



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور - الجلفة

Université Ziane Achour – Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم العلوم الفلاحية والبيطرية

Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Alimentaires

Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Thème

Surveillance des métaux lourds dans le lait et produits laitiers : Synthèse bibliographique

Présenté par: Chaieb Fedia Sabrine

Guibeche Ahlem

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président : *M. HACHI M*

Promoteur : *M. BOUMEHRES ALI*

Examineur : *M. BAKHTI M Z*

Examineur : *Mme. SAHOULI*

Année Universitaire 2020 - 2021



Remerciement

Gloire à « ALLAH » le tout puissant et le miséricordieux, qui a exaucé nos rêves et nous a donné force et patience pour accomplir ce modeste travail. Nos remerciements les plus sincères accompagnés de notre profond respect vont à notre Directeur de mémoire «M. BOUMEHRES ALI», Pour nous guider et nous encourager tout au long de ce travail, nous le remercions d'être là, de son aide précieuse, d'avoir écouté ses conseils avisés et de sa confiance.

Nous remercions le président «M. HACHI M» ainsi que les membres de «M. BAKHTI M Z» et « Mme. SAHOULI» d'avoir accepté de présider et examiner cette étude, Nous les remercions aussi pour leurs disponibilités, leurs remarques, leurs soutiens et leurs encouragements Nos remerciements les plus sincères et les plus chaleureux vont à nos familles, et bien-sûr tous les amis qui nous ont encouragés, Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicaces

A l'être la plus chère à maman , à celle qui m'a guidée pour faire mes premiers pas et qui m'a appris mon premier mot, à celle qui fut toujours à mes côtés, qui a illuminé mes nuits sombres et a ensoleillé mes jours avec son inépuisable affection, à ma mere chouitter khadra

A mes parents,

Papa RACHID, Pour leur soutien inconditionnel, Leur sacrifice, leur tendresse, leur amour infinie,.....

Je souhaite trouveront en ce modeste travail le témoignage de ma reconnaissance et tous mes affections.

à mes sœurs : Aicha et Zineb

qui était toujours près de moi,

Je leur souhaite tout le bonheur dans leur vie.

Pour mes enfants qui ne sont pas nés de mon ventre: Hamada et Nibal

A mes chers frères : Memdoh et sa femme Warda et Leur bébé est en route, Bachir, Dahman.

Aux vieux amis et amis d'enfance : Youssra, Zahra, Jida, Amina, Nasira, Soraya, Sendes.

A mon binôme : Ahlem et toute la famille Guibeche

Aux compagnons des ombres, à ceux qui étaient silencieusement présents avec moi et m'ont soutenu avec toute leur passion.

Chaieb sabrine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents, kahal Zahra :guibeche belkaceme

Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous,

Vos prières, vos encouragements et votre soutien,

M'ont toujours été d'un grand secours.

Puisse dieu, le tout puissant vous préserver du mal,

vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie

A mes très chères frères Nabil et sa femme sabrine à ses enfants(ishak, zahra),

Sarah, Iman et Abderahmane.

A mon binôme sabrine et toute la famille chaieb.

Guibeche Ahlem

Resumé

Resumé

Le lait peut jouer un rôle important dans l'alimentation des enfants dans les populations ne bénéficiant que d'un très faible apport en lipides et ayant un accès limité aux autres aliments d'origine animal : Le lait est un produit indispensable dans la nutrition humaine, et la contamination et Les métaux jouent un rôle intégral dans les processus de la vie des micro-organismes.

Quelques métaux, tels que Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, et Zn, sont essentiels. La fonction essentielle des métaux est comme des cofacteurs des catalyseurs biochimiques, des stabilisateurs des structures des protéines et des parois bactériennes, et de maintenir l'équilibre osmotique, du lait par les métaux lourds est une majeure préoccupation pour les chercheurs en raison de leurs effets néfastes sur la santé humaine. Objectifs : L'objectif de cette étude a été l'évaluation de la concentration en certains des métaux lourds dans le lait.

Resumé

ملخص:

يمكن أن يلعب الحليب دورًا مهمًا في تغذية أطفال السكان الذين يستفيدون من تناول كميات منخفضة جدًا من الدهون ولديهم وصول محدود إلى أغذية أخرى من أصل حيواني: الحليب منتج أساسي في تغذية الإنسان ، ويلعب التلوث والمعادن دورًا أساسيًا في نشاطات حياة الكائنات الحية الدقيقة.

بعض المعادن ، مثل الكروم و النحاس و الحديد و المنغنيز و النيكل و الزنك، تعتبر ضرورية. تتمثل الوظيفة الأساسية للمعادن في كونها عوامل مساعدة للمحفزات البيوكيميائية ، ومثبتات الهياكل البروتينية والجدران البكتيرية ، والحفاظ على التوازن الأسموزي للحليب بواسطة المعادن الثقيلة، وتعتبر مصدر قلق كبير للباحثين بسبب آثارها الضارة بصحة الإنسان. الأهداف: هدفت هذه الدراسة تقييم تركيز بعض المعادن الثقيلة في الحليب.

sommaire

sommaire

	pages
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Introduction	
Chapitre I : Généralités sur le lait et produits laitiers	17
1.Définition	17
2.Composition du lait	17
2.1.L'eau	17
2.2.Matière grasse	18
2.3.Protéines	18
2.4.Glucides	18
2.5.Vitamines	18
2.6.Enzymes	19
2.7.Minéraux	19
3.Propriétés organoleptiques du lait cru	19
3.1.Aspect	19
3.2.Saveur	19
3.3.Odeur	19
4.Propriétés physico-chimiques de lait	20
4.1.PH	20
4.2.Densité	20
4.3.Viscosité	20
4.4.Acidité titrable	20
4.5.Le point de congélation	20
4.6.Point d'ébullition	21

sommaire

5.Les différents types du lait	21
5.1.Lait cru	21
5.2.Laits traités thermiquement	21
5.2.1.Lait pasteurisé	21
5.2.2.Lait stérilisé	22
5.2.3.Lait concentré	22
5.2.4.Lait en poudre	22
Chapitre II : Les métaux lourds	25
1.Généralités	25
2.Classification biologique des métaux lourds	25
2.1.Métaux essentiels	25
2.2.Métaux toxiques	26
3.Origines	26
3.1.Origine naturelle	26
3.2.Origine anthropique	26
6.Propriétés physico-chimiques	26
7.Sources d'exposition	27
8.Toxicité	28
9.Méthodes d'analyses des ETM dans les matrices biologiques	28
9.1.Traitement de l'échantillon	28
9.1.1.Minéralisation par voie sèche	28
9.1.2.Minéralisation par voie humide	28
9.2.Méthodes de dosage :	29
9.2.1.Méthodes électrochimiques	29
9.2.2.Méthodes spectrales	29
9.2.2.a.La spectrométrie d'absorption atomique	29
9.2.2.b.La spectrométrie d'émission atomique couplée à l'ICP (ICP-AES)	30

sommaire

<i>9.2.2.c.La spectrométrie de masse couplée à une torche à plasma (ICP-MS)</i>	
10.Présentation d'un certain nombre d'ETM	31
10.1.Le plomb	31
10.2.Le zinc	31
10.3.Le cadmium	31
10.4.Le chrome	32
10.5.Le cuivre	32
Chapitre III : Revue de la littérature	34
1.Contamination par les métaux lourds du lait cru de vache	34
<u>1.1.Plomb</u>	34
<u>1.2.Cadmium</u>	38
<u>1.3.Nickel</u>	40
<u>1.4.Mercure</u>	41
<u>1.5.Fer</u>	41
<u>1.6.Cuivre</u>	42
<u>1.7.Aluminium</u>	43
<u>Conclusion</u>	44

Liste des abréviations

Liste des abréviations

- UHT : ultra haute température
- Zn : Le zinc
- As : l'arsenic
- ETM : éléments traces métalliques
- cu : Le cuivre
- Ni : nickel
- Fe : le fer
- Pb : Le plomb
- Cd : Le cadmium
- PbS : sulfure de plomb
- PbSO₄ : sulfate de plomb
- PbCO₃ : carbonate de plomb
- AA : les acides aminés
- (α) : Alpha
- (β) : beta
- (CdO) : oxydes de cadmium
- (CdCO₃) : des carbonates
- (Cd(OH)₂) : des hydroxydes
- CdS : des sulfures
- (CdCl₂) : des chlorures
- CuFeS₂ : sulfites chalcopyrite
- Cu₂(OH)₂CO₃ : les hydroxocarbonates malachite
- CuO : les oxydes ténorite
- GFAAS : Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry),
- SAA : spectrométrie d'absorption atomique
- ICP-MS : spectrométrie de masse couplée à une torche à plasma

Liste des tableaux

Liste des tableaux

-Tableau. 1 : Propriétés physico-chimiques de quelques métaux lourds.

-Tableau. 2 : Niveaux de métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Hg, Fe, Cu, Al) dans le lait cru de vache rapportés dans quelques articles de recherche publiés depuis 2010.

Introduction

Introduction

Le lait et les produits laitiers sont les composants les plus importants de l'alimentation humaine dans le monde. Cet aliment naturel contient à la fois des macro- (y compris des protéines, des glucides et des lipides) et des micronutriments, des vitamines, des enzymes et des minéraux (**Perez-Carrera et al., 2016**). Par conséquent, de nombreux bienfaits pour la santé ont été attribués à la consommation de lait et de ses produits (**Arianejad et al., 2015**). Cependant, le lait et ses produits peuvent contenir diverses quantités de métaux lourds lors de la fabrication, des processus d'emballage et des sources de pollution accrues (**Anastasio et al., 2006**).

