

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
People's Democratic Republic of Algeria
The Minister of Higher Education and Scientific Research
ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵏⵓⵔⵉⵜ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵏⵓⵔⵉⵜ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ

ABOU BEKR BELKAID UNIVERSITY
- TLEMCEM
FACULTY OF MEDICINE - Dr. B. BENZERDJE
PHARMACY DEPARTMENT



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان
كلية الطب - د. ب. بن زرجب
قسم الصيدلة

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR
L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

THÈME :

**Recherche des résidus d'antibiotiques dans quelques denrées alimentaires
consommées dans la wilaya de Tlemcen**

Présenté par :

**ARAB MOHAMMED SAID
LAIDOUNI BILAL**

Soutenu le

06 Juin 2024

Jury

Président :

Pr CHABNI NAFISSA

Professeur en Épidémiologie

Membres :

Dr NOUREDDINE ZAKARIA

Maître-assistant en Chimie Analytique

Dr MESLI IMENE

Assistante en Hydrobromatologie

Encadrant :

Dr HADJILA AMINA

Maître-assistante en Hydrobromatologie

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements

*Avant toute chose, nous remercions **Allah** le tout puissant et miséricordieux ; de nous avoir donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à :

*Notre encadreur **Dr HADJILA AMINA**, Maître-assistante en Hydrobromatologie à l'université de Abou Bekr Belkaid, pour l'encadrement et l'encouragement qu'elle nous a donnés et de nous avoir guidé dans la réalisation de ce travail, aussi pour sa patience et sa disponibilité.*

***Pr CHABNI NAFISSA** pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.*

Qu'elle trouve ici nos sincères impressions de gratitude et de respect.

Dr NOUREDDINE ZAKARIA et Dr MESLI IMENE

Merci pour avoir accepté de faire partie du jury de ce mémoire, pour l'intérêt que vous portez à notre travail et pour le temps consacré afin de l'évaluer.

Enfin nos sincères gratitudes à tous les enseignants du département de pharmacie qui nous ont formé et toute personne qui a participé à notre étude.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents

Pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui m'a permis de réaliser les études que je voulais et par conséquent ce mémoire.

Je souhaite que dieu vous protège

A tous mes professeurs

Qui m'ont enrichi de leur savoir

A tous mes amis et mes collègues

MOHAMMED SAID

Dédicaces

À mes chers parents,

Votre amour inconditionnel et votre soutien indéfectible ont été ma force tout au long de ce parcours. Vous êtes mes héros, et je vous suis éternellement reconnaissant pour tout ce que vous avez fait.

À mon frère bien-aimé, Mohamed, et à ma sœur adorée,

Votre présence a illuminé chaque étape de ce chemin. Votre soutien sans faille et votre inspiration constante ont été des phares dans l'obscurité. Merci d'être mes compagnons de route.

À mes amis,

Votre amitié précieuse et vos encouragements chaleureux ont rendu ce voyage plus joyeux et mémorable. Chaque moment partagé avec vous a été un cadeau.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin,

Votre soutien, votre aide et vos encouragements ont été les pierres angulaires de ce succès. Merci du fond du cœur pour votre générosité et votre soutien constant.

BILAL

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Liste des abréviations.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des annexes.....	VI

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 1 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

I. Définition du lait	4
II. Composition du lait	4
II.1. Macronutriments.....	5
II.1.1. Les protéines	5
II.1.2. Les glucides	5
II.1.3. Les lipides (la matière grasse)	6
II.2. Micronutriments.....	7
II.2.1. Les minéraux.....	7
II.2.2. Les vitamines.....	7
II.3. Autres composants	8
III. Etat physique du lait.....	8
IV. Propriétés du lait.....	9
IV.1. Propriétés organoleptiques du lait.....	9
IV.2. Propriétés physico-chimiques du lait	9
V. Qualité du lait.....	10
V.1. La qualité gustative	10
V.2. La qualité sanitaire	10
V.3. La qualité technologique	11
VI. Les laits spéciaux.....	11
VI.1. Les laits infantiles.....	11
VI.1.1. Composition générale des laits infantiles	12
VI.1.2. Mode de fabrication du lait infantile.....	14
VI.2. Les laits en poudre	15
VI.3. Les laits dé lactosés	16
VI.4. Les laits concentrés	16
VII. Les dérivés du lait	17
VII.1. Fromage	17
VII.2. Yaourt	17
VII.3. Beurre	17

TABLE DES MATIERES

VII.4. Crème	20
VIII. Lait et nutrition	20
VIII.1. La valeur nutritionnelle et énergétique du lait	20
VIII.2. Les effets de la consommation du lait sur la santé	22
VIII.2.1. L'effet bénéfique du lait sur la santé osseuse	22
VIII.3. Le rôle nutritionnel du lait pour le nourrisson	23
VIII.4. Le rôle nutritionnel du lait pour la femme enceinte	24
IX. Contaminants chimiques du lait et des produits laitiers	25
X. Aspects réglementaires et institutionnels	25
X.1. En ce qui concerne les laits pasteurisés	27
X.2. En ce qui concerne les laits stérilisés et stérilisés UHT	27
X.3. En ce qui concerne le lait en poudre industriel.....	28

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

I. Définition	31
II. Structure de l'œuf.....	31
II.1. Vitellus ou jaune d'œuf.....	31
II.2. Albumen ou blanc d'œuf	32
II.3. Membranes coquillières.....	32
II.4. Chambre à air.....	33
II.5. Coquille	33
II.6. Cuticule	33
III. Propriétés de l'œuf.....	33
III.1 Propriétés organoleptiques	33
III.1.1. Couleur et forme.....	33
III.1.2. Dimensions	34
III.1.3. Poids et densité.....	34
III.2. Propriétés physico-chimiques.....	34
III.2.1. Propriété épaississante	35
III.2.2. Propriété gélifiante	35
III.2.3. Propriété émulsifiante	35
III.2.4. Propriété moussante	36
IV. Composition biochimique de l'œuf.....	36
IV.1. Le blanc d'œuf.....	36
IV.2. Le jaune d'œuf	37
V. Qualité des œufs.....	38
V.1. Le Mirage	38
V.2. Estimation de la qualité de la coquille	39
V.3. Estimation de la qualité de l'albumen	39
V.4. Estimation de la qualité du vitellus.....	39
V.5. Estimation de la qualité bactériologique	40
VI. Œufs et nutrition.....	40
VI.1. Valeur nutritionnelle et énergétique des œufs.....	40
VI.2. Effet des œufs sur la santé humaine	43
VI.2.1. Santé des yeux	43
VI.2.2. Protection contre l'anémie	43
VI.2.3. Santé du cerveau	43
VI.2.4. Perte du poids.....	43
VI.2.5. Amélioration de la masse musculaire et de la santé osseuse	43

TABLE DES MATIERES

VII. Réglementation algérienne	44
--------------------------------------	----

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS

D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

I. Définition des résidus d'antibiotiques	45
II. Nature des résidus	45
II.1. Les résidus extractibles.....	45
II.2. Les résidus non extractibles	46
III. Délai d'attente.....	46
IV. Limite maximale des résidus (LMR)	47
V. Causes de contamination des aliments par les résidus d'antibiotiques.....	47
V.1. Les erreurs commises par l'éleveur	47
V.2. La mauvaise utilisation du médicament.....	48
V.3. Le non-respect du délai d'attente.....	48
V.4. La contamination par le matériel de traite	48
VI. Conséquences de contamination des aliments par les résidus d'antibiotiques	48
VI.1. Problèmes sanitaires	48
VI.1.1. Risques d'antibiorésistance.....	48
VI.1.2. Risques liés à la perturbation de la flore digestive du consommateur.....	49
VI.1.3. Risques allergiques	49
VI.1.4. Risques toxiques.....	50
VI.1.5. Risques cancérogènes	50
VI.2. Problèmes technologiques.....	50
VII. Facteurs influençant le taux des résidus d'antibiotiques dans les aliments	51
VII.1. Température	51
VII.2 pH.....	51
VII.3 Lyophilisation	52
VII.4 Fermentation.....	52
VII.5 Écrémage.....	52
VII.6 Réfrigération et congélation	52
VIII. La réglementation autour des résidus d'antibiotiques	53
VIII.1. La législation européenne.....	53
VIII.2. La législation algérienne.....	54

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS

D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

I. Généralités.....	55
II. Méthodes de dépistage	56
II.1. Tests d'inhibition microbiologique (TIMs).....	56
II.1.1. Méthode à quatre boîtes	57
II.1.2. Delvotest T®	59
II.1.3. PremiTest®	59
II.2 Tests rapides	60

TABLE DES MATIERES

II.2.1. Tests rapides basés sur un principe immunologique	60
II.2.1.1. Tests immunologiques à flux latéral (IFL).....	60
II.2.1.2. Méthode radio-immunologique (RIA).....	63
II.2.2. Méthodes enzymatiques.....	63
II.2.2.1. Penzyme®	63
II.2.2.2. DELVO-X-PRESS®.....	64
III. Méthodes quantitatives et/ou de confirmation.....	64

PARTIE PRATIQUE

I. MATERIELS ET METHODES

I.1. Objectifs de l'étude	65
I.2. Type d'étude.....	65
I.3. Lieu d'étude.....	66
I.4. Durée d'étude	66
I.5. Facteur étudié.....	66
I.6. Critère de jugement	66
I.7. Echantillon étudié	67
I.8. Echantillonnage.....	67
I.9. Mode opératoire.....	68
I.10. Traitement statistique des données	76
I.11. Considérations éthiques	76

II. RESULTATS

II.1 Résultats de l'identification de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i>	77
II.1.1. Isolement de la bactérie	77
II.1.2. Identification de la bactérie	78
II.1.3. Résultats de l'étude de la sensibilité de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i> aux antibiotiques	81
II.2. Résultats de l'étude expérimentale portant sur la recherche des résidus d'antibiotiques dans les aliments	83
II.2.1. Description de l'échantillon étudié	83
II.2.1.1. Description selon le type d'aliment étudié	83
II.2.1.2. Description selon le type d'échantillon	84
II.2.1.3 Description selon la marque étudiée	85
II.2.1.4. Description selon le type de société productrice	87
II.2.2. Description des résultats de l'étude	87
II.2.2.1. Selon le diamètre d'inhibition	87
II.2.2.2. Moyenne du diamètre d'inhibition selon le type d'aliment contaminé ..	88
II.2.2.3. Selon la présence ou l'absence d'antibiotique	88
II.2.2.4. Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon le type d'aliment.	89
II.2.2.5. Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon le type d'échantillon	
II.2.2.6. Pourcentage de positivité selon le type de société productrice.....	91
II.2.3 Analyse des résultats	91

TABLE DES MATIERES

III. DISCUSSION

III.1 Discussion des résultats de l'identification la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i> variété <i>calidolactis</i>	93
II.2 Discussions des résultats de l'étude expérimentale	96
CONCLUSION	103
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES.....	

Liste des abréviations

ADH : Arginine dihydrolase

AFNOR : Association française de normalisation

ANC : apports nutritionnels conseillés

AOAC-RI PTM: Association of Official Agricultural Chemists Research Institute
Performance Tested Method

AVC : accidents vasculaires cérébraux

Cm : centimètre

CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière

DAOA : denrées alimentaires d'origine animale

DJA : dose journalière admissible

DLUO : date limite d'utilisation optimale

e : risque d'erreur absolue de 5 %

FDA : Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux

g : gramme

h : heure

HPLC-MS/MS : Chromatographie en phase liquide à haute performance avec spectrométrie
de masse

IFL : Tests immunologiques à flux latéral

IgA: immunoglobulines A

ILVO: Institute for Agricultural, Fisheries and Food Research

JORADP : Journal Officiel de la République Algérienne

kcal : kilocalorie

L : litre

LDC : Lysine décarboxylase.

Liste des abréviations

LMR : limite maximale des résidus

LMRMV : limite maximale de résidu d'un médicament vétérinaire

mg : milligramme

ml : millilitre

n : taille d'échantillonnage

ODC : Ornithine décarboxylase

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONPG : Ortho-nitrophényl- β -galactoside

P : signification du test statistique

PBBs : polybromobiphényles

PCB : polychlorobiphényles

pH : potentiel hydrogène

PTM : Performance Tested Method

RIA : Radio-immunoassay

t : niveau de confiance à 95 %

TDA : Tryptophane désaminase

TIMs : tests d'inhibition microbiologique

TSI : triple sugar iron

UFC : Unité formant colonie

UHT : ultra-haute température

VP : La réaction de Voges-Proskauer

°C : Degré Celsius

μ l : microlitre

Liste des tableaux

Tableau I : La composition moyenne des macronutriments du lait de vache	5
Tableau II : La composition moyenne des micronutriments du lait de vache(suite)	7
Tableau III : Caractères physiques du lait de vache.....	9
Tableau IV : Les vitamines : lettres + noms communs.....	14
Tableau V : Composition moyenne pour 100g de beurre.....	18
Tableau VI : Résumé des principaux composants nutritionnels du lait demi-écrémé selon les apports nutritionnels conseillés (ANC) et de leurs effets physiologiques.....	21
Tableau VII : Spécifications auxquelles le lait pasteurisé doit répondre.....	27
Tableau VIII: Les spécifications toxicologiques du lait en poudre industriel	29
Tableau IX : Les spécifications microbiologiques du lait en poudre industriel	30
Tableau X : Composition globale du blanc d'œuf	36
Tableau XI : Les principales protéines du blanc d'œuf en pourcentage par rapport à la matière sèche.....	37
Tableau XII : Composition globale du jaune d'œuf.....	37
Tableau XIII : Les principales protéines avec les différents lipides dans le jaune d'œuf.....	38
Tableau XIV : Valeur nutritionnelle des principaux nutriments de l'œuf entier	42
Tableau XV : Délai d'attente de quelques antibiotiques	46
Tableau XVI : Résumé des tests IFL disponibles dans le marché pour la détection des résidus d'antibiotiques dans les aliments d'origine animale	62
Tableau XVII : Résultats de l'identification biochimique de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i>	80
Tableau XVIII : Résultats du test de sensibilité aux antibiotiques de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i>	82
Tableau XIX : Répartition de l'échantillon selon les types d'aliments étudiés	85
Tableau XX : Répartition de l'échantillon selon les marques étudiées	86
Tableau XXI : Diamètre d'inhibition de la culture bactérienne.....	88
Tableau XXII : Moyenne du diamètre d'inhibition selon le type d'aliment contaminé	89
Tableau XXIII : Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon les catégories d'aliments étudiées	91
Tableau XXIV : Etude de la relation entre les variables de l'étude par le test de Khi-deux.....	93
Tableau XXV : Caractéristiques de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i>	93

Liste des figures

Figure 1 : Structure moléculaire du lactose.....	6
Figure 2 : Processus de transformation du beurre.....	19
Figure 3 : Les contaminants du lait et des produits laitiers et leur source	25
Figure 4 : Les composants structuraux de l'œuf	31
Figure 5 : Schéma représentatif du mode de fonctionnement de l'IFL en format sandwich direct montrant le résultat d'un test pour un échantillon négatif (a) et un échantillon positif (b).....	61
Figure 6 : Schéma représentatif du mode de fonctionnement de l'IFL en format compétitif direct montrant les résultats d'un test pour un échantillon négatif (a) et un échantillon positif(b).....	61
Figure 7 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen	66
Figure 8 : Pied à coulisse.....	69
Figure 9 : Ensemencement de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i> <i>var.calidolactis</i> prélevée à partir du DELVOTEST T®	70
Figure 10 : Réactifs de la coloration Gram.....	71
Figure 11 : Prélèvement des colonies.....	73
Figure 12 : Ajout de l'eau physiologique stérile	74
Figure 13 : Matériel de préparation de l'inoculum.....	74
Figure 14 : Homogénéisation de la suspension	74
Figure 15 : Mesure de l'absorbance de la suspension à 625 nm	75
Figure 16 : Imbibition des disques du papier Whatman par l'échantillon.....	75
Figure 17 : Dépôt des disques imbibés sur la gélose ensemencée.....	76
Figure 18 : Incubation des boîtes Pétri dans l'étuve à 55°C.....	76
Figure 19 : Schéma du diamètre d'inhibition sur une culture	77
Figure 20 : Aspect des colonies de <i>Bacillus stearothermophilus</i>	78
Figure 21 : Observation de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i> à l'état frais sous microscope optique(X40)	79
Figure 22 : Observation de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i> après coloration de GRAM sous microscope optique(X100)	79
Figure 23 : Résultats de l'identification biochimique de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i> sur plaque API 20(après incubation de 24h à 55°C)	82

Liste des figures

Figures 24 : Résultats du test de sensibilité aux antibiotiques de la bactérie <i>Bacillus stearothermophilus</i>	83
Figure 25 : Description de l'échantillon selon les types d'aliments	84
Figure 26 : Répartition de l'échantillon selon le type de société productrice.....	88
Figure 27 : Pourcentage de positivité pour les antibiotiques des aliments étudiés	90
Figure 28 : Répartition de l'échantillon selon pourcentage de positivité pour les antibiotiques et le type d'aliment étudié.....	90
Figure 29 : Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon le type d'entreprise.....	92

Liste des annexes

ANNEXE I : Liste des substances pharmacologiquement actives pour les quelles des limites maximales de résidus ont été fixées.

ANNEXE II : Sensibilité du Delvotest T® et de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* aux molécules d'antibiotiques.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le lait est un produit alimentaire hautement nutritif et essentiel dans le régime alimentaire en Algérie, avec une consommation moyenne de **97** litres par personne par an, ce qui équivaut à environ **18,4 %** du coût total de la nourriture et représente un investissement moyen de **868** millions de dollars par an dans le pays(1). En comparaison avec d'autres nations du Maghreb, l'Algérie se distingue en tant que leader de la consommation du lait, avec une consommation annuelle atteignant près de **3** milliards de litres. Le secteur laitier, qui joue un rôle clé dans l'industrie agroalimentaire, affiche une croissance annuelle de **8 %**. Toutefois, il demeure fortement tributaire des importations de poudre de lait, en raison d'un taux de collecte inférieur à **15 % (2)**.

Le lait est aussi considéré comme une partie très importante de l'alimentation des jeunes enfants. Les laits infantiles sont aujourd'hui devenus indispensables pour nourrir les nourrissons non allaités au lait maternel. Le marché mondial du lait infantile représentait **77** milliards de dollars en 2022. Le marché du lait infantile en Afrique est fortement dépendant des importations. En 2018, l'Afrique de l'Ouest a importé environ **69 800** tonnes. Cette situation est similaire en Algérie où il y a une grande importation de la poudre du lait infantile (2).

Les antibiotiques continuent d'être largement utilisés dans l'élevage bovin en Algérie, que ce soit pour le traitement, la prévention ou l'ajout dans l'alimentation des animaux. Cette utilisation a pour conséquence la présence de résidus d'antibiotiques dans les produits alimentaires dérivés de ces animaux. Actuellement, il existe une préoccupation croissante concernant ces résidus, car la production locale de lait frais destiné à la transformation demeure insuffisante pour empêcher la présence de lait contenant des antibiotiques sur le marché destiné aux consommateurs (3).

Actuellement, l'utilisation d'antibiotiques en pratique rurale en Algérie est caractérisée par un usage irrationnel et excessif, sans aucune réglementation sur le contrôle des résidus d'antibiotiques. Le pays ne dispose pas de limites maximales pour les résidus d'antibiotiques dans le lait et d'autres produits d'origine animale. En conséquence, il n'y a pas de contrôle officiel, que ce soit au niveau des exploitations agricoles ou des réservoirs après la collecte (4).

La présence d'antibiotiques dans les aliments peut entraîner divers effets indésirables, tels que le développement de souches de bactéries résistantes aux antibiotiques, des réactions

INTRODUCTION GENERALE

allergiques de type III, une augmentation du risque d'infections contractées à l'hôpital, ainsi qu'une augmentation notable du risque de certains types de cancer(5).

Selon une étude réalisée par Guellil.B et Merghad.A en **2022** à Tlemcen portant sur la recherche et la caractérisation des résidus d'antibiotiques dans divers types de lait, les résultats révèlent que près de la moitié (**49 %**) des échantillons contiennent des résidus d'antibiotiques (6).

Notre étude complète ces résultats en fournissant des informations supplémentaires sur ce sujet préoccupant des résidus d'antibiotiques dans d'autres produits alimentaires.

Dans ce contexte, nous avons posé les questions suivantes :

Est-ce qu'il y a des résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires consommées dans la wilaya de Tlemcen (laits infantiles, laits en poudre, laits dé lactosés, laits concentrés, œufs et beurres) ? Et quelle est la fréquence de contamination de chaque aliment ?

Nous avons entrepris cette étude dans le but de sensibiliser à la fois les consommateurs et les producteurs aux risques liés à l'exposition aux résidus d'antibiotiques présents dans les produits alimentaires. L'objectif principal de notre travail était de détecter la présence des résidus d'antibiotiques dans les laits infantiles, les œufs, les beurres et laits spéciaux (laits concentrés, dé lactosés, en poudre, laits chocolatés, laits ajoutés de jus) commercialisés dans la wilaya de Tlemcen. Notre objectif secondaire est d'établir la fréquence de contamination de chaque type d'aliment. Le manuscrit est structuré en deux sections distinctes :

La première section est dédiée à la partie théorique, au sein de laquelle nous avons effectué une revue de la littérature portant sur le lait et ses dérivés et l'utilisation des antibiotiques en médecine vétérinaire, en mettant en évidence les risques sanitaires associés à ces contaminants ainsi que les méthodes de détection dans les produits alimentaires.

La deuxième section est consacrée à la partie pratique, où nous avons décrit en détail la méthodologie de notre recherche, présenté les principaux résultats obtenus et engagé des discussions à leur sujet. En conclusion, nous avons formulé des recommandations visant à améliorer la situation.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

I. Définition du lait :

En 1908, lors du congrès international de la répression des fraudes à Paris, la première définition officielle du lait a été établie. Selon cette définition, le terme "lait" désigne "le produit complet issu de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière en bonne santé, bien nourrie et non soumise à une fatigue excessive. Il doit être collecté de manière propre et exempt de colostrum"(7).

Le lait est un fluide de couleur blanche produit par les glandes mammaires des femelles des mammifères(8). C'est une boisson d'une grande valeur nutritionnelle, constituant un aliment de base pratiquement complet (1).

Le lait de chaque espèce de mammifères est spécifiquement conçu pour répondre aux besoins nutritionnels et physiologiques des nourrissons. Il satisfait les exigences énergétiques, structurales et fonctionnelles, tout en renforçant les défenses immunitaires des nouveau-nés pour les protéger contre les infections bactériennes et virales (9).

Le lait, en tant que produit vivant, est soumis à des traitements, généralement thermiques, pour assurer une meilleure conservation. En tant que source naturelle de protéines biologiquement importantes, de calcium, de vitamines et d'oligo-éléments, le lait occupe une place justifiée dans notre alimentation, avec une variabilité en fonction des étapes de la vie. Selon les recommandations du programme national nutrition santé (PNNS), la consommation idéale est de trois produits laitiers par jour(7).

Selon le Codex Alimentarius, le lait est défini comme la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite, obtenue à partir d'une ou de plusieurs traites, sans aucune modification, destinée à la consommation sous forme de lait liquide ou à des procédés ultérieurs(10).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Selon la législation algérienne, l'article quatre et cinq de l'arrêté interministériel du 18 août 1993, dans le cadre de la description et de la présentation de certains types de laits destinés à la consommation, il est mentionné que **(11)** :

- L'emploi du terme "lait" sans spécification de l'espèce animale est exclusivement réservé au lait de vache.
- Le lait provenant d'une femelle laitière différente de la vache doit être étiqueté en utilisant le terme "lait", suivi de l'indication de l'espèce animale spécifique, telles que "lait de chèvre", "lait de brebis", "lait d'ânesse"...
- Le lait utilisé pour la consommation ou la fabrication de produits laitiers doit être issu de femelles laitières en bonne santé.

II. Composition du lait :

La composition du lait connaît des variations attribuables à divers facteurs liés aux animaux, parmi lesquels l'individualité, la race, le stade de lactation, l'alimentation, l'âge et la saison occupent une place prépondérante**(12)**.

Le lait se compose principalement des éléments suivants : **(tableau I)**, **(tableau II)**.

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

II.1. Macronutriments :

Tableau I : La composition moyenne des macronutriments du lait de vache (6).

Eléments	Composition (g/l)
Glucides : lactose	49
Lipides:	35
- Matière grasse proprement dite	34
- Lécithine (phospholipides)	0,5
- Partie insaponifiable (stérols, carotènes, tocophérols)	0,5
Protides :	34
- Caséines	27
- Protides solubles (globulines, albumines)	5,5
- Substances azotées non protéiques	1,5

II.1.1. Les protéines :

Les caséines représentent **82 %** des protéines présentes dans le lait de vache, tandis que les **18%** restants sont composés de la β -lactoglobuline, de l' α -lactalbumine, de la séralbumine et d'autres protéines telles que des enzymes, des immunoglobulines, et la lactoferrine bovine. Lorsque les caséines coagulent, les autres protéines demeurent en solution avec le lactose et les sels minéraux, formant ainsi le lactosérum (**13**).

II.1.2. Les glucides :

La majeure partie de ces glucides, soit **97 %**, est constituée par le lactose, un disaccharide formé d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose reliées par une liaison osidique β (1 \rightarrow 4) (**figure 1**)(**13**).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

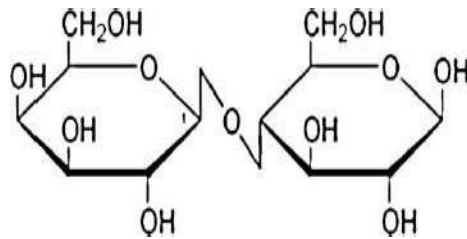


Figure 1 : Structure moléculaire du lactose (13)

II.1.3. Les lipides (la matière grasse) :

À l'état naturel, le lait cru renferme une teneur en matière grasse variant entre **3,6 %** et **4,5 %**. La matière grasse constitue le deuxième composant le plus important de la matière sèche du lait, juste après le lactose(14).

Les lipides dans le lait sont constitués d'un mélange d'acides gras en suspension, formant des gouttelettes qui génèrent une émulsion. Ils représentent la composante la plus changeante du lait, avec une concentration variant de **10** à **500 g/l** selon les espèces de mammifères. Ces lipides sont principalement constitués à hauteur de **99 %** de triglycérides(13).

La composition de la matière grasse du lait de vache est très distinctive et diversifiée, avec environ **65 %** d'acides gras saturés, **32 %** d'acides gras mono-insaturés et **3 %** d'acides gras polyinsaturés(15).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

II.2. Micronutriments :

Tableau II : La composition moyenne des micronutriments du lait de vache (6).

Eléments	Composition (g/l)
Minéraux :	9
- Potassium	1,5
- Sodium	0,5
- Calcium	1,25
- Magnésium	0,12
- Phosphore	0,95
- Chlore	1
- Soufre	0,35
- Acide citrique	1,8
Constituants divers :	Traces
- Vitamines, enzymes, gaz dessous	

II.2.1. Les minéraux :

Le lait renferme divers minéraux, avec une concentration totale qui demeure inférieure à **1 % (14)**. Les minéraux prédominants comprennent le calcium (à hauteur de **120 mg** de calcium/100 g de lait), le magnésium, le potassium et le sodium en ce qui concerne les cations, ainsi que le chlorure, le phosphate et le citrate pour les anions(16).

II.2.2. Les vitamines :

Les produits laitiers, tels que le lait entier, représentent une source importante de vitamine A. Cependant, la concentration de cette vitamine décroît considérablement dans le lait demi-écrémé, atteignant environ la moitié de celle présente dans le lait entier, tandis que le lait

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

écrémé en est totalement dépourvu. Sur le marché, on trouve des variantes de lait enrichies en vitamines, quelles soient concentrées, sucrées ou non sucrées(17).

En effet, dans le lait de vache, on trouve les **13** vitamines à des concentrations variables, allant de quelques microgrammes par litre pour les vitamines D et B12, à plusieurs milliers pour les vitamines C et B5). Si l'on considère la consommation théorique d'une portion de **250** millilitres de lait entier UHT de vache par un adulte, cela représente plus de **10 %** des apports recommandés en vitamine A, environ **15 %** de la vitamine B12, environ **20 %** de la vitamine B5 et jusqu'à **25 %** pour la vitamine B2(18).

II.3. Autres composants :

Environ **81 à 87 %** du volume total du lait est constitué d'eau, dépendant de la race bovine. Cette eau se présente sous deux formes : libre, représentant **96 %** du total, et liée à la matière sèche, composant **4%** du total(16). En plus de l'eau, le lait renferme des hormones, des anticorps, et occasionnellement des résidus d'antibiotiques (13).

III. Etat physique du lait :

Le lait se présente comme un milieu complexe, divisé en quatre phases distinctes (16) :

1. **Phase gazeuse :** Cette composante englobe principalement le dioxyde de carbone (CO₂) au moment de la traite.
2. **Phase aqueuse :** Constituant la majorité du lait (**87%**), cette phase est composée d'eau, de protéines solubles (telles que les protéines du lactosérum), de lactose, ainsi que d'électrolytes tels que les minéraux.
3. **Phase grasse :** Représentant **4,2%** du lait, cette phase est constituée de globules gras renfermant les lipides et les éléments liposolubles. Les globules gras sont entourés de phospholipides et d'une membrane protéique. Cette phase a la capacité de donner naissance à la crème, une couche de globules gras qui se rassemblent à la surface du lait sous l'effet de la gravité.
4. **Phase colloïdale :** Comptant pour **2,6%** du lait, cette phase renferme les micelles de caséine associées à des phosphates, des citrates de calcium et de magnésium. Elle peut donner lieu à la formation du caillé par la coagulation des caséines sous l'influence de micro-organismes ou d'enzymes.

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

IV. Propriétés du lait :

IV.1. Propriétés organoleptiques du lait :

Il s'agit d'un liquide avec une viscosité deux fois supérieure à celle de l'eau, opaque, présentant une saveur légèrement sucrée. Sa couleur est généralement blanche, pouvant virer au jaunâtre en fonction de la teneur en β -carotène de sa matière grasse. Il dégage une odeur peu prononcée mais distinctive, et son goût est agréable et doux, bien que pouvant varier selon les espèces animales(14).

