

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 محمد الصديق بن يحيى-جيجل

Université de Mohammed Seddik Ben Yahia Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

Département de Biologie Moléculaire et
Cellulaire.



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم البيولوجيا الجزيئية والخلوية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Biologie

Option : Toxicologie Fondamentale et Appliquée.

Thème

*Evaluation du risque sanitaire suite à la consommation
du lait de chèvre susceptible d'être contaminé par les
métaux lourds*

Membres de Jury :

Président : Dr Krika A

Examinatrice : Dr Amira W

Encadreur: Dr Balli N

Présenté par :

Bouckhou Naila

Belkoucem Sakina Ikram

Numéro d'ordre : /....

Session: Septembre 2021

Remerciements

Tous nos remerciements vont en premier lieu à Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a données pour terminer ce mémoire de fin d'étude.

*On exprime toute notre reconnaissance et notre profonde gratitude à notre encadreur, **Mme Balli Nassima** pour le temps qu'elle nous a consacré, son aide constante et ses conseils avisés.*

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent tout particulièrement à **Mr Krika**, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire, veuillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Nos gratitudes vont aussi à notre examinatrice **Mme Amira**, nous sommes honorées de vous compter parmi les membres de notre jury. Merci d'avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Nos remerciements les plus vifs vont aussi à l'équipe de laboratoire d'éco - toxicologie de l'université Mohammed Seddik Benyahia –Jijel- pour leur aide, soutien, disponibilité et surtout leur bonne humeur durant la réalisation de ce travail surtout **Aicha** et **Majda**.*

*On tient à remercier aussi La direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information de la wilaya de Jijel pour leur grand accueil et aide surtout le chef de service des études statistiques **Mr Serhane** et la direction de Programmation et de Suivi de Budget de la wilaya de Jijel.*

*On réserve une mention particulière à toutes les personnes qui nous ont apportés leur soutien et leur aide et tout particulièrement nos **familles**.*

Sakina Ikram et Naila

Dédicace

*Je dédie ce travail de recherche marquant une période importante de ma vie
A ma défunte grand-mère Zohra, ma bougie et ma fleur perdue récemment. Tu
me manque ...*

*A la mémoire de mon grand-père Mohamed, mon oncle Djamel et ma grand-
mère Fadia. Paix à leurs âmes.*

*Ma plus grande et plus profonde gratitude va à ma source de vie, de bonheur,
d'amour et d'affection : mes parents Djamel et Nadira, ce travail est pour vous.
Merci pour vos encouragements, votre patience et surtout votre confiance. Que
dieu vous garde pour nous.*

*A Ma chère sœur Nada pour son soutien et ses encouragements, A sa fille Lina
notre source de bonheur et joie et à son mari Housseem .*

A Mon cher frère Naim, mon héros.

A Tous les membres de ma grande famille Bouchèkhrou et Bouchair.

A Sakina, ma chère amie avant d'être ma binôme.

A Mes meilleures amies Ines, Sarah, Nadia , Ilhem et Wissem .

A tous mes collègues de ma promotion de toxicologie.

Naila

Dédicace

Du fond de mon cœur je dédie ce modeste travail :

*A mon très chère "Papa " **Belkouicem Abderrahim** le pilier de la famille la personne la plus digne de mon estime et de mon respect, qui a toujours veillé sur moi, qui éclaire mon chemin, qui m'a toujours encouragé dans mes études et m'illumine de douceur et d'amour à qui je souhaite une très longue vie pleine de bonheur et de bonne santé que dieu te garde pour nous.*

*A ma très chère "maman" **Fradj Louiza** en signe d'amour, de reconnaissance, de tendresse et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont elle a fait preuve à mon égard et qui n'a pas cessé de m'encourager, me motiver et de prier pour moi, celle à qui je souhaite une longue vie à nos côtés pleins de bonheur et de bonne santé que dieu te garde pour nous, la prunelle de mes yeux.*

*A mes très chers grands frères **Mehdi** et **Abdennacer** avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

*A mon amie et ma binôme **Naila** avec qui j'ai réalisé ce travail pour sa sympathie, sa patience et sa persévérance.*

*Une pensée particulière à ma défunte tante maternelle **Fradj Wahiba** décédée récemment, emporté par le maudit virus covid-19 que dieu lui accorde sa miséricorde et à toute personne qui a perdu un proche et ayant subi le même sort.*

A toutes mes copines et mes cousines elles se reconnaîtront une par une.

A tous mes collègues et ma promotion de toxicologie fondamentale et appliquée 2020-2021.

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment et à toute la famille Belkouicem et Fradj.

Sakina Ikram

Liste D'abréviations

Abréviations	Nomenclature
ADN	Acide Désoxy ribo Nucléique
ANOVA	Analyse unidirectionnelle de variance
APC	Assemblée Populaire Communale
As	Arsenic
AT	Temps moyen pour les cancérogènes
BW/PC	Poids corporel
Cd	Le cadmium
CR	Risque Cancérogène
CSF0	Cancer Slope Factor /facteur de pente cancérigène
Cu	Cuivre
DHT	Dose Hebdomadaire Tolérable
DJA	Dose Journalière Admissible
DJA	Dose Journalière Acceptable
DJT	Dose Journalière Tolérable
DPAT	Direction de Programmation et de Suivi de Budget
DSASI	Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information
EDI/DJE	Estimated Daily Intake /Dose Journalière Estimée
ED	Durée d'Exposition
EF	Fréquence d'Exposition
ETM	Les Eléments Traces Métalliques
ERU	Excès de Risque Unitaire
FAO	L'organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
HI	Indice de danger/ Hazard Index
ICA	Alliance coopérative internationale
Kg	Kilogramme
LOAEL	Dose minimale entraînant un effet néfaste
Mg	Milligramme
NOAEL	Dose maximale n'entraînant pas d'effet néfaste
OMS	L'Organisation Mondiale de la Santé
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
Pb	Plomb
RFD	La dose orale de référence
SAAF	Spectrophotomètre d'Absorption Atomique avec Flamme
SNC	Système Nerveux Centrale
SOD	Super Oxydase Dismutase
THQ	Quotient de danger/ Target hazard quotient
UF	Facteur d'incertitude
US EPA	Agence de protection de l'environnement des États-Unis
VTR	Valeur Toxicologique de Référence
Zn	Zinc

Liste des Figures

Figure N	Titre	Page
01	Classification périodique des éléments traces métallique	10
02	Routes permettant le transport des éléments traces métalliques dans l'environnement	11
03	Résume les principales voies d'exposition des ruminants aux ETM	20
04	Les sources de contamination par les métaux lourds et leur transfert dans la chaîne alimentaire	21
05	Quatre piliers de l'évaluation des risques pour la santé humaine	25
06	Dérivation de la VTR pour les effets à seuil	27
07	Relation dose-réponse et définition de la NOAEL et de la LOAEL. Schéma issu du Guide d'élaboration des VTR	28
08	Limites administratives de la wilaya de Jijel en Algérie	34
09	Les établissements de la zone industrielle de Bellara (Source : Direction des Mines et Industrie de Jijel)	36
10	Démarche générale adoptée pour la préparation des extraits des métaux lourds	42
11	Variation des teneurs en Plomb dans le lait de chèvre	47
12	Variation des teneurs en Cadmium dans le lait de chèvre	48
13	Variation des teneurs en Cuivre dans le lait de chèvre	49
14	Variation des teneurs en Zinc dans le lait de chèvre	50
15	Présentation graphique des résultats de l'EDI plomb	57
16	Présentation graphique des résultats de l'EDI Cadmium	58
17	Présentation graphique des résultats de l'EDI Cuivre	59
18	Présentation graphique des résultats de l'EDI Zinc	60
19	Présentation graphique des résultats du THQ plomb	61
20	Présentation graphique des résultats du THQ Cadmium	62
21	Présentation graphique des résultats du THQ Cuivre.	63
22	Présentation graphique des résultats du THQ zinc	64
23	Présentation graphique des résultats de l'indice de danger	66
24	Présentation graphique des résultats du risque cancérigène de plomb	67
25	Présentation graphique des résultats du risque cancérigène de Cadmium	68
26	Présentation graphique des résultats de risque cumulatif de cancer	69