Ces métaux lourds sont considérés comme les contaminations les plus importantes du fait de l'industrialisation des pays et ont un impact sur leur existence dans le lait et les produits alimentaires, principalement lorsque leurs teneurs dépassent la limite admissible, ils deviennent toxiques, ce qui pose un risque sérieux pour la santé humaine (**Meshref et al., 2014**). La contamination par les métaux lourds dans les aliments se produit principalement par la pollution de l'air, de l'eau et du sol.

En général, les animaux réduisent l'exposition humaine aux métaux traces; par exemple, les niveaux présents dans différentes matrices environnementales sont plus élevés que ceux trouvés dans les aliments. Cependant, certains oligo-éléments ont été trouvés dans l'alimentation des bovins à des niveaux tolérés par les animaux qui pourraient être transférés dans leurs tissus à des concentrations inacceptables pour la consommation humaine (**Ayar et al., 2009**).

Les produits laitiers et en particulier le lait contiennent une variété de nutriments très importants qui sont cruciaux pour maintenir une vie saine de chaque individu. Ainsi, leur consommation quotidienne régulière a été largement recommandée. Cependant, il existe des preuves que le lait et d'autres produits laitiers peuvent contenir des quantités variables de différents contaminants toxiques (**Arianejad et al., 2015**). L'exposition humaine à ces composés se produit de différentes manières, y compris l'inhalation, le contact cutané et via les aliments, ce dernier représentant au moins 90 % de l'exposition humaine globale. Ainsi, c'est un sujet vital d'étudier les métaux lourds dans une matrice biologique telle que le lait et les produits laitiers.

Ce manuscrit est une synthèse bibliographique, constitué de trois chapitres :

Le premier chapitre traite des généralités sur le lait et les produits laitiers et un deuxième chapitre qui met l'accent sur les métaux lourds et leur transfert dans le lait.

Le troisième, est une revue de la littérature portant sur quelques travaux de recherche sur la surveillance des métaux lourds dans le lait durant la dernière décennie (2010-2020) dans quelques régions du monde.

Enfin le travail est clôturé par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I

***Généralités sur le lait et les
produits laitiers***

1. Définition

Le lait est un liquide blanc, opaque, de saveur légèrement sucrée, constituant un aliment complet et équilibré (**ABOUTAYEB, 2009**).

JEANTET *et al.*, (2008) rapportent que le lait doit être en outre collecté dans de bonnes conditions hygiéniques et présenter toutes les garanties sanitaires. Il peut être commercialisé en l'état, mais le plus souvent après avoir subi des traitements de standardisation lipidique et d'épuration microbienne pour limiter les risques hygiéniques et assurer une plus longue conservation.

Le lait conditionné et les boissons lactées subissent des traitements importants introduits par l'industrie dans le but d'une meilleure conservation. La technologie de conservation du lait a fortement évolué et a entraîné une différenciation du produit (**APAB, 2017**).

2. Composition du lait

Les laits sont les seuls aliments naturels complets qui existent, chacun d'eux étant adapté à la race qu'il permet de développer (**GHAOUES, 2011**).

Le lait contient des nutriments essentiels et est une source importante d'énergie alimentaire, de protéines de haute qualité et de matières grasses. Le lait peut apporter une contribution significative aux besoins nutritionnels recommandés en calcium, sélénium, riboflavine, vitamine B12 et acide pantothénique. Le lait et les produits laitiers sont des aliments nutritifs et leur consommation permet de diversifier les régimes à base de plantes. Le lait peut jouer un rôle important dans l'alimentation des enfants dans les populations ne bénéficiant que d'un très faible apport en lipides et ayant un accès limité aux autres aliments d'origine animale (**FAO, 2017**).

2.1. L'eau

C'est le composant le plus abondant : 902 g par litre. En elle, sont dispersés tous les autres constituants du lait, tous ceux de sa matière sèche (**MATHIEU, 1997**).

L'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et de doublets d'électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère polaire lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. Puisque les matières grasses possèdent un caractère non polaire (ou hydrophobe), elles ne pourront se dissoudre et

formeront une émulsion du type huile dans l'eau. Il en est de même pour les micelles de caséines qui formeront une suspension colloïdale puisqu'elles sont solides (VIGNOLA *et al.*, 2002).

2.2. Matière grasse

La matière grasse est présente dans le lait sous forme de globules gras de diamètre de 0.1 à 10µm et est essentiellement constitué de triglycérides (98%).

La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés (JEANTET *et al.*, 2008).

2.3. Protéines

Le lait de consommation contient environ 3,2 % de protéines dont 80 % de caséines, 19 % de protéines solubles et 1 % d'enzymes. La valeur nutritionnelle des protéines laitières est excellente (supérieure à celle des protéines végétales) car elles contiennent tous les acides aminés (AA) indispensables à l'organisme en proportions satisfaisantes (les protéines solubles sont un peu plus riches en AA soufrés que les caséines) et elles sont particulièrement digestibles (JEAN, 2015).

2.4. Glucides

Le sucre du lait est le lactose, c'est un disaccharide constitué par alpha (α) beta(β) glucose ou beta (β) galactose (LUQUET et BONJEAN-LINCZOWSKI, 1985). Il est synthétisé à partir du glucose prélevé dans le sang par la mamelle (MEKROUD, 2011).

2.5. Vitamines

Ce sont des molécules complexes de taille plus faible que les protéines, de structure très variées ayant un rapport étroit avec les enzymes, car elles jouent un rôle de coenzyme associée à une apoenzyme protéique. On classe les vitamines en deux grandes catégories :

Les vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B et vitamine C) de la phase aqueuse d lait.

Les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E, et K) associées à la matière grasse, certaines sont au centre du globule gras et d'autres à sa périphérie (MEHNOUNE et FERHOUL, 2015)

2.6. Enzymes

Le lait contient principalement trois groupes d'enzymes : les hydrolases, les déshydrogénases (ou oxydases) et les oxygénases. Les deux principaux facteurs qui influent sur l'activité enzymatique sont le pH et la température. En effet, chaque enzyme possède un pH et une température d'activité maximale (**MERIBAI, 2010**)

2.7. Minéraux

Les principaux minéraux contenus dans le lait sont le calcium, le sodium, le potassium et le magnésium. Le lait est la meilleure source de calcium pour le squelette et les dents parce qu'il contient aussi dans les bonnes proportions le phosphore et la vitamine D qui sont nécessaires à l'assimilation du calcium dans notre organisme. Toutefois, il est à noter que le lait ne contient pas de fer (**LARAB, 2016**).

3. Propriétés organoleptiques du lait cru**3.1. Aspect**

Le lait est de viscosité variable en fonction de l'espèce animale. Ainsi le lait des monogastriques (jument, anesse, ... etc.) est plus visqueux que celui des poly-gastriques (vache, bufflesse, brebis, chèvre, ... etc.). Dans la même espèce, le lait est d'autant plus visqueux qu'il contient plus de colostrum dont la présence en son sein le rend impropre à la consommation (**LOURENT, 1992**)

3.2. Saveur

La saveur normale d'un bon lait est agréable et légèrement sucrée, ce qui est principalement due à la présence de matière grasse, la saveur du lait est composée de son goût et odeur (**VIGNOLA, 2002**).

3.3. Odeur

La majorité de nos échantillons du lait cru bovin et caprin ont une odeur normale (81,43 % pour les bovins et 83,33 % pour les caprins). Cette odeur est modifiable au cours de la conservation lors de la fermentation du lait. La présence de la matière grasse dans le lait lui confère une odeur

caractéristique, au cours de sa conservation, le lait est caractérisé par odeur aigre due à l'acidification par l'acide lactique (**BENALLEGUE et DEBBECHE, 2015**).

4. Propriétés physico-chimiques de lait

4.1. PH

Le pH du lait normal de vache est de l'ordre de 6.7, le milieu aqueux contient plus d'ions (H_3O^+) que des ions de (OH^-). Cette valeur est due en grande partie au groupement basique ionisable et acide dissociable des protéines (**JAQUE, 1998**).

4.2. Densité

La densité du lait à 15 °C varie de 1.028 à 1.035 pour une moyenne de 1.032. Chacun des constituants agit sur la densité du lait, étant donné que la matière grasse est le seul constituant qui possède une densité inférieure de 1 (**VIGNOLA, 2002**).

4.3. Viscosité

Le lait est considérablement plus visqueux que l'eau, car il contient beaucoup de matière grasse en émulsion et des particules colloïdes. Il existe également des contaminations microbiennes qui sont responsables de la viscosité, telle que : *Leuconostoc mesenteroide* (**JEAN et ROGER, 1961**).

4.4. Acidité titrable

L'acidité titrable du lait correspond à la titration par l'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur coloré. La présence de ce dernier indiquera la limite de neutralisation par changement de couleur qui devient rose pâle (**FANNI et NOVAK, 1987**).

4.5. Le point de congélation

Selon **ABOUTAYEB (2011)**, Le point de congélation est la température de passage de l'état liquide à l'état solide. **NEVILIE et al., (1995)**, ont pu montrer que le point de congélation du lait est légèrement inférieur à celui de l'eau pure puisque la présence de solides solubilisés abaisse le point de congélation. Cette propriété physique est mesurée pour déterminer s'il y a addition d'eau au lait. Sa valeur moyenne se situe entre - 0.54 et - 0.55°C, celle-ci est également la température de congélation du sérum sanguin. On constate de légères fluctuations dues aux saisons, à la race de la

vache, à la région de production. D'une manière générale tous les traitements du lait ou les modifications de sa Composition qui font varier leurs quantités entraînent un changement du point de congélation (MATHIEU, 1999).