IV.2. Propriétés physico-chimiques du lait :

Ces caractéristiques sont relativement constantes et dépendent de l'ensemble des composants du lait, tels que la densité, les substances en solution telles que le point de congélation, ainsi que les concentrations en ions, comme le pH(9).

Tableau III : Caractères physico-chimiques du lait de vache (9).

Densité à 15°C	1,032
Chaleur spécifique	0,93
Point de congélation	- 0,550°C
pH (20°C)	6,7
Acidité (Degré Dornic)	15 – 18
Indice de réfraction (20°C)	1,35
Point d'ébullition	100,5°C

V. Qualité du lait :

La qualité d'un produit peut être généralement définie par sa capacité à répondre aux besoins spécifiques, c'est-à-dire à satisfaire les attentes des utilisateurs du produit(19).

Dans le cas du lait, cela se traduirait par son aptitude à être conditionné en lait de consommation ou transformé en divers produits (fromages, yaourts, etc.) sans rencontrer de

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

difficultés technologiques, contribuant ainsi à la satisfaction des besoins nutritionnels des consommateurs de manière fiable. Cela implique l'absence de transport de germes ou de substances susceptibles de causer des troubles, quel que soit leur degré de gravité(19).

Ainsi, la qualité se compose de trois éléments principaux :

V.1. La qualité gustative :

Le goût et l'odeur du lait constituent des indicateurs significatifs de sa qualité. La détection d'une odeur désagréable ou d'un goût déplaisant, parfois accompagné de rancissement, indique des problèmes potentiels liés à la manipulation et à la conservation du lait (9).

V.2. La qualité sanitaire :

Il s'agit du lait issu de vaches en bonne santé, non porteuses de germes susceptibles de provoquer des maladies transmissibles à l'homme, et dépourvu de toute trace d'antibiotiques, d'antiseptiques ou de pesticides (19).

Afin d'évaluer la qualité sanitaire du lait avant toute transformation, on mesure notamment le taux de germes totaux, le taux de cellules somatiques, et la présence de résidus de substances inhibitrices. Des critères supplémentaires doivent être analysés pour évaluer la présence de bactéries pathogènes (9).

Un lait présentant une qualité sanitaire adéquate se caractérise par :

- Un faible taux de germes totaux, inférieur à **100 000** germes/ml.
- Un taux de cellules somatiques acceptable, inférieur à **400 000** cellules/ml.
- L'absence de résidus médicamenteux.

V.3. La qualité technologique :

La qualité du lait est influencée par sa composition chimique, comprenant le taux protéique et le taux butyrique, ainsi que par sa qualité bactériologique et son aptitude à la transformation (19).

La présence de substances inhibitrices dans le lait a pour conséquence de perturber ou de ralentir les processus de fermentation microbienne, entraînant par la suite une coagulation défectueuse ou absente du lait (9).

Les bactéries lactiques sont sensibles à de très faibles doses d'antibiotiques, et la présence de résidus d'antibiotiques dans le lait entrave partiellement ou totalement la croissance de ces

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

ferments. Cela se manifeste par plusieurs problèmes, y compris des incidents lors de la fabrication de produits laitiers fermentés tels que le fromage et le yaourt (9).

VI. Les laits spéciaux :

VI.1. Les laits infantiles :

Pendant les premiers mois de vie, le lait maternel ou infantile, demeure l'aliment exclusif. Il conserve son importance cruciale même après l'introduction d'autres aliments jusqu'à l'âge de trois ans. Le lait maternel ainsi que les préparations pour nourrissons fournissent les éléments nutritifs indispensables pour favoriser la croissance et le développement psychomoteur de l'enfant : énergie, acides gras essentiels, minéraux, oligoéléments, vitamines (20).

Il existe différentes catégories de laits pour nourrissons, adaptées à divers besoins (21):

- Les laits pour nourrissons, également appelés laits de premier âge, sont destinés aux bébés jusqu'à quatre mois, les laits de suite, ou laits de deuxième âge, sont conçus pour les bébés âgés de plus de quatre mois.
- Les laits prématurés pour les enfants de faible poids à la naissance, utilisés jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids de 4 kg, spécifiquement pour les prématurés de moins de 2 kg.
- Les laits pré-épaissis anti-régurgitation contiennent de la farine de caroube ou de l'amidon pour réduire les régurgitations. Ils sont désignés par le suffixe -AR ou le terme "confort".
- Les laits hypoallergéniques (HA) sont conseillés pour réduire le risque d'allergies chez les nourrissons présentant un risque élevé.
- Les laits fermentés avec des pré- et probiotiques aident à digérer le lactose et sont conseillés en cas de coliques ou de régurgitations persistantes.
- Les laits sans lactose ou à faible teneur en lactose conviennent aux bébés intolérants au lactose ou en cas de diarrhée sévère.
- Les laits à base de protéines très hydrolysées sont recommandés en cas d'allergie aux protéines du lait de vache.
- Les préparations lactées de croissance, destinées aux enfants de 1 à 3 ans, sont enrichies en fer et moins riches en protéines que le lait de vache.

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

VI.1.1. Composition générale des laits infantiles :

La composition de ces laits, élaborés à partir de lait de vache, est conçue pour se rapprocher autant que possible de celle du lait maternel, adaptée à la physiologie du nourrisson. Sous une réglementation rigoureuse, ces produits peuvent présenter des variations dans leur composition, mais ils partagent des caractéristiques similaires par rapport au lait de vache, telles qu'une diminution de la teneur en protéines avec une modification de leur nature, une modification des acides gras dans les lipides, des ajustements dans les minéraux (notamment une diminution du sodium et un ajout de fer dans les laits de deuxième âge), ainsi qu'un enrichissement en vitamine D. Certains de ces produits peuvent également afficher des différences dans la nature de leurs glucides. Leur contenu en oligoéléments et en vitamines peut également varier (à l'exception de la vitamine D dans certains cas) est au moins équivalente à celle du lait maternel (21).

a) Protéines :

Il est recommandé que les enfants consomment environ 10g de protéines par jour. Ces protéines se divisent en deux grandes catégories : les caséines et les protéines solubles. Dans le lait maternel, les caséines représentent environ **40%** des protéines, tandis que les protéines solubles en représentent environ **60%**. Les protéines solubles sont principalement composées d'albumine et de lactoglobulines. Elles contribuent à une meilleure digestibilité du lait et favorisent des selles plus molles (22).

b) Glucides :

Ils sont principalement constitués de lactose et de maltodextrines. Le lactose représente environ **40%** de l'énergie totale contenue dans le lait maternel. Quant aux maltodextrines, elles sont issues de la dégradation de l'amidon et se présentent sous forme de chaînes de **2 à 20** sucres simples. Elles sont plus faciles à digérer que le lactose et entraînent moins de ballonnements (22).

c) Lipides :

L'apport en lipides est crucial pour les enfants jusqu'à l'âge de 3 ans, constituant entre **45 et 50%** de leur apport énergétique. Tandis qu'il varie entre **35 et 49%** chez les enfants plus âgés et les adultes. Le lait infantile renferme une diversité de graisses, comprenant notamment des acides gras essentiels comme l'acide linoléique et l'acide alpha-linolénique. En plus des lipides laitiers, les préparations pour nourrissons contiennent des graisses végétales, comme

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

l'huile de palme, pour assurer une quantité suffisante de matières grasses nécessaire à la croissance des nourrissons (22).

d) Vitamines et minéraux :

Les minéraux sont présents sous une forme neutre, liés à des éléments qui neutralisent leurs ions. Par exemple, on trouve du carbonate de calcium, du sulfate de fer, du phosphate tricalcique, etc. La quantité de certains minéraux dans le lait n'est pas très significative, car de l'eau de source ou de l'eau minérale, qui contiennent également des minéraux, y est ajoutée. Voici une liste des minéraux présents dans tous les laits pour nourrissons : sodium, potassium, chlorure, calcium, phosphore, magnésium, fer, zinc, iode, cuivre, manganèse et sélénium. Certains minéraux, tels que le fluor, le chrome et le molybdène, ne sont pas ajoutés systématiquement (22).

Tous les laits pour nourrissons de premier âge renferment invariablement les vitamines mentionnées ci-dessous, identifiées soit par leur dénomination sous forme de lettre, parfois accompagnée d'un chiffre, soit par leur nom commun (22).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Tableau IV: Les vitamines : lettres + noms communs(22).

Vitamine A	Rétinol
Vitamine B1	Thiamine
Vitamine B2	Riboflavine
Vitamine B3 ou PP	Niacine
Vitamine B5	Acide pantothénique
Vitamine B6	Pyridoxine
Vitamine B8	Biotine
Vitamine B9	Acide folique
Vitamine B12	Cobalamine
Vitamine C	Acide ascorbique
Vitamine D3	Cholécalciférol
Vitamine E	Tocophérol
Vitamine K1	Phylloquinone

VI.1.2. Mode de fabrication du lait infantile :

Dans un premier temps, le lait de vache est collecté auprès de l'agriculteur, puis soumis à des analyses pour vérifier l'absence d'antibiotiques et évaluer le taux de matières grasses. Une fois ces contrôles effectués, le lait est acheminé vers des cuves spéciales dans la laiterie où il subit de nouveaux examens. Par la suite, il est soumis à un processus de pasteurisation consistant à être chauffé à **72** degrés pendant 15 secondes, suivi d'un refroidissement. Cette étape a pour objectif d'éliminer les germes pathogènes (22).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Ensuite, le lait peut être transformé selon différents procédés.

- L'écémage consiste à centrifuger le lait à l'aide de multiples plateaux rotatifs. Cette opération sépare le lait en crème, riche en matières grasses, et en lait écrémé (0% de matière grasse). Après cela, de la crème peut être mélangée au lait écrémé pour obtenir du lait demi-écémé (avec environ **1,5 à 1,8 %** de matières grasses) ou du lait entier (avec **3,5%** de matières grasses). Ce processus permet de standardiser la teneur en matières grasses du lait, car cette teneur varie initialement selon la saison et le régime alimentaire des vaches **(22)**.
- La coagulation, suivie par le processus d'égouttage, est induite par l'action de la présure (ou parfois des bactéries lactiques). Ce processus produit du lactosérum, riche en lactose et en protéines solubles, ainsi que du caillé qui, à son tour, est utilisé pour fabriquer du fromage. Ces produits peuvent être utilisés tels quels ou transformés en poudre pour être intégrés dans la composition d'autres produits **(22)**.

En ce qui concerne la fabrication du lait infantile, plusieurs méthodes sont utilisées selon les laboratoires. Voici un exemple :

Les ingrédients secs tels que les vitamines, les minéraux, l'amidon et les maltodextrines sont remis en suspension, puis soumis à une pasteurisation. Ensuite, du lait écrémé est ajouté à ce mélange. Le tout est pasteurisé à nouveau, puis concentré par évaporation pour réduire la quantité d'eau. Par la suite, il est transformé en poudre en atomisant les gouttes de lait dans une tour de séchage. Enfin, il est soumis aux derniers contrôles de qualité avant d'être conditionné **(22)**.

La plupart des laits infantiles sont fabriqués à partir du lait écrémé avec l'ajout éventuel de lactosérum, de lactose et de protéines solubles. La matière grasse est généralement fournie par des huiles végétales et parfois complétée par de la crème. Les vitamines, minéraux, amidon, maltodextrines et autres ingrédients facultatifs sont toujours ajoutés en complément **(22)**.

VI.2. Les laits en poudre :

L'objectif du processus est de retirer quasiment toute l'eau, laissant seulement une proportion de **5%**. Le lait est soumis à une séquence de traitement comprenant la pasteurisation, la concentration, et la projection en minuscules gouttelettes dans une enceinte. Ces particules sont ensuite asséchées à l'aide d'un flux d'air chaud à **200°C**, provoquant immédiatement

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

l'évaporation de l'eau dans la tour de séchage. Cette déshydratation confère au lait en poudre une durée de conservation d'un an à température ambiante **(15)**.

Cependant, dès son ouverture, le lait en poudre expose à un risque d'absorption d'humidité de l'environnement. Par conséquent, il est recommandé de le consommer dans les dix jours s'il est entier (pour éviter tout rancissement de la matière grasse), dans les deux semaines s'il est demi-écrémé, et dans les trois semaines s'il est écrémé. Il est impératif de le consommer rapidement après sa reconstitution par l'ajout de liquide. Le taux de matière grasse est systématiquement indiqué sur l'emballage, soulignant que la production d'un kilogramme de lait en poudre nécessite **11 litres de lait (15)**.

VI.3. Les laits dé lactosé :

Face à une demande croissante, notamment due à l'intolérance au lactose chez certains individus, il existe des laits dé lactosés, c'est-à-dire des produits laitiers avec une teneur réduite en lactose **(15)**.

Deux techniques sont utilisées pour la préparation de ces laits : l'ultrafiltration-diafiltration et la méthode par voie microbienne **(23)**.

L'intolérance au lactose touche environ **75%** de la population mondiale et environ **25%** de la population américaine. Dans les nations scandinaves, sa prévalence varie entre **2%** et **18%** **(24)**.

VI.4. Les laits concentrés :

▪ Non sucré :

Le processus commence par la standardisation et la pasteurisation du lait. Ensuite, le lait est concentré, impliquant une évaporation partielle de l'eau sous vide, environ **55 à 65 %** de l'eau est éliminée du lait par chauffage à environ **100°C**, puis le lait est soumis au processus d'homogénéisation. Le lait concentré est emballé dans des boîtes métalliques et stérilisé à l'autoclave**(15)**.

La mention « non sucré » n'est pas une exigence obligatoire. Ce type de lait peut être conservé à température ambiante avant son ouverture, avec une date limite d'utilisation optimale (DLUO) située entre **12 et 18** mois après la date de fabrication. Ce lait, principalement destiné à un usage en cuisine, présente une durée de conservation appréciable **(15)**.

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

▪ Sucré :

À la différence du lait concentré non sucré, celui sucré n'est pas stérilisé, car la présence de sucre évite la multiplication des microorganismes. Après avoir été standardisé et pasteurisé, il est sucré avec un sirop de saccharose à **70 %**, puis concentré sous vide avant d'être refroidi en vue de son conditionnement. Pour chaque **2,2** litres de lait liquide, on obtient un kilogramme de lait concentré sucré après transformation. Sa date limite d'utilisation optimale (DLUO) est de **12 à 18** mois après la date de fabrication, et il peut être conservé à température ambiante (à l'exception du temps après ouverture). Il est obligatoire d'indiquer la mention « sucré » sur l'emballage(15).

VII. Les dérivés du lait :

VII.1. Fromage :

Il s'agit d'un produit, qu'il soit fermenté ou non, affiné ou non, élaboré à partir de matières exclusivement laitières, telles que le lait, le lait partiellement ou totalement écrémé, la crème, la matière grasse, le babeurre. Ces ingrédients peuvent être utilisés individuellement ou en combinaison, et ils sont coagulés en totalité ou en partie avant l'égouttage, ou bien après avoir éliminé partiellement la phase aqueuse(6).

VII.2. Yaourt :

Cette appellation est exclusivement réservée au lait fermenté, élaboré uniquement à l'aide de *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*. En ce qui concerne la viabilité, la norme stipule que la somme des microorganismes composant le levain doit être viable dans le produit fini (25).

VII.3. Beurre :

Le beurre est fabriqué selon les normes industrielles à partir du lait ou de produits laitiers, avec une teneur minimale en matière grasse laitière de **80%**. Il peut également inclure des solides laitiers, des cultures bactériennes, du sel et un colorant alimentaire. Selon le Codex Alimentarius, Le beurre est un produit gras dérivé uniquement du lait ou de produits laitiers, principalement sous forme d'émulsion eau-dans-huile, avec une teneur minimale en matière grasse laitière de **80%**, une teneur maximale en eau de **16%**, et un taux d'extrait sec non gras ne dépassant pas **2%** (26).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

D'un point de vue énergétique, la consommation de **50 g** de beurre peut couvrir environ **15%** des besoins caloriques d'un adulte. En termes de vitamines, cela peut fournir entre **20** et **50 %** des besoins en vitamine A et entre **15** et **20 %** des besoins en vitamine D, notamment lorsque le beurre provient du lait d'été, qui est plus riche en nutriments (26).

Tableau V : Composition moyenne pour 100g du beurre (26).

Composants	Teneurs
Energie	3155 K joules, 755 K Calorie
Lipides :	83 g dont :
Acides gras saturés	52,6 g
Acides mono-insaturés	23,5 g
Acides gras polyinsaturés	2 g
Protéines	1 g
Glucides	1 g
Eau	15 g
Cholestérol	250 mg
Vitamine A	900 µg à 1 mg
Vitamine D	5 µg

Le processus de fabrication du beurre comporte cinq étapes essentielles. Il débute par la collecte du lait et éventuellement sa pasteurisation. Ensuite, vient l'écémage, où la crème est séparée du lait. La maturation intervient ensuite, de façon spontanée ou contrôlée, pour développer le goût caractéristique du beurre. Puis, le barattage transforme la crème en beurre, suivi du lavage et du malaxage pour obtenir une texture lisse. À la fin du processus, le beurre obtenu peut être désigné sous différents noms en fonction du type de crème utilisé, du taux de matières grasses et de la présence éventuelle de sel (27).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Le beurre est produit à partir de la crème de lait, qui remonte à la surface lorsqu'il repose. L'écémage vise donc à collecter cette crème. Le lait est introduit dans une écrémeuse tournant à grande vitesse, où la force centrifuge sépare la crème du lait. Le lait écrémé est projeté sur les parois de la cuve tandis que la crème se concentre autour de l'axe de rotation de l'appareil(27).

Ensuite, vient une étape cruciale, la pasteurisation. Elle implique de chauffer le lait et/ou la crème à environ **72°C** pendant une vingtaine de secondes, suivie d'un refroidissement immédiat, afin de tuer les bactéries et les germes qui pourraient altérer le goût du beurre et sa durabilité. Après refroidissement, le lait et la crème sont inoculés avec des ferments(27).

La crème subit une période de maturation, ce qui signifie qu'elle est laissée à température ambiante avant d'être barattée. L'objectif est d'optimiser le développement de l'arôme du beurre et de favoriser son épaississement. À ce stade, la crème peut soit être conditionnée et mise en vente, soit elle passe par une dernière étape pour devenir du beurre : le barattage. Pendant cette étape, la crème est vigoureusement agitée pour libérer et regrouper les matières grasses, formant ainsi des grains de beurre. Après un lavage, les grains de beurre sont à nouveau pétris pour améliorer leur cohésion, et ils sont alors façonnés en plaquettes, en moules à beurre ou en rouleaux de beurre(27).



Figure 2 : Processus de transformation du beurre(27)

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

VII.4. Crème :

Il s'agit d'un concentré obtenu à partir de la portion riche en matière grasse du lait, qui est obtenu soit mécaniquement par centrifugation, soit naturellement par décantation du lait cru. Ce produit constitue une émulsion résultant d'une concentration significative des globules de matière grasse laitière. La crème fraîche épaisse est produite en faisant fermenter de la crème pasteurisée à l'aide de ferments acidifiants tels que *Lactococcus* ou *Leuconostoc* spp(6).

VIII. Lait et nutrition :

VIII.1. La valeur nutritionnelle et énergétique du lait :

En raison de sa concentration en nutriments essentiels, le lait est reconnu comme une source alimentaire idéale pour répondre aux recommandations nutritionnelles à tous les stades de la vie. Il satisfait une part significative des besoins quotidiens en énergie, vitamines, électrolytes et protéines. Par exemple, un litre de lait demi-écrémé peut fournir jusqu'à 20 % des calories essentielles pour un adulte (**tableau VI**) (28).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Tableau VI : Résumé des principaux composants nutritionnels du lait demi-écrémé selon les apports nutritionnels conseillés (ANC) et de leurs effets physiologiques(28).

Composants nutritionnels importants du lait	Composition en pourcentage des ANC par demi-litre de lait	Effets physiologiques
Energie	9 à 11 %	/
Protéines	31 %	Apportent des acides aminés, en particulier pour les muscles
Glucides	9,6 %	Fournissent de l'énergie
Acides gras oméga-3	24,5 %	Apportent des acides gras Essentiels
Acides gras oméga-6	1,2 %	Apportent des acides gras Essentiels
Cholestérol	19,3 à 24 %	Précurseur d'acides gras
Calcium	73,75 %	Nécessaire à la santé osseuse et à l'homéostasie
Phosphore	65 %	Nécessaire à la santé osseuse et à l'homéostasie
Vitamine C	10,62 %	Défense contre les infections
Vitamine D	2,8 %	Nécessaire à l'absorption du calcium et du phosphore

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

VIII.2. Les effets de la consommation du lait sur la santé :

Le lait est considéré comme un élément alimentaire crucial en raison de ses propriétés quantitatives et qualitatives ainsi que de ses effets bénéfiques sur la santé. Ce dernier a constamment fait l'objet de multiples recherches visant à résoudre la controverse entourant sa consommation (28).

D'un côté, divers effets positifs sont évoqués, tels que la potentialité de favoriser la perte de poids et de réduire le risque de maladies métaboliques comme le diabète de type 2, ainsi que les maladies cardiovasculaires, en particulier les accidents vasculaires cérébraux (AVC)(28).

D'un autre côté, des effets indésirables sont mentionnés, tels que le risque potentiellement accru de développer le diabète de type 1, des crises migraineuses, ainsi que d'autres problèmes de santé comme l'acné et des réactions allergiques (28).

VIII.2.1. L'effet bénéfique du lait sur la santé osseuse :

En 2012, la Commission européenne a établi que les produits laitiers représentent une importante source de nutriments essentiels contribuant au maintien de l'équilibre osseux. Ces nutriments incluent les protéines, le calcium, le phosphore, le magnésium, le manganèse, le zinc, à l'exception de la vitamine D(28).

L'adolescence est reconnue comme la phase cruciale du développement osseux, nécessitant un apport recommandé en calcium de **1200 mg** par jour. Cela devrait être réalisé grâce à une alimentation équilibrée, comprenant la consommation d'au moins quatre produits laitiers par jour afin de couvrir **75 %** des apports recommandés en calcium, et d'autres nutriments pour satisfaire **100 %** des besoins nutritionnels (28).

Pour les seniors, les femmes ménopausées et les individus de plus de **60** ans, période de fragilité, il est essentiel de maintenir une alimentation équilibrée comprenant trois à quatre produits laitiers par jour. Cela permet de couvrir **75 %** des besoins en calcium, ainsi que de garantir des apports suffisants en protéines, en eau et en vitamines (28).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

VIII.3. Le rôle nutritionnel du lait pour le nourrisson :

L'Académie américaine de pédiatrie préconise l'allaitement exclusif pour les six premiers mois, suivi d'une période d'un an ou plus de lactation associée à l'introduction progressive d'aliments complémentaires (29).

En cas d'un allaitement insuffisant, le recours au lait infantile est préférable au lait de vache, qui ne peut pas être recommandé qu'après les douze mois à cause de son apport calorique élevé sous forme de protéines et de lipides, ce qui engendre un surpoids ou une obésité chez le nourrisson (30).

Plusieurs études indiquent que le lait maternel, de même que l'acte d'allaiter, ont des impacts positifs sur la santé tant de l'enfant que de la mère. À court terme, le lait maternel favorise une colonisation microbienne optimale de l'intestin du nourrisson, offre une protection contre les maladies infectieuses et contribue à la prévention de la mortalité infantile. À long terme, il joue un rôle dans la maturation immunitaire et digestive, le développement des organes, l'amélioration des performances cognitives, et la prévention du diabète de type 2(29).

Comparativement au lait infantile, l'une des caractéristiques les plus notables du lait maternel réside dans sa composition en constante évolution, s'adaptant continuellement aux besoins du nourrisson pour favoriser une croissance et un développement harmonieux. Pendant la période de lactation, le colostrum, produit au cours des 72 premières heures après l'accouchement, se distingue par sa richesse en composants immunologiques tels que les IgA, la lactoferrine et les leucocytes, conférant ainsi une protection contre les infections. Le lait de transition apparaît entre cinq jours et deux semaines après l'accouchement, présentant des caractéristiques similaires à celles du colostrum, avec l'ajout d'une dimension nutritionnelle significative. Enfin, le lait mature se manifeste après les deux premières semaines, mettant en avant son rôle nutritionnel prédominant (31).

Le développement neurologique est un processus étendu sur le plan structural et comportemental, visant à acquérir des capacités cognitives, sociales et émotionnelles essentielles pour soutenir l'apprentissage. Il commence pendant la période fœtale et se prolonge après la naissance, en particulier au cours de la période postnatale précoce jusqu'à trois ans, considérée comme cruciale (32).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

L'allaitement offre des micronutriments, des macronutriments et des nutriments bioactifs jouant un rôle déterminant, tant phénotypique qu'épigénétique, dans le développement neurologique. Ces éléments sont fournis selon un timing, une dose et une durée soigneusement ajustés pour favoriser un développement optimal du système nerveux (33).

VIII.4. Le rôle nutritionnel du lait pour la femme enceinte :

Pendant la gestation, il y a une augmentation modérée des besoins caloriques par rapport à une élévation significative des besoins en micronutriments et en protéines.

La non-satisfaction des besoins nutritionnels pendant la grossesse peut avoir des conséquences négatives à la fois sur le fœtus et sur la mère, notamment en ce qui concerne l'infertilité, les risques d'avortement spontané, et d'autres complications, en particulier vers la fin de la grossesse (30).

En raison de sa teneur élevée en protéines et de sa valeur nutritive substantielle, le lait contribue de manière significative à la satisfaction des besoins nutritionnels pendant la grossesse. Par ailleurs, il aide à prévenir la dépression postpartum, l'hypertension et la prééclampsie chez la mère en raison de son apport crucial en calcium. Il joue également un rôle dans le développement des allergies au lait chez l'enfant (30).

Les besoins en vitamine D pour la femme enceinte sont de 10 µg par jour tout au long de la grossesse, et ces besoins peuvent augmenter jusqu'à 25 µg pendant le troisième trimestre. Le statut en vitamine D est assuré par une synthèse endogène et par l'alimentation. La vitamine D joue un rôle essentiel dans le maintien de l'homéostasie phosphocalcique, et par conséquent, dans la minéralisation osseuse du fœtus (34). Pour la mère, la vitamine D agit en tant qu'immunomodulateur des cellules immunitaires, en particulier des lymphocytes T. Le déficit en vitamine D pendant la grossesse est associé aux maladies auto-immunes (35).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

IX. Contaminants chimiques du lait et des produits laitiers :

Il existe deux catégories distinctes de contaminants selon la figure 3 :

D'une part, on trouve des contaminants présents dans l'environnement, qui sont transférés aux animaux principalement par le biais de leur alimentation. Parmi ces contaminants, on peut citer les pesticides organochlorés, les organophosphorés, les herbicides, les fongicides, les métaux lourds, les dioxines, les polychlorobiphényles (PCB), les polybromobiphényles (PBBs) et les mycotoxines (36,37).

D'autre part, on observe la présence de molécules résultant des traitements administrés aux animaux, notamment avec l'utilisation de médicaments vétérinaires tels que les antihelminthiques, les antibiotiques, les sulfamides, les détergents, les désinfectants et les hormones (37,38).

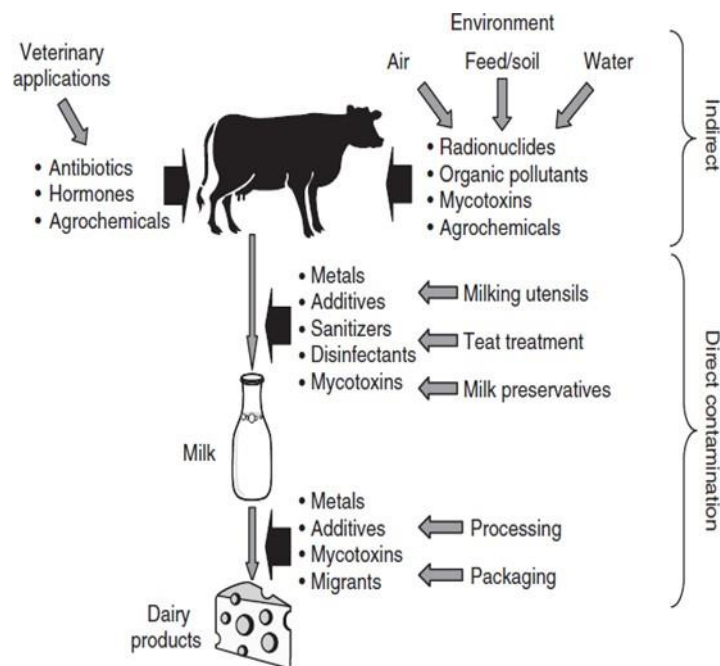


Figure 3 : Les contaminants du lait et des produits laitiers et leur source(39).

X. Aspects réglementaires et institutionnels :

Les principaux textes réglementaires sont mentionnés dans l'arrêté interministériel en date du 29 Safar 1414, équivalent au 18 août 1993 (JORADP), qui concerne les spécifications et la présentation de certains laits destinés à la consommation (11).

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Article 6 : Les critères à respecter pour le lait comprennent :

- Absence de coloration, de saleté ou d'odeur désagréable.
- Traite effectuée au moins sept (07) jours après la mise bas.
- Origine non liée à des animaux atteints de maladies contagieuses ou de mammites.
- Absence de résidus tels que des antiseptiques, antibiotiques et pesticides.
- Pas de coagulation à l'ébullition.
- Traite complète.
- Aucun écrémage, même partiel, n'est autorisé.

De plus, le lait ne doit pas subir :

- Soustraction ou substitution de ses composants nutritifs.
- Traitements autres que le filtrage ou les procédés thermiques d'assainissement susceptibles de modifier sa composition physique ou chimique, sauf autorisation explicite.

Article 7 : La classification des laits se base sur le nombre total de germes et se divise en trois (03) catégories :

- Catégorie A : contenant moins de **100 000** germes totaux par millilitre.
- Catégorie B : présentant un nombre de germes totaux compris entre **100 000** et **500 000** par millilitre.
- Catégorie C : affichant un nombre de germes totaux allant de plus de **500 000** à **2 000 000** par millilitre.

Article 8 : le lait doit répondre aux spécifications suivantes :

- Germes totaux : maximum deux (02) millions.
- Salmonelle : absence.
- Stabilité à l'ébullition : stable.
- Acidité en grammes d'acide lactique par litre : maximum **1,8**.
- Densité : **1030 – 1034**.
- Matières grasses : **34** grammes par litre au minimum.