Liste des tableaux

Tableau N		Page
01	Composition en lipides de laits de chèvre	05
02	Composition du lait de différentes espèces	06
03	Teneurs en minéraux et en oligo-éléments de lait de chèvre en (mg/litre)	06
04	Caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre	07
05	Populations ciblées dans la région d'El-Milia	35
06	Populations ciblées dans la région de Texenna	37
07	Populations ciblées dans la région de Djimla	38
08	Protocoles d'extraction des métaux lourds	40
09	Valeurs (moyennes \pm SEM) des différentes concentrations des métaux lourds dans le lait de chèvre de 3 régions	46
11	Résultats du questionnaire alimentaire sur la consommation de lait	56
12	Les doses journalières estimés de plomb	57
13	Les doses journalières estimés de Cadmium	58
14	Les doses journalières estimés de cuivre	59
15	Les doses journalières estimés de Zinc	60
16	Le quotient de danger de plomb	61
17	Le quotient de danger de Cadmium	62
18	Le quotient de danger de cuivre	63
19	Le quotient de danger de Zinc	64
20	Résultats de l'indice de danger des métaux	65
21	Résultat du risque cancérigène du plomb	67
22	Résultat du risque cancérigène du cadmium	68
23	Résultat du risque cumulatif de cancer	69

Sommaire

Liste des abréviations.....	I
Liste des Figures.....	II
Liste des Tableaux.....	III
Introduction.....	01
Chapitre I : Contamination de lait de chèvre par les métaux lourds	
1.1. Importance du lait de chèvre en Algérie.....	04
1.1.1. Définition du lait.....	04
1.1.2. Lait de chèvre : Définition et spécificités.....	05
1.1.3. Propriétés physicochimiques et microbiologiques.....	05
1.1.3.1. Propriétés physico-chimiques.....	05
1.1.3.2. Propriétés Microbiologiques.....	07
a. Microflore indigène ou originelle.....	08
b. Microflore contaminant.....	08
1.1.4. Qualité médicinale et thérapeutique du lait de chèvre.....	08
1.2. Contamination environnementale du lait de chèvre par les métaux Lourds.....	09
1.2.1. Métaux lourds.....	10
1.2.1.1. Définition.....	10
1.2.1.2. Classification et utilisations.....	11
1.2.1.3. Sources.....	12
1.2.1.4. Effet des métaux lourds.....	13
a. Sur l'environnement.....	13
b. Sur l'homme.....	13
1.2.2. Métaux lourds ciblés par l'étude.....	13
1.2.2.1. Cadmium.....	13
1.2.2.2. Plomb.....	15
1.2.2.3. Zinc.....	16
1.2.2.4. Cuivre.....	18
1.2.3. Sources de contamination du lait de chèvre par les métaux.....	19
1.2.4. Particulatité de la contamination métallique.....	20
Chapitre II : Evaluation de risque sanitaire	
II.1. Métaux lourds dans le lait : source non négligeable d'apport exogène d'origine alimentaire.....	23
II.2. Définition et Concept	24

II.2.1. Le risque alimentaire.....	24
II.2.2. Notion de danger et risque alimentaires.....	24
II. 3. Démarche d'évaluation scientifique du risque alimentaire.....	25
II.3.1. Identification des dangers.....	26
II.3.2. Evaluation du rapport dose-réponse (ou caractérisation du danger).....	26
II.3.2.1. Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)	26
II. 3.3. Evaluation de l'exposition au risque alimentaire.....	28
II.3.4. Caractérisation des risques	29
II.4. L'exposition humaine via l'ingestion des métaux dans le lait constitue-t-elle un véritable danger chez le consommateur ?.....	29
II.4.1. Estimated Daily Intake (EDI) (Dose journalière estimée).....	29
II.4.2. Target hazard quotient (THQ) (Quotient de danger)	30
II.4.3. Hazard Index (HI) (Indice de danger)	31
II.4.4. Risque de cancer (RC) pour les adultes et les enfants.....	31

Chapitre III : matériels et méthodes

III.1. Type et objectifs d'étude	33
III.2. Identification de danger dans la région d'étude.....	33
III.2.1. Localisation des sites et description de leur environnement	33
III.2.1.1. Situation générale la wilaya de Jijel.....	33
III.2.2. Zones ciblées par l'étude	34
III.2.2.1. El-Milia.....	35
a.Description du site	35
b.Démographie et populations sensibles.....	35
c.Environnement naturel, pratiques agricoles et élevages.....	35
d.Emissions du site	36
III.2.2.2. Texenna.....	37
a. Description du site.....	37
b. Démographie et populations sensibles.....	37
c. Environnement naturel, pratiques agricoles et élevages.....	37
d. Emissions du site.....	38
III.2.2.3. Djimla	38
a.Description du site.....	38
b.Démographie et populations sensibles.....	38

c. Environnement naturel, pratiques agricoles et élevages.....	38
d. Emissions du site.....	39
III.3. Évaluation de l'exposition : dosage des métaux lourds dans le lait de chèvres....	39
III.3.1. Démarche expérimentale.....	39
III.3.1.1. Conditionnement du matériel et flaconnage.....	39
III.3.2. Prélèvement.....	40
III.3.3. Méthodes d'extraction des métaux lourds.....	40
III. 4Analyse par la SAA	42
III.4.1. Principe.....	42
IV. Caractérisation des risques sanitaires liés à la consommation du lait de chèvre.....	42
IV.1. Estimated daily intake (EDI) ou (Dose journalière estimée).....	43
IV.2. Target hazard quotient (THQ) ou Quotient de danger	43
IV.3. Hazard Index (HI) (Indice de danger).....	44
IV.4. Risque de cancer (RC)	44
IV.5. Risque cumulatif de cancer	44
V. analyse statistiques des données.....	44

Chapitre VI : Résultats et discussion

IV.1. Résultats	46
IV.1.1. Résultats de l'évaluation de l'exposition : dosage des métaux lourds par la SAA.....	46
IV.1.1.1. Plomb.....	47
IV.1.1.2. Cadmium.....	48
IV.1.1.3. Cuivre.....	49
IV.1.1.4. Zinc.....	50
IV.1.2. Résultats de l'analyse de corrélation	51
IV.2. Discussion	51
IV.2.1. Plomb.....	51
IV.2.2. Cadmium	53
IV.2.3. Cuivre	54
IV.2.4. Zinc	55
IV. 3. Résultats de la caractérisation des risques sanitaires liés à la consommation du lait de chèvre.....	56
IV.3.1. Résultat du questionnaire.....	56

IV.3.2. Dose Journalière Estimée (EDI).....	56
IV.3.2.1. Plomb	56
IV.3.2.2. Cadmium	57
IV.3.2.3. Cuivre	59
IV.3.2.4. Zinc	60
IV. 3.3. Quotient de danger (THQ).....	61
IV.3.3.1. Plomb	61
IV.3.3.2. Cadmium	62
IV.3.3. 3. Cuivre	62
IV.3.3. 4. Zinc	64
IV.3.4. Indice de Danger (HI)	65
IV.3.5. Risque de Cancer (RC)	66
IV.3.5.1. Plomb	66
IV.3.5.2. Cadmium	67
IV.3.6. Le Risque Cumulatif de Cancer.....	69
IV. 4. Discussion	70
IV.4.1. Dose Journalière Estimée (EDI)	70
IV.4.2. THQ et HI	72
IV.4.3. Risque cancérigène (RC) et le risque cancérigène cumulatif.....	75
Conclusion.....	78
Références	80
Annexe.....	i

Introduction

Le lait et les produits laitiers sont des composants importants de l'alimentation humaine. Le lait a été décrit comme un aliment complet car il contient des nutriments vitaux, notamment des protéines, des acides gras essentiels, du lactose, des vitamines et des minéraux avec des proportions équilibrées (**Licata et al., 2004**).

Pour cela, le lait et ses produits sont les principaux constituants de l'alimentation quotidienne, en particulier pour les groupes vulnérables comme les nourrissons et les enfants (**Somag et al., 2011**).