4.6.Point d'ébullition

Le point d'ébullition comme la température atteinte lorsque la pression de la substance ou la solution est égale à la pression appliquée. Le point d'ébullition est légèrement supérieur au point d'ébullition d'eau, soit 100,5°C (VIGNOLA, 2002).

5.Les différents types du lait

5.1.Lait cru

Le lait cru recueilli à la ferme par traite mécanique ou manuelle, soit directement transporté au centre de ramassage où il est réfrigéré, soit stocké dans des réservoirs réfrigérés le transport dans le cas des exploitations importantes, dans ces conditions, la flore microbienne est stabilisée (GUIRAUD, 1998). Le lait doit provenir des animaux sains, soumis à un contrôle vétérinaire, d'une préparation (traite, conditionnement, stockage) effectuée dans des conditions hygiéniques satisfaisantes (MAHAUT *et al.*, 2005).

5.2.Laits traités thermiquement

Les laits (traités) industriels peuvent consister en une modification de composition (lait écrémé... etc.) et en traitement thermique destiné à éliminer les éventuels germes pathogènes (GUIRAUD, 2003).

5.2.1.Lait pasteurisé

C'est le produit obtenu par mélange d'eau et de la poudre du lait écrémé. Ce produit homogène obtenu est soumis à un traitement thermique de 85°C pendant 15 à 20 secondes aboutissant à la destruction de la presque totalité de la flore banale et la totalité de la flore pathogène. En s'efforçant de ne pas affecter notamment la structure physique du lait, sa consistance, son équilibre chimique, ses enzymes, et ses vitamines. Le lait pasteurisé ainsi obtenu doit être refroidi à une température ne dépassant pas les 6°C une durée de 7 jours à compter de la date de fabrication (JORA, 1993).

5.2.2.Lait stérilisé

Selon le procédé de stérilisation, on distingue le lait stérilisé et le lait U.H.T définis-en 1979. Ces laits doivent être stables jusqu'à la date limite de consommation.

a. Lait stérilisé

Le lait est tout d'abord préréstérilisé (130-140°C / 3-4s) après homogénéisation dans le cas des laits contenant de la matière grasse. Puis, il est refroidi à 70- 80°C et mis en bouteille (polyéthylène haute densité) pour subir une 2ème stérilisation (115°C / 15-20 min) suivi d'un refroidissement rapide.

La DLC est de 150 jours. Afin d'éviter l'oxydation des lipides, ces laits sont stockés à l'abri de la lumière ou dans des récipients opaques. Sur le plan nutritionnel, on observe des pertes en thiamine, vitamines B12 et B6 (**MAHAUT *et al.*, 2005**).

b. Lait UHT

Le lait est traité à 135-150°C /1-6s, ce traitement permet de mieux préserver la qualité nutritionnelles et organoleptiques originelles du lait car le couple température/temps de la réaction de Maillard est plus élevé que celui de la destruction microbienne. Sa DLC est de 90 jours (**MAHAUT *et al.*, 2005**).

Le lait UHT peut être entier, demi-écrémé ou écrémé. On le trouve dans le commerce sous le nom « lait stérilisé UHT ». Il se conserve à température ambiante, tant que l'emballage n'a pas été ouvert (**GEMRCN, 2009**).

5.2.3.Lait concentré

La stabilisation du lait peut être assurée par réduction de l'activité de l'eau, on y parvient par élimination partielle de l'eau et l'addition de sucre (**MAHAUT *et al.*, 2005**).

- Lait concentré non sucré,
- Lait concentré sucré.

5.2.4.Lait en poudre

C'est un lait qui a perdu la quasi-totalité de son eau (environ 96%) pour ne conserver que

son extrait sec. Cette déshydratation presque totale permet au lait en poudre de se conserver un an à température ambiante, Cependant, il craint la chaleur et l'humidité. Une fois ouvert, il se conserve 10 jours lorsqu'il est entier, 2 semaines s'il est demi-écrémé et 3 semaines s'il est écrémé. Il doit être consommé immédiatement après avoir été reconstitué par adjonction de liquide. Le taux de matière grasse est toujours précisé sur l'emballage (JORA, 1993).

CHAPITRE II

Les métaux lourds

1. Généralités

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (MIQUEL, 2001). Cependant ce terme est assez abusif et souvent controversé car il regroupe l'ensemble des métaux et des métalloïdes présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement (POURRET *et al.*, 2018).

Certains métaux toxiques ne sont pas principalement lourds comme le zinc (Zn), tandis que d'autres éléments toxiques ne sont pas tous des métaux, exemple : l'arsenic (As). A cet effet, le terme « métaux lourds » est de plus en plus remplacé par l'appellation « éléments traces métalliques » ou « ETM » (MIQUEL, 2001). La plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation des métaux lourds celle d'éléments traces métalliques, car ils sont présents dans les différents un compartiments de l'environnement à l'état de traces (>0.1%)

La plupart des éléments traces métalliques ne sont que très faiblement volatils et ne sont pas biodégradables. Ces deux principales caractéristiques confèrent aux éléments traces métalliques un grand pouvoir d'accumulation dans tous les compartiments de la biosphère (BAIZE, 1997).

2. Classification biologique des métaux lourds

Certains des métaux lourds sont essentiels pour la croissance, le développement et la santé des organismes vivants, tandis que d'autres sont non essentiels comme ils sont indestructibles, et la plupart d'entre eux sont classés en tant que des espèces toxiques sur les organismes néanmoins la toxicité des métaux dépend de leur l'environnement (ZAMANI *et al.*, 2012).

2.1. Métaux essentiels

Sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques. Certaines peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil, c'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple le zinc (Zn), à la concentration du milli molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et les lipides (ADRIANO, 2001 ; BLUM, 1990).

2.2. Métaux toxiques

Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration, ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule ni fonction métabolique (**BAKER et WALKER, 1989**). Ce sont des micropolluants de nature à entraîner des nuisances, même quand ils sont rejetés en quantité très faible. Ces éléments sont connus comme « non essentiels » et généralement ont un seuil de concentration beaucoup plus bas pour devenir toxiques. Leur toxicité se développe par bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire, et leur caractère persistant signifie qu'ils ne se dégraderont jamais, ni dans l'environnement, ni lors de la transformation de produits alimentaires, ni dans le corps. C'est le cas du plomb, du mercure et du cadmium (**GONZALEZ et CHIFFOLEAU, 1999**).

3. Origines

3.1. Origine naturelle

Ils sont présents de façon naturelle et résultat de processus géogénique comme l'érosion, les précipitations géochimiques de roches et de l'eau de source, l'activité volcanique et bactérienne, l'altération des continents et les incendies de forêt (**KABATA-PENDIAS, 2010**).

3.2. Origine anthropique

Relève des activités industrielles et aussi des solides organiques tels les boues d'assainissement, le compost, les fertilisants et les pesticides, activité pétrochimique, utilisation de combustibles fossiles, transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcation), incinération de déchets urbains, etc. (**BOUCHESEICHE *et al.*, 2002**).

6. Propriétés physico-chimiques

Pour étudier les mécanismes d'action des métaux lourds il est nécessaire de connaître leurs propriétés physico-chimiques et biologiques d'abord à l'état d'ion libre puis dans la formation des complexes organo-métalliques.

Tableau I. 1 : Propriétés physico-chimiques de quelques métaux lourds.

Métal	Symbole	Numéro atomique	Masse atomique	Valence	Point de fusion °C	Point d'ébullition °C	Densité
Chrome	Cr	24	51,99	6, 5, 4, 3, 2	1 875	2 682	7,17
Fer	Fe	26	55,85	2, 3*	1 535	3 000	7,90
Nickel	Ni	28	58,70	2, 3	1 555	2 837	8,90
Cuivre	Cu	29	63,55	1, 2	1 083	2 595	8,94
Zinc	Zn	30	65,38	2	419	907	7,14
Cadmium	Cd	48	112,48	2	321	767	8,65

Les métaux lourds possèdent un caractère électropositif qui leur confère la faculté de perdre facilement un ou plusieurs électrons pour former des cations de charge variable (LEE, 1979). Compte tenu de l'étendue du domaine englobant le terme de 'métaux lourds', nous limiterons notre propos aux éléments présents dans les boues utilisées: Fe, Zn, Cu, Ni, Cr et Cd.

7.Sources d'exposition

Quelle que soit la source de contamination (naturelle ou anthropique), les métaux lourds peuvent se retrouver dans l'air, l'eau, les sols, les sédiments, et par conséquent les plantes, les animaux et les poissons, tous éléments de l'alimentation humaine (GUEGUEN *et al.*, 2011). Les apports atmosphériques absorbés par inhalation peuvent être considérés comme négligeables (SERREAU *et al.*, 2017).