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

X.1. En ce qui concerne les laits pasteurisés :

Article 19 : Les critères à respecter pour le lait pasteurisé sont détaillés dans le **tableau VII**.

Tableau VII : Spécifications auxquelles le lait pasteurisé doit répondre (11).

Spécifications	A la date de fabrication	A la date de péremption
Microorganismes aérobies à 30°C par millilitre (germes totaux)	30 000	200 000
Coliformes à 30°C (par millilitre)	10	100
Coliformes fécaux (par millilitre)	1	1
Clostridium sulfito-réducteur à 46°C dans 100 millilitres (spores)	-	09
Staphylococcus aureus (par millilitre)	1	10
Salmonelles dans 250 millilitres	Absence	Absence
Phosphatase	Test négatif	Test négatif
Acidité en grammes d'acide lactique	-	1,4 à 1,8
Stabilité à l'ébullition	-	Stable
Analyse sensorielle	-	Sans défaut

X.2. En ce qui concerne les laits stérilisés et stérilisés UHT :

Article 25 : Les laits destinés à être transformés en laits stérilisés ou en laits stérilisés UHT ne doivent pas présenter une concentration initiale de germes aérobies mésophiles dépassant cinq cent mille (**500 000**) par millilitre avant le premier traitement thermique.

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Article 27 : Les laits stérilisés et stérilisés UHT doivent maintenir leur stabilité jusqu'à leur date limite de consommation. De plus, ils ne doivent pas présenter les caractéristiques suivantes :

- Aucun défaut organoleptique, tels que la protéolyse, ni d'anomalies de goût ou d'odeur.
- Aucune coagulation, précipitation ou floculation lors de l'ébullition.
- Une acidité titrable ne dépassant pas **1,8** gramme par litre d'acide lactique.
- Une variation de pH ne dépassant pas **0,2** unité suite à l'incubation.
- Un nombre de microorganismes aérobies à **30°C** ne dépassant pas **10** par **0,1** millilitre.

X.3. En ce qui concerne le lait en poudre industriel :

Conformément à l'arrêté du 27 Dou El Hidja 1420, correspondant au 2 avril 2000, qui modifie et complète l'arrêté du 17 Rajab 1420, correspondant au 27 octobre 1999, relatif aux spécifications du lait en poudre industriel et aux conditions et modalités de sa présentation, de sa détention, de son utilisation et de sa commercialisation, certains passages spécifiques méritent d'être soulignés, parmi lesquels figurent les textes suivants :

Article 4 : La teneur en humidité du lait en poudre industriel ne doit pas dépasser 4 %, tandis que la présence d'acide lactique est limitée à un maximum de 0,15 %.

Article 6 : Les critères toxicologiques du lait en poudre industriel sont établis comme suit (**tableau VIII**)

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Tableau VIII : Les spécifications toxicologiques du lait en poudre industriel (11).

Antiseptiques	PCB	Dioxine	Fer	Cuivre
Absence	100 nano grammes par gramme de matière grasse	1 à 4 pico grammes par gramme de matière grasse	10 parties par million au maximum	1,5 partie par million au maximum

PCB : polychlorobiphényles

CHAPITRE 01 : LAIT ET DÉRIVÉS LAITIERS

Article 8 : définit les critères microbiologiques du lait en poudre industriel selon les spécifications énoncées dans le **tableau IX**.

Tableau IX : Les spécifications microbiologiques du lait en poudre industriel (11).

Critères	N	c	M
Germes aérobies à 30°C	1	-	
Coliformes totaux	1	-	10
Germes anaérobies sulfito-réducteurs à 46°C	1	2	10
Antibiotiques	1	-	Absence
Salmonella	1	-	Absence/30 g
Mycotoxines	-	-	Absence

Au sens du présent arrêté, on entend par :

n : nombre d'unités composant l'échantillon.

c : nombre d'unités de l'échantillon donnant des valeurs situées entre "m" et "M".

m : seuil au-dessous duquel le produit est considéré comme étant de qualité satisfaisante. Tout résultat qui répond à ce critère ou qui est inférieur est jugé satisfaisant.

M : seuil limite d'acceptabilité au-delà duquel les résultats ne sont plus considérés comme satisfaisants bien que le produit ne soit pas considéré comme toxique.

M = 10 m lors du comptage réalisé sur un milieu solide ; M = 30 m lors du comptage réalisé en milieu liquide.

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

I. Définition :

L'appellation "œuf", sans mention d'une espèce animale particulière, est exclusivement réservée aux œufs de poules ou de l'espèce *Gallus domesticus*. En cas d'œuf provenant d'une autre espèce d'oiseau, il est impératif de spécifier l'espèce (œuf de cane, œuf d'oie, etc.). Le terme "œuf" englobe également les œufs destinés à la consommation humaine, c'est-à-dire ceux qui peuvent être commercialisés et qui garantissent une totale innocuité, quelle que soit la méthode de cuisson(40).

II. Structure de l'œuf :

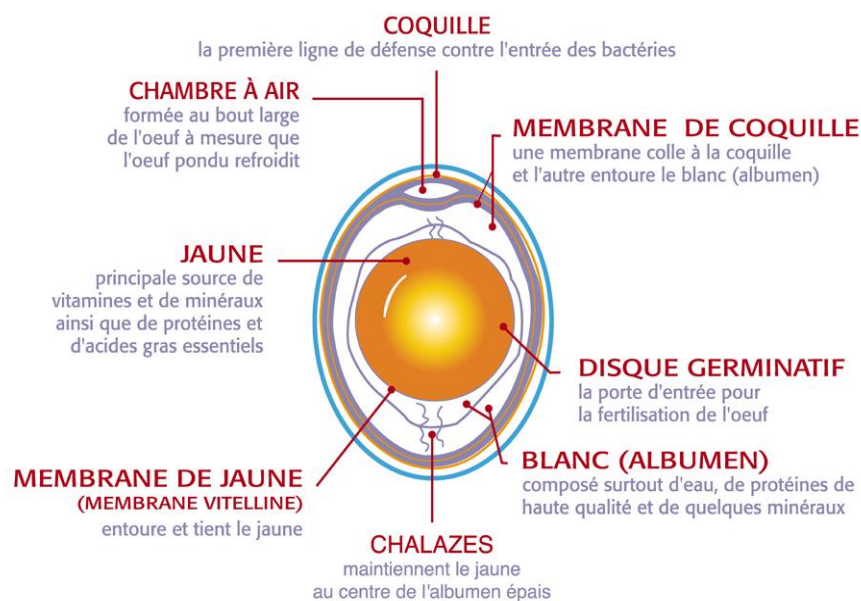


Figure 4 : Les composants structurels de l'œuf (41)

II.1. Vitellus ou jaune d'œuf :

Le vitellus se présente sous la forme d'une masse visqueuse d'une couleur uniformément jaune-orange, constituée de nombreux globules lipidiques. Il est enfermé à l'intérieur d'une membrane vitelline très fine, dépourvue de cellules et transparente, qui est reliée à la couche chalazifère par des fibres en surface. Au fil de la conservation, on observe une rapide disparition de ces connexions. La masse totale du vitellus est formée de couches alternées de teintes jaunes et blanches, résultant de variations dans la disponibilité des pigments xanthophylles présents dans l'alimentation des poules (42).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

Sur le plan compositionnel, le vitellus comprend des lipides tels que des triglycérides, des phospholipides et du cholestérol, ainsi que des protéines, du glucose, des vitamines et des minéraux (42).

II.2. Albumen ou blanc d'œuf :

Le blanc d'œuf présente une structure non homogène pouvant être subdivisée en quatre couches, chacune ayant des propriétés spécifiques :

- Le blanc liquide externe (23% du blanc total): en contact avec les membranes coquillières, cette zone s'étale rapidement lorsqu'un œuf est cassé sur une surface plane.
- Le blanc épais, qui représente 57% du blanc total, est fixé aux deux extrémités de l'œuf sous forme de gel.
- Le blanc liquide interne (17% du blanc total): en contact avec le jaune, il est entouré par le blanc épais.
- Les chalazes (représentent 3 % du blanc total): ce sont des filaments en spirale allant du jaune vers les deux extrémités de l'œuf, à travers le blanc épais, assurant que le jaune reste suspendu au centre de l'œuf. Leur rupture peut entraîner l'adhérence du jaune aux membranes coquillières(43).

La proportion de ces quatre parties varie en fonction du poids de l'œuf. À mesure que le poids de l'œuf augmente avec l'âge de la poule, la part du blanc épais augmente au détriment du blanc liquide interne. En revanche, la proportion du blanc liquide externe n'est pas affectée, mais elle diminue considérablement après la ponte (40).

Le blanc d'œuf est une solution aqueuse de protéines, de sucres et de sels minéraux, pratiquement dépourvue de lipides, présents uniquement à l'état de traces (42).

II.3. Membranes coquillières :

Il y a deux membranes, l'une interne et l'autre externe, qui sont étroitement liées, sauf au niveau du gros bout de l'œuf où elles se séparent pour former la chambre à air. Composées de fibres protéiques entrecroisées, ces membranes agissent comme des barrières de protection contre les agents microbiens tels que les bactéries et les moisissures (44).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

II.4. Chambre à air :

La chambre à air n'est pas présente au moment de la ponte de l'œuf, mais elle se forme immédiatement après le refroidissement de l'œuf, provoquant une légère contraction de son contenu. Le volume de la chambre à air s'accroît avec le temps et dépend des conditions de conservation (42).

II.5. Coquille :

La coquille est constituée d'une trame protéique dans laquelle se forment les cristaux de carbonate de calcium. Elle représente environ **10%** du poids de l'œuf, avec une épaisseur variante entre **0,3** et **0,4** mm. La coquille est perforée par de nombreux pores, dont le nombre important au niveau du gros bout de l'œuf favorise la formation de la chambre à air. Cela résulte du mécanisme des échanges gazeux entre l'albumen et l'environnement extérieur de l'œuf(43).

II.6. Cuticule :

Il s'agit d'une fine couche brillante d'origine protéique, d'une épaisseur d'environ **0,01** mm, qui enveloppe la coquille. Sa fonction principale est d'empêcher la pénétration d'agents pathogènes à l'intérieur de l'œuf en obstruant les pores de la coquille (44).

III. Propriétés de l'œuf :

III.1 Propriétés organoleptiques :

III.1.1. Couleur et forme :

La coquille de l'œuf destiné à la consommation peut être blanche, jaune ou rose, selon la souche de la poule. On estime que près de **60%** de la production mondiale des œufs de consommation proviennent de souches de poules à coquille colorée (40).

L'œuf a généralement une forme ovale, mais il peut également présenter des variations avec des œufs globuleux ou allongés(40).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

III.1.2. Dimensions :

Les dimensions typiques d'un œuf de **60 g** sont les suivantes (**44**) :

- Longueur : la distance entre les deux bouts ou pôles est en moyenne de **5,7 cm**, avec des valeurs extrêmes de **4,7 cm** à **6,9 cm**.
- Largeur : la distance au niveau du plus grand diamètre est d'environ **4,2 cm**, variant de **3,4 cm** à **4,8 cm**.
- Grande circonférence : elle mesure **16 cm**.
- Petite circonférence : elle est de **13 cm**.

III.1.3. Poids et densité :

Le poids moyen d'un œuf de consommation est de **58 g** avec des extrêmes de **43 g** et **74 g**.

Le poids de l'œuf est variable selon la race, l'alimentation, l'âge de la poule, les facteurs pathologiques...etc. (**40**)

La densité de l'œuf entier est estimée à environ **1,063(45)**.

III.2. Propriétés physico-chimiques :

Les œufs et les ovo-produits sont utilisés dans les entreprises agroalimentaires ou en restauration collective pour leur valeur nutritionnelle, mais également pour leurs propriétés fonctionnelles qui les rendent indispensables dans de nombreuses fabrications. Les industriels utilisateurs de produits alimentaires intermédiaires comme les ovo-produits deviennent demandeurs d'une meilleure connaissance du comportement physico-chimique des ingrédients qu'ils utilisent afin de mieux maîtriser la fabrication et les qualités nutritionnelles et sensorielles de l'aliment qu'ils produisent (**45**).

Sous forme d'œuf entier, de blanc, de jaune ou encore de mixtes ; un œuf participe à la confection d'un grand nombre de préparations alimentaires telles que plats cuisinés, pâtisserie, confiseries, crèmes glacées, sauces. Ses protéines agissent comme ingrédients polyfonctionnels par leurs aptitudes technologiques (**45**).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

III.2.1. Propriété épaississante :

La viscosité élevée du blanc d'œuf frais est attribuée à la présence d'une protéine fortement glycosylée appelée l'ovomucine, ainsi qu'au complexe qu'elle forme avec le lysozyme. Cette caractéristique sert d'indicateur de fraîcheur de l'œuf, car au fil du stockage, la viscosité diminue en raison de la dissociation du complexe, provoquée par une augmentation du pH (passant de pH 7 à la ponte à pH 9 après quelques jours de stockage). À une température de 56 °C et au-delà, la dénaturation des protéines se manifeste par un dé-plissement progressif des molécules, entraînant un encombrement spatial accru et augmentant ainsi la viscosité. Toutes les causes de dénaturation des protéines, telles qu'une augmentation du pH, l'ajout de sel, ou le chauffage à partir de 60 °C, contribuent à accroître cette viscosité (45).

III.2.2. Propriété gélifiante :

Les protéines de l'œuf sont à l'origine de la coagulation qui se produit sous l'action d'agents physiques ou chimiques. L'œuf passe d'un état fluide à un état solide appelé coagulum. Sous l'effet d'agents physiques (surtout thermiques), l'œuf gélifie à partir de 62 °C pour le blanc et 65 °C pour le jaune, en produisant différentes textures : gel ferme et élastique pour le blanc, granuleux et friable pour le jaune. Les différentes protéines n'ont pas la même thermosensibilité : l'ovomucine et l'ovomucoïde (du blanc) coagulent difficilement, contrairement à l'ovalbumine et surtout à la conalbumine (du jaune). Les différentes étapes de la gélification (dénaturation, dé-plissement, agrégation, polymérisation) sont influencées par de nombreux paramètres : l'augmentation de la concentration protéique et l'augmentation de la chaleur (45, 46).

III.2.3. Propriété émulsifiante :

Les protéines du jaune possèdent d'excellentes propriétés émulsifiantes dues aux phospholipides et aux lipoprotéines ; le jaune d'œuf confère une grande stabilité aux émulsions qu'il forme grâce à sa viscosité. Ces propriétés sont typiquement utilisées dans la préparation des mayonnaises et sauces mais aussi dans les industries de cuisson céréalières (46,47).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

III.2.4. Propriété moussante :

Les protéines du blanc d'œuf sont réputées pour leurs propriétés foisonnantes c'est-à-dire la capacité de former une émulsion eau-air (ovalbumine) et stabilisantes de mousse (ovomucine, globuline et lysozyme)(46,47).

IV. Composition biochimique de l'œuf :

IV.1. Le blanc d'œuf :

Le blanc d'œuf est principalement composé d'eau (87,6%) et de protéines (10,8%), les autres constituants incluant des hydrates de carbone, des cendres (0,5-0,6%), et des traces de lipides (0,19%). L'extrait sec total du blanc peut varier en fonction de divers facteurs tels que la souche, l'âge des poules et la conservation des œufs, se situant entre 11 et 13%. La matière sèche du blanc d'œuf est essentiellement protéique, représentant de 9,7 à 11% du poids de l'albumen(48).

Le blanc d'œuf est une solution aqueuse composée principalement de protéines, de sucres et de sels minéraux. Il est quasiment exempt de lipides, que l'on ne trouve que sous forme de traces (49).

Tableau X : Composition globale du blanc d'œuf (49)

Eau (g/100 g)	Protéines (g/100 g)	Lipides (g/100 g)	Glucides (g/100 g)	Minéraux (g/100 g)
87,6	10,8	0,19	0,85	0,5

Effectivement, le blanc d'œuf peut être conceptualisé comme une solution aqueuse de protéines globulaires. Celles-ci entourent des fibres d'une glycoprotéine, l'ovomucine, qui est particulièrement présente dans le blanc épais de l'œuf. Les protéines du blanc d'œuf ont fait l'objet d'études approfondies en raison de leurs nombreuses propriétés, à la fois sur le plan nutritionnel, biologique et techno-fonctionnel (48).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

Tableau XI : Les principales protéines du blanc d'œuf en pourcentage par rapport à la matière sèche(50)

Protéine	% par rapport à la matière sèche
Ovalbumine	54
Ovotransferrine	12
Ovomucoides	11
Ovoglobuline	8
Lysozymes	3.5
Ovomucine	3.5
Flavoprotéines	0.8
Avidine	0.05
Autres protéines	8.15

De nombreuses protéines et peptides présents dans le blanc d'œuf appartiennent à des familles de protéines ayant des activités antimicrobiennes. En plus de constituer une source de nutriments pour l'embryon, ces protéines jouent un rôle crucial dans l'immunité innée de l'œuf. Elles confèrent également au blanc d'œuf ses propriétés physico-chimiques et fonctionnelles, telles que la viscosité, le pH, les propriétés moussantes, thermo-gélifiantes, et liantes, entre autres. Ces caractéristiques contribuent à la diversité des utilisations du blanc d'œuf dans des applications alimentaires et industrielles(51).

IV.2. Le jaune d'œuf :

Les lipides de l'œuf sont exclusivement présents dans le jaune. La couleur caractéristique de cette partie de l'œuf est due à la présence des pigments naturels de la classe des carotènes : lutéine et zeaxanthine, dont la concentration dépend de l'alimentation de la poule(49).

Tableau XII : Composition globale du jaune d'œuf(49)

Eau (g/100 g)	Protéines (g/100 g)	Lipides (g/100 g)	Glucides (g/100 g)	Minéraux (g/100 g)	Cholestérol (g/100 g)
52,31	15,86	26,54	3,59	1,7	1

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

Le jaune d'œuf ou vitellus est composé de protéines et de lipides facilement dispersables dans l'eau. Ce sont ces lipoprotéines qui permettent l'émulsion de l'huile au contact du jaune d'œuf.

Tableau XIII : Les principales protéines avec les différents lipides dans le jaune d'œuf (52)

Protéines	% par rapport à la matière sèche	Lipides (g/100 g)	
Livétines	4 à 10	Acides gras saturés	9,55
Phosvitines	5 à 10	Acides gras mono-insaturés	11,7
Lipovitelline	4 à 15	Acides gras polyinsaturés	4,2
Lipovitellénine	8 à 9	Lécithine	9

V. Qualité des œufs :

La qualité des œufs de consommation est influencée principalement par le poids atteint par les volailles à la fin de la période d'élevage, et surtout par l'uniformité du troupeau de pondeuses. Un élevage où les poules pondeuses atteignent la maturité sexuelle simultanément produit des œufs d'une qualité constante. Plusieurs techniques et méthodes sont désignées à estimer la qualité des œufs de consommation (44).

V.1. Le Mirage :

Le mirage des œufs consiste à vérifier que tout se passe bien pendant le développement de l'embryon. Pour cela, on utilise un mire-œuf, une lampe qui permet par transparence de voir ce qu'il se passe sous la coquille. Un œuf fécondé aura de vaisseaux sanguins avec une masse en son centre. Les œufs sont classés et commercialisés en fonction de leur qualité à cette technique, et de leur poids. Le mirage permet d'observer :

- Les fêlures, les micro-fêlures, ou toute brèche dans la coquille ;
- La localisation et la taille de la chambre à air ;
- L'aspect du vitellus, de l'albumen et des chalazes ;

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

- La présence d'inclusions importantes, telles que des taches de sang et/ou de viande.

Pendant cette procédure, les œufs présentant des coquilles fissurées, des taches de sang ou de déjections sont déclassés ou mis de côté, destinés aux usages moins exigeants (44).

V.2. Estimation de la qualité de la coquille :

Quatre critères permettent d'évaluer la qualité de la coquille des œufs, à savoir :

- La propreté est mesurée en fonction du pourcentage d'œufs sales, c'est-à-dire présentant des souillures d'origine intestinale (fèces), génitale (taches de sang) ou des poussières.
- La couleur de la coquille est évaluée au niveau du gros bout de l'œuf à l'aide d'un réflectomètre.
- La forme de la coquille est représentée par un indice de forme, calculé en utilisant le rapport (largeur/longueur) $\times 100$. Cet indice varie entre 65 pour un œuf allongé et 82 pour un œuf arrondi.
- La solidité de la coquille peut être évaluée soit en appliquant une force qui ne provoque pas la fracture de la coquille (méthode indirecte), soit en appliquant une force entraînant la fracture de la coquille (méthode directe). Les techniques non destructives sont les plus couramment utilisées. Dans les deux cas, l'objectif est d'évaluer le taux de casse des œufs(42).

V.3. Estimation de la qualité de l'albumen :

La qualité de l'albumen est généralement évaluée à l'aide des unités Haugh, qui reflètent la relation entre l'albumen dense et la qualité globale du blanc. Le pH de l'albumen, se situant entre 7,8 et 8,2 le lendemain de la ponte, il augmente avec le vieillissement de l'œuf(44).

V.4. Estimation de la qualité du vitellus :

La coloration du vitellus est évaluée à l'aide d'un éventail colorimétrique avec des valeurs allant de **6** (jaune clair) à **13** (jaune orangé). L'index vitellenique, représentant le rapport (hauteur du vitellus/largeur du vitellus), se situe entre **40** et **45** pour un œuf frais(42).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

V.5. Estimation de la qualité bactériologique :

Contrairement au vitellus, l'albumen constitue un environnement défavorable au développement des bactéries en raison de sa composition protéique et de sa richesse en substances actives telles que le lysozyme, l'avidine, les conalbumines, l'ovomucoïde, etc. Malgré les nombreuses barrières naturelles qui limitent la pénétration de certains microorganismes à l'intérieur de l'œuf, tels que la coquille, la cuticule et les membranes coquillières, des bactéries, champignons et levures ont déjà été identifiés dans ce produit. Les bactéries les plus fréquemment retrouvées au niveau de l'œuf sont *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia marcescens* et *Proteus hauseri*(44).

La présence de champignons sous la coquille au niveau de la chambre à air a été signalée précédemment. Afin de prévenir ces problèmes, il est essentiel de respecter plusieurs paramètres au niveau des installations de stockage :

- Maintenir une température entre **10 et 12 °C** pour limiter les évaporations d'eau et de dioxyde de carbone. Un bâtiment isolé thermiquement est nécessaire pour contrer les températures élevées en été et basses en hiver.
- Maintenir une humidité relative entre **80 et 85%** afin de ne pas altérer l'évaporation.
- Assurer une ventilation adéquate pour prévenir la condensation sur les œufs, ce qui constitue une source de croissance microbienne(44).

VI. Œufs et nutrition :

VI.1. Valeur nutritionnelle et énergétique des œufs :

L'œuf est reconnu pour ses propriétés nutritionnelles exceptionnelles. Il représente un aliment de choix et un véritable trésor nutritif pour une alimentation équilibrée. Il constitue une source complète de protéines, contenant tous les acides aminés essentiels nécessaires au corps humain. Les protéines de l'œuf sont aussi considérées de haute qualité, car elles sont facilement assimilables et utilisées par l'organisme(49).

Les œufs sont une excellente source de vitamines et de minéraux en plus de leur richesse en protéines. Ils contiennent des minéraux tels que le phosphore, le sélénium et le zinc, et des vitamines A, D, E, ainsi que celles du complexe B. De plus le jaune d'œuf est riche en cholestérol, qui bien que controversé, est nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme en quantités modérées(53).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

Les œufs sont également une source importante d'acides gras essentiels, notamment d'oméga-3 et d'oméga-6, qui jouent un rôle essentiel dans la santé cardiovasculaire, la fonction cérébrale et la diminution de l'inflammation. En effet, les œufs dits "enrichis en oméga-3" ou "Columbus" proviennent de poules qui ont été nourries avec des graines de lin, ce qui accroît leur teneur en oméga-3(53).

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

Tableau XIV : Valeur nutritionnelle des principaux nutriments de l'œuf entier (49)

Composant	Teneur moyenne
Energie (kcal)	140
Protéines (g/100g)	12,7
Acide palmitique(g/100g)	1,96
Acide stéarique (g/100g)	0,65
Acide oléique (g/100g)	3,51
Acide linoléique (g/100g)	1,38
Acide arachidonique (g/100g)	0,12
Acide alpha-linolénique (g/100g)	0,061
Cholestérol (mg/100 g)	398
Calcium (mg/100 g)	76,8
Cuivre (mg/100 g)	0,055
Fer (mg/100 g)	1,88
Iode (µg/100 g)	21
Magnésium (mg/100 g)	11
Manganèse (mg/100 g)	0,027
Phosphore (mg/100 g)	204
Potassium (mg/100 g)	134
Sélénium (µg/100 g)	< 2,58
Sodium (mg/100 g)	124
Zinc (mg/100 g)	1,01
Vitamine A ou Rétinol (µg/100 g)	182
Carotènes (Lutéine + zeaxanthine) (µg/100 g)	350
Vitamine D (µg/100 g)	1,88
Vitamine E (mg/100 g)	1,43
Vitamine K1 (µg/100 g)	0,3
Vitamine B2 ou Riboflavine (mg/100 g)	0,45
Vitamine B5 ou pantothénate (mg/100 g)	1,57
Vitamine B6 (mg/100 g)	0,15
Vitamine B9 ou Folates totaux (µg/100 g)	34
Vitamine B12 (µg/100 g)	1,45
Choline (mg/100 g)	225

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

VI.2. Effet des œufs sur la santé humaine :

Les œufs sont un bon choix dans le cadre d'une alimentation saine et équilibrée. En plus d'être une source de protéines, ils contiennent également des vitamines et des minéraux(54).

VI.2.1. Santé des yeux :

Le jaune d'œuf est riche en pigments de la classe des carotènes : lutéine et zéaxanthine. Ces antioxydants aident à prévenir le dommage des cellules de la rétine et réduire le risque de dégénérescence maculaire liée à l'âge(55).

VI.2.2. Protection contre l'anémie :

Les œufs contiennent un pourcentage élevé d'acide folique, fer, et vitamine B12 nécessaires à la formation des globules rouges. Par conséquent, la consommation d'œufs pour les personnes présentant une carence en acide folique réduit leur risque d'anémie(56).

VI.2.3. Santé du cerveau :

Les œufs contiennent de la choline, et un apport adéquat en choline est lié à une amélioration de la mémoire et des capacités d'apprentissage. La choline et la vitamine B12 participent également à la réaction chimique qui empêche l'accumulation d'homocystéine dans le corps, une substance dont des niveaux élevés ont été associés à la maladie d'Alzheimer (57).

VI.2.4. Perte du poids :

Les œufs sont pauvres en glucides et en même temps très nutritifs, ils peuvent donc aider à stimuler le métabolisme; en plus de faire sentir rassasié plus longtemps. De ce fait, des recherches scientifiques ont révélé que suivre un régime hypocalorique avec une consommation fréquente d'œufs favoriserait la perte de poids (58).

VI.2.5. Amélioration de la masse musculaire et de la santé osseuse

Les athlètes et les gens sportifs principalement les culturistes mettent les œufs et précisément le blanc d'œuf parmi les aliments les plus essentiels dans leur régime spécial. Les protéines de haute qualité, comme celles présentes dans les œufs, favorisent la croissance de la masse musculaire. Les protéines de l'œuf de haute qualité présentes peuvent être rapidement absorbées et utilisées efficacement car elles sont parfaitement équilibrées en acides aminés

CHAPITRE 02 : LES ŒUFS

essentiels par rapport aux besoins de l'homme, il en est de même de leur digestibilité qui est très élevée par rapport aux autres protéines végétales ou animales. La consommation des œufs joue également un rôle crucial dans la préservation et l'endurance des os en raison de leur richesse en calcium et en vitamine D (54, 59, 60).

VII. Réglementation algérienne :

Les principaux textes réglementaires sont rapportés dans l'arrêté interministériel du 2 Moharram 1438 correspondant au 4 octobre 2016 (JORADP) fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires y inclus les œufs de consommation (61).

On cite particulièrement les textes suivants :

Art. 4 : les œufs ne doivent pas contenir de micro-organismes ni leurs toxines ou métabolites dans des quantités qui présentent un risque inacceptable pour la santé du consommateur.

Art. 6 : le critère microbiologique relatif aux œufs est que Salmonella ne doit être détectée, ni à l'intérieur, ni à l'extérieur de l'œuf en coque.

**CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA
PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES
DANS LES ALIMENTS**

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

I. Définition des résidus d'antibiotiques :

Les résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale (DAOA) sont les traces de traitements médicamenteux antibiotiques reçus par l'animal tout au long de sa vie(62).

Cette définition est codifiée dans une directive européenne (directive 81/851/ CEE, 1981). Dans cette directive, les résidus sont précisés comme étant « tous les principes actifs ou leurs métabolites qui subsistent dans les viandes ou autres denrées alimentaires provenant de l'animal auquel le médicament en question a été administré »(63).

Le règlement 2377/90/CEE modifie un peu cette définition en la complétant. Les résidus sont précisés comme « toute substance pharmacologiquement active, qu'il s'agisse de principes actifs, d'excipients ou de métabolites présents dans les liquides et tissus des animaux après l'administration de médicaments et susceptibles d'être retrouvés dans les denrées alimentaires produites par ces animaux »(64).

II. Nature des résidus :

La nature chimique des résidus est profondément conditionnée par les biotransformations. En effet, les méthodes qualitatives et quantitatives ont permis de distinguer deux majeurs types de résidus : les résidus extractibles et les résidus non extractibles. Cette distinction est basée sur la capacité des composés étudiés de passer dans les solvants d'extraction (65).

II.1. Les résidus extractibles :

Les résidus extractibles ou « libres » qui peuvent être extraits des tissus ou des liquides biologiques par différents solvants. Les composés impliqués sont le principe actif primaire et ses métabolites, soit en solution dans les fluides biologiques soit liés par des liaisons non covalentes, à des biomolécules (66).

Il s'agit des résidus précoces, prédominants dans les premiers jours après l'administration du médicament, mais qui ont une demi-vie assez courte et dont la concentration devient généralement négligeable trois à cinq jours après le traitement. Ils ne constituent qu'une faible proportion des résidus totaux (66).

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

II.2. Les résidus non extractibles :

Ils forment la fraction des résidus persistante dans les échantillons de tissus analysés après extraction des résidus libres. Leur nature ne peut être identifiée qu'après destruction quasi totale des protéines, par hydrolyse acide ou enzymatique (66).