Parmi tous les laits, le lait de chèvre a une valeur biologique et des qualités nutritionnelles élevées en raison de sa grande digestibilité et de ses caractéristiques alimentaires avec des globules gras de plus petit diamètre. Il présente une composition chimique composée de protéines de haute valeur biologique et d'acides gras essentiels, en plus de sa teneur en minéraux et vitamines (**Haenlein, 2004 ; Park et al., 2007 ; Nascimento et al., 2017**) et aussi certaines valeurs thérapeutiques en médecine et en nutrition humaine (**Blanchet et al., 2012**).

Cependant, ce lait peut contenir de nombreuses substances xénobiotiques telles que les pesticides, les désinfectants, les médicaments, les métaux lourds et divers autres contaminants, qui constituent un facteur de risque technologique pour les produits laitiers et la santé des consommateurs (**Sayed et Ebrahim, 2012**).

En effet, **Malhat et al., 2012** ont montré que la contamination du lait est considérée comme l'un des principaux aspects dangereux ces dernières années. La contamination du lait par les métaux lourds constitue l'un de ces aspects.

Il a été démontré que les produits laitiers sont capables d'accumuler des métaux lourds provenant de l'alimentation et l'environnement environnant, ce qui peut présenter une potentielle menace pour la santé des humains (**Somag et al., 2011**).

Par conséquent, l'exposition aux métaux lourds via le lait pose une sérieuse menace pour la santé humaine, et elle diffère des autres types de polluants par leur longue durée d'exposition, leur inaptitude à la décomposition, par leur non-biodégradabilité, ainsi que pour leurs hauts niveaux d'accumulation le long de la chaîne alimentaire (**Maas et al., 2011 ; Nkwunonwo et al., 2020**). De ce fait, ceux-ci peuvent causer de graves problèmes de santé, car ils sont cancérigènes, mutagènes, cytotoxiques et neurotoxiques (**Al-Othman et al., 2012**).

Après l'ingestion, les métaux lourds s'accumulent dans les tissus des animaux laitiers et finissent par être excrétés dans le lait en raison de leur nature non biodégradable et persistante **(Aslam et al., 2011 ; Burger et Elbin, 2015)**.

Généralement, la présence de métaux lourds dans le lait a une origine anthropique, due aux évolutions technologiques et diverses activités industrielles qui ont causé une augmentation significative de la pollution de l'environnement **(Licata et al.,2004 ; Castro – González et al.,2019)**.

Toutefois, les métaux lourds peuvent également entrer dans le lait par l'alimentation des animaux contaminée par les voies d'irrigation avec des eaux de canaux ou d'égouts pollués, l'application de pesticides et de fongicides, et la présence d'industries à proximité des zones d'alimentation animale **(Caiet al.,2009 ; Iftikhar et al.,2014)**. La contamination de l'eau de canalisation par les métaux lourds, du sol et des cultures a été rapporté par un certain nombre de chercheurs **(Aftab et al., 2011, Ismail et al., 2014)**.

Du point de vue nutritionnel, les teneurs en métaux du lait et des produits laitiers peuvent être regroupées en plusieurs éléments comme le fer (Fe), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) sont essentiels pour le corps humain et jouent un rôle crucial dans le métabolisme ; elles sont considérées comme des cofacteurs dans de nombreuses enzymes et assurent une variété de fonctions biochimiques dans l'organisme vivant.

Néanmoins, leur présence dans le corps animal et humain à des valeurs supérieures aux recommandations sanitaires peut devenir toxique pour la santé humaine **(Licata et al., 2012 ; Gall et al., 2015 ; Varol et Sünbül, 2020)**.

Autres métaux lourds tels que le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le mercure (Hg) sont des éléments non essentiels et n'ont aucun rôle biologique et peuvent provoquer des effets toxiques même à de très faibles concentrations **(Varol et Sünbül, 2020)**.

Il a été constaté que la zone contaminée par les métaux lourds était la plus sensible à la contamination du lait, car les métaux lourds passaient par la chaîne alimentaire animale. Ainsi, la consommation de ce lait contaminé va augmenter la bioamplification de ces contaminants dans le corps humain et affectent gravement leur santé **(Lozano et Trujillo,2012 ; Deti et al.,2014 ; Giri et al.,2021)**

Le risque pour la santé après avoir consommé du lait et des produits laitiers contaminés a été estimé à l'aide de plusieurs indices toxicologiques, il s'agit du Quotient de Risque (ou THQ

pour **Target Hazard quotient**), de l'Indice de Danger (ou HI pour **Hazard Index**) et du risque cancérigène (RC) et risque total ou cumulé dans différentes études (**Singh et al., 2010; Islam et al., 2015**) .

Dans le cadre de cette problématique s'inscrit les deux grands objectifs de la présente étude. Le premier vise, à déterminer les concentrations en quatre métaux lourds ; le Pb, le Cd, le Cu et le Zn dans des échantillons du lait des chèvres soumises à un pâturage naturel dans trois régions rurales de la wilaya de Jijel (Texenna, El-Milia et Djmila) à partir des analyses sur le lait de chèvre par la SAA.

Le second objectif vise à évaluer le risque sanitaire, cancérigène et non cancérigène, lié à la consommation de ce lait par le calcul de la dose journalière estimée (ou l'EDI pour Estimated daily intake) pour chaque métal, le Quotient de Danger (ou THQ pour Target hazard quotient), l'indice de danger (HI pour Hazard Index) et le risque cancérigène (RC) pour deux métaux, le cadmium et le plomb, ainsi que leur risque cumulatif.

La présentation de ce travail s'articule autour de :

- Une synthèse bibliographique. Elle est divisée en deux chapitres : le premier est consacré à la présentation des généralités sur les métaux lourds et le lait de chèvre, le second parlera de l'évaluation du risque sanitaire lié à la consommation de lait chèvre contaminé
- Une étude expérimentale qui expose le matériel, les méthodes d'une part et les résultats et leurs discussions d'autres parts.
- Le travail est achevé par une conclusion générale.

Chapitre I

*Contamination de lait de chèvre
par les métaux lourds*

I. Contamination de lait de chèvre par les métaux lourds

1.1. Importance du lait de chèvre en Algérie

Parmi tous les aliments et sur la base de son contenu nutritionnel, le lait de chèvre est considéré comme l'un des plus complets et des mieux équilibrés (**Wehrmuller et Ryffel, 2007**).

En effet, au cours des dernières décennies, le lait de chèvre a assumé un rôle de plus en plus important dans l'alimentation humaine, non seulement pour les nourrissons mais aussi pour les adultes (**Ceballos et al., 2009**).

En Algérie, le lait de chèvre, dont la production commence à se développer ces dernières années, présente un bon nombre d'avantages lui permettant même de substituer le lait de vache (**Boumendjel et al., 2017**).

Les petites exploitations caprines, particulièrement dans les zones montagneuses, à l'instar des pays de l'Afrique du Nord et du Sahel, sont d'une importance vitale pour les populations locales car elles représentent une source de revenus non négligeable (**Amroun et Zerrouki, 2014**).

Les petits ruminants contribuent substantiellement à la sécurité alimentaire, à l'économie des ménages montagnards, à leur maintien en territoires pauvres et peu accessibles, et rendent nécessaire une présence humaine dans des régions exposées à l'exode rural (**Alary et al., 2011 ; Bengoumi et al., 2013 ; Madani et al., 2015**).

Toutefois, il est connu depuis fort longtemps que le lait de chèvre en Algérie est principalement autoconsommé par les éleveurs et que sa valorisation industrielle reste souvent très restreinte, voire inexistante (**Boumendjel et al., 2017**).

1.1.1. Définition du lait

Le lait a été défini en 1908, au cours du Congrès International de la Répression des Fraudes à Genève comme étant :

« Le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum » (**Alais, 1975**).

Le lait est un liquide blanc, deux fois plus visqueux que l'eau, opaque, de saveur légèrement sucrée et d'odeur peu accentuée, secrété par les glandes mammaires des femelles de mammifères, constituant un aliment complet et équilibré.

Le lait cru est un lait qui n'a subi aucun traitement de conservation sauf la réfrigération à la ferme (**Aboutayeb, 2009 ; Debry, 2001**).