Les capacités à concentrer les métaux lourds varient selon les espèces et les métaux ; les concentrations de cadmium et de plomb chez les poissons sont de deux à dix fois inférieures à celles des mollusques et crustacés, mais concentrent beaucoup le mercure, notamment le méthylmercure. Les poissons sont la source principale (80 %) de méthylmercure pour l'homme. Les fruits de mer accumulent surtout le cadmium et dans une moindre mesure le plomb, mais peu le mercure. La moule concentre deux fois plus de plomb que l'huître, l'huître concentre quatre fois plus de cadmium que la moule (REBELO et CALDAS, 2016 ; JÄRUP et ÅKESSON, 2009).

8. Toxicité

La toxicité des métaux lourds est due essentiellement à leur non biodégradabilité, leur toxicité à faible concentration et leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants à cause de leurs affinités à la fois pour l'oxygène, l'azote et le soufre et par conséquent à se concentrer le long des chaînes trophiques (**MERIAN et CLARKSON, 1991**).

Leur toxicité varie aussi selon la dose et la durée d'exposition. Une exposition de courte durée à des concentrations élevées cause des syndromes aigus, alors que l'exposition de longues durées à de faibles concentrations provoque des troubles chroniques. D'après Sposito, 1981, le classement des métaux lourds par ordre de la toxicité est le suivant : $Hg^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > Cr^{6+} > Cr^{3+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$ (**SPOSITO, 1981**).

9. Méthodes d'analyses des ETM dans les matrices biologiques**9.1. Traitement de l'échantillon :**

Lors d'une analyse chimique, un traitement des échantillons est généralement nécessaire avant la mesure afin de détruire la matière organique. Deux voies sont ainsi utilisées : la minéralisation par voie sèche ou par voie humide.

9.1.1. Minéralisation par voie sèche

La minéralisation par voie sèche est essentiellement appliquée aux matériaux de nature organique, aux tissus biologiques ou aux échantillons végétaux. Elle consiste en une calcination suivie d'une reprise des cendres par un acide approprié. La calcination réalisée à une température choisie assure la décomposition de la matière organique (**HOENIG, 1990 ; BUI, 2007**).

9.1.2. Minéralisation par voie humide

La minéralisation par voie humide, généralement rapide et efficace, utilise des mélanges d'acides ou des mélanges d'agents à la fois acides et oxydants. L'acide nitrique est le plus communément utilisé dans les mélanges d'attaque. L'addition d'eau oxygénée aux mélanges d'attaques est particulièrement recommandée pour l'oxydation d'échantillons de nature organique.

Les digestions acides peuvent être réalisées en système ouvert (ballon, tube, etc.) ou fermé (bombes en téflon) ; dans ce dernier cas, la minéralisation est effectuée sous pression, ce qui permet d'éviter les

pertes d'éléments volatils. Le chauffage peut être assuré par des moyens conventionnels, mais on s'oriente aujourd'hui progressivement vers des systèmes utilisant les micro-ondes comme source d'énergie (HOENIG, 1990 ; BUI, 2007).

9.2. Méthodes de dosage :

Actuellement, les méthodes spectrales sont les plus utilisées pour le dosage des métaux dans les matrices biologiques, mais on peut faire appel à des méthodes électrochimiques (LABAT *et al.*, 2003).

9.2.1.Méthodes électrochimiques

Ces méthodes sont dérivées de la polarographie classique : celle-ci consiste à faire varier le potentiel d'une électrode à gouttes de mercure. Cette méthode ancienne est peu utilisée, car elle est longue à mettre en oeuvre et assez peu sensible. On lui a substitué différentes techniques : la voltampérométrie et la potentiométrie. Ces deux techniques ont l'avantage d'être peu coûteuses, mais elles restent lentes pour un dosage de traces et peuvent conduire à des résultats erronés si elles ne sont pas étalonnées avec rigueur à différentes concentrations, les pentes des droites n'étant pas identiques pour les valeurs basses, moyennes ou élevées (BUI, 2007).

9.2.2.Méthodes spectrales

9.2.2.a.La spectrométrie d'absorption atomique

En spectrométrie d'absorption atomique (SAA), l'absorption d'un rayonnement électromagnétique par les atomes fournit un puissant instrument analytique, pour l'analyse quantitative surtout. Avec le même principe de base, on peut faire appel à deux techniques d'atomisation dans une flamme (SAAF) ou dans un four, par voie électrothermique (SAAET) qui aboutissent à des limites de détection très différentes, la SAAET étant au moins 100 fois plus sensible que la SAAF. La SAAF, est une méthode applicable au dosage du calcium, du magnésium, du lithium, du zinc, du cuivre et du fer dans les milieux biologiques. Les autres oligo-éléments se trouvant à des teneurs trop faibles ne sont pas accessibles à l'analyse. Alors que la SAAET offre des possibilités beaucoup plus intéressantes puisque la grande majorité des éléments devient accessible à l'analyse.

La source le plus souvent utilisée est une lampe à cathode creuse dont l'anticathode est constituée du même métal que celui à doser ; elle émet un signal, dans le domaine de l'UV, aux fréquences caractéristiques de cet élément. Le rayonnement émis traverse une vapeur d'atomes générée à haute

température, à partir de la solution de mesure, dans une flamme (SAAF) ou par voie électrothermique (SAAET), généralement dans un four graphite (GFAAS- Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry), ce qui permet un gain de sensibilité considérable (BUI, 2007).

9.2.2.b. La spectrométrie d'émission atomique couplée à l'ICP (ICP-AES)

C'est une méthode d'analyse par spectrométrie d'émission atomique dont la source est un plasma généré par couplage inductif. C'est une méthode fonctionnant sur le même principe que l'émission de flamme. Il s'agit d'obtenir un spectre caractéristique de l'élément suite à une atomisation qui a lieu dans un plasma d'argon et non dans une flamme. L'intensité des raies émises est proportionnelle à la quantité d'atomes en solution. Le plasma constitue une source d'ionisation efficace capable d'ioniser tous les éléments ayant une énergie de première ionisation inférieure à celle de l'argon (GOULLE et TALEC, 2004).

9.2.2.c. La spectrométrie de masse couplée à une torche à plasma (ICP-MS)

L'ICP-MS est l'une des techniques analytiques les plus sensibles existantes pour le dosage d'éléments à l'état de traces dans les milieux biologiques grâce au détecteur de masse, les performances de la torche à plasma sont du plus haut niveau. Cette technique étant caractérisée par d'excellentes précisions et exactitudes, ainsi qu'une bonne spécificité pour la plupart des éléments. Son intérêt est également lié à la possibilité du dosage simultané de l'ensemble ou d'une partie de ces éléments. Il combine ainsi les avantages d'un dosage multiélémentaire, déjà connus par ICP-AES et les performances en termes de sensibilité de la SAA-GF. L'ICP-MS permet même d'atteindre des niveaux de sensibilité jamais égalés par la SAA-GF.

Cette méthode d'analyse qualitative et quantitative repose sur la séparation, l'identification et la quantification des éléments d'un échantillon en fonction du rapport masse m / charge z . Le principe de la mesure repose sur le fait que le composé à analyser est introduit sous forme de gaz et une très faible quantité de ce composé est ionisée dans un plasma d'argon selon deux modes principaux : soit par impact avec des électrons, soit par ionisation chimique. Le plasma issu du couplage inductif d'électrons libres avec des oscillations rapides du champ magnétique à la fréquence de 27 Mhz est généré par l'argon. Au contact de l'argon, l'échantillon est nébulisé puis transporté jusqu'au centre du plasma où la température est proche de 8000 °K. Il est alors atomisé puis ionisé dans sa totalité sous forme de cations monovalents (DARROUZES, 2007).

10. Présentation d'un certain nombre d'ETM**10.1. Le plomb**

Le plomb (Pb) est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de numéro atomique 82. Très persistant, il est toxique même à faible concentration (**UZU et al. 2010; ROY and MCDONALD 2015**),

Le plomb est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère. On le trouve dans divers minéraux, dont les plus importants sont la galène (PbS), la cérusite (PbCO₃) et l'anglésite (PbSO₄).

Le plomb est principalement utilisé dans les batteries pour l'automobile (représentant 65 à 70% de son utilisation dans le monde occidental (**PICHARD et al., 2003**). Il est également présent dans des alliages ou encore des enrobages de câble

10.2. Le zinc

Le zinc est un élément présent naturellement dans l'écorce terrestre, principalement sous forme de sulfure (blende) (**PICHARD et al., 2005**).

Le zinc est principalement utilisé pour la protection des métaux contre la corrosion, comme la galvanoplastie, et entre dans la composition de nombreux alliages (laiton, bronze). C'est un matériau également employé en construction, ainsi que pour les équipements d'automobiles et les chemins de fer. Il sert d'agent réducteur en chimie organique et de réactif en chimie analytique. (**MARCOS, 2001**).

10.3. Le cadmium

Le Cd est un métal blanc argenté, brillant, il est malléable et ductile. Chimiquement, il ressemble beaucoup au zinc et peut le remplacer isomorphologiquement dans presque tous les minerais (**COTTON 1972; LYMBURNER 1974**). Il appartient au groupe II B de la classification

périodique des éléments. L'état d'oxydation le plus fréquent dans l'environnement est l'ion **Cd²⁺**. Facilement volatile, il peut réagir avec les gaz pour former des oxydes de cadmium (CdO), des carbonates (CdCO₃), des hydroxydes (Cd(OH)₂), des sulfures (CdS) et des chlorures (CdCl₂).

10.4. Le chrome

Elément assez répandu dans les sols, son nom vient du grec (Kroma = couleur), c'est un métal de masse atomique 52, n° 24 dans la classification de Mendeleïev. Il a un aspect blanc vif et brillant, quelque fois légèrement jaunâtre. Il est très dur (il raye le verre), mais n'est ni malléable, ni ductile, il est inaltérable à l'air (**AUGIER, 2008**).

