F₂₅₄ 20×20 cm (Merck).
- Standards d'aflatoxine M1 (Bio-Shield).
- Standard d'aflatoxine M1.

Appareillages :

- Chambre noire pour CCM à lampe UV (Vilber Lourmat modèle CN-15).

Annexe 4. Articles utilisées pour compléter la partie pratique.

Alahlah N., El Maadoudi M., Bouchriti N., Triqui R., & Bougtaib H. 2020. Aflatoxin M1 in UHT and powder milk marketed in the northern area of Morocco. *Food Control* 114:107-262.

Ali M. A. I., El Zubeir I. E. M., & Fadel Elseed A. M. A. 2014. Aflatoxin M1 in raw and imported powdered milk sold in Khartoum state, Sudan. *Food Additives & Contaminants* 7(3):208-212.

Assem E., & Mohamad A. 2011. A survey on the occurrence of aflatoxin M1 in raw and processed milk samples marketed in Lebanon. *Food Control* 22(12):1856-1858.

Awaisheh S. S., Rahahleh R. J., Algroom R. M., Al-Bakheit A. A. A., Al-Khaza'leh J. F. M., & Al-Dababseh B. A. 2019. Contamination level and exposure assessment to Aflatoxin M1 in Jordanian infant milk formulas. *Italian journal of food safety* 8(3):127-130.

Campagnollo F. B., Ganev K. C., Khaneghah A. M., Portela J. B., Cruz A. G., Granato D., ... & Sant'Ana A. S. 2016. The occurrence and effect of unit operations for dairy products processing on the fate of aflatoxin M1: A review. *Food Control* 68:310-329.

Davoodi H., Esmaeili S., & Mortazavian A. M. 2013. Effects of milk and milk products consumption on cancer: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12(3):249-264.

Deveci O., & Sezgin E. 2006. Changes in concentration of aflatoxin M1 during manufacture and storage of skim milk powder. *Journal of food protection* 69(3):682-685.

Duarte S. C., Almeida A. M., Teixeira A. S., Pereira A. L., Falcão A. C., Pena A., & Lino C. M. 2013. Aflatoxin M1 in marketed milk in Portugal: Assessment of human and animal exposure. *Food Control* 30(2): 411-417.

Elkak A., El Atat O., Habib J., & Abbas M. 2012. Occurrence of aflatoxin M1 in cheese processed and marketed in Lebanon. *Food Control* 25(1):140-143.

Elsayed M. S., & Abd El-Fatah E. N. 2015. Prevalence of aflatoxin M1 in some milk products widely consumed by infants and children, marketed in Sharkia, Egypt. *Global Veterinaria* 14(4):560-566.

- Galvano F., Galofaro V., & Galvano G. 1996. Occurrence and stability of aflatoxin M1 in milk and milk products: a worldwide review. *Journal of Food protection* 59(10):1079-1090.
- Galvano F., Galofaro V., Ritieni A., Bognanno M., De Angelis A., & Galvano G. 2001. Survey of the occurrence of aflatoxin M1 in dairy products marketed in Italy: second year of observation. *Food Additives & Contaminants* 18(7):644-646.
- Ghanem I., & Orfi M. 2009. Aflatoxin M1 in raw, pasteurized and powdered milk available in the Syrian market. *Food Control* 20(6):603-605.
- Gomez-Arranz E., & Navarro-Blasco I. 2010. Aflatoxin M1 in Spanish infant formulae: Occurrence and dietary intake regarding type, protein-base and physical state. *Food Additives and Contaminants* 3(3):193-199.
- Gonçalves K. D. M., Sibaja K. V. M., Feltrin A. C. P., Remedi R. D., de Oliveira Garcia S., & Garda-Buffon J. 2018. Occurrence of aflatoxins B1 and M1 in milk powder and UHT consumed in the city of Assomada (Cape Verde Islands) and southern Brazil. *Food Control* 93: 260-264.
- Iqbal S. Z., Jinap S., Pirouz A. A., & Faizal A. A. 2015. Aflatoxin M1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. *Trends in Food Science & Technology* 46(1):110-119.
- Ismail A. A., Tharwat N. A., Sayed M. A., & Gameh S. A. 2020. Two-year survey on the seasonal incidence of aflatoxin M1 in traditional dairy products in Egypt. *Journal of Food Science and Technology* 57(6):2182–2189.
- Mohammedi-Ameur S., Dahmane M., Brera C., Kardjadj M., & Ben-Mahdi M. H. 2020. Occurrence and seasonal variation of aflatoxin M1 in raw cow milk collected from different regions of Algeria. *Veterinary World* 13(3):433-439.
- Omar S. S. 2016. Aflatoxin M1 levels in raw milk, pasteurised milk and infant formula. *Italian Journal of Food Safety* 5(3):158-160.
- Oveisi M. R., Jannat B., Sadeghi N., Hajimahmoodi M., & Nikzad A. 2007. Presence of aflatoxin M1 in milk and infant milk products in Tehran, Iran. *Food Control* 18(10):1216-1218.