Les résidus non extractibles dont le principe actif primaire ou d'un de ses métabolites fixent sur des protéines formant des complexes macromoléculaires. Ces résidus liés persistent assez longtemps et constituent la majeure fraction des résidus tardifs (66).

III. Délai d'attente :

C'est le délai entre la dernière administration d'un antibiotique et le prélèvement de produits alimentaires sur un animal traité, assurant que la teneur des résidus de médicaments dans les aliments est conforme à la limite maximale de résidu pour cet antibiotique vétérinaire (LMRMV) (Voir tableau XV)(10).

Tableau XV : Délai d'attente de quelques antibiotiques(67).

Antibiotique	Animaux de Boucherie	Animaux Laitiers	Volailles pondeuses (œufs)
Oxytétracycline	2 semaines	1 semaine	/
Spiramycine	3 semaines	3 semaines	3 jours (voie orale), 3 semaines (autres voies)
Oléandomycine	5 jours (voie orale)	5 jours	/
Tylosine	3 semaines	3 semaines	3 jours (voie orale), 2 semaines (formes injectables)
Polymyxine B	3 jours (voie orale), 1 mois (autres voies)	/	/

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

IV. Limite maximale des résidus (LMR) :

La limite maximale pour les résidus de médicaments vétérinaires (LMRMV), désigne la concentration maximale de résidu résultant de l'usage d'un médicament vétérinaire (exprimée en mg/kg ou µg/kg sur la base du poids du produit frais) recommandée par la commission du Codex Alimentarius comme légalement autorisée ou reconnue comme admissible dans un ou sur un aliment(10).

Elle est basée sur le type et la quantité de résidu considérés comme n'exposant à aucun risque toxique pour la santé humaine, exprimé par la dose journalière admissible (DJA), ou sur la base d'une DJA provisoire qui utilise un facteur de sécurité supplémentaire. Il prend également en compte d'autres risques pertinents pour la santé publique ainsi que des aspects liés à la technologie alimentaire (10).

Lors de la fixation des limites maximales de résidus (LMR), nous prenons en compte les résidus présents dans les aliments d'origine végétale ou provenant de l'environnement. En outre, la LMR peut être réduite en fonction des bonnes pratiques d'utilisation des médicaments vétérinaires et de la disponibilité des méthodes d'analyse (10).

V. Causes de contamination des aliments par les résidus d'antibiotiques :

Le traitement des mammites est la principale source de contamination du lait par les antibiotiques, et il existe plusieurs facteurs qui peuvent être responsables (9) :

V.1. Les erreurs commises par l'éleveur :

- Un mélange involontaire du lait provenant d'une vache traitée avec celui provenant des autres vaches.
- Une traite accidentelle d'une vache tarie qui avait récemment reçu des antibiotiques.
- Une désinfection insuffisante de la machine à traite.
- Le défaut de vérification des traitements antérieurs administrés aux vaches en lactation récemment acquises.
- L'incorporation accidentelle de médicaments dans l'alimentation des vaches en raison d'une erreur dans la préparation de leur ration.

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

V.2. La mauvaise utilisation du médicament :

- Le non-respect de la posologie, puisque l'augmentation de la dose entraîne un prolongement de la période d'élimination du médicament.
- Le non-respect de la voie d'administration préconisée.
- L'utilisation d'une préparation destinée à traiter les vaches tarées pour le traitement d'une vache en phase de lactation.

V.3. Le non-respect du délai d'attente :

- Un manque de communication entre le vétérinaire et les éleveurs.
- Des actions délibérées de la part des éleveurs, souvent par méconnaissance des risques associés à ces pratiques.

V.4. La contamination par le matériel de traite :

- Un rinçage inadéquat du matériel et des conduites de la machine à traite.

VI. Conséquences de contamination des aliments par les résidus d'antibiotiques :

La présence de résidus d'antibiotiques dans les produits alimentaires d'origine animale peut entraîner divers problèmes, que l'on peut classer en deux catégories distinctes :

VI.1. Problèmes sanitaires :

VI.1.1. Risques d'antibiorésistance :

L'antibiorésistance désigne la capacité d'une bactérie à résister aux effets des antibiotiques. C'est principalement les bactéries, qu'elles soient hébergées par des êtres humains ou des animaux, qui peuvent développer une résistance aux traitements antibiotiques, ce qui peut rendre ces traitements inefficaces pour leur hôte (9).

Au cours des vingt dernières années, l'émergence d'agents pathogènes résistants aux antibiotiques est devenue un problème de santé publique majeur. Une des causes potentielles de cette montée de la résistance aux antibiotiques pourrait être attribuée à l'utilisation d'antibiotiques à des fins préventives et curatives en élevage, étant donné que les médicaments vétérinaires partagent en partie les mêmes substances actives que ceux utilisés en médecine humaine. Les bactéries devenues résistantes ont le potentiel d'être transmises à l'homme par le

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIÉS A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

biais de la consommation de produits alimentaires contaminés. Cette résistance peut résulter de pratiques thérapeutiques inappropriées, telles que des doses incorrectes, une fréquence d'administration inadéquate, ou le non-respect des prescriptions. De plus, l'utilisation des antibiotiques comme promoteurs de croissance favorise la propagation rapide du phénomène d'antibiorésistance (68).

VI.1.2. Risques liés à la perturbation de la flore digestive du consommateur :

Dans le tractus digestif résident des milliards de bactéries commensales, principalement des bactéries anaérobies : Bactéroïdes, Fusobacterium spp.

La consommation de denrées contenant des résidus d'antibiotiques perturbe cette flore intestinale en modifiant sa composition de manière sélective : les antibiotiques inhibent sélectivement certaines bactéries, détruisant ainsi la flore normale et laissant la place à d'autres espèces, notamment Escherichia coli et des levures, entre autres. Cet effet affaiblit l'immunité naturelle préexistante, ce qui peut entraîner des problèmes affectant le système nerveux, les os, les dents (une coloration jaune), le foie, le sang, ainsi que la propagation de bactéries mutantes antibiorésistantes, pouvant conduire à des échecs dans les traitements médicaux (69).

VI.1.3. Risques allergiques :

Les résidus d'antibiotiques utilisés en thérapeutique animale sont parfois incriminés en allergologie humaine.

En médecine humaine, l'allergie est un effet secondaire reconnu des antibiotiques et en particulier des bêtalactamines (car ces derniers sont à la fois très immunogènes et souvent utilisés). Cependant, compte tenu du très faible taux de résidus présents dans l'organisme, comparés aux concentrations d'antibiotiques administrées lors du traitement ou de prophylaxie, il est très improbable qu'ils soient à l'origine d'une sensibilisation primaire de l'individu(14).

Cependant des cas d'allergie aux résidus de pénicilline dans les aliments d'origine animale ont été scientifiquement prouvés, ceux-ci restent extrêmement rares (quelques cas seulement d'allergie à la pénicilline suite à la consommation des produits laitiers, ont été déclarés dans le monde depuis plusieurs années)(14).

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

Les antibiotiques les plus souvent incriminés sont les pénicillines, suivis des sulfamides et dans une moindre mesure les tétracyclines ou la spiramycine(70).

VI.1.4. Risques toxiques :

La toxicité directe des antibiotiques est dans l'ensemble très rare, le cas de toxicité éventuelle fréquemment signalé est celui du chloramphénicol qui lui est responsable d'anémie aplasique chez l'homme.

La toxicité directe des résidus d'antibiotiques est assez difficile à mettre en évidence, car il s'agit en général de toxicité chronique. Cette toxicité ne s'exprime qu'après consommation régulière de denrées alimentaires contenant des résidus du même antibiotique, c'est-à-dire qu'après absorption répétée de nombreuses faibles doses de toxique (69).

VI.1.5. Risques cancérogènes :

Certains antibiotiques ont des propriétés carcinogènes connues. Les résidus de ces antibiotiques peuvent avoir un effet cancérogène sur le long terme, suite à une consommation régulière d'aliments contenant ces résidus. Ces antibiotiques sont alors interdits d'utilisation chez les animaux de production. C'est le cas par exemple des nitrofuranes, des nitroimidazolés et du chloramphénicol (69).

VI.2. Problèmes technologiques :

Les résidus d'antibiotiques entraînent une inhibition totale ou partielle des phénomènes fermentaires d'origine bactérienne nécessaires à la fabrication des produits laitiers tels que le yaourt, les fromages et le lait caillé.

Ces conséquences technologiques dépendent essentiellement de la dose résiduelle d'inhibiteurs dans le lait collecté et la sensibilité des germes lactiques utilisés aux antibiotiques (9).

VII. Facteurs influençant le taux des résidus d'antibiotiques dans les aliments :

On distingue plusieurs facteurs qui peuvent influencer le taux des résidus d'antibiotiques dans un échantillon de lait, parmi eux :

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

VII.1. Température :

D'une façon générale, lorsque la température et la durée de chauffage du lait augmentent, on marque une diminution de la stabilité et de l'activité antimicrobienne des résidus d'antibiotiques présents dans ce lait.

Selon une étude, les résultats ont montré que les échantillons de lait de chauffage à 40°C pendant 10 minutes à peine produit l'inactivation thermique, tandis que le traitement à 83°C pendant 10 minutes a provoqué une perte de 20 % dans la pénicilline G, 27 % dans la céphalexine et 35 % en céfuroxime. Parmi les trois traitements thermiques de l'industrie laitière étudiés dans cette étude, une faible pasteurisation (60°C pendant 30 minutes) et le traitement à 140°C pendant 10 secondes n'ont provoqué qu'une petite perte de l'activité antimicrobienne, tandis que la stérilisation classique (120°C pendant 20 minutes) a montré un niveau élevé d'inactivation thermique de plus de 65 % pour les pénicillines et 90 % pour les céphalosporines(71).

Une autre étude a montré que les températures élevées de 70°C et 100°C étaient suffisantes pour affecter la stabilité et l'activité antibactérienne ultérieure d'azithromycine. Cependant, la tétracycline n'a pas été complètement éliminée aux mêmes températures respectives (72).

VII.2. pH :

Le pH du milieu peut influencer la stabilité et l'activité antimicrobienne des résidus d'antibiotiques présents dans le lait, mais ça dépend de leur nature chimique et leur caractère acidobasique.

Par exemple, dans une étude un pH acide (4-5) a montré un effet de réduction significatif sur l'azithromycine et la tétracycline par rapport au pH alcalin. Alors dans une autre étude, un pH alcalin (10) a provoqué une dégradation de ceftiofur présent dans un échantillon de lait (72,73).

VII.3. Lyophilisation :

C'est une méthode universelle utilisée en industrie agroalimentaire pour la déshydratation, la préservation et le stockage des produits alimentaires, elle est utilisée occasionnellement pour le prétraitement des échantillons afin de simplifier la procédure d'extraction et

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

d'enrichissement du prélèvement dans l'analyse des résidus de drogues, elle ne provoque généralement pas une perte des analytes (74).

VII.4. Fermentation :

Plusieurs études ont montré que la fermentation du lait provoque une diminution des résidus de médicaments présents dans ce dernier, comme les pénicillines et les pesticides (diméthoate, malathion, dichlorodiphényldichloroéthylène et lindane) (75).

VII.5. Écrémage :

L'influence de l'écémage sur le taux des résidus d'antibiotiques dans le lait est discutable. Dans une étude, on a marqué que la concentration de tylosine a significativement diminué avec un pourcentage de **68,6 %** après un écémage des échantillons de lait, alors dans une autre étude, le taux de tétracycline le plus élevé est détecté dans des échantillons de lait écémé à une température de **2 à 8°C** (76).

VII.6. Réfrigération et congélation :

Peu d'études ont été menées dans ce volet, parmi eux, une étude dont l'objectif est de savoir l'influence de la conservation du lait à basse température sur le taux des résidus de quinolones.

Les résultats de cette étude ont montré que la plupart des quinolones ont présenté une grande stabilité à **4°C** jusqu'à 24 heures, mais ont commencé à se dégrader après 48 heures. En plus, aucune dégradation des quinolones n'a été observée lorsque des échantillons sont stockés à **- 20°C** pendant 7 jours. Cependant 30 jours de stockage à **- 20°C** ont entraîné une faible dégradation (environ **30 %**). Des résultats similaires ont été observés lorsque des échantillons étaient stockés à **- 80°C**. De plus, aucune perte n'a été observée lorsque des échantillons de lait congelés ont été décongelés à **25, 40** ou **60°C**. Toutes les quinolones d'intérêt, sauf sarafloxacin, étaient stables lorsque des échantillons de lait ont été décongelés à **40°C** une fois à trois fois, mais instables après cinq cycles de congélation (77).

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

VIII. La réglementation autour des résidus d'antibiotiques :

VIII.1. La législation européenne :

La directive 90/676/CEE suivie du règlement 2377/90/CEE indiquent que tout médicament vétérinaire destiné aux animaux de production, c'est-à-dire les animaux destinés à la consommation humaine, doit avoir une LMR pour chacun de ses principes actifs, chacun de ses ingrédients pharmacologiquement actifs et dans chacune des espèces de destination de ce médicament, afin d'obtenir une autorisation de mise sur le marché(78,79).

En Europe, les résidus des médicaments vétérinaires sont réglementés essentiellement par la directive 2001/82/CE et le règlement 2377/90/CEE (78,79).

Dans ce dernier document, on trouve environ 700 substances ou classes de composés dont près de 200 sont soumises aux LMR, les 500 autres composés n'y sont pas associés. Une tolérance zéro est appliquée à dix résidus interdits à l'intérieur de l'union européenne dont Chloramphénicol, Nitrofuranes, Dimétridazole, Métronidazole et Ronidazole. Les autres substances non explicitement mentionnées sont interdites(78).

Le règlement 2377/90/CEE définit aussi les limites maximales de résidus et comporte quatre annexes :

- Annexe I : substances à LMR définitive. (**Voir annexe I**)
- Annexe II : substances sans risques (LMR inutile).
- Annexe III : substances à LMR provisoire.
- Annexe IV : substances interdites (risque pour le consommateur). (**Voir annexe I**)

CHAPITRE 03 : LES RISQUES LIES A LA PRESENCE DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

VIII.2. La législation algérienne :

La législation algérienne dans sa définition du lait, dans l'article 6 de l'arrêté interministériel du 18 août 1993 relatif aux spécifications et à la présentation de certains laits de consommation, mentionne le fait qu'un lait propre à la consommation humaine ne doit pas contenir des résidus d'antibiotiques, mais ne précise pas explicitement des limites maximales de résidus(11).

La législation algérienne stipule que le beurre ne doit pas contenir de résidus d'antibiotiques, sans préciser de limites maximales des résidus. Dans ce cas, les limites maximales applicables sont celles qui sont scientifiquement reconnues et acceptées par la pratique internationale (80).

Dans la législation algérienne, les critères microbiologiques pour les œufs sont spécifiés, mais aucune limite maximale n'est établie pour les résidus d'antibiotiques. Dans ce cas, les limites maximales à appliquer sont celles qui sont reconnues et acceptées sur le plan scientifique à l'échelle internationale (80).

**CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION
DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES
ALIMENTS**

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

I. Généralités :

La sécurité des produits d'origine animale tels que le lait, le miel, la viande et les œufs est cruciale, et la loi exige des méthodes de détection spécifiques pour identifier les résidus nocifs comme les antibiotiques et les pesticides. Pour évaluer une méthode de détection, plusieurs critères sont pris en compte, dont la capacité à repérer les résidus sous forme de métabolites spécifiques, même lorsque la quantité du composé principal est égale ou inférieure à la limite réglementaire établie **(81)**.

L'AOAC-RI (Association of Official Agricultural Chemists Research Institute Performance Tested Method) est une organisation mondiale chargée d'évaluer et de certifier les performances des méthodes analytiques. Les méthodes répondant aux critères d'acceptabilité de cet organisme reçoivent la certification PTM (Performance Tested Method) **(81)**.

Les accréditations PTM telles que celles de l'AFNOR (association française de normalisation) et de l'ILVO (Institute for Agricultural, Fisheries and Food Research) sont des éléments clés pour sélectionner des méthodes de détection. Elles assurent aux utilisateurs des kits qu'une évaluation externe a été réalisée, confirmant que ces méthodes respectent les normes adéquates pour leur usage spécifique **(81)**.

Pour repérer les résidus d'antibiotiques dans les laboratoires de contrôle, une approche en deux étapes est fréquemment employée. Elle commence par un test de dépistage à large spectre sur les échantillons, suivie par un test de confirmation pour ceux qui se révèlent positifs. Cette méthode est recommandée par le protocole du Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL INHD - version 09 et CNIEL ATBC - version 06) **(82)**.

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

II. Méthodes de dépistage :

D'après la décision de la commission européenne 2002/657/CE, une méthode de dépistage est une technique utilisée pour repérer la présence d'une substance spécifique ou d'une catégorie de substances à un certain niveau (83).

II.1. Tests d'inhibition microbiologique (TIMs) :

Les TIMs sont des tests de détection à large spectre utilisés pour identifier les substances inhibitrices dans les produits alimentaires d'origine animale. Certains tests commerciaux comme le KISest®, Explorerest® et PremiTest® sont conçus pour les produits à base de viande, d'œufs et de miel, tandis que pour le lait, on retrouve des tests tels que le Delvotest T®, le kit Charm Farm test® et les kits BRT®. Ces tests se basent sur l'arrêt du développement bactérien, généralement issu de genres tels que Bacillus, Streptococcus et Micrococcus. Ils sont principalement présentés sous forme de tubes de diffusion ou de microplaques et fournissent des résultats en moyenne entre 120 et 240 minutes (81,84).

Une autre technique applicable pour la détection des résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires qui repose sur la diffusion en gélose, c'est la méthode à quatre-boîtes développée par laboratoire de Fougères laboratoire national de référence pour les résidus de médicaments vétérinaires et colorants dans les denrées alimentaires d'origine animale et aliments pour animaux et validé par l'agence nationale de la sécurité sanitaire des aliments ANSES (85).

Les TIMs sont privilégiés pour leur efficacité économique lorsqu'il s'agit de détecter une activité biologique liée à la présence de résidus d'antibiotiques inconnus. Ils sont simples d'utilisation, économiques et servent principalement à un dépistage initial. Cependant, leur nature non concluante en cas de résultat positif est une limitation, souvent nécessitant l'utilisation conjointe de tests de diagnostic secondaires sélectifs pour une ou plusieurs classes d'antibiotiques (84).

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

II.1.1. Méthode à quatre boîtes :

a) Principe :

Le principe de la méthode repose sur (85) :

- L'ensemencement d'un milieu nutritif solide coulé en boîte de Pétri par un microorganisme sensible aux substances à activité antibiotique.
- Le dépôt, à la surface du milieu ensemencé de l'échantillon suivi d'une incubation à la température optimale de développement du microorganisme-test.

Les substances à activité antibiotique éventuellement présentes inhibent la croissance de la bactérie : il en résulte la formation d'une zone d'inhibition autour de l'échantillon.

Cette méthode requiert l'utilisation des deux espèces suivantes : *Bacillus subtilis* cultivé à deux pH différents (6 et 8) et *Micrococcus luteus* cultivé également à deux pH différents (7,4 et 8).

Il existe aussi une variante de cette méthode à une boîte et qui utilise comme alternative la bactérie *Bacillus stearothermophilus* (86,87).

b) Résultats :

Les échantillons présentant des zones d'inhibition avec une taille de la zone annulaire au moins de 2 mm sont considérés comme positifs pour chacune des quatre boîtes (85).

Il est nécessaire de répéter l'essai à chaque fois que le résultat semble douteux. Lorsque le deuxième résultat n'est pas considéré comme positif, il est nécessaire de considérer le résultat douteux comme négatif (85).

Cette technique permet de détecter plus sélectivement les résidus d'antibiotique d'une certaine famille spécifique dans chaque boîte des quatre boîtes :

- *Bacillus subtilis* à pH 6 détecte sélectivement la famille des bêta-lactamines et des tétracyclines.
- *Bacillus subtilis* à pH 8 détecte sélectivement la famille des fluoroquinolones et des aminosides.
- *Micrococcus luteus* à pH 7,4 détecte sélectivement la famille des sulfamides et des bêta-lactamines.
- *Micrococcus luteus* à pH 8 détecte sélectivement la famille des bêta-lactamines et des macrolides.

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

- *Bacillus stearothermophilus* détecte la majorité des antibiotiques (beta-lactamines, céphalosporines, quinolones, macrolides, tétracyclines, sulfamides, aminosides, polypeptides, et autres antibiotiques).

c) Performance :

Suivant la décision CE/2002/657 (2002), les caractéristiques de performance de cette méthode ont été déterminées lors d'une validation en accord avec les recommandations du guide de validations des méthodes de dépistage proposé par les laboratoires communautaires de référence (guidelines for the validation of screening methods for residues of veterinary medicines) : ont été étudié les caractéristiques suivantes :

- **Sélectivité et taux de faux-positifs** : après être évalué ; le taux de faux-positifs de cette méthode a été estimé à faible voir nul pour certaines matrices.
- **Capacité de détection et taux de faux-négatifs** : cette méthode a permis également de confirmer la spécificité de chacune des quatre boîtes, et elle est capable de détecter les résidus de plusieurs antibiotiques à une concentration inférieure, égale, ou proche à la LMR. Le taux de faux-négatifs est faible voir nul.
- **Applicabilité de la méthode** : l'applicabilité de la méthode a été démontrée en menant une analyse sur plusieurs lots de muscle et foie d'ovin, porcine et volaille, pour quatre antibiotiques. Cette étude a montré que cette méthode est applicable aux matrices citées ci-dessus.
- **Robustesse** : la variabilité entre les techniciens a été estimée lors des études de sélectivité, de capacité de détection et d'applicabilité, ainsi que la répétabilité de la méthode. Ensuite, une étude de robustesse basée sur la construction d'un plan expérimental, comme décrit dans la décision CE/2002/657 (2002), a été réalisée, et a donné l'opportunité de tester des éléments expérimentaux différents de ceux testés lors de la première étape de validation (épaisseur de l'échantillon, quantité de gélose par boîte et durée de pré-incubation ou non), ce qui permet de conclure à la robustesse de la méthode, à condition d'appliquer le protocole tel qu'il est défini (85).

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

II.1.2. Delvotest T® :

C'est un test à large spectre qui repère les résidus d'antibiotiques et les inhibiteurs à des concentrations proches des limites maximales autorisées dans le lait de vache, de chèvre ou de brebis (82).

Chaque kit de test comprend des ampoules ou une microplaque, des micropipettes et une carte de couleur pour interpréter les résultats. Les ampoules renferment un milieu de culture gélosé spécifique,ensemencé avec des spores de *Bacillus Stearothermophilus var. calidolactis*, sensibles à plusieurs catégories d'antibiotiques, notamment les bêtalactamines à des niveaux proches des limites maximales de résidus (81,88). (Voir annexe II).

Le fonctionnement du test repose sur l'arrêt de la croissance microbienne suite à la diffusion de $100 \mu\text{l} \pm 10 \mu\text{l}$ de lait incubé entre $64^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant **2 h 30 à 3 h**. En l'absence de substances inhibitrices, les spores se développent et se multiplient, engendrant la production d'acide carbonique qui provoque une baisse du pH. Ce processus entraîne un changement de couleur du milieu, passant du violet au jaune. En revanche, lorsque des substances inhibitrices sont présentes à des concentrations dépassant les limites détectables du test, la croissance des spores est stoppée, tout comme la production d'acide, ce qui maintient la coloration violette du milieu. Ce test peut être utilisé à la fois dans les exploitations agricoles et en laboratoire, en respectant les directives spécifiques du protocole CNIEL INHD (version 09) (88).

II.1.3. PremiTest® :

Cet outil est un test polyvalent permettant la détection des résidus d'antibiotiques dans divers produits tels que la viande fraîche, le poisson, les œufs, le miel, etc. Son objectif est de simplifier la détection in situ des résidus d'antibiotiques dans la chaîne alimentaire en utilisant des échantillons de fluide prélevés à partir de la viande ou du miel (81).

Ce procédé repose sur l'inhibition de la croissance des spores de *Bacillus Stearothermophilus*. Les spores bactériennes sont introduites dans un gel nutritif comprenant des éléments nutritifs spécifiques, des sels de diffusion et un indicateur coloré réagissant au pH, similaire au système Delvotest T®. L'incubation est prévue pour une durée estimée entre 180 et 240 minutes à une température de 64°C (81).

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

II.2 Tests rapides :

Ces tests de détection reposent généralement sur des principes immunologiques ou enzymatiques. Ils offrent des résultats de nature qualitative ou semi-quantitative en environ 30 minutes. Conçus pour une utilisation sur place, ces tests sont privilégiés lorsque des résultats rapides qualitatifs ou semi-quantitatifs sont nécessaires pour cibler le dépistage de résidus(81).

II.2.1. Tests rapides basés sur un principe immunologique :

Ces méthodes identifient spécifiquement l'interaction entre un anticorps et un antigène, qui représente l'analyte (81).

Habituellement, ces techniques utilisent des anticorps, mais d'autres éléments peuvent également être employés pour détecter les composés antimicrobiens, tels que les protéines de liaison, les récepteurs, les polymères à empreinte moléculaire et plus récemment, les aptamères(81).

Ces techniques offrent l'avantage d'avoir une faible limite de détection, ainsi qu'une sensibilité, une spécificité accrue, tout en réduisant le temps d'analyse et en permettant une automatisation facile(81).

Il y a une variété de méthodes immunologiques pour analyser les résidus de médicaments vétérinaires. Certaines sont des approches simples, comme l'immunochromatographie, ELISA et la radio-immunologie RIA. D'autres sont des techniques plus avancées et instrumentales, telles que les biocapteurs optiques exploitant la résonance des plasmons de surface (81).

II.2.1.1. Tests immunologiques à flux latéral (IFL) :

Ce sont des tests faciles et transportables, souvent sous forme de bandelettes, qui reposent sur le principe immunochromatographique. L'échantillon extrait se déplace le long d'un substrat solide par capillarité vers des particules conjuguées fixées. Les IFL utilisent soit un principe direct (type sandwich) soit un principe compétitif (par inhibition) (81).

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

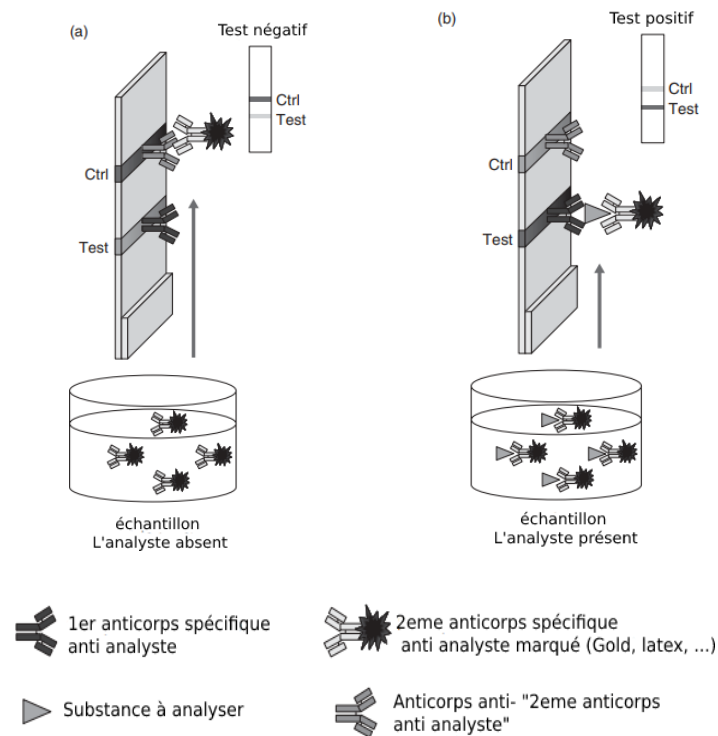


Figure 5 : Schéma représentatif du mode de fonctionnement de l'IFL en format sandwich direct montrant le résultat d'un test pour un échantillon négatif (a) et un échantillon positif (b)(81)

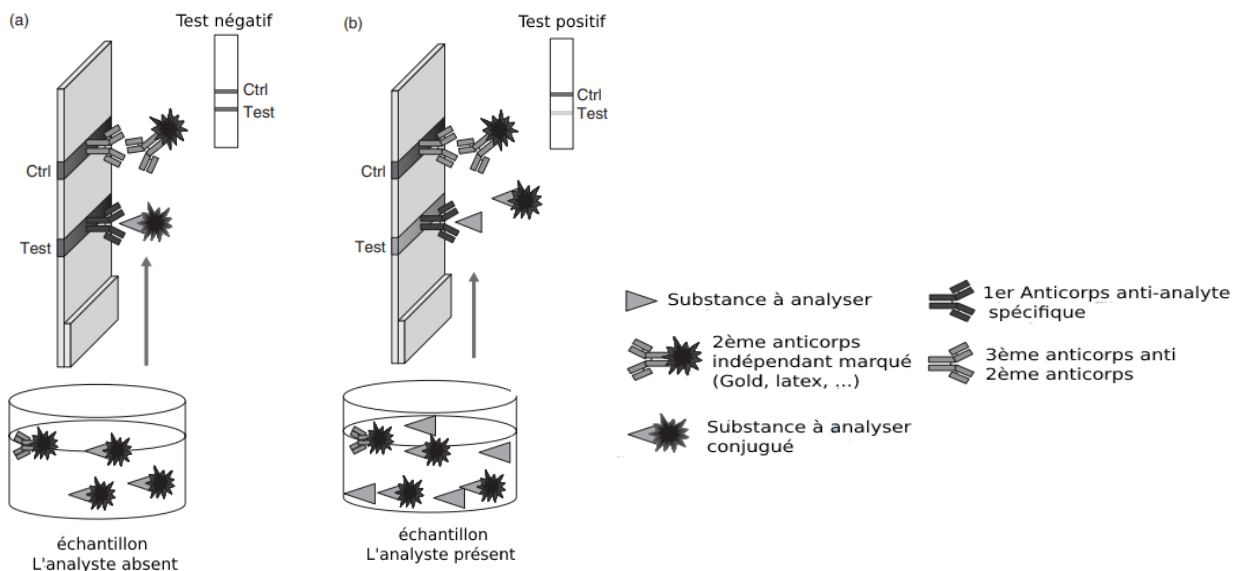


Figure 6 : Schéma représentatif du mode de fonctionnement de l'IFL en format compétitif direct montrant les résultats d'un test pour un échantillon négatif (a) et un échantillon positif(b)(81).