Bien qu'on ait identifié plus de 40 minéraux contenant du chrome, il est le septième élément le plus abondant sur terre. Cet élément provient principalement de la chromite ($\text{FeCr}_2\text{O}_4(\text{s})$) (Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1994). Et partiellement de la crocoïte (PbCrO_4) (**BUMOL *et al.*, 2006**).

10.5. Le cuivre

Les formes du cuivre les plus couramment trouvées dans la nature sont les sulfures (chalcopirite CuFeS_2), les hydroxycarbonates (malachite $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ et azurite $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$) et les oxydes (ténorite CuO). Les principales sources anthropiques du cuivre sont les déchets agricoles (55%) suivies par les déchets urbains (28%) et les retombées atmosphériques (16%) (**FEIX, 1998**).

Le cuivre est, dans de petites quantités, indispensable pour tous les organismes, mais avec l'augmentation de sa concentration il devient toxique. (**EINICKER-LAMAS *et al.*, 2002**).

Chapitre III

Revue de la littérature

Revue de la littérature

1. Contamination par les métaux lourds du lait cru de vache

1.1. Plomb

Le plomb (Pb) est un métal environnemental omniprésent, c'est le métal industriel le plus courant qui peut polluer l'air, l'eau, le sol et la chaîne alimentaire (**RAIKWAR *et al.*, 2008**). La nature non biodégradable du plomb est la principale raison de sa persistance prolongée dans l'environnement. L'exposition humaine au plomb se produit par diverses sources telles que l'essence au plomb, les processus industriels tels que la fusion du plomb et la combustion du charbon, les peintures à base de plomb, les tuyaux contenant du plomb ou la soudure à base de plomb dans les systèmes d'approvisionnement en eau, le recyclage des batteries, les grilles et les roulements, etc. Contamination par le plomb dans les sols a été fortement soulignée ces dernières années car ce métal est très toxique pour l'homme et les animaux. Le plomb entre dans le métabolisme humain ou animal via la chaîne alimentaire (**RAHMAN *et al.*, 2012**).

La toxicité aiguë est liée à l'exposition professionnelle et est assez rare. En revanche, la toxicité chronique est beaucoup plus fréquente et à un taux sanguin d'environ 40 à 60 µg/dL (**FLORA *et al.*, 2012**). La neuropathie motrice périphérique est le résultat d'une exposition chronique à un niveau élevé de plomb. Elle a été associée à des fausses couches et à un faible poids à la naissance des nourrissons (**GIDLOW, 2004**). Le plomb affecte directement le système hématopoïétique en restreignant la synthèse de l'hémoglobine en inhibant diverses enzymes clés impliquées dans les voies de synthèse de l'hème. Il réduit également la durée de vie des érythrocytes circulants en augmentant la fragilité des membranes cellulaires (**FLORA *et al.*, 2012**). Le Centre international de recherche sur le cancer a conclu que les preuves de la cancérogénicité du plomb chez l'homme sont insuffisantes (**GIDLOW, 2004**). Le saturnisme chronique et aigu provoque des lésions cardiaques et vasculaires avec des conséquences potentiellement mortelles, notamment l'hypertension et les maladies cardiovasculaires (**FLORA *et al.*, 2012**).

Il existe un grand nombre d'études publiées qui ont étudié le niveau de plomb dans le lait cru de vache. Dans la présente revue, nous avons pu extraire 14 études qui ont analysé le plomb dans des échantillons de lait de vache cru collectés dans 08 pays du monde, (08 études) ont utilisé la technique de spectrométrie d'absorption atomique (AAS), suivie du spectrophotomètre de masse à

plasma à couplage inductif (ICP -MS) (03 études), les autres techniques utilisées étaient la spectrométrie d'émission atomique à plasma à couplage inductif (ICP-AES) (3 études) (**Tableau 2**).

La présence de Pb dans les échantillons de lait cru de vache a été présentée comme suit : le niveau de Pb le plus élevé signalé au cours des dix dernières années (**60 mg/L**) a été obtenu dans des échantillons de lait de vache cru prélevés sur des vaches matures au pâturage élevées dans une zone constituée de granites et de gneiss granitiques d'âge archéen avec d'innombrables essaims de dykes et dykes isolés situés dans la région de Tirupati dans le district de Chittoor, Andhra Pradesh (Inde) (**RAGHU, 2015**). De la même manière, un niveau élevé de Pb a été enregistré ($23,2 \pm 0,30$ mg/L) dans le lait de vache collecté chez les animaux pendant la saison estivale et chez les vaches buvant les eaux de drainage principales non traitées de la ville de Faisalabad au Pakistan (**ASLAM *et al.*, 2011**), valeur est bien supérieure à la limite résiduelle maximale (**0,02 µg/mL**) fixée par EC (2006). Une teneur élevée en Pb ($4,40 \pm 1,60$ mg/L) a également été observée par **MALHAT *et al.* (2012)** dans du lait de vache cru collecté dans la zone industrielle de pollution atmosphérique de la ville de Tokh, gouvernance d'El-Qaliubiya (Égypte). En outre, un niveau élevé de Pb ($3,80 \pm 0,42$ mg/L) a été obtenu dans des échantillons de lait cru de vache collectés auprès d'un producteur local de la région de Nitra (Slovaque) par rapport à la limite autorisée pour le lait selon la loi slovaque (**0,02 mg/L**) (**CAPCAROVA *et al.*, 2019**). En Turquie, **BIGUCU *et al.* (2016)** ont étudié l'impact de l'implantation géographique du bétail sur la qualité du lait de vache cru collecté dans trois régions du comté de Biga de la province de Çanakkale : Yeniçiftlik, Gümüşçay et Şakirbey. Les résultats montrent que la concentration de Pb la plus élevée a été trouvée dans le lait de la région de Şakirbey qui était proche des autoroutes ($1,85 \pm 0,09$ mg/L), suivie par celles trouvées dans le lait collecté dans la région de Yeniçiftlik qui était proche des usines de l'industrie lourde ($1,03 \pm 0,05$ mg/L) et le lait de vache collecté dans la région de Gümüşçay qui était proche des usines de production alimentaire ($1,01 \pm 0,05$ mg/L), respectivement.

Des concentrations de Pb supérieures à la limite résiduelle maximale (0,02 µg/mL) ont également été observées dans des échantillons de lait cru de vache collectés dans des zones rurales sans grandes activités industrielles dans différents pays du monde. En Slovaque (**CAPCAROVA *et al.*, 2019**).

Les résultats indiquent que les échantillons de lait de vache cru analysés dans les pays en développement tels que le Pakistan, l'Inde, l'Éthiopie, le Bangladesh, l'Égypte, ont des concentrations de Pb au-delà de la limite standard.

Références	Site	Caractéristique de la zone de collecte	N	Méthode	Niveaux de métaux lourds (mg/L). Moyenne ± SD et/ou plage (Min-Max)
Akhtar et al. (2015)	Pakistan, Multan	Marchés de ville	24	SAA	Pb : 0,2±0,05 ; Cd : 0,1±0,02 ; Ni : 0,18±0,09 Fe : 1,03±0,28 ; Cu : 0,15±0,05 ;
Kabir et al. (2017)	Bangladesh, Karnafuli	Déchets industriels	50	SAA	Pb : 0,09; Cd : 0,03; Ni : 0,11 Fe : 7,64 ; Cu : 0,12 ; Hg : 0,06 ;
Bousbia et al. (2019)	Algérie, Guelma	Zone polluée	146	SAA	Cd : 0,03±0,013 ; Fe : 1,43±0,58 ; Cu : 0,24±0,17 ;
Raghu (2015)	India, Tirupati	Granites et gneiss granitiques	6-8	SAA	Pb : 60; Cd : 12; Ni : 833 ; Cu : 36 ;
Malhat et al. (2012)	Egypt, El-Qaliubiya	Pollution de l'air industrielle	100	SAA	Pb : 4,4±1,6 ; Cd : 0,28±0,16 ; Fe : 16,4±8,4 ; Cu : 2,9±1,1 ;
Capcarova et al. (2019)	Slovaquie, région de Nitra	Secteur agricole	10	SAA	Pb : 3,8±0,42 ; Cd : 0,27±0,06 ; Ni : 0,84±0,13 Fe : 1,76±0,36 ; Cu : 2,12±0,61 ;
Aslam et al. (2011)	Pakistan, Faisalabad	Assainissement des eaux usées de la ville de Faisalabad	90	SAA	Pb : 23,2±0,3 ; Cd : 0,17±0,006 ; Ni : 23,5±0,3 Hg : 0,55±0,01 ;
Alem G. et al. (2015)	Éthiopie, ferme laitière de l'université Haramaya	/	6	FAAS	Zn : 3.527 ± 0.094 ; Cu : 0.206 ± 0.024 Cr : 0.064 ± 0.010
Bigucu et al. (2016)	Turkey, Şakirbey	Proche des autoroutes	3	ICP-AES	Pb : 1,85 ± 0,09 ; Cd : 0,39 ± 0,02 ; Fe : 4,2 ± 0,16 ; Cu : 0,62 ± 0,01 ; Al : 17,32 ± 0,34
	Turkey, Yeniçiftlik	A proximité des usines de l'industrie lourde	3	ICP-AES	Pb : 1,03 ± 0,05 ; Cd : 0,19 ± 0,01 ; Fe : 2,6 ± 0,08 ; Cu : 0,65 ± 0,005 ; Al : 19,53 ± 0,18
	Turkey, Gümüşçay	Près des usines de production alimentaire	3	ICP-AES	Pb : 1,01 ± 0,05 ; Cd : 0,19 ± 0,01 ;