En Algérie et selon le journal officiel, le nom « LAIT » est réservée exclusivement au produit de la sécrétion mammaire normale, obtenue par une ou plusieurs traites sans aucune addition ou soustraction et n'ayant pas été soumis à un traitement thermique (Arrêté de 18/08/1993, décret du 27/10/1993) (**J O R A, 1993**).

1.1.2. Lait de chèvre : Définition et spécificités

Le lait de chèvre se présente comme un liquide opaque de couleur blanchâtre mate, dû à l'absence de β -carotène (**Alais, 1984**), avec un léger goût de chèvre dû à la présence d'acide gras caprique, caprylique et caproïque (**Jaubert, 1997**), raison pour laquelle il est souvent jugé trop fort par certains consommateurs (**Boumendjel et al., 2017**).

De plus, il est pauvre en carotène et donc, peu coloré par rapport aux autres laits, mais il est plus riche en acides gras à 10 atomes de carbone et présente un pourcentage plus élevé de petits globules gras, il ne contient pas d'agglutinines et présente une activité lipasique plus faible (**Chilliard, 1996**).

Le tableau ci-dessous récapitule la composition lipidique spécifique au lait de chèvre.

Tableau 01 : Composition en lipides de laits de chèvre, (**Chilliard, 1996**).

Composition %	Triglycérides	Glycérides partielles	Cholestérol	phospholipides	Acides gras libres
	95	03	0,4	01	0,6

1.1.3. Propriétés physicochimiques et microbiologiques

1.1.3.1. Propriétés physico-chimiques

Le lait de chèvre frais possède une acidité environ de 15°D, et un pH de 6,6 (**Corcy, 1991**).

Le lait de chèvre, comme tous les laits, est un mélange équilibré de macronutriments (lipides, protéines, glucides) et micronutriments (vitamines, enzymes, et minéraux), et est donc un aspect exceptionnel d'une alimentation humaine (**Levkov et al., 2017; Ozturan et Atasever, 2018**).

Il renferme les différents composants : eau, protéines, lactose, matières grasses, sels minéraux, oligo-éléments et vitamines en quantités plus ou moins différentes de celles du lait de vache comme illustre les **Tableau 02 et 03** respectivement.

Tableau 02 : Composition du lait de différentes espèces selon **Amiot et al., (2002)**

Nutriment	Vache	Humain	Chèvre	Brebis
Eau (g/100g)	87,27	87,58	86,68	80,71
Protéines (g /100g)	3,3	1	3,6	6
Caséines	2,7	0,6	2,87	4,17
Lactosérum	0,6	0,4	0,73	1,83
Matière grasse	3,3	4,4	4,1	7
Lactose	4,7	6,9	4,4	5,4
Minéraux	0,7	0,2	0,8	1
Calcium (mg/100g)	119	32	134	193
Phosphore	93	14	111	158
Magnésium	13	3	14	18
Potassium	152	51	204	136
Vitamines				
Riboflavine	0,16	0,04	0,14	0,35
Vit. B12 (µg/100g)	0,36	0,04	0,06	0,71

Tableau 03 : Teneurs en minéraux et en oligo-éléments de lait de chèvre en (mg/litre)
(Favier et al., 1995 ; St-Gelais et al., 1999)

Le lait de chèvre	Concentration en %
- Minéraux :	
• Sodium	0,37
• potassium	1,55
• Calcium	1,35
• Magnésium	0,14
• Phosphore	0,92
• Chlore	2,20

- Oligoélément :	
• Fer	0,55
• Cuivre	0,40
• Zinc	3,20
• Manganèse	0,06

Alors que les principales propriétés physico-chimiques (**tableau 04**) utilisées dans l'industrie laitière sont la masse volumique et la densité, le point de congélation, le point d'ébullition et l'acidité.

Tableau 04 : Caractéristiques physico-chimiques du lait de chèvre (**Ait amer meziane,2008**).

Composition	Lait de chèvre
Energie	600 - 750
Densité du lait entier à 20 c°	1,027 – 1,035
Point de congélation (c°)	-0,550 – 0,583
PH -20 c°	6,45 – 6,60
Acidité titrable (° dornic)	14 - 18
Tension on superficielle du lait entier à 15°c (dynes cm)	52
Conductivité électrique à 25°c (siement)	43 - 56x10P-4
Indice de réfraction	1,35 – 1,46
Viscosité du lait entier à 20° c (centipoise)	1,8 – 1,9

1.1.3.2. Propriétés Microbiologiques

La teneur élevée du lait en nutriments et en eau fait de lui un biotope favorable au développement des micro-organismes dont certains peuvent être nuisibles à la santé du consommateur, et à la conservation ainsi à la fabrication de produits laitiers (**Bosset et al.,2000**).

Les microorganismes du lait de chèvre sont repartis en deux microflores :

a. Microflore indigène ou originelle

Ces microorganismes dépendent de l'alimentation, de la race et d'autres facteurs, les genres dominant en sont principalement *Micrococcus sp.*, *Lactobacillus*, *Lactococcus* et les bactéries a Gram négatif (Lamontagne et al., 2002).

b. Microflore contaminante

C'est l'ensemble de microorganismes ajoutés au lait de la récolte jusqu'à la consommation (Lamontagne et al., 2002), elle peut se composer d'une flore d'altération et/ou d'une flore pathogène capable de provoquer des malaises chez les personnes qui consomment des produits laitiers (Guiraud ,1998)

- **Flore d'altération** : qui est responsable de diverses dégradations du produit. Les principaux micro-organismes d'altérations sont : *Pseudomonas sp*, *Proteus sp*, les coliformes principalement *E. coli*, les sporulés tel que *Bacillus sp*, *Clostridium* et certaines levures et moisissures (Lamontagne et al., 2002).
- **Flore pathogène** : sa présence dans le lait est due à l'animal, à l'environnement ou à l'Homme (Guiraud ,1998) elle est responsable des infections chez les manipulateurs et les consommateurs, on distingue : les bactéries infectieuses et les bactéries toxigènes (Lamontagne et al., 2002).

1.1.4. Qualité médicinale et thérapeutique du lait de chèvre

- Les enfants ayant des problèmes de digestion du lait de vache peuvent avoir une alternative viable au lait de chèvre cru qui est la deuxième meilleure option alimentaire. En fait, le lait de chèvre est très similaire au lait humain, les enfants qui boivent du lait de chèvre ont tendance à rester plus satisfaits entre les repas et la nuit. (Alférez et al., 2001).
- Le lait de chèvre est plus digestible car les molécules de graisse sont plus petites que celles du lait de vache, ce qui le rend plus facile à tolérer par les personnes ayant un système digestif faible (Getaneh et al., 2016).
- Les symptômes tels que les troubles gastro-intestinaux, les vomissements, les coliques, la diarrhée, la constipation et les problèmes respiratoires peuvent être éliminés lorsque du lait de chèvre est administré aux nourrissons. La consommation régulière de lait de chèvre améliore considérablement le gain de poids corporel, améliore la minéralisation du squelette, augmente les niveaux de vitamines, de minéraux et d'hémoglobine dans le sérum sanguin (Morgan et al.,2012).

- Il est très important de noter que le lait cru de chèvre est riche en sélénium, un nutriment essentiel pour l'organisme connu pour renforcer l'immunité et ses propriétés anti oxydantes (**Getaneh et al., 2016**).
- Les minéraux dans le lait de chèvre sont plus faciles à absorber par l'organisme, dont notamment le calcium, ce qui provoque par conséquence, une grande capacité de former des os et donc une meilleure prévention de l'ostéoporose. Aussi en ce qui concerne les autres minéraux (magnésium, fer, cuivre, zinc et sélénium), une meilleure absorption a scientifiquement été prouvée lors de l'utilisation de lait de chèvre. De ce fait, le lait de chèvre peut aussi être un important moyen pour aider à la prévention d'anémie (**Boxstael, 2007**).
- Prévention des maladies cardio-vasculaires : le lait de chèvre est un aliment sain pour les personnes présentant une maladie cardiovasculaire, grâce à ses différents effets bénéfiques sur la santé :

Diminution de la teneur en cholestérol dans le sang, Stimulation du système antioxydant dans le corps, Prévention de l'excès de poids, Prévention du diabète du type II (dû au vieillissement), Diminution de la formation de caillots sanguins (**Boxstael, 2003**).