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

Il existe une diversité de kits commerciaux IFL disponibles pour repérer les résidus d'antibiotiques. Ces kits varient en fonction de leur domaine d'application, des classes d'antibiotiques et du nombre de molécules détectées. Les détails des tests et leurs spécifications sont répertoriés dans **le tableau XVI (81)**.

Les avancées technologiques permettent désormais la recherche de multiples résidus au sein d'un même dispositif, comme le Trisensor® et le SNAP® (81).

Tableau XVI : Résumé des tests IFL disponibles dans le marché pour la détection des résidus d'antibiotiques dans les aliments d'origine animale (81).

Application	Test	Classes d'antibiotiques cibles
Lait	Tetrasensor milk®	Tétracyclines
	Twinsensor®	β-Lactamines et Tétracyclines
	Betastar®	β-Lactamines
	SNAP Beta-lactam®	β-Lactamines
	SNAP Tetracycline®	Tétracyclines
	SNAP Duo ST Plus®	β-Lactamines, Tétracyclines et Céfalexine
Lait, tissu, œuf, urine et poisson	ROSA Enroflox®	Enrofloxacine
Lait et urine	ROSA SMZ®	Sulfaméthazine
Tissu, œuf, poisson, urine	Tetrasensor animal tissue®	Tétracyclines
Miel	Tetrasensor Honey®	Tétracyclines

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

II.2.1.2. Méthode radio-immunologique (RIA) :

Cette méthode, établie depuis longtemps, est reconnue comme un moyen de mesure hautement précis et spécifique. Elle repose sur la compétition entre des substances radioactives et non radioactives au sein d'une réaction antigène-anticorps (ou d'autres molécules de liaison) pour évaluer la concentration de la substance non marquée **(81)**.

Même si cette méthode exige l'emploi d'équipements de laboratoire spécifiques et des précautions de sécurité en raison de l'utilisation de traceurs radioactifs, les formats de tests actuels permettent le dépistage de multiples résidus d'antibiotiques en environ 30 minutes. Parmi les systèmes commerciaux de dépistage rapide de plusieurs résidus en laboratoire, on trouve le Charm II System® **(81)**.

II.2.2. Méthodes enzymatiques :

II.2.2.1. Penzyme® :

Ce test repose sur deux caractéristiques de la D, D-carboxypeptidase. Premièrement, cette enzyme est spécifiquement inhibée par les bêtalactamines. Deuxièmement, elle possède la capacité spécifique d'hydrolyser les substrats de type R-d-Ala-d-Ala, libérant ainsi de la d-alanine **(81)**.

La d-alanine est convertie en acide pyruvique par une oxydase spécifique à la stéréochimie, libérant du H₂O₂. En présence d'un substrat chromogène et sous l'action de la peroxydase, le H₂O₂ se transforme en H₂O, créant une coloration orange dont l'intensité est proportionnelle à l'activité enzymatique de la D, D-carboxypeptidase. Les résultats sont interprétés en comparant la couleur observée dans le tube à essai avec un nuancier fourni dans le kit du test. La durée totale du test est estimée à environ 15 minutes après une incubation brève à 47°C **(81)**.

Dans chaque situation, les seuils de détection mentionnés dépassent les limites maximales de résidus actuelles définies par l'union européenne. Pour cette raison, ce test n'est pas perçu comme un outil de surveillance pertinent sur le marché européen **(81)**.

CHAPITRE 04 : LES METHODES DE DETECTION DES RESIDUS D'ANTIBIOTIQUES DANS LES ALIMENTS

II.2.2.2. DELVO-X-PRESS® :

Il s'agit d'un test qualitatif et compétitif, fondé sur un principe de récepteur enzymatique. Un récepteur spécifique, extrait de *Bacillus stearothermophilus*, est employé, capable de reconnaître et de se lier à diverses bêtalactamines avec une capacité de détection adaptée aux limites réglementaires requises (81).

On utilise l'enzyme peroxydase de raifort pour déclencher une réaction, signalée par l'apparition d'une coloration bleue qui indique spécifiquement la présence ou l'absence de résidus de β -lactames (81). Le test peut être interprété visuellement ou via un système de lecture automatisé. Sa durée totale est estimée à moins de 10 minutes (81).

III. Méthodes quantitatives et/ou de confirmation :

D'après la décision de la Commission européenne 2002/657/CE, les méthodes de confirmation pour les résidus organiques et les contaminants doivent offrir des indications sur la structure chimique de l'analyte. Ainsi, les méthodes qui se basent uniquement sur l'analyse chromatographique sans recourir à la détection spectrométrique ne sont pas jugées suffisantes en tant que méthodes de confirmation seules. Toutefois, si une technique spécifique manque de la nécessaire spécificité, celle-ci doit être obtenue en utilisant des procédés d'analyse qui combinent la purification, la séparation chromatographique et la détection spectrométrique. Ces méthodes ou combinaisons de méthodes sont considérées comme appropriées pour identifier les résidus organiques ou les contaminants pour les groupes de substances mentionnés (83).

Parmi les méthodes quantitatives et/ou de confirmations répertoriées, on retrouve la chromatographie en phase gazeuse avec capture d'électrons, l'ionisation de flamme ou la détection par spectrométrie de masse. De plus, il y a la chromatographie liquide (CL) avec des méthodes de détection comme l'ultraviolet, la fluorescence, ou l'électrochimie, ainsi que la spectrométrie de masse (SM)(89).

PARTIE PRATIQUE

I. MATRIELS ET METHODES

I. MATERIELS ET METHODES

I.1. Objectifs de l'étude :

Objectif principal :

- Rechercher les résidus d'antibiotiques dans les laits infantiles, les laits spéciaux (laits concentrés, laits en poudre, laits dé lactosés, laits chocolatés, laits ajoutés de jus), les œufs et les beurres commercialisés dans la wilaya de Tlemcen.

Objectifs secondaires :

- Etablir la fréquence de contamination de chaque type d'aliment

I.2. Type d'étude :

Notre étude est descriptive transversale expérimentale visant à rechercher les résidus d'antibiotiques dans les laits infantiles, les laits spéciaux, les œufs, et les beurres consommés dans la wilaya de Tlemcen.

I.3. Lieu d'étude :

Notre étude a été réalisée dans la wilaya de Tlemcen.

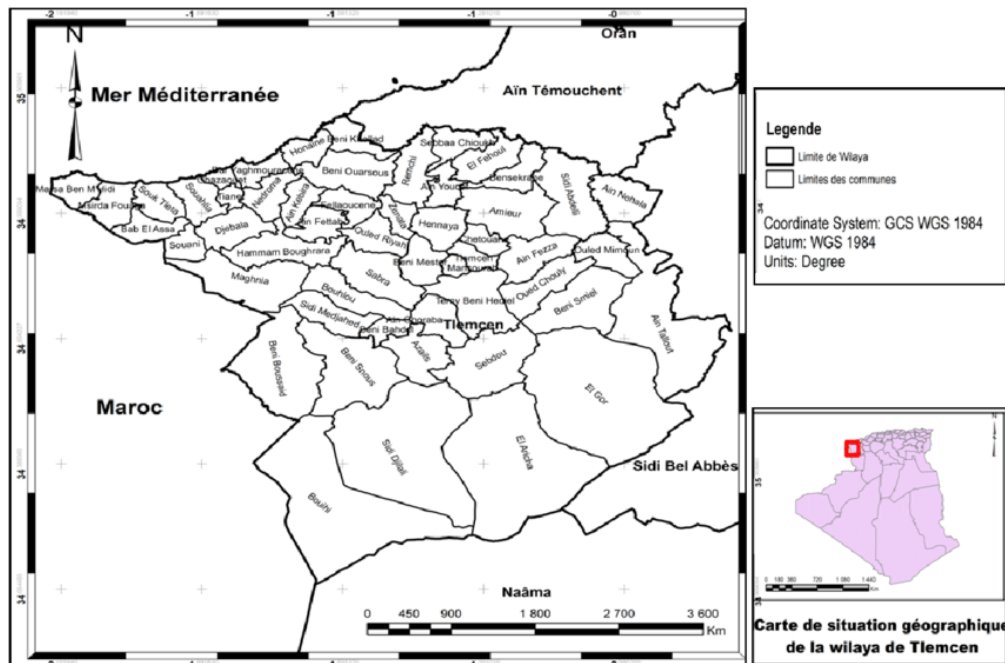


Figure 7 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen(90).

I. MATERIELS ET METHODES

I.4. Durée d'étude :

Notre étude a été réalisée dans une durée de neuf mois : du 1^{er} Septembre 2023 jusqu'au 31 Mai 2024.

I.5. Facteur étudié :

La présence ou l'absence des résidus d'antibiotiques dans quelques denrées alimentaires consommées dans la wilaya de Tlemcen.

I.6. Critère de jugement :

La présence ou l'absence d'antibiotiques a été étudiée par la mesure du diamètre d'inhibition de la croissance d'une culture microbienne de *Bacillus stearotherophilus var.calidolactis* qui est une bactérie sensible à la majorité des antibiotiques connus.

I.7. Echantillon étudié :

Notre étude a été réalisée sur quelques aliments à savoir :

- Laits infantiles,
- Laits en poudre,
- Laits dé lactosés,
- Laits concentrés,
- Laits chocolatés,
- Laits ajoutés de jus,
- Œufs,
- Beurres.

Critères d'inclusion :

Ont été inclus dans l'étude les denrées alimentaires d'origine animale commercialisées et consommées par la population habitant la wilaya de Tlemcen.

Critères de non inclusion :

Les fromages et les yaourts n'ont pas été analysés car ils contiennent des conservateurs alimentaires qui interfèrent avec la technique utilisée dans l'étude engendrant des faux positifs.

I. MATERIELS ET METHODES

Les miels n'ont pas été étudiés car ils contiennent naturellement des substances à activité antimicrobienne qui inhibent la croissance de la bactérie utilisée dans l'étude.

Les viandes et les laits (entiers, écrémés et demi-écrémés) ont été analysés dans des études antérieures. Cette étude s'est concentrée sur le reste des aliments d'origine animale.

I.8. Echantillonnage :

I.8.1. Calcul de la taille minimale de l'échantillon nécessaire à l'étude :

$$n = t \times t \times p \times (1 - p) / e^2 = 1,96 \times 1,96 \times 0,12 \times (1 - 0,12) / (0,05)^2 = 162$$

Avec : **p** : pourcentage de positivité pour les antibiotiques retrouvé dans une étude antérieure ; **p** = 12 % (**9**).

e : marge d'erreur, **e** = 5% ;

t = 1,96 pour un niveau de confiance de 95%.

I.8.2. Prélèvement des échantillons :

- Pour les laits infantiles, ils ont été prélevés au hasard à partir des différentes pharmacies de la wilaya de Tlemcen. Différentes marques ont été analysées.

- Pour les laits spéciaux, ils ont été prélevés à partir des différentes supérettes de la wilaya de Tlemcen. Deux lots différents ont été analysés pour chaque marque.

- Pour les œufs, ils ont été prélevés à partir des supérettes et des éleveurs retrouvés dans la wilaya de Tlemcen.

- Pour le beurre, les échantillons ont été prélevés à partir des supérettes et des éleveurs retrouvés dans la wilaya de Tlemcen, à raison de deux lots différents pour chaque marque.

I.8.3. Transport et conservation des échantillons :

Pour les laits infantiles et les laits en poudre, ils ont été conservés à température ambiante.

Pour les œufs, les beurres, et les autres types de laits spéciaux, ils ont été conservés au réfrigérateur jusqu'au moment de l'analyse.

L'analyse a été faite au niveau du laboratoire d'hydro-bromatologie de la faculté de médecine de Tlemcen dans un délai de trois jours au maximum.

I. MATERIELS ET METHODES

I.9. Mode opératoire :

I.9.1. Matériels utilisés :

Etuve, éprouvettes, erlenmeyers, béchers, tubes à essai, micropipettes, spatules, pissettes d'eau distillée, portoirs en plastique, bec benzène, pipettes pasteur, microscope, lames, lamelles, boîtes Pétri, écouvillons, vortex, spectrophotomètre, seringues, cuvettes, pinces, embouts, pied à coulisse (**Figure8**).



Figure 8 : Pied à coulisse (photo originale).

I.9.2. Réactifs utilisés :

Eau distillée stérile, eau physiologique stérile, gélose Mueller-Hinton, gélose nutritive, disques du papier Whatman stérilisés, plaque api20, eau oxygénée, gélose TSI, milieu Clark et Lubs, violet de gentiane, lugol, alcool à 98%, fuschine, huile à immersion, souche de *Bacillus stearothermophilus* variété *calidolactis* C953, disques d'antibiotiques (pénicilline G, amoxicilline, azithromycine, amikacine, céfotaxime, gentamicine, métronidazole, doxycycline), les révélateurs de la plaque api(VP1,VP2,réactif de Kovacs)

I.9.3. Isolement et identification de la bactérie utilisée pour la recherche des résidus d'antibiotiques : (91)

I.9.3.1. Isolement de la bactérie : la souche de *Bacillus stearothermophilus* var. *calidolactis* C953 a été isolée à partir du Delvotest T®. Le milieu utilisé pour cette opération est la gélose nutritive, Comme le montre **la figure 9**.

I. MATERIELS ET METHODES

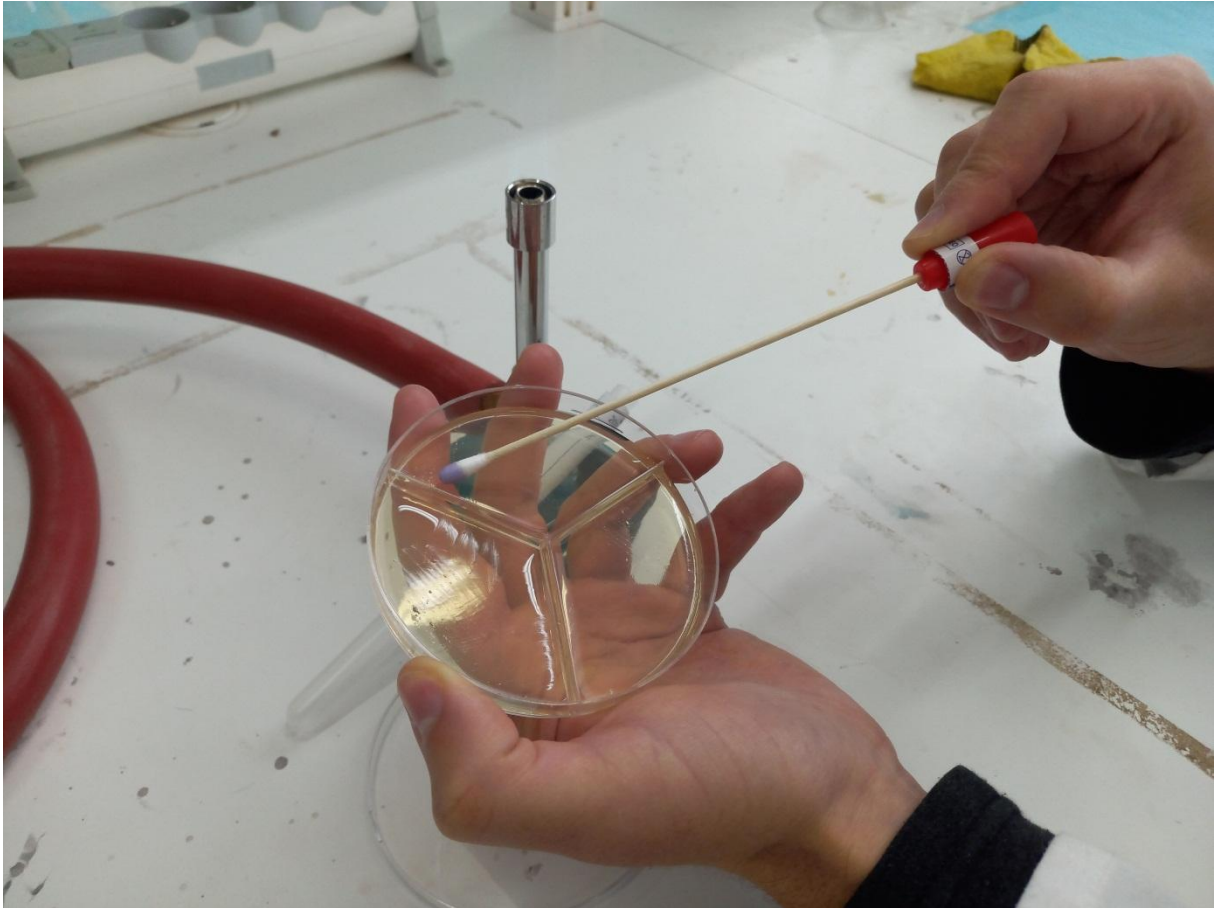


Figure 9 : Ensemencement de la bactérie *Bacillus stearotherophilus var.calidolactis* prélevée à partir du DELVOTEST T® (photo originale).

I.9.3.2. Identification de la bactérie : basée sur

a) Observation à l'état frais :

Nous avons prélevé deux à trois colonies d'une culture pure et jeune, nous les avons déposées sur une lame, nous avons ajouté deux à trois gouttes d'eau distillées, recouvert avec une lamelle, et l'observation est faite sous microscope à l'objectif 40x.

b) Observation après coloration de Gram :

- Nous avons déposé deux à trois colonies sur une lame et nous avons laissé sécher près du bec benzène,
- Nous avons couvert la lame avec du violet de gentiane et nous avons laissé colorer pendant une minute puis nous avons rincé à l'eau,
- Nous avons couvert la lame avec du lugol et nous avons laissé fixer pendant une minute puis on rince à l'eau,

I. MATERIELS ET METHODES

- Nous avons versé de l'alcool sur la lame inclinée et nous avons laissé décolorer pendant 30 secondes puis on rince à l'eau,
- Nous avons couvert la lame de fuschine et on laisse colorer pendant une minute puis on rince à l'eau et on laisse sécher (**figure 10**).
- Nous avons examiné la lame sous microscope à l'objectif X100



Figure 10 : Réactifs de la coloration Gram (photo originale).

c) Recherche des caractères biochimiques :

- **Test catalase :** nous avons déposé une colonie sur une lame, et nous avons ajouté quelques gouttes de l'eau oxygénée.
- **Gélose TSI :** nous avons prélevé une colonie et nous avons ensemencé la gélose par piqure centrale puis par des stries écartées sur la ponte, et l'incubation est faite à **55°C** pendant **24 H**.
- **Bouillon Clark et Lubs :** nous avons homogénéisé une colonie dans le bouillon par vortex et l'incubation est faite à **55°C** pendant **24 H**.
- **Galerie Api20 :** Nous avons prélevé une colonie et l'avons homogénéisée dans 5 ml d'eau physiologique stérile. (NaCl 9g/L d'eau). Nous avons rempli les puits de la galerie selon le protocole standardisé indiqué, puis nous avons incubé à **55°C** pendant **24H**.

I. MATERIELS ET METHODES

I.9.3.3. Etude de la sensibilité bactérienne aux antibiotiques :

Nous avons utilisé les antibiotiques suivants :

- Pénicilline G (**10** µg),
- Amoxicilline (**10** µg),
- Azithromycine (**10** µg),
- Amikacine (**30** µg),
- Céfotaxime (**30** µg),
- Gentamicine (**10** µg),
- Métronidazole (**10** µg),
- Doxycycline (**10** µg).

Nous avons préparé des solutions des antibiotiques que nous allons tester avec des dilutions pour chaque antibiotique de sorte que la concentration finale de la substance dans le disque qui sera incubé se situe entre **10** et **30** µg.

Nous avons imbibé les disques du papier Whatman stérilisé avec les solutions préparées des antibiotiques, puis nous avons déposé les disques sur la gélose Mueller Hinton préalablement ensemencée par la bactérie *Bacillus stearothermophilus*.

L'incubation est faite à **55°C**, après **24H**, nous avons mesuré pour chaque disque le diamètre d'inhibition à l'aide du pied à coulisse.

I.9.4. Recherche des résidus d'antibiotique dans les denrées alimentaires :

Nous avons utilisé la méthode de diffusion sur gélose à une boîte avec la bactérie *Bacillus stearothermophilus var. calidolactis* qui est une variante de la méthode de référence à quatre boîtes (voir principe dans chapitre 4) (**87**).

I.9.4.1 Reconstitution des échantillons :

- Pour les laits infantiles et les laits en poudre : nous avons dissous une cuillère à mesure remplie de l'échantillon dans **30** ml de l'eau distillée.
- Pour les œufs : nous avons cassé les échantillons puis nous avons mélangé bien le blanc avec le jaune.
- Pour les beurres : nous avons fondu une cuillère de l'échantillon dans bain de sable.

I. MATERIELS ET METHODES

I.9.4.2 Préparation de l'inoculum :

- Nous avons prélevé deux à trois colonies d'une culture pure et jeune et nous les avons homogénéisé dans **5 ml** de l'eau physiologique stérile (NaCl 9 g/L d'eau). L'absorbance à **625 nm** doit être comprise entre **0,08** to **0,13**(ce qui correspond à une suspension bactérienne de **10⁷** à **10⁸ UFC/ml**).

I.9.4.3 Ensemencement de la gélose Mueller Hinton :

- A l'aide d'un écouvillon, on ensemence la surface de la gélose par la suspension bactérienne (préalablement ajustée) : on plonge un écouvillon stérile dans la suspension bactérienne ; on écouvillonne la totalité de la surface du milieu MH dans trois directions avec des stries serrées.
- On laisse les boîtes sur pailleasse pendant 15 minutes pour séchage.

I.9.4.4 Préparation des échantillons :

- Nous avons imprégné aseptiquement les disques du papier Whatman stérilisés avec **20µL** des échantillons d'aliments à l'aide d'une micropipette.
- 5 disques correspondant à 5 échantillons d'aliments différents sont déposés sur gélose MH à l'aide d'une pince flambée. Ils sont disposés en cercle à 1cm de la périphérie de la boîte.
- Nous avons incubé à **55 °C** pendant **24H**.



Figure 11 : Prélèvement des colonies

I. MATERIELS ET METHODES



Figure 12 : Ajout de l'eau physiologique stérile

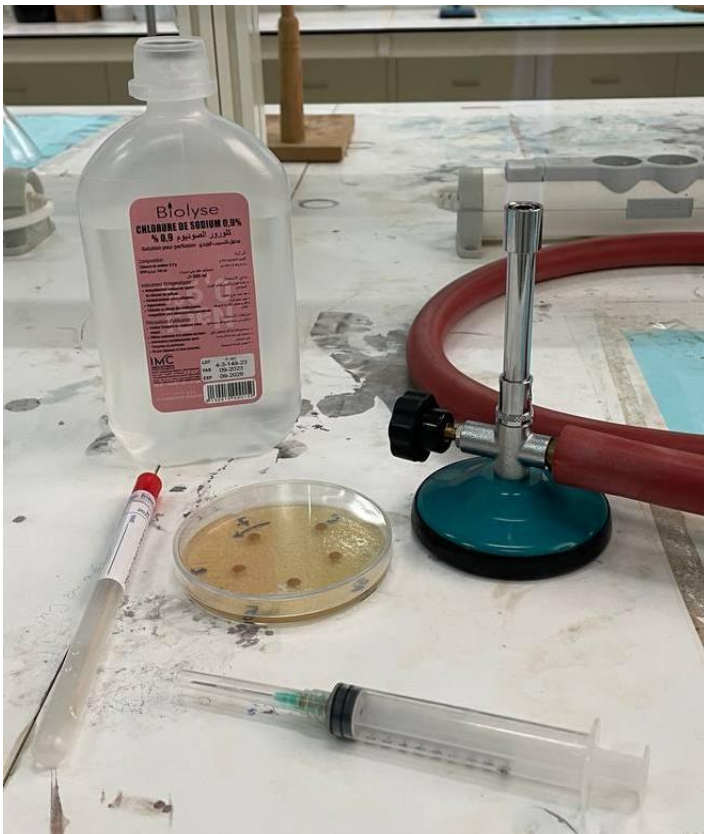


Figure 13 : Matériel de préparation de l'inoculum



Figure 14 : Homogénéisation de la suspension

I. MATERIELS ET METHODES



Figure 15 : Mesure de l'absorbance de la suspension à 625 nm

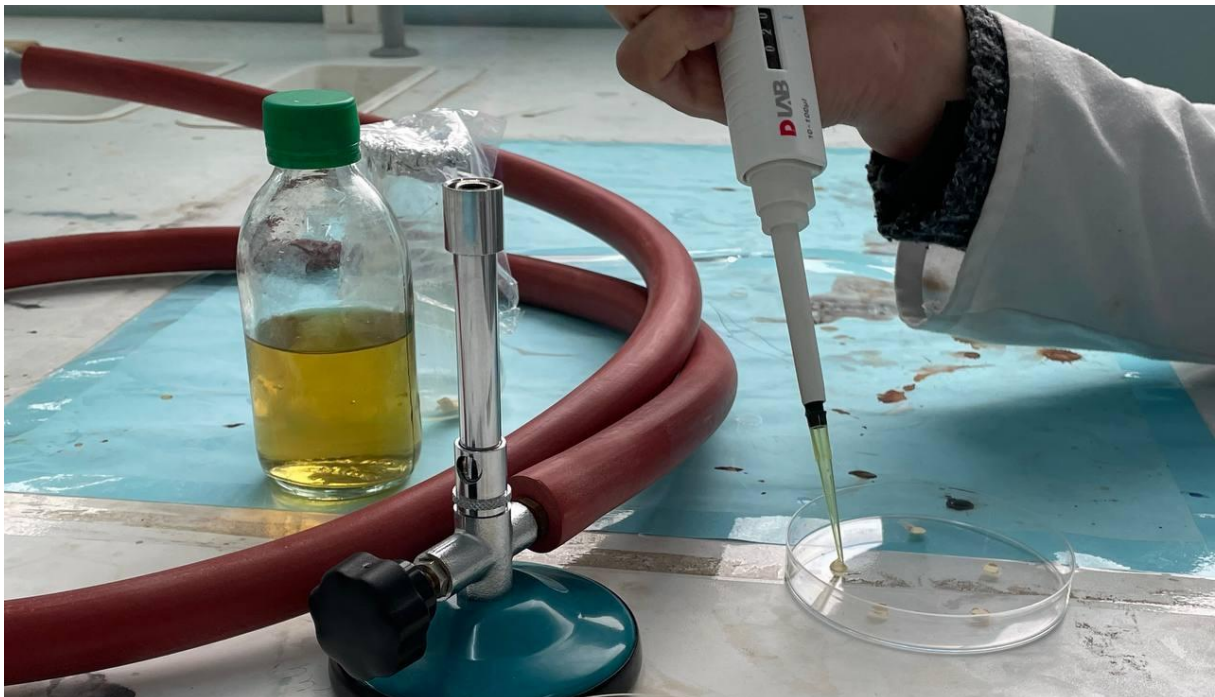


Figure 16 : Imbibition des disques du papier Whatman par l'échantillon

I. MATERIELS ET METHODES



Figure 17 : Dépôt des disques imbibés sur la gélose ensemencée



Figure 18 : Incubation des boîtes Pétri dans l'étuve à 55°C

I. MATERIELS ET METHODES

I.9.4.5 Lecture des résultats :

Après 24h d'incubation, nous avons mesuré le diamètre d'inhibition des échantillons.

Sont considérés comme positifs les échantillons qui ont un diamètre supérieur à 9 mm(92).

Les échantillons avec un diamètre d'inhibition compris entre 0 et 9 mm ($0 < \Phi < 9$) sont soumis à une autre analyse car ils sont considérés comme douteux.

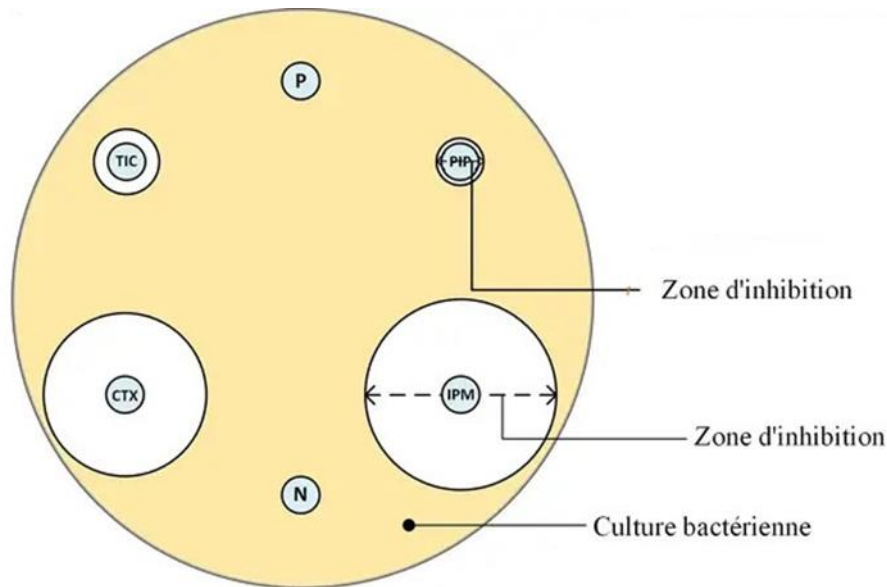


Figure 19 : Schéma du diamètre d'inhibition sur une culture(93).

I.10. Traitement statistique des données :

Nous avons utilisé le logiciel SPSS (version 26) et EXCEL 2019 pour l'analyse des résultats de notre étude.

Les variables qualitatives ont été exprimées en effectifs, en pourcentages, en tableaux et en figures (diagrammes à bandes, diagrammes à secteurs, diagrammes en barres horizontales).

Les variables quantitatives sont exprimées en moyenne \pm écart-type.

Le test de Khi-deux, le test exact de Fisher et le test V de Cramer ont été utilisés pour étudier la relation entre les variables qualitatives de notre étude.

I.11. Considérations éthiques :

- Absence de conflit d'intérêt.

II. RESULTATS

II. RESULTATS

Nous présentons les résultats de l'identification de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* et par la suite, nous entamons les résultats de l'étude expérimentale portant sur la recherche des résidus d'antibiotiques dans les aliments.