					Fe : 4,05 ± 0,2 ; Cu : 0,65 ± 0,005 ; Al : 22,5 ± 0,23
Giri et Singh (2019)	Inde, à l'est de Singhbhum	Zones minières de cuivre	-	ICP-MS	Pb : 0,13 ; Ni : 0,62 ; Fe : 8,8 ; Cu : 0,5 ; Al : 0,5
	Inde, à l'ouest de Singhbhum	Zones minières de fer	-	ICP-MS	Pb : 0,09 ; Ni : 0,20 ; Fe : 11,4 ; Cu : 0,31 ; Al : 0,26
Islam et al. (2015)	Bangladesh, Bogra	Zone urbaine	-	ICP-MS	Pb : 0,15±0,15 ; Cd : 0,02±0,03 ; Ni : 1,3±1,7 Cu : 2,3±1,5 ;

Tableau : Niveaux de métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Hg, Fe, Cu, Al) dans le lait cru de vache rapportés dans quelques articles de recherche publiés depuis 2010

1.2. Cadmium

On le trouve généralement sous forme de minéral combiné à d'autres éléments tels que l'oxygène (oxyde de cadmium), le chlore (chlorure de cadmium) ou le soufre (sulfate de cadmium) (**RAIKWAR et al., 2008**). Le cadmium (Cd) est un métal lourd qui a suscité de vives inquiétudes sur le plan environnemental et professionnel. Le Cd a une longue demi-vie biologique principalement en raison de son faible taux d'excrétion de l'organisme. Ainsi, une exposition prolongée au Cd provoquera un effet toxique en raison de son accumulation au fil du temps dans divers tissus, notamment les reins, le foie, le système nerveux central (SNC) et les systèmes neuronaux périphériques (**WANG et DU, 2013**).

L'exposition chronique à de faibles concentrations de cadmium a été associée à un certain nombre de pathologies, telles que l'insuffisance rénale terminale, l'apparition précoce de complications rénales diabétiques, l'ostéoporose, une régulation anormale de la pression artérielle et un risque accru de cancer (**SATARUG et MOORE, 2004**). Des études épidémiologiques et expérimentales ont établi un lien entre l'exposition professionnelle au Cd et le cancer du poumon et d'autres cancers tels que les cancers de la prostate, du rein, du foie, du système hématopoïétique, de la vessie, du pancréas, des testicules et de l'estomac. L'exposition au Cd affecte également gravement la fonction du système nerveux, avec des symptômes tels que maux de tête et vertiges, dysfonctionnement olfactif, symptômes de type parkinsonien, ralentissement du fonctionnement

vasomoteur, neuropathie périphérique, diminution de l'équilibre, diminution de la capacité de concentration et troubles d'apprentissage (WANG et DU, 2013).

Il est presque absent dans le corps humain à la naissance, mais s'accumule avec l'âge. Un homme moyen accumule environ 30 mg de cadmium dans son corps à l'âge de 50 ans. Les aliments raffinés, les aliments à base d'eau, les conduites d'eau, le café, le thé, la combustion du charbon et les cigarettes sont la source la plus importante de cadmium (RAIKWAR *et al.*, 2008). Il existe plusieurs autres sources d'exposition humaine au Cd, notamment l'emploi dans les industries métallurgiques de première transformation, la production de certaines batteries, certains procédés de galvanoplastie (WANG et DU, 2013).

Environ 0,001 % du cadmium dans le corps est excrété par jour, principalement dans l'urine. Ce taux d'excrétion extrêmement faible du cadmium est dû à l'absence d'un mécanisme biochimique actif d'élimination couplé à une réabsorption rénale (SATARUG et MOORE, 2004). En 1989, le Comité mixte d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires (JECFA) a fixé la dose hebdomadaire tolérable provisoire (DHTP) pour le cadmium à 7 µg/kg/semaine, correspondant à 1 µg/kg/jour (OMS, 1989).

Les valeurs de Cd dans le lait ont été comparées aux valeurs limites standard (0,0026 µg/g) déterminées par la Fédération internationale de laiterie (FIL, 1979). Cette limite est obsolète mais reste la seule limite maximale acceptable du niveau de Cd dans le lait (ISMAIL *et al.*, 2019).

Dans la plupart des études, le niveau de Cd a été mesuré à l'aide de la technique AAS.

Il convient de noter que le niveau de Cd dans les échantillons de lait dans 10 régions du monde était supérieur à la limite standard de 0,0026 µg/g (FIL, 1979), dans une donnée extraite de 1 région, le niveau de Cd est inférieur ou égal à la limite standard (0,0026 µg/g).

Le niveau de Cd le plus élevé (12 mg/L) a été trouvé dans des échantillons de lait de vache cru prélevés sur des animaux élevés à proximité de la zone et constitués de granites et de gneiss granitiques situés dans la région de Tirupati, dans le district de Chittoor, Andhra Pradesh, en Inde (RAGHU, 2015).

D'après la littérature, en Turquie, BIGUCU *et al.* (2016) ont obtenu des taux de Cd dans le lait cru de vache variant entre $0,39 \pm 0,02$ mg/L pour les vaches élevées à proximité des autoroutes de la région de Şakirbey ; et $0,19 \pm 0,01$ mg/L dans la région de Gümüşçay qui est proche des usines de production alimentaire, et $0,19 \pm 0,01$ mg/L dans la région de Yeniçiftlik à proximité des usines de l'industrie lourde.

Il a pu être observé que toutes les études ont rapporté un niveau moyen de Cd dans le lait supérieur à (**0,0026 mg/L**) ont été collectées dans une zone polluée, sauf dans une région qui a montré un niveau élevé de Cd dans le lait collecté dans une zone non polluée (**CAPCAROVA *et al.*, 2019**).

1.3. Nickel

Le nickel (Ni) est un élément minéral essentiel pour l'homme, il agit comme cofacteur pour un certain nombre d'enzymes ainsi que d'hormones, mais au-dessus de certains niveaux, le Ni peut devenir toxique et entraîner des dommages cellulaires, une altération des activités enzymatiques et hormonales, un stress oxydatif et neurotoxicité (**ISMAIL *et al.*, 2017**).

Les données de huit études publiées dans huit régions du monde depuis 2010 ont été extraites puis analysées. Cinq études sur huit ont analysé le Ni en utilisant la technique AAS et par ICP-MS (trois études).

Les niveaux moyens de Ni dans le lait cru de vache sont présentés comme suit : Le niveau supérieur d'apport quotidien en Ni par les sources alimentaires recommandé par le Conseil de l'alimentation et de la nutrition (**FNB**) (**2001**) est de **0,3 à 1 mg/L**.

Le niveau de Ni dans les échantillons de lait de vache cru à travers le monde variait entre BDL et 833 mg/L. Le niveau maximal de Ni (833 mg/L) a été enregistré à partir des échantillons de lait prélevés sur des vaches élevées à proximité de la zone constituée de granites et gneiss granitiques dans la région de Tirupati, en Inde (**RAGHU, 2015**). Suivi par le Pakistan ($23,5 \pm 0,3$ mg/L) provenant de vaches abreuvant le drainage des égouts de la ville de Faisalabad (**ASLAM *et al.*, 2011**).

Il est à noter que seules trois études sur huit (37,5 %) ont trouvé un dépassement de la limite maximale de Ni dans le lait cru (**0,1 à 1 mg/L**) recommandée par le Conseil de l'alimentation et de la nutrition (**FNB, 2001**).

Les niveaux de Ni dans le lait de vache cru collecté dans les zones polluées étaient généralement plus élevés que ceux collectés dans les zones non polluées. De la même manière, le niveau de Ni dans les échantillons de lait cru de vache prélevés sur des vaches élevées à proximité des zones minières de fer (0,2 mg/L) était inférieur à ceux trouvés chez des vaches élevées à proximité des zones minières de cuivre en Inde (0,62 mg/L) (**GIRI et SINGH, 2019**).

1.4. Mercure

Le mercure (Hg) est un élément chimique d'origine naturelle qui peut être trouvé dans les denrées alimentaires par des causes naturelles. Les principales causes anthropiques de pollution au mercure dans l'environnement sont l'exploitation minière et la combustion, les matières agricoles et les rejets industriels et urbains (**JOINT et FAO/WHO, 2011**). Le règlement de l'Union européenne indique **0,01 mg/kg** comme teneur maximale en Hg dans tout aliment, y compris le lait (**UE, 2015**).

À notre connaissance, il n'y a pas trop de données sur les résidus de mercure dans le lait en comparaison avec d'autres métaux traces.

Ici, nous avons extrait les données de trois études publiées depuis 2010 qui ont analysé les niveaux de mercure dans le lait cru de vache. Le niveau maximal de Hg ($0,55 \pm 0,01$ mg/L) a été signalé dans des échantillons de lait de vache cru provenant de vaches buvant de l'eau d'égout au Pakistan (**ASLAM *et al.*, 2011**).

Aussi; au Bangladesh, **KABIR *et al.* (2017)** ont trouvé un niveau élevé de mercure dans des échantillons de lait prélevés sur des vaches nourries d'herbe du fourrage près duquel les déchets industriels sont déversés (0,04 mg/L).