- De plus, le lait de chèvre contient moins de l'enzyme xanthine oxydase. Lorsqu'elle pénètre dans la circulation sanguine, cette enzyme peut provoquer des cicatrices tissulaires sur le cœur, ce qui fait que le foie fournit plus de cholestérol afin de protéger le cœur. L'artériosclérose peut être le résultat de ce mécanisme, et l'homogénéisation des produits laitiers a été liée aux maladies cardiaques (**Park, 2006**).

1.2. Contamination environnementale du lait de chèvre par les métaux lourds

Le lait et les produits laitiers sont des éléments importants de la nourriture humaine. La présence de métaux toxiques dans la chaîne alimentaire est le résultat de la pollution de l'environnement et leurs concentrations doivent être contrôlées constamment (**Palvonic et al., 2004**).

1.2.1. Métaux lourds

L'activité industrielle métallique consiste à une source importante de contamination de l'environnement par les métaux lourds, dans l'absence de dispositifs d'épuration convenables (Ramade, 1992).

1.2.1.1. Définition

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) désigne sous le nom de métaux lourds l'ensemble des métaux présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement (OMS, 1997).

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents « en traces ». Ils sont aussi « la trace » du passé géologique et de l'activité de l'Homme. Certains sont indispensables au déroulement des processus biologiques des végétaux et des animaux à des quantités infinitésimales, ils sont alors nommés « Oligo élément ». (Institut de l'élevage, 2010).

Les éléments traces métalliques (ETM) sont des éléments chimiques au sens de la classification périodique des éléments (figure 01)

Bloc s												Bloc p					
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Bloc f														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr	

Figure 01 : classification périodique des éléments traces métallique (Miland et al., 1993).

En toxicologie, ils peuvent être définis comme des métaux à caractère cumulatif (souvent dans les tissus graisseux) ayant essentiellement des effets très néfastes sur les organismes vivants (Adli, 2016).

Les métaux lourds sont des polluants dont la nocivité est liée à leur rémanence et à leur spéciation et sont peu métabolisés (à l'inverse des polluants organiques), ils peuvent donc être transférés dans le réseau trophique et s'accumuler dans la matière vivante (**Benguedda-Rahhal, 2011**).

Le caractère cumulatif de ces éléments fait que la caractérisation des risques conduit généralement à l'évaluation d'une Dose Hebdomadaire Tolérable (DHT) plutôt qu'une dose journalière admissible (DJA) (**Miquel, 2001**).

Les métaux sont redistribués naturellement dans l'environnement par les cycles géologiques et biologiques (**figure 02**). Les cycles biologiques incluent la bioconcentration par les plantes et les animaux, ainsi que l'incorporation dans la chaîne alimentaire. L'activité humaine peut raccourcir le cycle ou bien augmenter la répartition mondiale des métaux lourds en les rejetant dans l'eau, sur les sols et l'atmosphère (**Klassen et Watkins, 2003**).

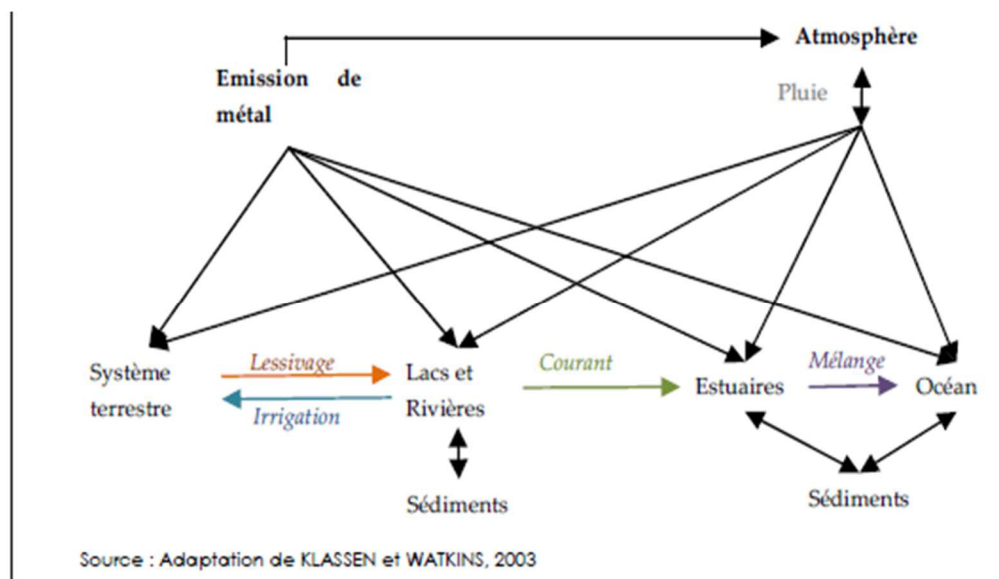


Figure 02 : Routes permettant le transport des éléments traces métalliques dans l'environnement (**Klaassen et Watkins, 2001**).

1.2.1.2. Classification et utilisations

Les métaux et les métalloïdes peuvent être classés en trois catégories selon leurs rôles biologiques et leurs effets sur les microorganismes (**Donati, 2018**) :

-
- **Métaux essentiels** (Na, Ca, K, Mn, Mg, V, Fe, Cu, Co, Mo, Ni, Zn et W) : ils ont un rôle biologique reconnu, cependant, leurs ions deviennent toxiques si la concentration est élevée.
 - **Métaux toxiques** (Ag, Sn, Cd, Au, Ti, Hg, Pb, Al et métalloïdes Ge, Sb, As, et Se) : n'ont pas un rôle biologique et peuvent interférer dans les processus cellulaires.
 - **Non essentiels** (Rb, Sr, Cs et T) : n'ont pas un rôle biologique défini et n'ont aucune toxicité. (Donati, 2018)

Les métaux lourds ont été utilisés depuis longtemps par les êtres humains pour la fabrication d'alliages et de pigments métalliques pour les peintures, le ciment, le papier, le caoutchouc et d'autres matériaux. Même aujourd'hui, l'utilisation des métaux lourds dans certains pays augmentent malgré leurs effets toxiques bien connus (Oves *et al.*, 2016).

1.2.1.3. Sources

Les métaux lourds sont des constituants naturels de la croûte terrestre et sont libérés par les activités humaines. Ils pénètrent dans l'organisme par la nourriture, l'air, et l'eau où ils s'accumulent pendant une période de temps (Munees, 2012).

➤ Sources naturelles

Parmi les importantes sources naturelles des métaux lourds, citons l'éruption volcanique, l'altération des roches, les incendies de forêts et l'évaporation des océans (Cyраниak et Draszawka, 2014).

➤ Sources anthropiques

Les teneurs les plus élevées en éléments inorganiques rencontrées dans les sols sont fortement liées à l'activité humaine. Les principales activités sont les suivantes :

-Pratiques agricoles dus aux épandages d'insecticides, de fongicides, d'engrais, de boues résiduaires ou de composts d'ordures ménagères, etc.

-La pollution dues aux retombées atmosphériques telles que l'industrie extractive et métallurgique, pratiques liées à l'incinération, l'utilisation des engrais fossiles, essence au plomb, etc.

-Stockage des déchets urbains ou industriels dus aux résidus des activités des mines et de fonderies de métaux, installation de stockage des déchets, etc.... (Allomay, 1995)

1.2.1.4. Effet des métaux lourds

a. Sur l'environnement

Les métaux essentiels jouent un rôle important dans les transformations de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques et ont un effet positif et stimule l'activité des organismes vivants. Cependant, au-delà d'un seuil maximum, ils inhibent la croissance et le développement et peuvent même être toxique (Miquel, 2001)

Les métaux non essentiels ne participent à aucun processus vital ou physiologique et sont connus seulement pour leurs effets purement toxiques sur l'organisme Ex : le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) (Aranguren, 2008).

Ils ne présentent pas une fonction métabolique, et généralement ont un seuil de concentration beaucoup plus bas pour devenir toxiques (Casas, 2005).

b. Sur l'homme

Les effets toxiques des métaux peuvent être résumés selon (Bekaert, 2014) comme suit : Ils remplacent ou substituent les minéraux essentiels ; Ils ont un effet antibiotique, ce qui augmente la résistance des bactéries ; Ils changent le code génétique ; la production des radicaux libres ; la neutralisation des acides aminés utilisés pour la détoxification ; Ils endommagent les cellules nerveuses ; Ils causent des allergies...