II.1 Résultats de l'identification de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* :

II.1.1. Isolement de la bactérie :

Aspect des colonies : colonies blanchâtres cireuses luisantes arrondies bien délimitées, comme le montre la photo suivante :

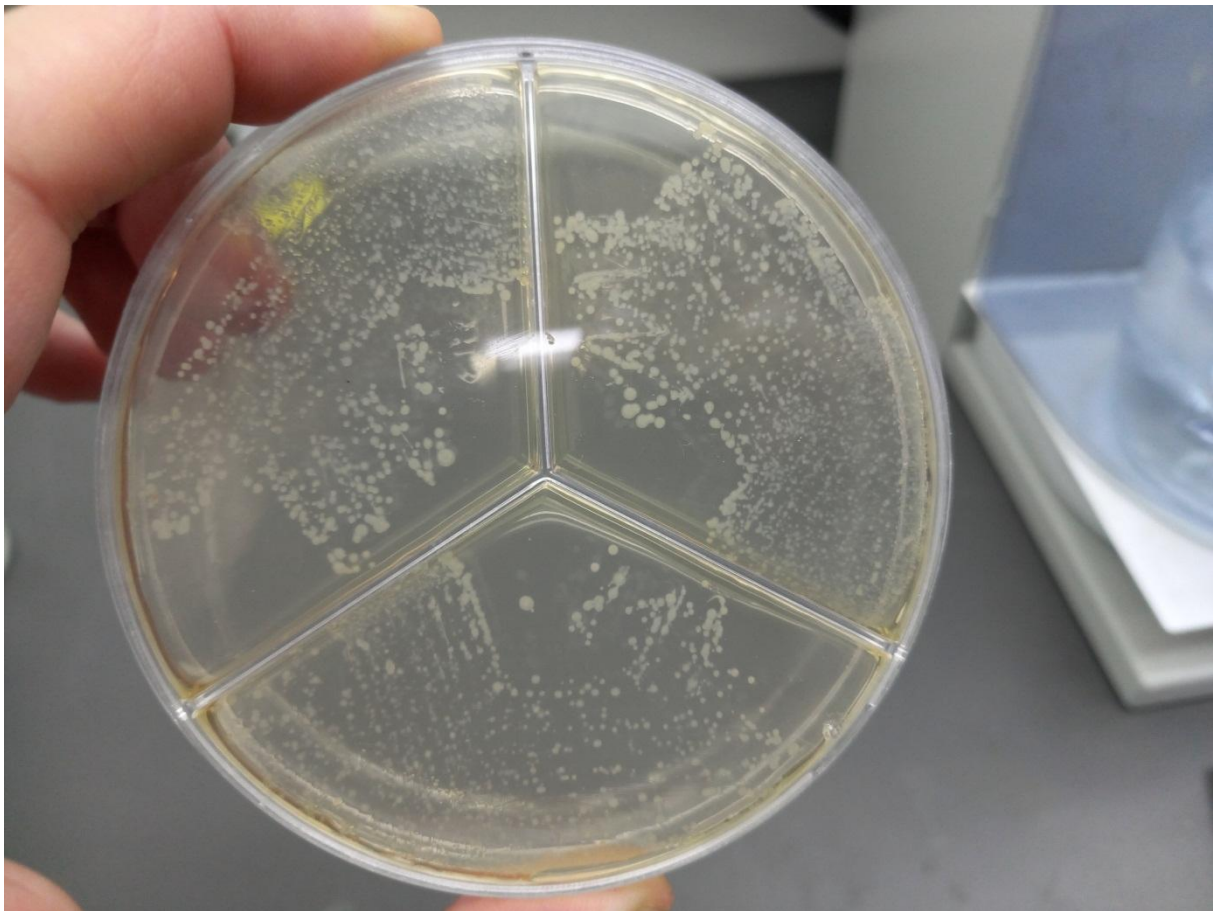


Figure 20 : Aspect des colonies de *Bacillus stearothermophilus* (photo originale).

II. RESULTATS

II.1.2. Identification de la bactérie :

A. A l'état frais :

Les bactéries se présentent comme des bacilles isolés immobiles, comme la montre la figure :

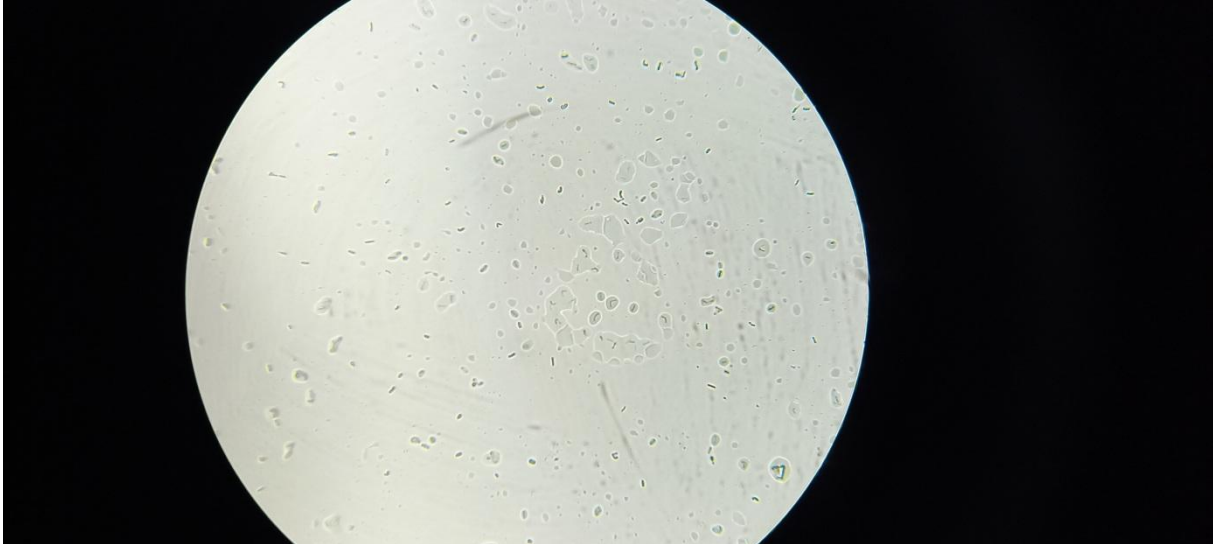


Figure 21 : Observation de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* à l'état frais sous microscope optique(X40) (photo originale).

B. Coloration de GRAM :

La bactérie se présente sous forme de bacilles à GRAM positif, comme le montre la figure ci-dessous :

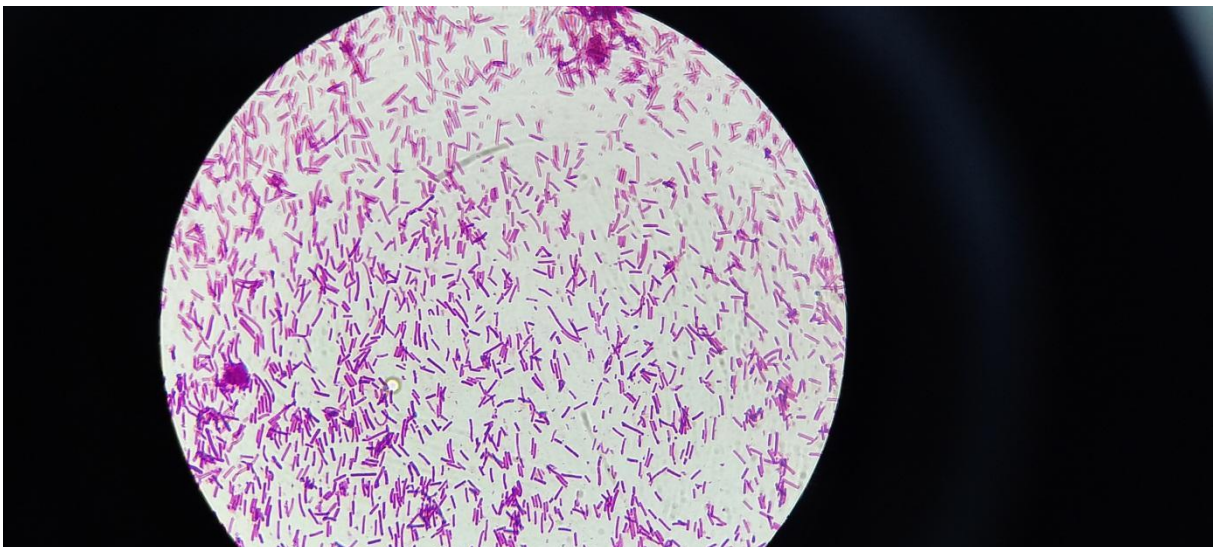


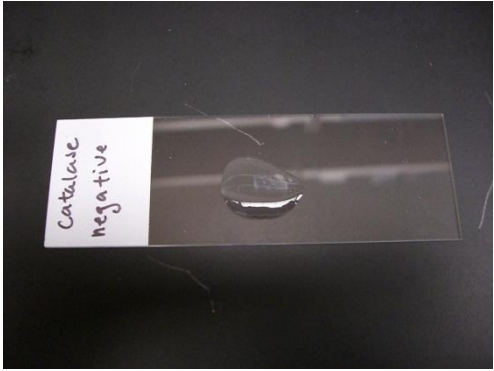


Figure 22 : Observation de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* après coloration de GRAM sous microscope optique(X100) (photo originale).

II. RESULTATS

C. Identification biochimique :

La bactérie est positive pour la totalité des sucres analysés, et elle est négative pour la totalité des enzymes recherchées comme le montre le tableau suivant :

Tableau XVII : Résultats de l'identification biochimique de la bactérie *Bacillus stearothermophilus*.

Test		Résultat	
Catalase		Négative	
			
TSI	Gaz	Négatif	
	H ₂ S	Négatif	
	Lactose	Positif	
	Glucose	Positif	
	Saccharose	Positif	
Bouillon Clarck et Lubs		Négatif	
			

II. RESULTATS

API 20	ONPG	Négative
	ADH	Négative
	LDC	Négative
	ODC	Négative
	Citrate	Négatif
	Urée	Négative
	TDA	Négative
	Indol	Négatif
	Gélatinase	Négative
	Rhamnose	Positif
	Mannose	Positif
	Sorbitol	Positif
	Amylose	Positif
	Arabinose	Positif
	Mélitose	Positif
	Inositol	Positif
VP	Négatif	

ONPG : Ortho-nitrophényl- β -galactoside

ADH : Arginine dihydrolase

LDC : Lysine décarboxylase.

ODC : Ornithine décarboxylase

TDA : Tryptophane désaminase

VP : La réaction de Voges-Proskauer

II. RESULTATS



Figure 23 : Résultats de l'Identification biochimique de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* sur plaque API 20(après incubation de 24h à 55°C) (photo originale).

II.1.3. Résultats de l'étude de la sensibilité de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* aux antibiotiques :

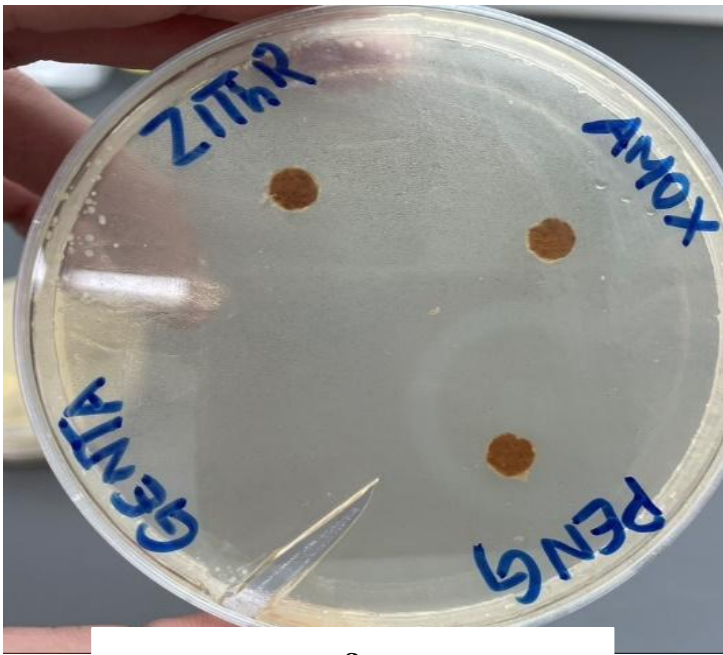
Après incubation de 24h à 55°C, les diamètres d'inhibition ont été comparés avec les normes fournies par la société française de microbiologie (92).

Bacillus stearothermophilus est sensible à la totalité des antibiotiques étudiés.

Tableau XVIII : Résultats du test de sensibilité aux antibiotiques de la bactérie *Bacillus stearothermophilus*

Antibiotique	Sensibilité (diamètre)
Pénicilline G	Sensible (absence de culture)
Amoxicilline	Sensible (absence de culture)
Azithromycine	Sensible (absence de culture)
Amikacine	Sensible (absence de culture)
Céfotaxime	Sensible (absence de culture)
Gentamicine	Sensible (absence de culture)
Métronidazole	Sensible (26,96 mm)
Doxycycline	Sensible (absence de culture)

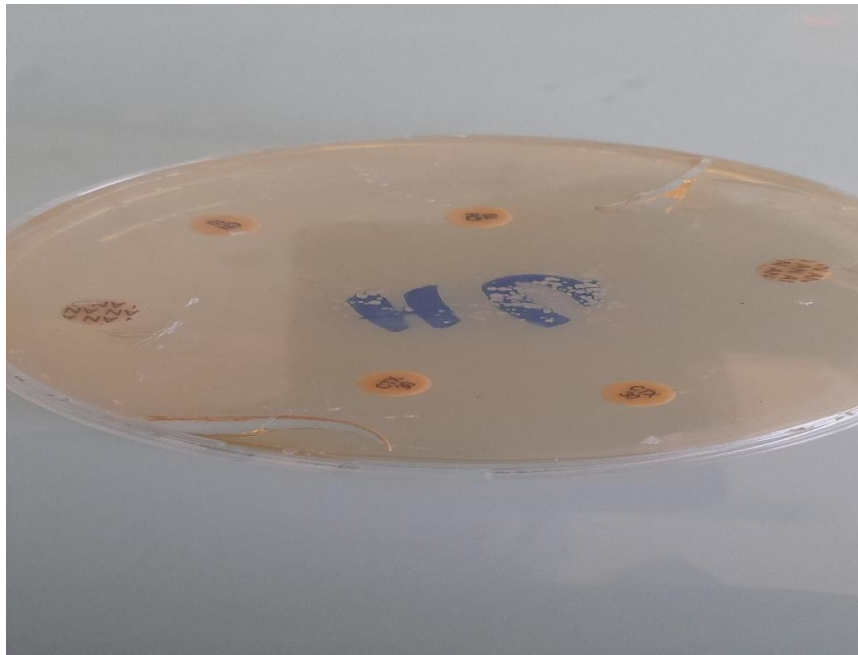
II. RESULTATS



a



b



c

a : les antibiotiques testés sont azithromycine, amoxicilline, pénicilline G

b : les antibiotiques testés sont métronidazole, doxycycline.

c : les antibiotiques testés sont amikacine, céfotaxime, gentamicine.

Figures 24 : Résultats du test de sensibilité aux antibiotiques de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* (photo originale).

II. RESULTATS

II.2. Résultats de l'étude expérimentale portant sur la recherche des résidus d'antibiotiques dans les aliments :

Cette étude a été réalisée sur **118** échantillons appartenant à **4** catégories alimentaires et **38** marques commerciales différentes.

II.2.1. Description de l'échantillon étudié :

II.2.1.1. Description selon le type d'aliment étudié :

31,4% de l'échantillon étudié est représenté par les laits infantiles, suivis par les œufs qui représentent **29,7%** suivis par les laits spéciaux (**28%**), suivis par les beurres (**11%**) comme le montre la figure suivante :

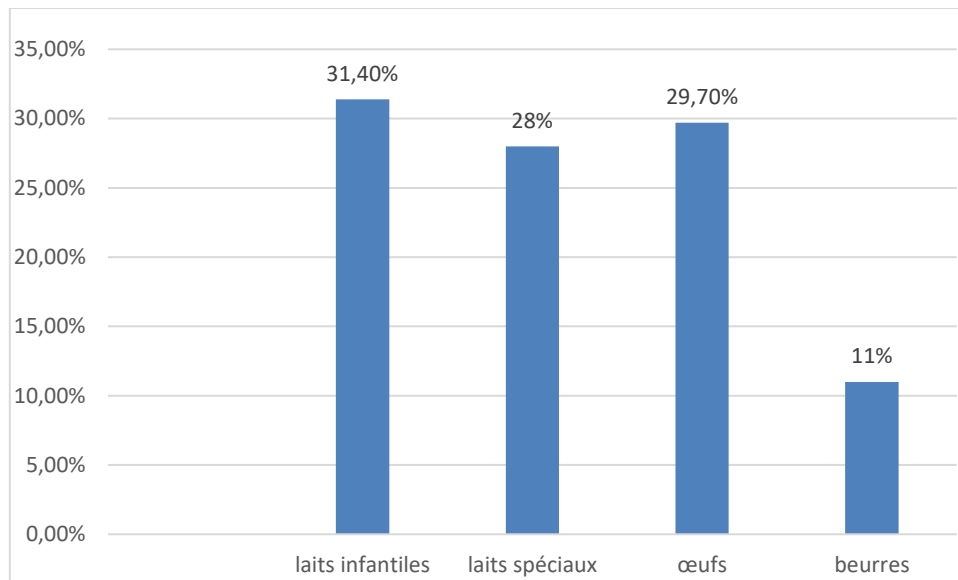


Figure 25 : Description de l'échantillon selon les types d'aliments

II. RESULTATS

II.2.1.2. Description selon le type d'échantillon :

Plus de la moitié de notre échantillon est constitué par : les laits en poudre (**16,1%**) suivis des laits infantiles 1^{ère} âge et les œufs de poulets industriels (**12,71%** chacun) suivis des laits infantiles 2^{-ème} âge (**10,16%**). L'autre moitié est représentée par le reste des catégories alimentaires comme le montre le tableau suivant :

Tableau XIX : Répartition de l'échantillon selon les types d'aliments étudiés

Types d'aliments	Sous type d'aliments	Effectif	Pourcentage %
Laits infantiles	Laits infantiles 1^{er} âge	15	12,71
	Laits infantiles 2^{ème} âge	12	10,16
	Laits infantiles 3^{ème} âge	10	8,47
Laits spéciaux	Laits en poudre	19	16,1
	Laits chocolatés	5	4,2
	Laits + jus	5	4,2
	Laits dé lactosés	2	1,7
	Laits concentrés	2	1,7
Œufs	Œufs de poulets industriels	15	12,71
	Œufs des poulets des éleveurs	10	8,5
	Œufs de cailles	10	8,5
Beurres	Beurres industriels	10	8,5
	Beurres artisanaux	3	2,5
Total		118	100

II. RESULTATS

II.2.1.3 Description selon la marque étudiée :

Nous avons étudié 38 marques différentes avec prédominance des marques M29, M30 et M31 comme le montre le tableau suivant :

Tableau XX : Répartition de l'échantillon selon les marques étudiées

Marques	Effectifs	Pourcentage %
M1	2	1,7
M2	3	2,5
M3	1	0,8
M4	5	4,2
M5	2	1,7
M6	1	0,8
M7	2	1,7
M8	2	1,7
M9	2	1,7
M10	2	1,7
M11	2	1,7
M12	2	1,7
M13	2	1,7
M14	1	0,8
M15	1	0,8
M16	2	1,7
M17	2	1,7
M18	4	3,4
M19	5	4,2
M20	3	2,5
M21	3	2,5

II. RESULTATS

M22	3	2,5
M23	3	2,5
M24	5	4,2
M25	2	1,7
M26	2	1,7
M27	3	2,5
M28	1	0,8
M29	15	12,7
M30	10	8,5
M31	10	8,5
M32	2	1,7
M33	2	1,7
M34	2	1,7
M35	2	1,7
M36	2	1,7
M37	2	1,7
M38	3	2,5
Total	118	100

II. RESULTATS

II.2.1.4. Description selon le type de société productrice :

La majorité des échantillons analysés dans notre étude (57,62%) sont produits par des entreprises locales comme le montre la figure suivante :

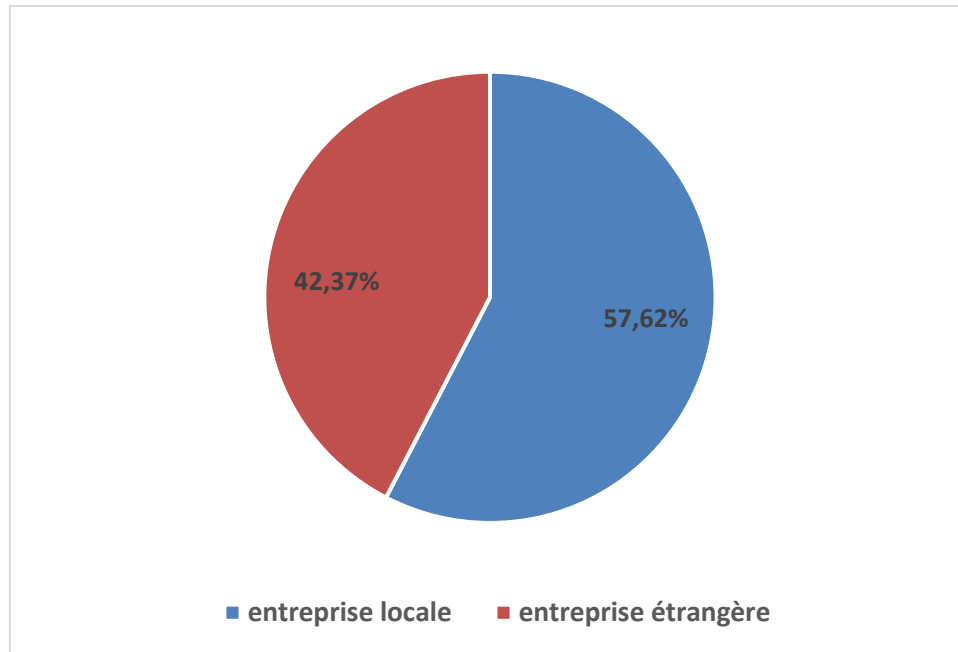


Figure 26 : Répartition de l'échantillon selon le type de société productrice

II.2.2. Description des résultats de l'étude :

II.2.2.1. Selon le diamètre d'inhibition :

Le diamètre d'inhibition après culture atteint un maximum de 22,95 mm et un minimum de 0,00 mm avec une moyenne de $6,32 \pm 8,06$ mm comme l'indique le tableau suivant :

Tableau XXI : Diamètre d'inhibition de la culture bactérienne

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Mode
Diamètre d'inhibition après culture(mm)	118	0	22,95	6,32	8,06	0,00

II. RESULTATS

II.2.2.2. Moyenne du diamètre d'inhibition selon le type d'aliment contaminé :

La moyenne des diamètres d'inhibition après culture par ordre décroissant : nous trouvons les œufs de cailles en premier lieu, suivis par les œufs industriels suivis des œufs des éleveurs suivis des laits infantiles 3^{ème} âge suivis du lait concentré, suivis par les beurres artisanaux, et en dernier nous trouvons le lait infantile 2^{-ème} âge comme montre le tableau suivant:

Tableau XXII : Moyenne du diamètre d'inhibition selon le type d'aliment contaminé

	Œufs industriels	Œufs des éleveurs	Œufs de cailles	Beurres artisanaux	Laits infantiles 2 ^{-ème} âge	Laits infantiles 3 ^{-ème} âge	Laits concentrés
Moyenne diamètre d'inhibition (mm)	17,49 ± 2,15	16,96 ± 2,08	18,68 ± 2,87	11,06 ± 0,03	9,70	12,02 ± 1,66	11,27 ± 1,02

II.2.2.3. Selon la présence ou l'absence d'antibiotique :

La présence d'antibiotique a été observée dans **35,59%** des cas, tandis que l'absence d'antibiotiques a été constatée dans **64,41%** des échantillons étudiés comme le montre la figure suivante :

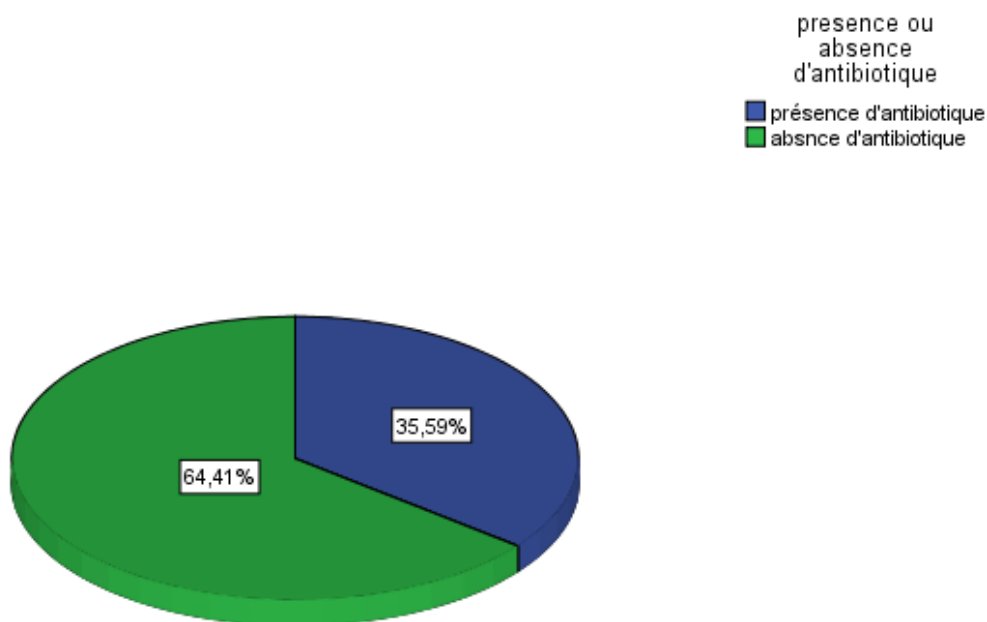


Figure 27 : Pourcentage de positivité pour les antibiotiques des aliments étudiés

II. RESULTATS

II.2.2.4. Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon le type d'aliment :

La présence d'antibiotiques a été constatée dans deux échantillons de laits spéciaux et du beurre, trois échantillons des laits infantiles, et la totalité des œufs (soit 35 échantillons) comme le montre la figure suivante :

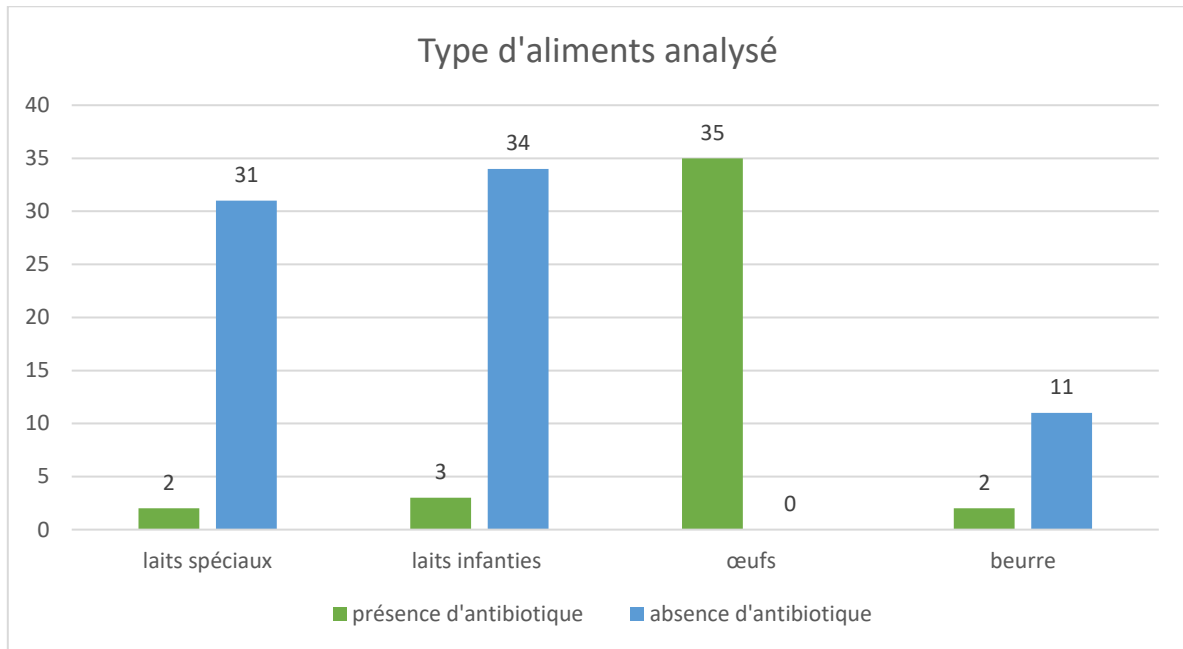


Figure 28 : Répartition de l'échantillon selon pourcentage de positivité pour les antibiotiques et le type d'aliment étudié

II.2.2.5. Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon le type d'échantillon :

Les œufs de poulets industriels présentent le pourcentage de positivité le plus élevé pour les antibiotiques (**12,71%**) suivis des œufs produits par des éleveurs et les œufs de cailles (**8,47%** pour chacun). Les laits concentrés, les beurres artisanaux et les laits infantiles 3^{ème} âge ont le même pourcentage de positivité qui est de **1,69%** tandis que seulement **0,85%** des laits infantiles 2^{ème} âge sont contaminés par les antibiotiques. Les autres catégories alimentaires ne contiennent pas des résidus d'antibiotiques. Les résultats figurent dans le tableau suivant :

II. RESULTATS

Tableau XXIII : Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon les catégories d'aliments étudiées

Type d'échantillon étudié	Présence ou absence d'antibiotique		TOTAL	Pourcentage de positivité %
	Présence d'antibiotique	Absence d'antibiotique		
Laits en poudre	0	19	19	0
Laits chocolatés	0	5	5	0
Laits + jus	0	5	5	0
Laits dé lactosé	0	2	2	0
Laits concentrés	2	0	2	1,69
Beurres artisanaux	2	1	3	1,69
Beurres industriels	0	10	10	0
Laits infantiles 1er âge	0	15	15	0
Laits infantiles 2 ^{-ème} âge	1	11	12	0,85
Laits infantiles 3 ^{-ème} âge	2	8	10	1,69
Œufs de poulets industriels	15	0	15	12,71
Œufs des poulets des éleveurs	10	0	10	8,47
Œufs de cailles	10	0	10	8,47
Total	42	76	118	35,57

II. RESULTATS

II.2.1.6. Pourcentage de positivité selon le type de société productrice :

Les échantillons analysés produits par des sociétés locales algériennes présentent un taux de contamination par les antibiotiques plus élevés que ceux produits par des sociétés étrangères (57,4% versus 6%) comme indique la figure suivante :

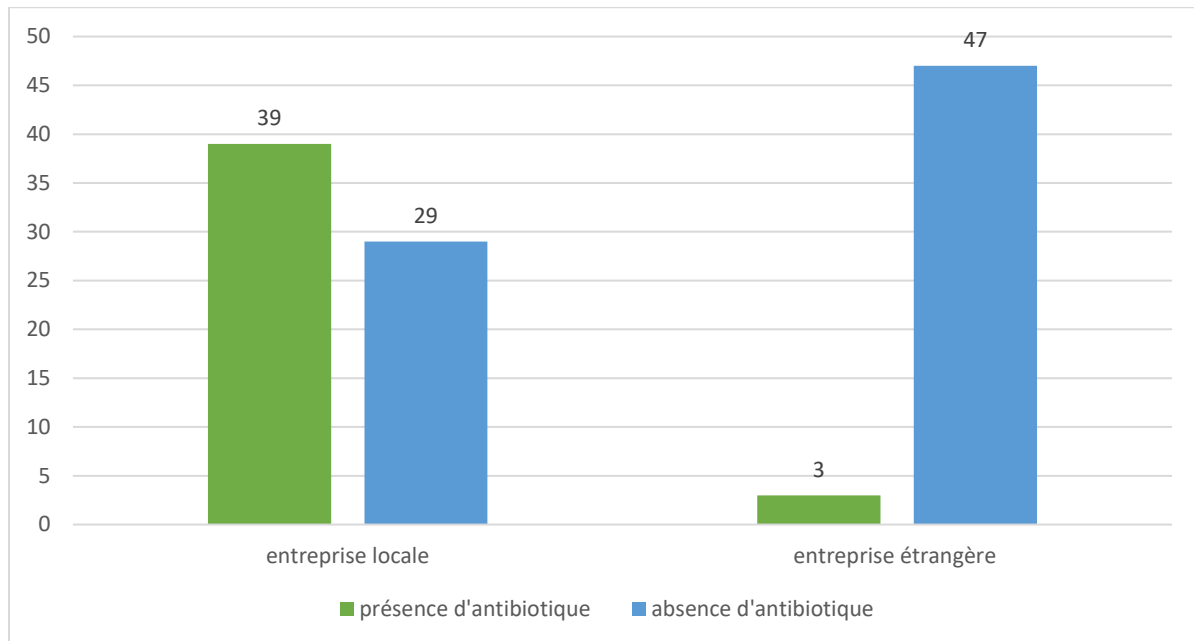


Figure 29 : Pourcentage de positivité pour les antibiotiques selon le type d'entreprise

II.2.3. Analyse des résultats :

-L'application du test de Khi-deux a montré une relation statistiquement significative entre la présence d'antibiotiques et le type d'aliment étudié ($P < 0,001$) avec une association forte (V Cramer= 0,87).