En Slovaquie, **CAPCAROVA *et al.* (2019)** ont également signalé des niveaux de mercure dans des échantillons de lait cru inférieurs à la limite de détection. Les données actuelles indiquent que les niveaux de Hg dans les échantillons de lait sont généralement dans des limites de sécurité, sauf dans l'étude menée dans la province de Faisalabad, au Pakistan (**ASLAM *et al.*, 2011**).

1.5. Fer

Le fer (Fe) est un oligo-élément essentiel qui participe en tant que catalyseur à plusieurs réactions métaboliques ; et en tant que composant de l'hémoglobine, de la myoglobine, des cytochromes et d'autres protéines, joue un rôle essentiel dans le transport, le stockage et l'utilisation de l'oxygène. C'est un cofacteur pour un certain nombre d'enzymes et sa carence entraîne une anémie et d'autres pathologies (**MESHREF *et al.*, 2014**), cependant en raison de sa capacité à générer des espèces réactives de l'oxygène, l'excès de fer peut endommager les tissus et défaillance d'un organe et augmente le risque de cancer (**EID *et al.*, 2017**; **PULIYEL *et al.*, 2015**). Dans le lait et les produits laitiers, une concentration élevée en Fe peut poser un problème dans la technologie de transformation en raison de son effet catalytique sur l'oxydation des lipides avec développement d'odeur désagréable, se liant de préférence aux protéines et aux lipoprotéines membranaires des globules gras du lait (**LANTE *et al.*, 2006**).

Dans cette revue systématique, les données de 10 études publiées depuis 2010 qui mesurent les concentrations de Fe dans le lait cru de vache dans 8 pays du monde ont été extraites et analysées. **La limite maximale de Fe recommandée est de 0,37 mg/L (FIL, 1979).** La concentration moyenne la plus élevée de Fe dans le lait cru a été trouvée chez des vaches élevées à proximité d'une zone de pollution atmosphérique industrielle dans le district d'El-Qaliubiya, en Égypte ($16,4 \pm 8,4$ mg/L) (**Malhat *et al.*, 2012**), suivies d'échantillons de vaches élevées près d'une zone d'extraction de fer à l'ouest de Singhbhum, en Inde (11,4 mg/L) (**Giri et Singh, 2019**). Le niveau moyen de Fe dans les échantillons de lait cru de vache à travers le monde variait entre 1,03 mg/L et 16,4 mg/L. Les valeurs moyennes de Fe dans les échantillons de lait étaient généralement supérieures à la limite maximale fixée par la Fédération Internationale de Laiterie (FIL ou IDF : International Dairy Federation) (**1979**).

1.6. Cuivre

Le cuivre (Cu) est un élément essentiel à la croissance humaine normale mais sa consommation excessive entraîne des effets toxiques sur la santé humaine, principalement la maladie de Wilson qui se caractérise par une carence en céruloplasmine (**LAWAL *et al.*, 2006**). Ici, 13 études publiées depuis 2010 qui mesuraient la prévalence de la teneur en Cu dans le lait cru de vache dans 12 régions du monde ont été utilisées. Les niveaux de Cu ont été enregistrés en utilisant la technique AAS (07 études), la technique ICP-MS (03 études), la technique ICP-AES (03 études). Des niveaux de Cu dans des échantillons de lait de différents pays du monde depuis 2010 ont été signalés.

Le niveau moyen de Cu dans les échantillons de lait cru de vache à travers le monde variait entre 0,20 mg/L et 36 mg/L, ils sont supérieurs à la limite maximale (**0,01 mg/L**) (**IDF, 1979**).

Les niveaux de Cu les plus élevés ont été enregistrés en Inde chez des vaches élevées dans une zone dans une zone constituée de granites et de gneiss granitiques dans la province de Tirupati (**36 mg/L**) (**RAGHU, 2015**). Il convient de noter que les concentrations de Cu dans le lait cru de vache dans n'importe quelle région ne représentent pas la concentration de l'ensemble du pays. Les concentrations de Cu ont été influencées par des caractéristiques environnementales locales telles que la zone urbaine, la zone rurale et la zone industrielle.

De plus, une concentration élevée de Cu (0,5 mg/L) a été signalée dans l'est de Singhbhum dans le lait collecté auprès de vaches élevées à proximité de la zone minière de cuivre par rapport à celles élevées dans l'ouest de Singhbhum près de la zone minière de fer (0,31 mg/L) en Inde (**GIRI et SINGH, 2019**).

1.7. Aluminium

L'aluminium (Al) a historiquement été considéré comme relativement non toxique chez les individus en bonne santé, sans aucun effet nocif apparent. Cependant, il existe maintenant de nombreuses preuves que l'Al peut provoquer des effets néfastes sur le système nerveux et des apports élevés de celui-ci par le biais de sources telles que les analgésiques tamponnés. et les antiacides peuvent entraîner des changements pathologiques dans les systèmes nerveux central, squelettique et hématopoïétique (**AYAR *et al.*, 2009**).

Seules cinq études portant sur la teneur en Al dans des échantillons de lait cru de vache collectés dans cinq régions du monde ont été publiées de 2010 à ce jour. Deux menées en Inde et trois en Turquie. Deux techniques ont été utilisées pour mesurer l'Al dans des échantillons de lait cru de vache (ICP-AES et ICP-MS). Les niveaux d'Al dans les échantillons de lait cru de vache dans les deux pays variaient entre 0,26 mg/L et 22,5 mg/L.

Les échantillons de lait cru provenant de vaches élevées à proximité d'usines de production alimentaire dans le district de Gümüşçay présentaient des niveaux d'Al plus élevés (22,5 mg/L) par rapport à ceux obtenus dans des échantillons prélevés sur des vaches élevées à proximité d'usines de l'industrie lourde (19,53 mg/L) dans le district de Yeniçiftlik et ceux trouvés dans des échantillons prélevés sur des vaches élevées près des autoroutes (17,32 mg/L) dans le district de Şakirbey, en Turquie (**BIGUCU *et al.*, 2016**).

Conclusion

Le lait est une source alimentaire importante, il est riche en macro et micronutriments qui jouent un rôle important dans la préservation de la santé ; il a un impact positif sur les apports nutritionnels et énergétiques. Cependant, les métaux lourds peuvent contrebalancer ces avantages et affecter la santé humaine.

Cette revue systématique couvre 14 études qui ont évalué les niveaux de Pb, Cd, Hg, Ni, Fe, Cu et Al dans des échantillons de lait cru de vache collectés dans le monde entier.

Les niveaux moyens les plus élevés de Pb, Ni, Cu, Cd et Fe dans le lait cru de vache ont été signalés en Inde, tandis que les valeurs les plus élevées d'Al et de Hg ont été enregistrées en Turquie et au Pakistan respectivement.