Selon la littérature scientifique, le cadmium, le plomb, le cuivre et le zinc sont les métaux le plus souvent recherchés dans le lait ou les fromages Cette tendance est généralement dictée en partie, à cause de leur importance diffusion et donc leur impact sur un grand nombre d'individus- dû à la pollution de l'environnement, et en autre partie, pour la gravité de leur effets toxiques. (Miquel, 2001).

1.2.2. Métaux lourds ciblés par l'étude

1.2.2.1. Cadmium

C'un métal blanc argenté appartenant à la famille des métaux de transition (Zorrig, 2009). Il est naturellement présent dans l'environnement (origine volcanique, érosion éolienne) mais sa

concentration est multipliée par dix par les activités anthropiques industrielles (**Kammerer et Le Bizec, 2009**).

Le Cd est utilisé par l'homme dans les industries de transformation : pigment, accumulateur (batteries), protection des métaux et électroplacage, traitement des minerais de zinc et plomb.

Il est présent à la fois dans l'atmosphère, le sol et les eaux usées. Sa présence dans le sol est particulièrement due aux dépôts atmosphériques et l'utilisation de fertilisants minéraux tels que les superphosphates en agriculture conventionnelle (**Olsson et al., 2001**).

La majeure source d'exposition au Cd est la nourriture contaminée (**Klassen et Watkins, 2003**). Par ordre d'importance décroissante, les denrées les plus dangereuses sont les suivantes (**Kammerer et Le Bizec, 2009**) :

-Légumes et fruits (environ 35% de l'apport) et les céréales et produits dérivés (23, 5%) : avec un taux d'absorption très variable et dépend entre autres de l'espèce végétale, et même de la variété (**Haghiri, 1973, In Olsson et al., 2001**), de la concentration de Cd dans le sol, et de ses caractéristiques physico-chimiques, du pH et du type de sol, de la saison, de l'utilisation d'engrais ou non, ... L'absorption du Cd par les végétaux étant assez courante, ces derniers représentent une source de contamination assez importante pour les herbivores.

-Produits de la mer (18%)

-Lait et les produits laitiers (9%)

➤ **Toxicocinétique et mécanismes moléculaires de toxicité**

Chez l'homme, des cas d'intoxication aiguë provenant d'expositions accidentelles provoquent d'importants dommages pulmonaires et peuvent entraîner la mort (**Nordberg et Group, 2003**).

Cependant, en dehors de ces expositions accidentelles, la principale préoccupation pour la santé correspond aux possibilités d'expositions prolongées de l'ensemble d'une population à de faibles doses de cadmium (**Maud, 2005**).

L'élimination est très lente, le cadmium étant un toxique cumulatif dont la demi-vie chez l'homme est de l'ordre de 10 à 40 ans. L'élimination se fait principalement par voies fécale et urinaire, la voie mammaire étant négligeable (**kammerer et le bizec, 2009**).

Le cadmium est un agent faiblement écotoxique mais dont les effets de toxicité sur les composants cellulaires sont très divers. Le cadmium est en effet capable de moduler l'expression des gènes et la transduction du signal, il induit l'apparition d'espèces réactives de l'oxygène par des mécanismes indirects, il est décrit comme inhibiteur de la réparation de l'ADN et influe également sur les propriétés d'adhésion cellulaire (**Weisberg et al., 2003**).

Un des importants mécanismes de toxicité du cadmium est celui d'interférer avec des métaux essentiels comme le fer, le zinc ou le calcium dont les homéostasies sont finement ajustées par les cellules. Ainsi les perturbations engendrées par la présence de cadmium aboutissent à des conséquences néfastes importantes pour la cellule (**Rousselet, 2007**). Probablement par altération de l'ADN ou développement de cancer (**Arris, 2008**).

1.2.2.2. Plomb

Le plomb est un métal mou, bleuâtre à gris-argent (**Viala et Botta, 2005**). Il possède une forte densité et une ductilité élevée. Se trouvant habituellement en petite quantité dans la croûte terrestre (**Pourrut, 2008**), et sa solubilité dans l'eau n'est pas négligeable et peut être à l'origine de la toxicité de certaines eaux de boisson (**Viala et Botta, 2005**).

Il existe principalement dans son état oxydant divalent (**Juste, 1988 ; Mager, 2011**). Sa présence dans l'environnement peut être d'origine naturelle ou anthropique (**Bektaş et al., 2004**).

En effet, le plomb peut être issu de l'industrie métallurgique (**Stouthart et al., 1995**). Il provient également de la galvanoplastie, de la fabrication des batteries, des industries des pigments et des colorants, de l'emploi du plomb tétra méthyle dans les carburants et de l'utilisation des combustibles fossiles (**Subhashini et al., 2013 ; Ravindra Kumar Gautam, 2014**).

Tous les auteurs s'accordent pour reconnaître qu'il est souvent difficile d'identifier la source de plomb ayant intoxiqué l'être humain (**Landrans et Paclot, 1994 ; Landrans et al., 1999**). Environ 1/3 des causes d'intoxications restaient inconnues, bien que les principaux secteurs d'activité exposés au plomb sont le bâtiment, l'industrie et l'artisanat (**Certin et al., 2007**), pour les enfants, en raison de leurs comportements de « Pica » et de « main bouche », sont plus fréquemment soumis aux risques engendrés par les écailles de peintures ou les poussières chargées en plomb (**Goyer et Clarkson, 2001**).

➤ Toxicocinétique et mécanismes moléculaires de toxicité

L'intoxication aiguë ne se rencontre plus que très rarement aussi bien dans l'industrie qu'en milieu non professionnel, mais elle peut néanmoins se produire par inhalation ou par absorption dans des situations accidentelles (**Awad et al., 1981 ; Schyeitzer et al., 1990**).

Il présente un certain nombre de particularités au plan de sa toxicocinétique. La première d'entre elles est sa très forte absorption chez l'enfant comparativement à l'adulte (**Goullé et al., 2016**). L'atteinte rénale a été décrite par différents auteurs (**Bennett, 1985**), et en cas d'atteinte sévère, les lésions au niveau du système nerveux central se manifestent cliniquement par une encéphalopathie convulsive et un coma pouvant conduire à la mort (**Kehoe, 1987**). Alors que des atteintes hépatiques ont parfois été observées chez des enfants présentant des signes d'intoxication aiguë par le plomb (**Etchevers et al., 2017**).

A contrario, les signes cliniques d'exposition répétée au plomb sont peu spécifiques car les symptômes demeurent pour la plupart du temps discrets et insidieux (**Saka et al., 2011**). Les principales pathologies sont très variées et dissemblables. On relève à titre d'exemple les syndromes : Hématologiques (**Hammond et al., 1985**), les effets sur le SNC (**Parkinson et al., 1986**), effets sur le système rénal (**Nuyts et al., 1991**), effets cardiovasculaires (**Dingwall-Fordyce et Lane, 1963**), effets sur la reproduction (**Garnier, 2005**) et effets cancérogènes (**IARC, 2006**).

1.2.2.3. Zinc

Le zinc est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30. Il appartient au bloc des éléments de transition du tableau périodique (**Larekeb, 2015**).

C'est le 24^{ème} élément le plus abondant car il constitue à peu près 0,004 % de la croûte terrestre (**Browing, 1969**).

Les sources naturelles du zinc sont l'altération de roches, le volcanisme et la végétation.

Des statistiques ont montré que les sources naturelles ne représentent que 7 % des émissions totales du zinc dans l'environnement. La production et le traitement des minerais ainsi que les activités industrielles représentent respectivement environ 75 % et 18 % des émissions du zinc dans le milieu naturel. Le zinc trouve son utilisation dans le domaine de la galvanisation et des revêtements anticorrosion, dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique. Il est

également utilisé dans l'agriculture, comme il rentre dans la structure de quelques alliages, tel que le laiton, alliage de cuivre et de zinc (**Bouchelkia,2015**).

Le zinc est un oligo-élément indispensable à la vie de tous les organismes vivants, y compris l'homme (**Herber ,1994 ; Rink ,2011**).