-Les œufs suivis des beurres sont les types d'aliment les plus associés à la présence d'antibiotiques tandis que les laits spéciaux sont les moins associés.

-L'application du test de Khi-deux a montré une relation statistiquement significative entre la présence des antibiotiques et la catégorie d'aliment ($P < 0,001$) avec une association forte (V Cramer 0,93).

-Les œufs de poulets, œufs de cailles, laits concentrés, laits infantiles 3^{ème} âge, beurres, laits infantiles 2^{ème} âge respectivement sont les catégories alimentaires les plus associées à la présence des antibiotiques.

II. RESULTATS

-L'application du test de Khi-deux a montré une relation statistiquement significative entre la présence des antibiotiques et la marque étudiée ($P < 0,001$) avec une association forte (V Cramer 0,96).

-Les marques M29, M30, M31, M33, M38, M23, M20 respectivement sont les plus associées à la présence des antibiotiques.

-L'application du test de Khi-deux a montré une relation statistiquement significative entre la présence des antibiotiques et le type d'entreprise productrice ($P < 0,001$) avec une association forte (V Cramer 0,53).

-Les échantillons produits par des entreprises locales algériennes sont plus associées à la présence d'antibiotiques que ceux produits par des sociétés étrangères.

-Les produits fabriqués par les entreprises algériennes ont 21 fois plus de chance d'être contaminés par les antibiotiques que ceux produits par des entreprises étrangères

(risque relatif = 21,06 ; IC=[5,96-74,44]) Les résultats figurent dans le tableau suivant :

Tableau XXIV : Etude de la relation entre les variables de l'étude par le test de Khi-deux

Croisement des variables	Valeur du test Khi-deux	Signification P	V Cramer
Présence d'antibiotiques / type d'aliment	99,78	$P < 0,001$	0,87
Présence d'antibiotiques / catégorie d'aliment	105,25	$P < 0,001$	0,93
Présence d'antibiotiques / marque	98,79	$P < 0,001$	0,96
Présence d'antibiotiques / type de société productrice	33,14	$P < 0,001$	0,53

III. DISCUSSION

III. DISCUSSION

III.1. Discussion des résultats de l'identification la bactérie *Bacillus stearothermophilus* variété *calidolactis* :

Notre étude a comme principe l'inhibition de la croissance bactérienne comme signal de la présence des antibiotiques dans les échantillons étudiés.

Nous avons adopté la méthode à une boîtes modifiées et la bactérie que nous avons utilisé est *Bacillus stearothermophilus* variété *calidolactis*.

Nous avons trouvé que cette bactérie est de forme bacille isolée immobile et Gram positif ce qui est conforme avec la base internationale des données standardisée pour les bactéries de BacDive2022 (94).

De point de vue biochimie et métabolisme, nous avons trouvé que la bactérie est négative pour toutes les enzymes et les substrats autre que les sucres et leurs dérivés.

De plus, nous avons trouvé que presque la totalité des sucres sont utilisés par cette bactérie ce qui est compatible avec certains résultats sur BacDive et Encyclopedia of food microbiology par Carl A. Batt (95), dont la différence est manifestée dans les caractères suivants : rhamnose, sorbitol, inositol, amygdaline (négative).(**Tableau XXV**)

Tableau XXV : Caractéristiques de la bactérie *Bacillus stearothermophilus*

Caractère	Description
Forme	Bacille
Coloration GRAM	Positive
Mobilité	Non
Amygdalin ChEBI	-
Arbutin ChEBI	-
Citrate ChEBI	-
D-arabinose ChEBI	-
D-arabitol ChEBI	-

III. DISCUSSION

D-fructose ChEBI	+
D-fucose ChEBI	-
D-galactose ChEBI	+
D-glucose ChEBI	+
D-lyxose ChEBI	-
D-mannitol ChEBI	-
D-mannose ChEBI	+
D-sorbitol ChEBI	-
D-tagatose ChEBI	+
D-xylose ChEBI	-
Erythritol ChEBI	-
Esculin ChEBI	+
Galactitol ChEBI	-
Gentiobiose ChEBI	-
Gluconate ChEBI	-
Glycogen ChEBI	+
Hippurate ChEBI	+
Inulin ChEBI	-
L-arabinose ChEBI	-
L-arabitol ChEBI	-
L-fucose ChEBI	-
L-rhamnose ChEBI	-

III. DISCUSSION

L-xylose ChEBI	-
Lactose ChEBI	+
Maltose ChEBI	+
Melezitose ChEBI	+
Melibiose ChEBI	+
methyl alpha-D-mannoside ChEBI	-
methyl beta-D-xylopyranoside ChEBI	-
myo-inositol ChEBI	-
N-acetylglucosamine ChEBI	-
Nitrate ChEBI	-
Nitrite ChEBI	+
Potassium 2-ketogluconate ChEBI	-
Potassium 5-ketogluconate ChEBI	+
Raffinose ChEBI	+
Ribitol ChEBI	-
Salicin ChEBI	+
Starch ChEBI	+
Sucrose ChEBI	+
Turanose ChEBI	+
Xylitol ChEBI	-

ChEBI (Chemical Entities of Biological Interest) : Entités chimiques d'intérêt biologique

III. DISCUSSION

Pour l'étude de la sensibilité de cette bactérie aux antibiotiques, nous avons trouvé que la souche que nous avons travaillé avec est sensible à la totalité des antibiotiques testés (pénicilline G, amoxicilline, azithromycine, amikacine, céfotaxime, gentamicine, métronidazole, doxycycline) ce qui est conforme avec les indications citées dans les fiches techniques des deux méthodes d'analyse validées qui sont DELVOTEST® et PREMITEST® et qui utilisent la même bactérie *Bacillus stearothermophilus var. calidolactis* (96,97).

III.2. Discussions des résultats de l'étude expérimentale :

Cette étude a pour objectif la recherche et la détection des résidus d'antibiotiques dans diverses catégories alimentaires consommées dans la wilaya de Tlemcen.

Elle fait suite à d'autres études qui ont la même objective réalisée sur les viandes, poissons, les différents types de laits consommés dans la même wilaya.

Cette étude a été réalisée sur **118** échantillons d'aliments différents regroupant des laits infantiles, des laits spéciaux, des œufs et des beurres.

Nous avons trouvé que **35,59 %** des échantillons analysés sont positifs pour les antibiotiques avec : **2,54 %** comme pourcentage de positivité pour les laits infantiles, **1,69%** pourcentage de positivité pour les laits spéciaux et les beurres chacun et **29,66 %** pourcentage de positivité pour les œufs.

Nous avons trouvé aussi une relation statistiquement significative entre la présence d'antibiotiques et les variables : type d'aliment, catégorie d'aliment, marques étudiée et type de société productrice ($p = 0,001 < 5 \%$).

Notre étude a été réalisée sur **118** échantillons contenant : **37** échantillons de laits infantiles, **33** échantillons de laits spéciaux, **35** échantillons des œufs et **13** échantillons de beurres ce qui traduit une diversité dans les aliments étudiés ce qui confère une originalité à cette étude.

En comparant notre échantillon avec ceux d'autres études nous remarquons que notre étude est la seule qui a étudié cette variété d'aliments et la seule qui a étudié les laits infantiles et les laits spéciaux. Les autres études portent dans la majorité des cas sur 2 ou 3 types d'aliments aux maximum (viandes et œufs, laits et œufs ou laits seulement).

Nous avons analysé **15** échantillons de laits infantiles 1^{ère} âge, **12** échantillons de laits infantiles 2^{-ème} âge et **10** échantillons de laits infantiles 3^{ème} âge.

III. DISCUSSION

Pour les laits spéciaux nous avons analysé **19** échantillons de laits en poudre, **5** échantillons de laits chocolatés, **5** échantillons de laits additionnés de jus, **2** échantillons de laits dé lactosés, **2** échantillons de laits concentrés.

Pour les œufs nous avons analysé **15** échantillons d'œufs de poulets industriels, **10** échantillons d'œufs de poulets issue des éleveurs locaux et **10** échantillons d'œufs de cailles.

Pour les beurres nous avons analysé **10** échantillons de beurres industriels, et **3** échantillons de beurres artisanaux.

Tous ces échantillons appartiennent à **38** marques différentes dont **22** sont produites par des sociétés locales et **16** sont produites par des sociétés étrangères.

En comparant ces résultats avec ceux de l'étude réalisée par Guellil et collaborateurs en 2021 à Tlemcen (**6**) sur des échantillons de laits appartenant à **10** marques différentes nous apercevons que notre étude est plus large vue la variété des aliments étudiés.

Nous avons trouvé que **35,59 %** des échantillons analysés sont positives pour les antibiotiques

En comparant ce résultat avec d'autres études réalisées sur le plan national et international, nous remarquons une multitude de résultats :

Une similitude avec nos résultats en comparant avec l'étude réalisée par Guellil et collaborateur en 2021 à Tlemcen (**6**) en utilisant le DELVOTEST® sur différents types des laits (**48,68 %** le pourcentage de positivité). La même remarque pour une étude réalisée à Dakar en 2021 par Bedekelabou et al (**98**) en utilisant le CHARMTEST® sur des échantillons de laits et des œufs (pourcentage de positivité **33,11 %**).

Une similitude avec nos résultats a été aussi notée pour l'étude réalisée à Tchad en 2018 par Souleymane et coll (**99**) en utilisant le PREMITEST® sur des échantillons de viandes et des œufs (pourcentage de positivité **33,58 %**).

Une différence avec nos résultats en comparant avec une étude réalisée à Tiaret en 2012 par Kebir (**100**) en utilisant le DELVOTEST® sur des échantillons de laits, viandes et des œufs (pourcentage de positivité **13,95 %**). La même remarque est faite avec l'étude réalisée par Kabir en 2004 à Nigeria (**101**) en utilisant la méthode à quatre boîtes sur un échantillon de viandes et des œufs (pourcentage de positivité **14,53 %**).

III. DISCUSSION

Nous avons trouvé que la totalité des échantillons des œufs analysés sont contaminés par des antibiotiques ce qui correspond à un pourcentage de **29,66%** par rapport à la totalité de notre échantillon. Ce pourcentage comprend **12,71%** des œufs de poulets industriels, **8,47%** œufs de poulets des éleveurs locaux et **8,47%** œufs de cailles.

En comparant ces résultats avec une étude réalisée à Tiaret en 2012 en utilisant le DELVOTEST® (100), nous trouvons une différence puisque cette dernière rapporte un pourcentage de positivité de **18%** pour les œufs. La même remarque en comparant avec une étude réalisée à Tchad en 2018 par le PREMITEST® (99) et une autre réalisée à Nigeria en 2010 (102) avec la même méthode que notre étude (**26,4%** et **3,6%** respectivement des œufs sont contaminés par des antibiotiques).

En comparant avec une étude réalisée à Burkina Faso en 2014 par Zerbo (86) qui a utilisé la même méthode que notre étude sur des échantillons d'œufs, nous remarquons qu'il y a une similitude puisque cette dernière rapporte un pourcentage de positivité de **77%**.

La différence avec nos résultats peut être expliquée par les pratiques d'élevage aviaire et l'usage des médicaments vétérinaires qui sont différentes entre l'Algérie et les autres pays africains qui vont conduire à la contamination des œufs par les antibiotiques.

Nous pouvons expliquer la contamination des œufs par ces substances par le fait que les éleveurs ne respectent pas les bonnes pratiques d'utilisation des antibiotiques en milieu vétérinaire, le délai d'attente, absence de sensibilisation des producteurs et des éleveurs sur les règles d'utilisation des antibiotiques et les dangers de la présence de ces médicaments dans les denrées alimentaires par les autorités compétentes. Ces déclarations sont confirmées par l'étude de Guellil et al 2021 (6) qui ont réalisé une enquête auprès des vétérinaires praticiens et des éleveurs concernant l'usage des antibiotiques en élevage, et qui ont trouvé que **34 %** des vétérinaires les utilisent fréquemment à titre préventif et **18 %** ne respectent pas la dose indiquée dans la notice et que **60 %** des vétérinaires ont signalé des cas d'antibiorésistance, de plus **38 %** des vétérinaires ont confirmé que la plupart des éleveurs ne respectent pas le délai d'attente. Il faut noter aussi que le type d'élevage joue un rôle dans la contamination des œufs puisque l'élevage industriel intensive de grande taille exige l'usage massive des antibiotiques à titre préventif et curatif pour éviter la propagation des pathologies infectieuses au sein des troupeaux ce qui laisse inévitablement des résidus dans les œufs. Cette déclaration est confirmée par des études sur l'effet de l'alimentation des volailles supplémentée par des antibiotiques sur la présence de leurs résidus dans les œufs. Ils ont trouvé qu'il y a une

III. DISCUSSION

relation forte entre l'administration des antibiotiques aux poules pondeuses et la contamination des œufs par leurs résidus **(103,104 ,105)**.

A tout cela s'ajoute l'absence de réglementation algérienne concernant la recherche de résidus de ces médicaments en milieu alimentaire.

De plus la présence naturelle des lysozymes à activité antimicrobienne dans les œufs va contribuer à l'élargissement de la zone d'inhibition ce qui interfère avec les résultats de la technique de diffusion sur gélose. Nous remarquons que la moyenne de la zone d'inhibition des œufs industriels et des œufs de cailles est plus élevée que celle des œufs des éleveurs **(17,49mm vs 16,96mm)** ce qui rejoint la littérature médicale qui précise que le diamètre de la zone d'inhibition est dose dépendant donc plus la quantité des antibiotiques administrée est importante plus le diamètre d'inhibition sera important ce qui est remarqué dans l'élevage industriel.

En ce qui concerne les laits infantiles, nous avons trouvé que **2,54%** des échantillons analysés sont contaminés par des antibiotiques dont **0,85%** sont des laits infantiles de 2^{ème} âge et **1,69%** sont des laits infantiles de 3^{ème} âge. En comparant ce résultat avec une étude réalisée en Espagne en 2011 sur **16** échantillons de laits infantiles par HPLC **(106)** nous trouvons une différence puisque cette dernière a conclu l'absence de contamination des laits infantiles.

La contamination des laits infantiles peut être expliqué par le processus de fabrication qui a comme première étape la collecte de lait de vache à partir des agriculteurs ce qui expose le produit fini à la contamination suite à l'usage des antibiotiques en médecine vétérinaire.

Pour le lait en poudre, nous avons trouvé qu'aucun échantillon n'est contaminé par des antibiotiques ce qui est différent des résultats retrouvés en 2021 par Guellil et al **(6)** qui ont rapporté que **64,28%** des laits en poudre sont positifs pour des antibiotiques. La même remarque est faite avec une étude réalisée en Chine en 2016 sur **50** échantillons de laits par He Tian et al **(107)** qui ont trouvé que **4%** des laits en poudre analysés sont positifs, et une autre réalisée en Algérie en 2017 par Morsli et al et qui ont conclu que **5%** des laits en poudre analysés sont positifs **(9)**.

Nous avons trouvé que la totalité des laits concentrés analysés sont positifs pour les antibiotiques ce qui représente **6.06%** par rapport à la totalité des laits spéciaux.

III. DISCUSSION

Ce résultat est similaire à ce qui a été retrouvé dans une étude réalisée en Kuwait en 2007 par Alomirah et al (108) qui ont trouvé que près de **1%** des laits spéciaux analysés sont positifs pour les antibiotiques.

Nous avons trouvé que deux échantillons de beurres sont positifs pour les antibiotiques ce qui représente **1,69%** par rapport à la totalité de notre échantillon. Ce résultat est similaire à ce qui a été retrouvé dans une étude en Grèce en 2015 par Marilena et al (109) et qui ont trouvé qu'un seul échantillon de beurre est contaminé par le thiabendazole ce qui représente **0,92%** par rapport à la totalité de l'échantillon étudié qui comprend du lait en poudre, du beurre, des œufs, et des poissons.

Plusieurs études dans la littérature médicale prouvent que les antibiotiques sont transférés du lait aux produits laitiers dérivés (110 ,111).

Selon notre étude, nous avons trouvé que les œufs de cailles sont les aliments qui contiennent plus d'antibiotiques (point de vue quantité) (diamètre d'inhibition $d= 18,68$ mm) suivis des œufs industriels ($d = 17,49$ mm) suivis des œufs des éleveurs ($d = 16,96$ mm) suivis du lait infantile 3^{ème} âge ($d= 12,02$ mm)suivis des laits concentrés ($d = 11,26$ mm)suivis des beurres artisanaux ($d = 11,06$ mm). En dernier lieu lait infantile 2^{ème} âge est le moins dosé avec un $d= 9,70$ mm.

Il faut noter que les laits en poudre, laits chocolatés, dé lactosés, laits ajoutés de jus ne sont pas contaminés par les antibiotiques selon nos résultats. Par ailleurs nous n'avons pas trouvé des études qui ont analysé ces catégories d'aliments pour comparer ces résultats.

Nous avons trouvé que **57,4%** des échantillons produits par des sociétés algériennes sont contaminés par des antibiotiques, et que **6%** de ceux produits par des sociétés étrangères sont positifs. Nous pouvons expliquer ceci par la sur-représentativité des sociétés locales par rapport à celles étrangères dans notre échantillon. En comparant ce résultat avec l'étude réalisée par Guellil et al en 2021(6), nous trouvons une différence puisqu'ils ont rapporté un pourcentage de positivité pour les sociétés locales de **39,02%** est de **37,93%** pour les sociétés étrangères.

En comparant nos résultats qui ont manifesté une relation statistiquement significative entre le type de l'entreprise productrice et la contamination par des antibiotiques, on trouve qu'il y a une différence entre notre étude et l'étude de Guellil et al 2021(6) qui n'ont pas trouvé une relation statistiquement significative pour le même objectif.

III. DISCUSSION

Biais et limites :

Notre étude a été assujettie à des biais et des limites. Parmi eux, on peut citer :

- Certains réactifs nécessaires pour mener bien la pratique n'ont pas été disponibles, ce qui a entraîné des contraintes dans la réalisation de l'étude.
- Nous n'avons pas pu réaliser tous les tests biochimiques nécessaires à l'identification bactérienne, ce qui a limité la compréhension complète des caractères biochimiques de la bactérie utilisée dans l'étude.
- Pour le test de sensibilité de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* aux antibiotiques seulement 8 antibiotiques ont été testés, en raison de la non disponibilité des disques d'antibiogramme nécessaires à l'étude.
- Le nombre total des échantillons étudiés dans cette recherche est de **118** ce qui est inférieur au nombre minimal d'échantillons nécessaires calculé à partir de la formule de Cochran à cause du manque du milieu de culture.
- Nous n'avons pas pu ni identifier ni doser les molécules d'antibiotiques retrouvés dans les échantillons analysés car le test utilisé est qualitatif. Une méthode complémentaire, la chromatographie liquide à haute performance (HPLC), pourrait être nécessaire pour une évaluation plus approfondie de la nature et de la concentration des antibiotiques dans les échantillons.
- Nous n'avons pas pu analyser d'autre denrées alimentaires d'origine animale comme le miel à cause de sa composition qui renferme des substances naturelles à activité antimicrobienne (défensine-1, peptides cationiques antimicrobiens, et des huiles essentielles) ce qui interfère avec la technique utilisée puisque *Bacillus stearothermophilus* est sensible à ces substances engendrant des faux positifs.
- Nous n'avons pas analysé les yaourts et les fromages qui existent dans le marché algérien car ils contiennent des additifs alimentaires conservateurs qui inhibent la croissance de cette bactérie interférant avec les résultats de cette technique.
- La mesure du diamètre d'inhibition de la croissance de la bactérie utilisée dans cette étude était un peu difficile à cause de l'irrégularité de la zone d'inhibition retrouvée après incubation.

III. DISCUSSION

En dépit des biais et des limites, l'étude a révélé que **35,59 %** des échantillons alimentaires sont contaminés par des résidus d'antibiotiques. Les produits les plus contaminés sont les œufs, le beurre, ainsi que les laits infantiles et les laits concentrés. En revanche, aucune contamination n'a été détectée dans les catégories alimentaires suivantes : laits en poudre, laits chocolatés, laits additionnés de jus, laits délactosés. Les produits provenant de sociétés locales présentent un pourcentage de contamination plus élevé que ceux provenant de sociétés étrangères. Cette contamination est attribuée en premier lieu à l'usage anarchique des antibiotiques en élevage animal en Algérie qui a été confirmé dans les deux études réalisées sur le plan national en 2022 et en 2023 auprès des vétérinaires et des éleveurs algériens. D'autre part, le vide juridique dans la réglementation algérienne où la recherche des antibiotiques dans les produits alimentaires n'est pas exigée systématiquement ni au niveau des fermes, ni dans laboratoires de contrôle de qualité conduit à l'augmentation de la fréquence de la contamination alimentaire par ces substances. C'est pourquoi il est essentiel d'instaurer un contrôle régulier de ces contaminants. En réalité, notre pays ne possède même pas des limites maximales de résidus (LMR) pour les antibiotiques présents dans les aliments étudiés ni pour les autres denrées alimentaires d'origine animale ce qui soulève des risques pour la santé publique.

Après 3 ans de travail sur la recherche des résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires, nous avons trouvé que les laits (crus, UHT, en poudre, pasteurisés, concentrés, infantiles), les viandes (rouges, blanches, surgelées, poissons), les œufs et beurres sont tous contaminés par les antibiotiques à des concentrations proches ou supérieures des LMR, ce qui constitue une situation alarmante nécessitant une initiative auprès des autorités compétentes pour la corriger.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Nous avons réalisé cette étude dans le cadre de la recherche des résidus d'antibiotiques dans quelques denrées alimentaires commercialisées dans la wilaya de Tlemcen. Après plusieurs mois de travail nous avons trouvé que **35,59 %** des échantillons alimentaires analysés sont effectivement contaminés par des résidus d'antibiotiques. Les produits les plus contaminés sont les œufs, le beurre, ainsi que les laits infantiles et les laits concentrés. Les autres catégories alimentaires ne contiennent pas d'antibiotiques (laits spéciaux).

Ces résultats sont en accord avec ce qui a été publié dans la littérature médicale en ce qui concerne ce thème. On estime donc que notre objectif est atteint.

A l'issue de notre étude, pour minimiser la contamination des aliments par les résidus d'antibiotiques et pour garantir aux consommateurs un aliment sain sans risque pour leur santé, nous recommandons les mesures suivantes :

- Mettre en place en urgence et d'une façon claire un cadre législatif algérien concernant les résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale (laits, laits infantiles, dérivés laitiers, œufs, viandes et ses dérivées, miel).
- Mettre en place un système de recherche systématique et de contrôle qualité pour surveiller régulièrement la présence d'antibiotiques dans les aliments tout au long de la chaîne d'approvisionnement.
- Imposer des sanctions aux éleveurs qui ne respectent pas les recommandations de bonnes pratiques d'utilisation des médicaments vétérinaires.
- Proposer des tests qualitatifs à des prix abordables pour la détection des antibiotiques dans les aliments afin d'encourager les agriculteurs à les utiliser pour surveiller les œufs, la viande et le lait cru destiné à la transformation.
- Avertir les éleveurs sur les dangers liés à l'usage des antibiotiques sans avis vétérinaire et sur l'absence du respect du délai d'attente des médicaments.
- Sensibiliser le grand public aux dangers associés à la consommation d'aliments contaminés par des résidus d'antibiotiques, en mettant en place des campagnes d'information et d'éducation sur l'importance de la sécurité alimentaire.
- Encourager la recherche et le développement de méthodes alternatives pour lutter contre les maladies animales et végétales, réduisant ainsi la dépendance aux antibiotiques dans l'agriculture et l'élevage.

CONCLUSION GENERALE

- Promouvoir les pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement, telles que l'agriculture biologique et l'agro-écologie, qui minimisent l'utilisation d'antibiotiques, pesticides et engrais chimiques favorisant ainsi la santé des écosystèmes.
- Renforcer la coopération internationale et l'échange d'informations sur la résistance aux antibiotiques, en participant activement aux initiatives mondiales de lutte contre ce problème de santé publique.