Les concentrations de Fe et de Cu dans le lait cru de vache collecté dans le monde étaient supérieures à la limite maximale recommandée par **l'Office américain de l'alimentation et de la nutrition**. De même, selon nos données, la concentration globale de Pb et de Cd dans le lait de vache était généralement plus élevée dans les pays en développement et plus faible dans les pays développés, reflétant une réglementation moins stricte dans les pays en développement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) **Anastasio A., Caggiano R., Macchiato M., Paolo C., Ragosta M., Paino S., et al. 2006** - Heavy metal concentrations in dairy products from sheep milk collected in two regions of Southern Italy. *Acta Veterinaria Scandinavica*, **47**: 69–74.
- 2) **Arianejad M., Alizadeh M., Bahrami A. and Arefhoseini SR. 2015** - Levels of Some Heavy Metals in Raw Cow's Milk from Selected Milk Production Sites in Iran: Is There any Health Concern? *Health Promot Perspect*; **5(3)**: 176-182. doi: 10.15171/hpp.2015.021.
- 3) **Aslam, B., Javed, I., Khan, F.H., 2011.** *Uptake of heavymetal residues fromsewerage sludge in the milk of goat and cattle during summer season.* Pak. Vet. J. 31.
- 4) **Ayar A., Sert D. and Akin N. 2009** - The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia-Turkey. *Environ. Monit. Assess.* **152** : 1–12.
- 5) **Ayar, A., Sert, D., Akin, N., 2009.** *The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia—Turkey.* Environ. Monit. Assess. 152, 1–12.
- 6) **Bencharif N., 2012.** *Dynamique de la pollution par les métauxlourds dans l'éco-complexe de zones humides de la wilaya de Jijel. Cas du marais de Redjla, Taher.* Mém. Magister en Biologie, Univ. Jijel, 145 p.
- 7) **Bigucu, E., Kaptan, B., Palabiyik, İ., Öksüz, Ö., 2016.** The Effect of Environmental Factors on Heavy Metal and Mineral Compositions of Raw Milk and Water Samples.
- 8) **Bilandžić, N., Sedak, M., Čalopek, B., Luburić, Đ.B., Kolanović, B.S., Varenina, I., et al., 2016.** Lead concentrations in raw cow and goatmilk collected in rural areas of Croatia from 2010 to 2014. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 96, 645–649.
- 9) **Bouainah O., Bouanane R., Bouremouz Y., 2020.** *La consommation du lait et produits laitiers et les dangers sanitaires liés aux zoonoses.* Master en biologie. Univ. Mohammed Seddik Benyahia, Jijel, 63 p.
- 10) **Bouarissa R. et Herizi L., 2020.** *Généralités sur le lait de vache.* Mém. Master en biologie. Univ. Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, 25 p.
- 11) **Boufligha K., Kissoum N., et Menina A., 2013.** *Résistance bactérienne aux antibiotiques et aux métaux lourds.* Mém. (DES), Jijel. Jijel, 44 p.
- 12) **Bousbia, A., Boudalia, S., Gueroui, Y., Ghebache, R., Amrouchi, M., Belase, B., et al., 2019.** *Heavy metals concentrations in raw cow milk produced in the different livestock*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- farming types in Guelma province (Algeria): contamination and risk assessment of consumption. JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences 29.*
- 13) **Bouزيد A. et Labidi H., 2016.** *Caractérisation physico-chimique et organoleptique du lait des espèces laitières dans la région du Souf (wilaya d'El Oued).* Mém. Master en biologie. Univ. Echahid Hamma Lakhdar, El oued, 47 p.
- 14) **Capcarova, M., Binkowski, L.J., Stawarz, R., Schwarczova, L., Massanyi, P., 2019.** *Levels of essential and xenobiotic elements and their relationships in milk available on the Slovak market with the estimation of consumer exposure.* Biol. Trace Elem. Res. 188, 404–411.
- 15) **Dif B., 2019.** *Caractérisation physico-chimique de quelques types de L'ben (industriel et traditionnel) commercialisés dans la région de Djelfa.* Mém. Master en biologie. Univ. Ziane Achour, Djelfa, 28 p.
- 16) **Ec, 2006.** *Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.* Off. J. Eur. Union 364.
- 17) **Eid, A., Zawia, N., 2016.** *Consequences of lead exposure, and it's emerging role as an modifier in the aging brain.* NeuroToxicology 56, 254–261.
- 18) **Eid, R., Arab, N.T., Greenwood, M.T., 2017.** *Iron mediated toxicity and programmed cell death: a review and a re-examination of existing paradigms.* Biochim Biophys Acta Mol Cell Res (2), 399–430.
- 19) **Eshghi malayeri B., 1995.** *Décontamination des sols contenant des métaux lourds à l'aide de plantes et de microorganismes.* Thèse de Doctorat, Univ. Henri Poincaré, Nancy 1, 100 p.
- 20) **EU, 2015.** *Commission Regulation (EU) 2015/1006 of 25 June 2015 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of inorganic arsenic in foodstuffs.* Off. J. Eur. Union.
- 21) **Fao/who, 2010.** *JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES Seventy second Meeting. Report on Summary and Conclusions.*
- 22) **Flora, S.J., Agrawal, S., 2017.** *Arsenic, cadmium, and lead. Reproductive and Developmental Toxicology.* Elsevier, pp. 537–566.
- 23) **FNB, 2001.** *Dietary Reference Intakes (DRIs) Recommended Intakes for Individual Elements.* Food and Nutrition Board (FNB) Available from. https://ods.od.nih.gov/Health_Information/Dietary_Reference_Intakes.aspx.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 24) **Gherib A., 2012.** *Evaluation de la contamination des algues marines (U. lactuca et C. officinalis) par les métaux lourds (Cd, Cr, Mn, Pb, et Zn,) dans la région de Jijel.* Mém. Magister, Univ. Jijel, Jijel, 78 p.
- 25) **Gidlow, D. A. (2004).** Lead toxicity. *Occup. Med.* 54(2):76-81.
- 26) **Giri, S., Singh, A.K., 2019.** Human health risk assessment due to metals in cow's milk from
- 27) **González-Montaña, J.R., Senís, E., Gutiérrez, A., Prieto, F., 2012.** Cadmium and lead in bovine milk in the mining area of the Caudal River (Spain). *Environ. Monit. Assess.* 184, 4029–4034.
- 28) **Grelle C., 1998.** *Impact des métaux lourds sur les peuplements de macroinvertébrés de la faune du sol - Influence du cadmium et du plomb sur différents aspects de la physiologie de deux modèles biologiques : Lithobius forficatus (Myriapode Chilopode) et Eisenia fetida (Annélide Oligochète).* Thèse de doctorat, Univ. Lille I, Villeneuve-d'Ascq, 132 p.
- 29) **Idf, 1979.** Metal contamination in milk and milk products. *Int Dairy Fed Bull Document* no 105.
- 30) **Iftikhar, B., Arif, S., Siddiqui, S., Khattak, R., 2014.** Assessment of toxic metals in dairy milk and animal feed in Peshawar, Pakistan. *Biotechnology Journal International* 883–893.
- 31) **Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Farooq, A., Shahzad, M.A., Mujtaba, A., 2017.** Intake of heavy metals through milk and toxicity assessment. *Pakistan J. Zool* 49, 1413–1419.
- 32) **Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Goodwill, J.E., Sun, J., 2019.** Heavy metals in milk: global prevalence and health risk assessment. *Toxin Rev.* 38, 1–12.
- 33) **Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Ismail, T., Ahmad, Z., Hashmi, M.S., 2015.** Estimated daily intake and health risk of heavy metals by consumption of milk. *Food Additives & Contaminants: Part B* 8, 260–265.
- 34) **Jarno N., 2011.** *Caractérisation du protéome vacuolaire de la plante modèle Arabidopsis thaliana et étude de son rôle dans la détoxification du cadmium.* Thèse de doctorat. Univ. Grenoble, France, 331 p.
- 35) **Kabir, A., Khan, K., Khan, M.I.H., Jubair, T., Jhahan, E., 2017.** A study of heavy metal presence in cow milk of different dairy farms near Karnafuli paper mills, Chittagong, Bangladesh. *American Journal of Engineering Research (AJER)* 6.
- 36) **Kadri L. et Zehmi Z., 2018.** *Étude de la qualité commerciale du lait cru (bovin et caprin) vendu dans la ville de Djelfa.* Mém. Master en biologie. Univ. Ziane Achour, Djelfa, 23 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 37) **Kemih A., Kerrouche A., 2018.** *Evaluation de quelques propriétés probiotiques des bactéries lactiques tolérantes aux métaux lourds isolées de la microflore intestinale des nourrissons.* Mém. Master Académique en Biologie. Univ. Mohamed Seddik Benyahia, Jijel, 39 p.
- 38) **Lante, A., Lomolino, G., Cagnin, M., Spettoli, P., 2006.** Content and characterisation of minerals in milk and in Crescenza and Squacquerone Italian fresh cheeses by ICP-OES. *Food Control* 17, 229–233.
- 39) **Lawal, A., Mohammed, S., Damisa, D., 2006.** Assessment of levels of copper, cadmium and lead in secretion of mammary gland of cows grazed on open fields. *Science World Journal* 1.
- 40) **Malhat, F., Hagag, M., Saber, A., Fayz, A.E., 2012.** *Contamination of cows milk by heavy*
- 41) **Meshref A.M., Moselhy W.A. and Hassan, N.E.-H.Y. 2014** - Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8: 381–388.
- 42) **Meshref, A.M., Moselhy, W.A., Hassan, N.E.-H.Y., 2014.** Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products. *Journal of Food Measurement and Characterization* 8, 381–388. *metal in Egypt.* *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 88, 611–613.
- 43) **Michel J., 2009.** *Transport d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de métaux dans les sols non saturés.* Thèse de Doctorat, Univ. Lorraine, France, 233 p.
- 44) **Mombo S., 2016.** *Transferts des métaux et métalloïdes dans le système sol- atmosphère : mécanismes biogéochimiques et conséquences environnement-santé.* Thèse de doctorat, Inst. nati. poly., Univ. Toulouse, France, 261 p.
- 45) **perez-carrera A. L., Arellano F. E. and Fernandez-cirelli A. 2016** - The concentration of trace elements in raw milk from cows in the southeast of Cordoba province, Argentina. *Dairy Science and Technology*, 96: 591-602. <https://doi:10.1007/s13594-016-0290-5>
- 46) **Puliyel, M., Mainous 3rd, A.G., Berdoukas, V., Coates, T.D., 2015.** Iron toxicity and its possible association with treatment of Cancer: lessons from hemoglobinopathies and rare, transfusion-dependent anemias. *Free Radic. Biol. Med.* 79, 343–351.
- 47) **Raghu, V., 2015.** *Study of dung, urine, and milk of selected grazing animals as bioindicators in environmental geoscience—a case study from Mangampeta barite mining area, Kadapa District, Andhra Pradesh, India.* *Environ. Monit. Assess.* 187, 4080.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 48) **Rahman SH, Khanam D, Adyel TM, Islam MS, Ahsan MA, et Akbor MA (2012).** Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices. *Appl. Sci.* 2(3):584-601.
- 49) **Raikwar, M.K., Kumar, P., Singh, M., Singh, A., 2008.** *Toxic effect of heavy metals in livestock health.* *Veterinary World* 1, 28. Singhbhum copper and iron mining areas, India. *J. Food Sci. Technol.* 1–6.
- 50) **Sobanska S., 1999.** *Etude de la spéciation du plomb et du zinc dans des poussières industrielles et dans un sol contaminé Approche par méthodes spectroscopiques.* Thèse de doctorat, Univ. Lille I, Villeneuve-d'Ascq, 138 p.
- 51) **Wang B et Du Y (2013).** Cadmium and its neurotoxic effects. *Oxidative medicine and cellular longevity.* 2013:898034. Available at: <file:///C:/Users/user/Downloads/898034.pdf>
- 52) **Who, 2005.** Enhancing Participation in Codex Activities: An FAO/WHO Training Package.