➤ **Effet du zinc sur la santé humaine**

Le zinc est essentiel dans le développement des organismes. On a identifié près de 200 enzymes renfermant du zinc chez toutes les espèces (**Cotzias, 1967**).

L'essentialité du zinc est principalement liée à sa fonction au niveau de métallo-enzymes importantes (**Halstead ,1970**).

Le zinc est considéré comme un antioxydant car l'enzyme extracellulaire super oxydase dismutase (SOD) qui contient du zinc joue un rôle vital dans la protection contre les dommages des radicaux libres (**Bannister, 1987**)

Il est donc indispensable pour maintenir un métabolisme normal des acides nucléiques, des protéines et des membranes et joue un rôle important dans la division cellulaire et le maintien de la structure des gènes.

De ce fait, les effets toxiques du zinc peuvent être liés soit à une carence soit à une surexposition à ce métal. Un excès de zinc peut provoquer des problèmes de santé importants (crampes d'estomac, irritations de la peau, vomissements, nausées et anémie). De très hauts niveaux de zinc peuvent endommager le pancréas et perturber le métabolisme des protéines. Sur le lieu de travail, la contamination au zinc peut mener à un état comparable à la grippe, que l'on appelle la fièvre du fondeur zinc peut mener à un état comparable à la grippe, que l'on appelle la fièvre du fondeur (**aurélien,2011**).

➤ **Effet du zinc sur l'environnement**

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol aussi de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les activités industrielles, telle que l'exploitation minière et la combustion du charbon.

L'eau est polluée en zinc du fait de la présence de grandes quantités dans les eaux usées de la production industrielles. Ces eaux usées ne sont pas traitées de façon satisfaisante. Le

zinc peut aussi augmenter l'acidité de l'eau. Certains poissons peuvent accumuler le zinc dans leur organisme lorsqu'ils vivent dans des eaux contaminées en cet élément.

Le zinc soluble dans l'eau peut contaminer les eaux souterraines et peut être une menace pour les animaux et pour les plantes.

Le fait de l'accumulation de zinc dans le sol, les plantes absorbent souvent des quantités de zinc que leur système ne peut pas gérer. Sur un sol riche en zinc, seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi il n'y a pas beaucoup de diversité de plantes le zinc est une sérieuse menace pour la production des terres agricole, mais les engrais contenant du zinc sont toujours utilisés. **(Nakib,2010)**.

1.2.4.4. Cuivre

Élément chimique de numéro atomique $Z = 29$. C'est un métal rougeâtre, malléable et ductile, de conductivités thermique et électrique élevée Il résiste à l'air et à l'eau mais se patine lentement en présence de carbonate. Il est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés. **(Serpaud et al.,1994 ; Chebira,2008)**.

Il provient essentiellement des eaux usées domestiques (eau de consommation, produits domestiques, corrosion des tuyauteries), mais il est aussi d'origine industrielle (traitements de surface, industries chimiques et électroniques) et il provient des eaux de ruissellement (poussières de combustion industrielle et trafic routier).

Il est globalement très bien éliminé : 85% du métal se retrouve dans les boues résiduaires **(ADEME, 2002)**.

➤ Effet du cuivre sur la santé

Le cuivre est un oligo-élément essentiel pour le fonctionnement des plantes, des microorganismes et des animaux en raison de son exigence pour de nombreux processus métaboliques particulières **(ICA, 1995)**. En particulier, il est essentiel pour de nombreuses fonctions biochimiques, comme par exemple la catalyse de réactions d'oxydo-réduction dans le cytoplasme, la mitochondrie et le chloroplaste des cellules, ou bien comme un transporteur d'électrons durant la respiration. Le cuivre participe aussi dans la lutte des espèces réactives de l'oxygène comme la Cu/Zn superoxyde dismutase (SOD) qui convertit l'anion superoxyde en dioxygène et peroxyde d'hydrogène **(ICA, 1995)**.

Le cuivre réalise un travail essentiel dans le métabolisme des animaux. Mais l'ingestion excessive de cuivre entraîne de graves préoccupations toxicologiques, tels que des vomissements, des crampes, des convulsions. (Safa ,2016)

Également, les êtres humains sont exposés au cuivre par l'inhalation de particules de Cu^{2+} , l'ingestion d'eau ou de nourriture contaminée par le cuivre. Cependant, la toxicité du cuivre pour l'être humain est relativement faible par rapport aux autres métaux tels que le cadmium, le mercure, le plomb et le chrome. Les effets toxicologiques qui peuvent être induites par les ions cuivre (Cu^{2+}) peuvent provoquer des dépôts dans le cerveau, le foie, la peau, le pancréas et le myocarde (Davis *et al.*, 2000).

Une exposition au cuivre à long terme peut provoquer une irritation au nez, à la bouche et aux yeux et, peut provoquer des maux de tête, des maux d'estomac, des vertiges, des vomissements et des diarrhées. Les prises intentionnelles de fortes doses du cuivre peuvent provoquer des dommages aux reins et au foie et même la mort (Safa ,2016).

1.2.3. Sources de contamination du lait de chèvre par les métaux

Les principales voies d'expositions aux métaux lourds sont l'air, l'eau et la nourriture. Ainsi, le transfert des métaux lourds vers l'animal intervient par l'inhalation ou l'alimentation. Le schéma de **la figure 03** résume les principales voies d'exposition des ruminants aux ETM.

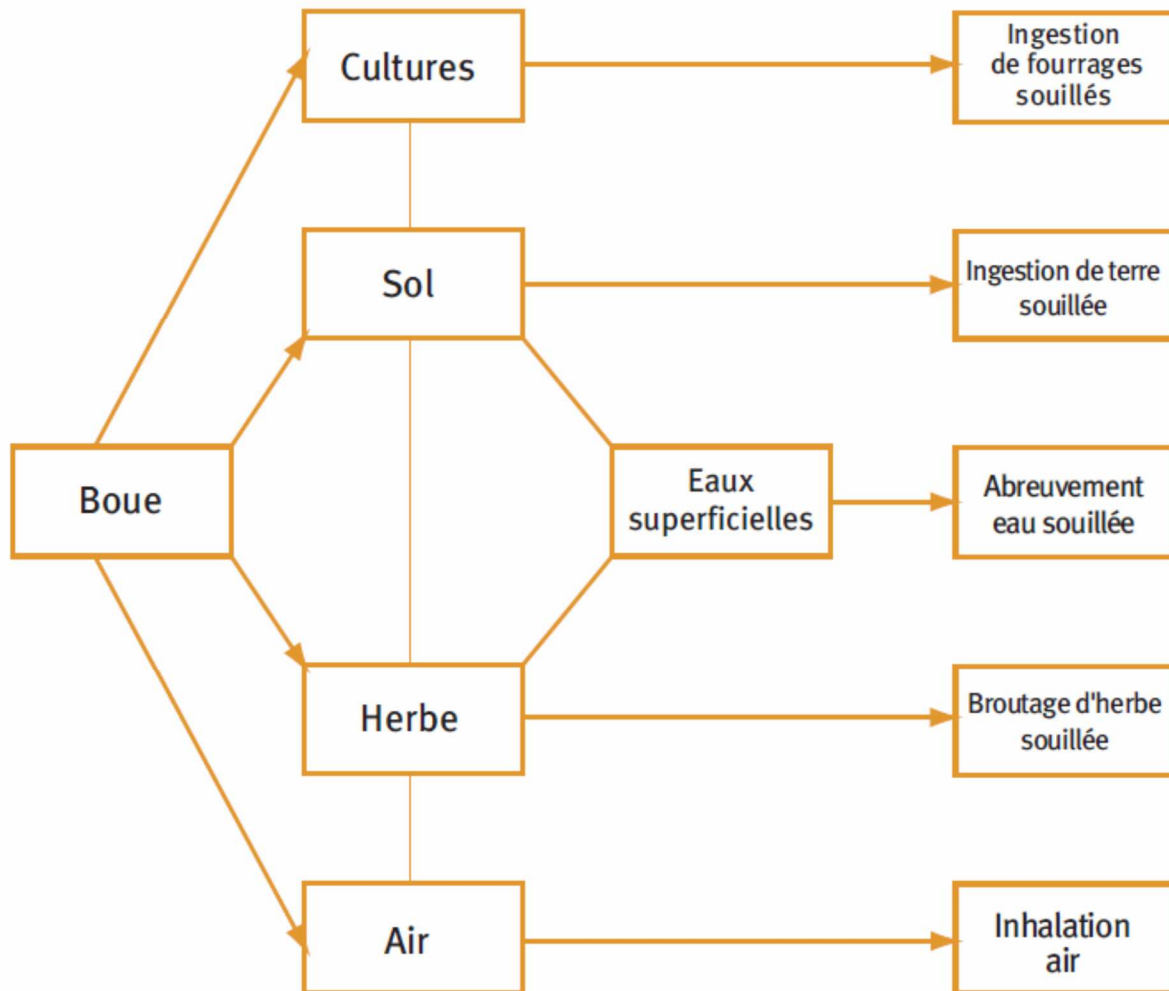


Figure 03 : Les principales voies d'exposition des ruminants aux ETM (**I'Institut de l'Élevage, 2010**).