Il est recommandé d'élargir cette étude en incluant un échantillonnage plus représentatif, notamment en examinant d'autres composés présentant un danger pour la santé publiques tels que les hormones, les antiparasitaires, les pesticides. L'utilisation de techniques plus sophistiquées telles que l'HPLC-MS/MS permettrait non seulement la détection mais aussi le dosage précis des résidus d'antibiotiques dans ces échantillons, offrant ainsi une perspective plus complète sur la contamination des aliments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Merzoug A, Hamed M. Recherche des résidus d'antibiotiques dans le lait cru. Université Tebessa 2022. Disponible sur : <http://dspace.univ-tebessa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/4867/1/memoire%20aya%20maroua%20apres%20soutenance%20%282%29.pdf>
2. Benhedane ,Bachtarzi N. Qualité microbiologique du lait cru destine à la fabrication d'un type de camembert dans une unité de l'est algérien. Université Tizi Ouzou 2012 Disponible sur: <https://bu.umc.edu.dz/theses/agronomie/BEN6202.pdf>
3. E H Debeche, F Ghozlane et T Madani . Importance de certains résidus d'antibiotiques dans le lait de vache en Algérie. Cas de la wilaya de M'sila. Disponible sur : <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd30/6/haoua30101.html>
4. Layada S. Mise en évidence des résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale « cas du lait de vache » . Thèse Université Guelma 2016 . Disponible sur: <http://dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/452>
5. Elhalim LA, Rachid LH. Recherche des résidus d'antibiotiques dans les différents types de viandes consommées dans la wilaya de Tlemcen. Université Tlemcen 2023
6. Badreddine G, Amin MM. Recherche et caractérisation des résidus d'antibiotiques dans les différents types de lait consommés dans la wilaya de Tlemcen. Université Tlemcen 2022
7. Noblet Bénédicte. Le lait : produits, composition et consommation en France. Cahiers de Nutrition et de Diététique. 1 nov 2012.
8. Hamaoui I, Baouchi I. Mémoire, Etude des résidus d'antibiotiques dans le lait Pasteurisé. Université Tiaret 2018.
9. Morsli W, Beldjoudi S. Recherche des résidus d'antibiotiques dans le lait cru de vache et de chèvre [Thesis]. Université Blida 2017. Disponible sur : <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/687>
10. Glossaire de termes | Codex Alimentarius Fao-Who. Disponible sur : <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/vetdrugs/glossary/fr>
11. Journal Officiel De La République Algérienne Démocratique Et Populaire Correspondant au 18 aout 1993. **Sur : <https://www.joradp.dz/>**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

12. Lapointe-Vignola C. Fondation de technologie laitière . Science et technologie du lait : transformation du lait. Presses inter Polytechnique.
13. Revue Française d'Allergologie - Vol 50 - n° 3 - EM. Disponible sur : <https://www.em-consulte.com/revue/REVAL/50/3/table-des-matieres/>
14. Benahmedi LM, Tezkratt S, Tarzaali D. Recherche des résidus d'antibiotiques dans le lait cru des cremeries des wilayas de Medea, Tizi ousou et Boumerdes [Thesis]. univ. blida 1, 2015. Disponible sur : <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/10781>
15. Masson E. Le lait : produits, composition et consommation en France. Disponible sur : <https://www.em-consulte.com/article/762712/le-lait-produits-composition-et-consommation-en-fr>
16. Rebiha B, Lamri H. Généralités sur le lait de vache. [Thesis]. Université Borj Bou arreridj 2020. Disponible sur : <https://dspace.univ-bba.dz:443/xmlui/handle/123456789/3211>
17. Moiroud S, Lasnier S. Le lait, controverse en santé. Thèse Université Grenoble Alpes.2017
18. Graulet B. Récentes avancées sur les facteurs de variation des concentrations en vitamines du lait chez les ruminants. INRAE Productions Animales 2022.
19. Cauty I, Perreau JM. La conduite du troupeau bovin laitier. France Agricole Editions : 2009. 338 p.
20. Jung.C.. Nutrition de l'enfant : l'alimentation du nourrisson et du petit enfant. Éditions Expressions Santé En partenariat avec le SFAE. Octobre 2012 Disponible sur : <https://www.alimentsenfance.fr>
21. Larousse. Lait infantile. Disponible sur: https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/lait_infantile/14095
22. Thèse. Follain C. Les laits infantiles: analyse comparatives et rôle du pharmacien. Université de Rouen. 13 octobre 2015.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

23. Rossi J, Costamagna. Boissons fermentées de différents types microbiens (*L. acidophilus*, *L. bifidus*, *L. bulgaricus* et *Str. thermophilus*) produites avec du lait à faible contenu glucidique (lait ultrafiltré, lait dé lactosé par voie microbienne, lait de soja). *Le Lait*. 1978.58(573-574):155-72
24. Haug A, Høstmark AT, Harstad OM. Bovine milk in human nutrition a review. *Lipids in Health and Disease*. 25 sept 2007;6(1):25.
25. Veronique b .Yaourts et autres laits fermentés . Academia.edu . Disponible sur: https://www.academia.edu/4941007/Yaourts_et_autres_laits_ferment%C3%A9s
26. Bouabid Y. Qualité physicochimique et microbiologique du beurre cru. Université Bejaia. Disponible sur: <https://univ-bejaia.dz/jspui/bitstream/123456789/15355/1/Qualit%C3%A9%20physicochimique%20et%20microbiologique%20du%20beurre%20cru%20%C2%AB%20Hammadites%20%C2%BB.pdf>
27. Fabrication du Beurre : Les différentes étapes. Disponible sur: <https://www.president-professionnel.fr/savoir-faire/les-etapes-de-fabrication-du-beurre/>
28. Fink A. Les produits laitiers : étude des bénéfices et des risques potentiels pour la santé. Thèse. Université de Rouen Normandie 2020.
29. Chiurazzi M, Cozzolino M, Reinelt T, Nguyen TD, Elke Chie S, Natalucci G, et al. Human Milk and Brain Development in Infants. *Reproductive Medicine*. juin 2021
30. F M, L P. Cow's Milk Consumption and Health: A Health Professional's Guide. *Journal of the American College of Nutrition*. 2019 . Disponible sur : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30247998/>
31. O B, Al M. Human milk composition: nutrients and bioactive factors. *Pediatric clinics of North America* 2013 Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23178060/>
32. Cusick SE, Georgieff MK. The Role of Nutrition in Brain Development: The Golden Opportunity of the "First 1000 Days". *The Journal of pediatrics*. août 2016.
33. Mk G, Se R. Nutritional influences on brain development. *Acta paediatrica* 2018. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29468731/>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

34. Apports nutritionnels nécessaires chez la femme enceinte Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/680064/apports-nutritionnels-necessaires-chez-la-femme-en>
35. Cyprian F, Lefkou E. Immunomodulatory Effects of Vitamin D in Pregnancy and Beyond. *Front Immunol.* 2019.
36. Ibrahim S, Gyawali R. Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health. North Carolina A&T State University, Greensboro, USA . 2013.
37. Keck G. Contaminants et résidus chimiques dans les aliments d'origine animale. *Revue Française des Laboratoires* 2002.
38. Gh. R. Jahed Khaniki. Chemical Contaminants in Milk and Public Health Concerns: A Review. *International Journal of Dairy Science*
39. Contaminants of Milk and Dairy Products: Contamination Resulting from Farm and Dairy Practices. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, Pages 887-897 Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/289503024_Contaminants_of_Milk_and_Dairy_Products_Contamination_Resulting_from_Farm_and_Dairy_Practices
40. Sadika BI. Les qualités physico-chimiques des œufs et de la viande de poules locale race COU NU. Université Mostaganem 2020
41. Anatomie de l'œuf. Fédération des producteurs d'œufs du Québec. <https://oeuf.ca/oeuf/tout-sur-oeuf/anatomie-de-oeuf/>
42. Hanou F, Faid S. Evaluation de la qualité de l'œuf local en comparaison avec les œufs commerciaux. 2022 université de Tissemsilt <http://dspace.univ-tissemsilt.dz/bitstream/handle/123456789/2671/MM636-041.pdf>
43. Bregeon M. Physiologie Des Couches Interne et Externe de La Membrane Vitelline de l'œuf de Poule : Apports Des Études Protéomiques et Structurales. These de doctorat. Tours; 2020. <https://www.theses.fr/2020TOUR4004>
44. Djaballah. L , ghoul .H . Effets de l'application des revêtements comestible sur la qualité des œufs sous entreposage réfrigéré. Université Borj Bou Arreridj 2018
45. Nathier-Dufour N. Les oeufs et les ovoproduits. Educagri Editions; 2005.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

46. Oeuf du Breil – Ovoproduits. <https://www.oeuf.fr/>
47. Delacharlerie S, Sandrine de B, Chèné C, Sindic M, Deroanne C. HACCP organoleptique: guide pratique. Presses Agronomiques de Gembloux; 2008.
48. Haddar D. Impact de la chaleur et de quelques additifs alimentaires sur le pouvoir gélifiant du blanc d'œuf. Université Jijel 2015.
49. [https://ciqual.anses.fr/#/aliments/22001/oeuf-blanc-\(blanc-d'oeuf\)-cru](https://ciqual.anses.fr/#/aliments/22001/oeuf-blanc-(blanc-d'oeuf)-cru)
50. Abeyrathne EDNS, Lee HY, Ahn DU. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. *Poultry Science*. 2013;92(12):3292-3299.
51. Rehault S, Anton M, Nau F, Gautron J, Nys Y. Les activités biologiques de l'œuf. *INRA Prod Anim*. 2007;20(4):337-348.
52. Zambrowicz A, Dąbrowska A, Bobak Ł, Szołtysik M. Egg yolk proteins and peptides with biological activity. *Postepy Hig Med Dosw*. 2014;68:1524-1529.
53. FoodData Central. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172184/nutrients>
54. Nys Y, Jondreville C, Chemaly M, Roudaut B. Qualités Des Œufs de Consommation. *Alimentation Animale* 2018.
55. Mrowicka M, Mrowicki J, Kucharska E, Majsterek I. Lutein and Zeaxanthin and Their Roles in Age-Related Macular Degeneration. *Neurodegenerative Disease. Nutrients*. 2022;14(4):827.
56. Werner ER, Arnold CD, Caswell BL, et al. The Effects of 1 Egg per Day on Iron and Anemia Status among Young Malawian Children: A Secondary Analysis of a Randomized Controlled Trial. *Curr Dev Nutr*. 2022;6(6):nzac094.
57. An R, Li D, McCaffrey J, Khan N. Whole egg consumption and cognitive function among US older adults. *J Hum Nutr Diet*. 2022;35(3):554-565.
58. Puglisi MJ, Fernandez ML. The Health Benefits of Egg Protein. *Nutrients*. 2022;14(14):2904.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

59. Coheley LM, Kindler JM, Laing EM, et al. Whole egg consumption and cortical bone in healthy children. *Osteoporos Int.* 2018;29(8):1783-1791.
60. Santos HO, Gomes GK, Schoenfeld BJ, de Oliveira EP. The Effect of Whole Egg Intake on Muscle Mass: Are the Yolk and Its Nutrients Important? *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2021;31(6):514-521.
61. Journal Officiel De La République Algérienne Démocratique Et Populaire dimanche 8 Chaoual 1438 Correspondant au 2 juillet 2017 <https://www.joradp.dz/FTP/JO-FRANCAIS/2017/F2017063.pdf>
62. Benzaoui K. Contrôle des résidus d'antibiotiques dans le lait cru dans la région de M'sila [Thesis]. Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila ; 2016. Disponible sur : <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/7880>
63. Directive 81/851/ CEE, 1981. disponible sur <https://www.eur-lex.europa.eu/>
64. Règlement (CE) no 470/2009 du Parlement européen et du Conseil du 6 mai 2009 établissant des procédures communautaires pour la fixation des limites de résidus des substances pharmacologiquement actives dans les aliments d'origine animale, abrogeant le règlement (CEE) no 2377/90 du Conseil et modifiant la directive 2001/82/CE du Parlement européen et du Conseil et le règlement (CE) no 726/2004 du Parlement européen et du Conseil Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE. Disponible sur <https://www.eur-lex.europa.eu/>
65. Stoltz R. Les résidus d'antibiotiques dans les denrées d'origine animale : évaluation et maîtrise de ce danger. Ecole nationale vétérinaire de Lyon, 50p. 2008 ;
66. Dziedzic E. Les résidus de médicaments vétérinaires anthelminthiques [PhD Thesis]. Thèse de Doctorat vétérinaire, Université Claude Bernard Lyon ; 1988.
67. Rahma G, Meryem H. Usage des antibiotiques en élevage et risque sur la santé humaine. Université Guelma 2015 . Disponible sur : <http://dspace.univguelma.dz/jspui/handle/123456789/2564>
68. Nadja M, Nouri FZ. La recherche des résidus d'antibiotiques dans le lait cru dans la wilaya de Ain Defla [Thesis]. Institut Des Sciences Vétérinaires -université blida 1 ; 2017. Disponible sur : <http://di.univ-blida.dz:8080/jspui/handle/123456789/1473>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

69. Talnan A. Contrôle des résidus de médicaments vétérinaires dans les denrées alimentaires d'origine animale : cas du chloramphénicol dans le lait produit en zone périurbaine de Dakar, Sénégal [PhD Thesis]. Thèse de Doctorat en Médecine Vétérinaire de l'école inter-état des sciences 2013.
70. Bensalem WR. Aperçu sur le contrôle des résidus d'antibiotiques dans le lait cru (Région de Boussaâda. M'Sila). Sciences Agronomiques. Université Biskra 2020 ; Disponible sur : <http://archives.univ-biskra.dz:80/handle/123456789/15851>
71. Zorraquino MA, Roca M, Fernandez N, Molina MP, Althaus R. Heat inactivation of beta-lactam antibiotics in milk. *J Food Prot.* juin 2008;71(6):1193-8.
72. Kurjogi M, Issa Mohammad YH, Alghamdi S, Abdelrahman M, Satapute P, Jogaiah S. Detection and determination of stability of the antibiotic residues in cow's milk. *PLoS One.* 2019;14(10): e0223475.
73. Garzon A, Pandey P, Tell L, Aly SS, Poppenga R, Pereira R. Evaluation of Heat and pH Treatments on Degradation of Ceftiofur in Whole Milk. *Front Vet Sci.* 2020; 7:288.
74. Hu FY, He LM, Yang JW, Bian K, Wang ZN, Yang HC, et al. Determination of 26 veterinary antibiotics residues in water matrices by lyophilization in combination with LC-MS/MS. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.* 15 févr 2014;949-950:79-86.
75. Rana MS, Lee SY, Kang HJ, Hur SJ. Reducing Veterinary Drug Residues in Animal Products: A Review. *Food Sci Anim Resour.* 2019;39(5):687-703.
76. Hassan HF, Saidy L, Haddad R, Hosri C, Asmar S, Jammoul A, et al. Investigation of the effects of some processing conditions on the fate of oxytetracycline and tylosin antibiotics in the making of commonly consumed cheeses from the East Mediterranean. *Vet World.* juin 2021;14(6):1644-9.
77. Chen.M et al. Effect of various storage conditions on the stability of quinolones in raw milk. *Food Additives & Contaminants Part A.* Disponible sur : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27258809/>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

78. Règlement (CEE) No 2377/90 Du Conseil du 26 juin 1990 établissant une procédure communautaire pour la fixation des limites maximales de résidus de médicaments vétérinaires dans les aliments d'origine animale. Disponible sur <https://www.eur-lex.europa.eu/>
79. Directive 2001/82/CE Du Parlement Européen. Disponible sur <https://www.eur-lex.europa.eu/>
80. Journal Officiel De La République Algérienne N°74.3/ 25 décembre 2014
81. Stead S, Stark J. Bioanalytical Screening Methods. In: Chemical Analysis of Antibiotic Residues in Food. John Wiley & Sons, Ltd ; 2011. p. 153-86. Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/>
82. Méthode de dépistage Recherche des résidus d'antibiotiques et d'inhibiteurs par test microbiologique d'acidification utilisant Bacillus stearotherophilus – Test DELVOTEST T. Centre national interprofessionnel de l'économie laitière ; Disponible sur : <https://fr.calameo.com/read/002230051208a2cd41875>
83. Directive 2002/657/CE : Décision de la Commission du 12 août 2002 portant modalités d'application de la directive 96/23/CE du Conseil en ce qui concerne les performances des méthodes d'analyse et l'interprétation des résultats [notifiée sous le numéro C (2002) 3044]. Disponible sur : <http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ed928116-a955-4a84-b10a-cf7a82bad858/language-fr>
84. Baptiste A. Détection des substances inhibitrices dans le lait. Cecalait ; 2001. Disponible sur : <https://www.cecalait.fr/document/download/2259>
85. ANSES/LMV/90/016. Version 8. janvier 2022. Méthode de détection des résidus à activité antibiotique méthode des quatre boîtes. Laboratoire de Fougères
86. Zerbo L. Etude préliminaire sur l'utilisation des antibiotiques dans les élevages de poules pondeuses et la présence de résidus d'antibiotiques dans les œufs commercialisés à Ouagadougou (Burkina Faso). Université Cheikh Anta Diop Dakar 2014.
87. N. Mimoune, S. Seddiki. Antibiotic residues in cow's milk. Veterinarska stanica 2021.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

88. Beaunieux S, Pecou A. Etude comparative de tests rapides de détection des résidus d'antibiotiques dans le lait. Centre national interprofessionnel de l'économie laitière ; 2016. Disponible sur : [https://cnielinfos.com/GED_CNIEL/271569109974/etude_Cniel_Tests_rapides_antibiotiques BD.pdf](https://cnielinfos.com/GED_CNIEL/271569109974/etude_Cniel_Tests_rapides_antibiotiques_BD.pdf)
89. Wang J, Turnipseed SB. Chemical Analysis : Quantitative and Confirmatory Methods. In : Chemical Analysis of Antibiotic Residues in Food. John Wiley & Sons, Ltd; 2011. p. 187-226. Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118067208.ch6>
90. Situation géographique de la wilaya de Tlemcen. https://www.researchgate.net/figure/Situation-geographique-de-la-wilaya-de-Tlemcen_fig3_326200216
91. Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically; Approved Standard—Ninth Edition Clinical and Laboratory Standards Institute
92. Ramdane MS. Etudes qualitatives et quantitatives des résidus d'antibiotiques dans la viande de volaille et les œufs dans la région de la Mitidja. Utilisation des probiotiques comme alternative. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. Thèse De Doctorat. 2015
93. Antibiogramme: Définition, Protocole, Interprétation. <https://microbiologie-clinique.com/antibiogramme.html>
94. Geobacillus stearothermophilus C953 | CCUG 34144, HNCMB 101025, LMG 11163, DSM 1550, JCM 12216, CIP 67.5, IAM 12043, JCM 14450, NBIMCC 2330, NBRC 100862, NCDO 1780, NCIMB 11780 | BacDiveID:1448. <https://bacdive.dsmz.de/strain/1448>
95. Batt CA. Encyclopedia of Food Microbiology. Academic Press; 2014.
96. Bulletin technique DELVOTEST T. DSM Food Specialties B.V.; 2017. Disponible sur: <https://www.grosseron.com/Assets/Client/images/GROSSERON/Schema/1008123.pdf>
97. PREMITEST® Présentation générale de la méthode et informations complémentaires . DSM Food Specialties The Netherlands www.dsm.com
98. Bedekelabou AP, Teko-Agbo A, Penoukou EK, Niang E, Gbati OB. Dépistage des résidus de quelques antibactériens dans le lait et les œufs produits dans les régions de Dakar et de

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Thiès au Sénégal. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires. 2021;9(2). https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAVH2/article/view/922
99. Alhadj SA, Imar DS, Pagnah AZ, Mouliom MMM, Iya SB. Résidus d'antibiotiques dans la viande bovine et les œufs vendus à N'Djaména et à Moundou (Tchad). Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux. 2022;75(3):87-91.
100. Kebir NE. Recherche des résidus antibactériens dans les denrées alimentaires. Thesis. Université Ibn Khaldoun -Tiaret-; 2012. <http://dspace.univ-tiaret.dz:80/handle/123456789/865>
101. Kabir J, Umoh VJ, Audu-okoh E, Umoh JU, Kwaga JKP. Veterinary drug use in poultry farms and determination of antimicrobial drug residues in commercial eggs and slaughtered chicken in Kaduna State, Nigeria. Food Control. 2004;15(2):99-105.
102. Fagbamila I , Kabir J . Antimicrobial Screening of Commercial Eggs and Determination of Tetracycline Residue Using Two Microbiological Methods. International Journal of Poultry Science Vol 9 (10), 2010 : 959-962.
103. Kang J, Hossain MA, Park HC, Jeong OM, Park SW, Her M. Cross-Contamination of Enrofloxacin in Veterinary Medicinal and Nutritional Products in Korea. Antibiotics (Basel). 2021;10(2):128.
104. Vandenberghe V, Delezie E, Huyghebaert G, et al. Residues of sulfadiazine and doxycycline in egg matrices due to cross-contamination in the feed of laying hens and the possible correlation with physicochemical, pharmacokinetic and physiological parameters. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. 2012;29(6):908-917.
105. Ji X, Yang H, Wang J, Zhou W, Wang X, Qian M. Evaluation of Tilmicosin Contamination in Eggs Following Its Administration to Laying Hens and Subsequent Assessment of Dietary Risks to Chinese Consumers. J Food Sci. 2019;84(10):3054-3062.
106. Herrera AV, Hernández-Borges J, Rodríguez-Delgado MA, Herrero M, Cifuentes A. Determination of quinolone residues in infant and young children powdered milk combining solid-phase extraction and ultra-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry. Journal of Chromatography A. 2011;1218(42):7608-7614.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

107. Tian H, Wang J, Zhang Y, et al. Quantitative multiresidue analysis of antibiotics in milk and milk powder by ultra-performance liquid chromatography coupled to tandem quadrupole mass spectrometry. *Journal of Chromatography B*. 2016;1033-1034:172-179.
108. Alomirah H, Al-Mazeedi H, Al-Zenki S, et al. Prevalence of antimicrobial residues in milk and dairy products in the state of Kuwait. *Journal of Food Quality*. 2007;30(5):745-763.
109. Dasenaki ME, Thomaidis NS. Multi-residue determination of 115 veterinary drugs and pharmaceutical residues in milk powder, butter, fish tissue and eggs using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 2015;880:103-121.
110. Escobar Gianni D, Pelaggio R, Cardozo G, et al. Transfer of β -lactam and tetracycline antibiotics from spiked bovine milk to Dambo-type cheese, whey, and whey powder. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2023;40(7):824-837.
111. Gajda A, Nowacka-Kozak E, Gbylik-Sikorska M, Posyniak A. Tetracycline antibiotics transfer from contaminated milk to dairy products and the effect of the skimming step and pasteurisation process on residue concentrations. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2018;35(1):66-76.

ANNEXES

ANNEXE I

Annexe I: Liste des substances pharmacologiquement actives pour les quelles des limites maximales de résidus ont été fixées (78).

Substance pharmacologiquement active	Résidu marqueur	Espèces animales	LMR pour le lait
Amoxicilline	Amoxicilline	Toutes les espèces productrices d'aliments	4 µg/kg
Ampicilline	Ampicilline	Toutes les espèces productrices d'aliments	4 µg/kg
Benzylpénicilline	Benzylpénicilline	Toutes les espèces productrices d'aliments	4 µg/kg
Céfalexine	Céfalexine	Bovins	100 µg/kg
Céfazoline	Céfazoline	Bovins	50 µg/kg
Ceftiofur	Somme de tous les résidus conservant la structure betalactame exprimée en tant que desfuroylceftiofur	Toutes les espèces de mammifères productrices d'aliments	100 µg/kg
Marbofloxacin	Marbofloxacin	Bovins	75 µg/kg
Érythromycine	Érythromycine A	Toutes les espèces productrices d'aliments	40 µg/kg
Spiramycine	Somme de spiramycine et néospiramycine	Bovins	200 µg/kg
Tylosine	Tylosine A	Toutes les espèces productrices d'aliments	50 µg/kg
Tétracycline	Somme de la substance mère et de ses épimères en 4	Toutes les espèces productrices d'aliments	100 µg/kg
Gentamicine	Somme de gentamicine C1, gentamicine C1a, gentamicine C2 et gentamicine C2a	Bovins	100 µg/kg
Acide clavulanique	Acide clavulanique	Bovins	200 µg/kg
Colistine	Colistine	Toutes les espèces productrices d'aliments	50 µg/kg

ANNEXE I

ANNEXE I (Suite) : Liste des substances pharmacologiquement actives pour lesquelles aucune limite maximale ne peut être fixée (78).

Substance pharmacologiquement active
Aristolochia spp. et l'ensemble de ses préparations
Chloramphénicol
Chloroforme
Chlorpromazine
Colchicine
Dapsone
Dimétridazole
Metronidazole
Nitrofuranes (furazolid)
Ronidazole

ANNEXE II

ANNEXE II: Sensibilité du Delvotest T® et de la bactérie *Bacillus stearothermophilus* aux molécules d'antibiotiques (96).

Classes d'antibiotiques	Molécules	LMR(EU) (ppb)	Sensibilité de la bactérie aux antibiotiques (ppb)
Pénicillines	Amoxicilline	4	4
	Ampicilline	4	4
	Pénicilline G	4	1-2
	Cloxacilline	30	6
	Oxacilline	30	3
Tétracyclines	Oxytétracycline	100	100
	Chlorotétracycline	100	150
	Tétracycline	100	70
	Doxycycline	(0)	50
Sulfonamides	Sulfamethazine	100	135
	Sulfathiazole	100	40
	Sulfadiméthoxine	100	40
	Sulfadiazine	100	40
Macrolides	Tilmicosine	50	60
	Tylosine	50	35
	Erythromycine	40	160
	Lincomycine	150	220
	Rifaximine	60	40
Aminosides	Néomycine	1500	60
	Gentamycine	100	65
	Kanamycine	150	1010
	Streptomycine	200	500
	Spectinomycine	200	2010
Céphalosporines	Céfapirine	60	6
	Ceftiofur (pur)	100	20
	Céfopérazone	50	40
	Cefalexine	100	30
	Cefquinome	20	40
Autres	Chloramphénicol	(0)	4100
	Triméthoprim	50	110
	Dapsone	0	30

ppb (parties par billion)

Résumé :

En Algérie, le lait infantile et les dérivés laitiers sont des éléments cruciaux de l'alimentation, répondant aux besoins nutritionnels des nourrissons ainsi que des adultes. L'utilisation excessive et non réglementée des antibiotiques en médecine vétérinaire que ce soit à des fins thérapeutiques ou préventives conduit à la présence de résidus dans les aliments. Dans le but de la recherche et la détection des résidus d'antibiotiques dans les laits infantiles et d'autres aliments commercialisés dans la wilaya de Tlemcen, nous avons réalisé une étude descriptive transversale expérimentale sur 118 échantillons appartenant à 4 catégories alimentaires et 38 marques différentes. Les échantillons ont été collectés au niveau de la wilaya durant la période du Septembre 2023 jusqu'au Mai 2024. Notre échantillon est composé de 37 laits infantiles, 35 œufs, 33 laits spéciaux et 13 beurres. Les résidus d'antibiotiques ont été recherchés par la méthode de diffusion sur gélose en utilisant la bactérie *Bacillus stearothermophilus var. calidolactis*. La présence d'antibiotiques a été observée dans 35,59% des cas. Les œufs et les laits concentrés présentent le pourcentage de positivité le plus élevé pour les antibiotiques suivis des beurres artisanaux et des laits infantiles 3^{ème} âge et 2^{ème} âge. Les autres catégories (lait en poudre, chocolaté, dé lactosé, additionné de jus, et beurre industriel) ne contiennent pas d'antibiotiques. L'application du test de Khi-deux a montré une relation statistiquement significative entre la présence d'antibiotiques et les variables : type d'aliment, catégorie d'aliment, marques d'échantillons, et type de société productrice ($p=0,001 < 5\%$), avec une association forte (V Cramer = 0,87 ; 0,93 ; 0,96 ; 0,53 respectivement). Les échantillons analysés produits par des sociétés locales algériennes présentent un taux de contamination par les antibiotiques plus élevés que ceux produits par des sociétés étrangères (57,4% versus 6%). Ces résultats rejoignent ce qui a été retrouvé dans plusieurs études réalisées sur le plan national et international dans le même contexte.

En conclusion, le taux de contamination par les antibiotiques dans cette région est considérable rejoignant ce qui a été retrouvé dans les études de 2022 et de 2023 réalisées sur les viandes et les laits. Le vide dans la réglementation algérienne qui n'exige pas la recherche systématique de ces contaminants dans les aliments aggrave la situation.

Mot clé : Laits infantiles, laits spéciaux, œufs, beurres, résidus antibiotiques, *Bacillus stearothermophilus*, test d'inhibition microbiologique, diamètre d'inhibition, contaminants, Tlemcen.

المخلص:

في الجزائر، يعتبر حليب الأطفال ومشتقات الألبان من العناصر الضرورية، حيث يلبي احتياجات الرضع والبالغين من الناحية الغذائية. يؤدي الاستخدام المفرط وغير المنظم للمضادات الحيوية في الطب البيطري لأغراض علاجية أو وقائية إلى وجود بقايا الأدوية في المنتجات الحيوانية. بهدف البحث عن وجود بقايا المضادات الحيوية في حليب الأطفال وغيره من الأطعمة المتداولة في ولاية تلمسان، أجرينا دراسة وصفية تجريبية على 118 عينة تنتمي إلى 4 فئات غذائية و38 علامة تجارية مختلفة. تم جمع العينات على مستوى الولاية خلال الفترة الممتدة بين سبتمبر 2023 إلى غاية ماي 2024.

تتكون العينات من 37 حليب أطفال، و35 من البيض، و33 حليب خاص، و13 عينة من الزبدة. تم البحث عن بقايا المضادات الحيوية باستخدام الطريقة الميكروبيولوجية وذلك باستعمال بكتيريا *Bacillus stearothermophilus* وقد لاحظنا وجود مضادات حيوية في 35,59% من العينات. حيث يُظهر البيض والحليب المركز أعلى نسبة إيجابية للمضادات الحيوية تليها الزبدة وحليب الأطفال المن الثاني والثالث. لا تحتوي الفئات الأخرى (الحليب المجفف، الشوكولاتة بالحليب، الحليب المضاف للعصير، والزبدة الصناعية) على مضادات حيوية. أظهر اختبار khi-deux دلالة إحصائية بين وجود المضادات الحيوية والمتغيرات التالية: نوع الغذاء، فئة الغذاء، علامات العينات، ونوع الشركة المنتجة ($V \text{ Cramer} = 0,87 ; 0,93 ; 0,96 ; 0,53$ على التوالي) مع ارتباط قوي. ($P=0,001 > 5\%$) تُظهر العينات المنتجة من قبل الشركات الجزائرية معدلات تلوث بالمضادات الحيوية أعلى من تلك التي تنتجها الشركات الأجنبية (57,4% مقابل 6%). تؤكد هذه النتائج ما توصلت إليه العديد من الدراسات المجراة على الصعيد الوطني والدولي في السياق نفسه.

في الختام، يُعد معدل التلوث بالمضادات الحيوية في هذه المنطقة ملحوظًا، مما يؤكد ما تم العثور عليه في الدراسات التي أجريت في عامي 2022 و2023 على اللحوم والحليب وهذا راجع إلى الفراغ في القانون الجزائري الذي لا يطالب بالبحث عن هذه الملوثات في الأغذية مما يزيد الوضع سوءًا.

الكلمات المفتاحية: حليب الأطفال، حليب، بيض، زبدة، بقايا مضادات حيوية، *Bacillus stearothermophilus*. اختبار التثبيط الميكروبيولوجي، قطر التثبيط، ملوثات، تلمسان.

Abstract:

In Algeria, infant milk and dairy derivatives are crucial elements in the diet, meeting the nutritional needs of infants as well as adults. Excessive and unregulated use of antibiotics in veterinary medicine, whether for therapeutic or preventive purposes, leads to the presence of residues in food. For the purpose of research and detection of antibiotic residues in infant milk and other types of food marketed in the city of Tlemcen, we conducted a transversal experimental descriptive study on 118 samples belonging to 4 food categories and 38 different brands. The samples were collected in this city during the period from September 2023 to May 2024.

Our sampling consists of 37 infant milk powders, 35 eggs, 33 special milk and 13 butter. Antibiotic residues were searched by the microbiological method using the bacteria *Bacillus stearothermophilus var. calidolactis*. Antibiotic presence was observed in 35,59% of cases. Eggs and concentrated milk have the highest percentage of positivity for antibiotics followed by handmade butter and infant milk powder 3rd and 2nd age. The other categories (milk powder, chocolate milk, lactose free milk, juice added milk, and industrial butter) do not contain antibiotics. The application of the Khi-square test showed a statistically significant relationship between antibiotic presence and variables: food type, food category, sample brands, and type of producing company ($p=0,001 < 5\%$), with a strong association ($V \text{ Cramer} = 0,87 ; 0,93 ; 0,96 ; 0,53$ respectively). The samples analyzed produced by Algerian local companies show a higher rate of contamination with antibiotics than those manufactured by foreign companies (57,4% versus 6%). These findings match what has been found in several studies conducted nationally and internationally in the same context.

In conclusion, the rate of antibiotic contamination in this region is considerable, matching what was found in the studies of 2022 and 2023 conducted on meat and milk. The void in Algerian regulation, which does not require a systematic search of these contaminants in foods, exacerbates the situation.

Keywords: Infant milks, special milks, eggs, butter, antibiotic residues, *Bacillus stearothermophilus*, microbiological inhibition test, inhibition diameter, contaminants, Tlemcen.