- Prandini A., Tansini G. I. N. O., Sigolo S., Filippi L. A. U. R. A., Laporta M., & Piva G. 2009. On the occurrence of aflatoxin M1 in milk and dairy products. *Food and chemical toxicology* 47(5):984-991.
- Quevedo-Garza P. A., Amador-Espejo G. G., Salas-García R., Ramos-Peña E. G., & Trujillo A. J. 2020. Aflatoxin M1 determination in infant formulae distributed in Monterrey, Mexico. *Toxins* 12(2):2-8.
- Rastogi S., Dwivedi P. D., Khanna S. K., & Das M. 2004. Detection of aflatoxin M1 contamination in milk and infant milk products from Indian markets by ELISA. *Food control* 15(4):287-290.
- Redouane-Salah S., Morgavi D. P., Arhab R., Messai A., & Boudra H. 2015. Presence of aflatoxin M 1 in raw, reconstituted, and powdered milk samples collected in Algeria. *Environmental monitoring and assessment* 187(6):375-378.
- Tajkarimi M., Aliabadi F. S., Nejad M. S., Pursoltani H., Motallebi A. A., & Mahdavi H. 2007. Seasonal study of aflatoxin M1 contamination in milk in five regions in Iran. *International journal of food microbiology* 116(3):346-349.
- Zinedine A., González-Osnaya L., Soriano J. M., Moltó J. C., Idrissi L., & Manes J. 2007. Presence of aflatoxin M1 in pasteurized milk from Morocco. *International journal of food microbiology* 114(1):25-29.

ملخص :

ترتكز دراستنا على محورين أولهما تقديم تراكيز الأفلاتوكسين M1 في حليب الرضع وفي الحليب المجفف والتي تم التحصل عليها عن طريق أعمال بحثية، وثانيهما يتعلق بمقارنة هذه التراكيز مع قيم الأفلاتوكسين M1 القصى المسموح بها من طرف المفوضية الأوروبية، الدستور الغذائي ولوائح الولايات المتحدة ولهذا ، تم استخلاص نتائج من 26 مقالة تتناول مادة الأفلاتوكسين M1 ، وتمت مقارنة تركيزات هذا السم المسجل في 11 من هذه المقالات مع القيم الحدية للأفلاتوكسين. كشفت مقارنة التركيزات عن اختلافات ملحوظة بحيث لم تتجاوز التركيزات المنخفضة من الأفلاتوكسين M1 في حليب الأطفال والحليب المجفف القيم الحدية المسموح بها ، في حين أن دراسات أخرى سجلت تركيزات عالية جداً من الأفلاتوكسين M1 في كلا نوعي الحليب.

كلمات مفتاحية :

الأفلاتوكسين M1 ، حليب الرضع، الحليب المجفف، المفوضية الأوروبية، الدستور الغذائي، لوائح الولايات المتحدة.

Résumé :

Notre étude s'articule autour de deux axes dont le premier est consacré à la présentation des concentrations d'AFM1 dans le lait infantile et dans le lait en poudre résultantes de travaux de recherche, le second concerne, la comparaison de ces résultats avec les limites d'AFM1 fixées par les réglementations de la commission européenne, du Codex Alimentarius et des Etats Unis. Pour cela des résultats ont été extraites de 26 articles traitant de l'AFM1, les concentrations de cette toxine enregistrées dans 11 de ces articles ont été comparées avec les valeurs limites d'AFM1. La comparaison des concentrations a pu révéler des différences notables où des concentrations faibles d'AFM1 dans le lait infantile et dans le lait en poudre n'ont pas dépassées les valeurs limites, tandis que d'autres études ont pu détecter des concentrations trop élevées d'AFM1 dans les 2 types de lait.

Mots clés : AFM1, lait infantile, lait en poudre, réglementations européenne, Codex Alimentarius, réglementation des Etats Unis.

Abstract :

Our study relay on two axes, firstly is to present AFM1's concentrations in infant milk and powdered milk resulting from research works, secondly it concerns the comparison of these results with the AFM1 limits set by the European Commission regulations, the Codex Alimentarius and the regulations of the United States. Results were extracted from 26 articles dealing with AFM1, the concentrations of this toxin recorded in 11 of these articles were compared with the limit values of AFM1. Comparison of the concentrations has revealed notable differences were low concentrations of AFM1 in infant milk and powdered milk did not exceed the limit values, while other studies have detected excessively high concentrations of AFM1 in both types of milk.

Key words : AFM1, infant milk, powdered milk, European regulations, Codex Alimentarius, United States regulations.