La concentration de certains éléments (par exemple As, Cd, Hg et Pb) dans le lait fournit une preuve directe du degré de contamination. Ainsi, ces éléments indiquent le local ou conditions environnementales périphériques, y compris la qualité de l'eau, de l'air, le sol et la végétation de la zone où se trouvent les bovins (**Gonzalez-Montana, 2009**).

1.2.4. Particularité de la contamination métallique du lait

Le lait peut contenir des substances ingérées ou inhalées par l'animal, sous la forme soit du constituant original, soit de composés dérivés métabolisés. Les substances étrangères peuvent provenir des aliments (engrais et produits phytosanitaires), de l'environnement (métaux

lourds) ou de traitements prescrits à l'animal (produits pharmaceutiques, antibiotiques, hormones) (Lupien, 1995).

La pollution de lait par les métaux lourds est particulièrement problématique en raison de leur non biodégradabilité et de leur grande toxicité (Meshref et al., 2014) De plus, ils peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire à travers la biotransformation, entraînant ainsi une bioaccumulation et une toxicité dans le biote et les humains (Muhib et al., 2016).

Il a été déterminé que la présence de métaux lourds dans le lait est essentiellement la conséquence de l'ingestion des ovins et des bovins de l'eau et des fourrages contaminés par différentes sources, telles que les déchets déversés sans discernement dans l'environnement, les rejets de l'industrie minière-métallurgique, les résidus des pesticides utilisés dans l'agriculture, l'eau rejetée des zones urbaines et dans certaines régions, par des processus naturels tels que l'activité volcanique, où bien des particules sont émises dans l'air qui peuvent atteindre l'eau d'irrigation, le sol et fourrages (Gakidou et al., 2017; Castro Gonzalez et al.,2018).

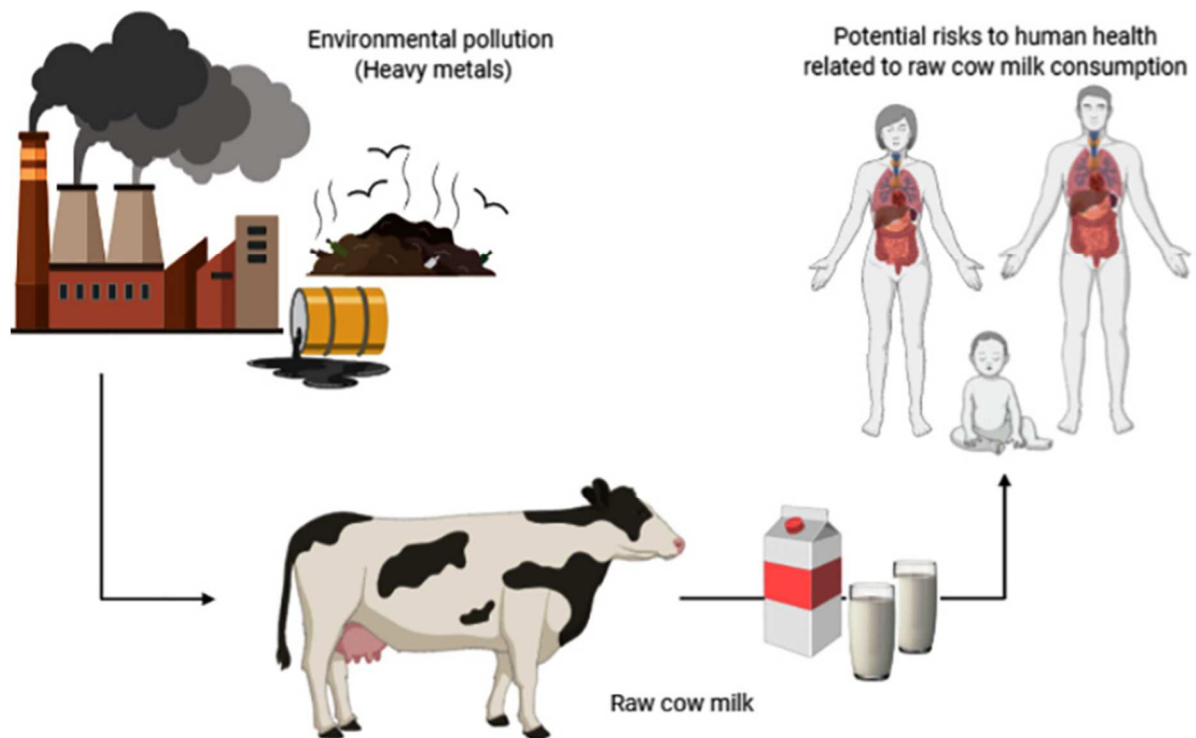


Figure 04 : les sources de contamination par les métaux lourds et leur transfert dans la chaîne alimentaire (Boudebbouz et al,2021).

Parmi les métaux susceptibles de contaminer le lait à des taux inquiétants pour la santé, on peut citer le sélénium, l'arsenic, le plomb, le mercure et le cadmium (**Mahieu et al., 1977**).

Les métaux lourds, ou éléments traces métalliques sont présents partout dans notre environnement et de cette manière sont susceptibles de contaminer le lait (**Elsa Bignon ,2010**).

Sol - Fourrage- lait - le consommateur est une chaîne alimentaire courte à travers laquelle les métaux peuvent être transférés à l'homme, causant des problèmes de santé. Dans ce cas précis, le sol est la principale qui peut être transféré aux plantes qui deviennent du fourrage pour les animaux, puis ils passent ensuite à travers le système digestif des animaux et s'accumuler dans les tissus riches en lipides et sont partiellement excrétés dans le lait. De plus, les animaux peuvent ingérer de grandes quantités de sol pendant le pâturage (**Thornton et Abrahams, 1983 ; Miclean et al., 2019**)

Chapitre II

Evaluation de risque sanitaire

II. Evaluation de risque sanitaire

II.1. Métaux lourds dans le lait : source non négligeable d'apport exogène d'origine alimentaire

Ces dernières décennies, l'augmentation rapide des activités industrielles et agricoles a contribué à l'augmentation des niveaux de métaux lourds dans tous les compartiments de l'environnement, tels que l'air, le sol et l'eau (**Pack et al.,2014**).

Les métaux lourds non essentiels comme le cadmium, le plomb, le mercure, l'arsenic, le chrome et certains oligo-éléments essentiels comme le zinc et le cuivre sont considérée comme un problème mondial sérieux compte tenu de leur toxicité et de leur pouvoir cumulatif dans la chaîne trophique. La toxicité induite par des niveaux excessifs de ces éléments est bien connue, car elle constitue une menace sérieuse pour la santé des consommateurs (**Monika et Vlasta, 2005**).

À l'échelle mondiale, il y a eu de nombreux rapports sur la consommation humaine des métaux lourds par la contamination des aliments (**Muchuweti et al.,2006**). Le lait et les produits laitiers étaient considérés comme responsables avec un pourcentage grandissant de l'apport total en métaux lourds (**Meshref et al.,2014 ; Castro Gonzalez et al.,2017 ; Khalil.,2018 ; Bousbia et al.,2019; Miclean et al.,2019 ; Boudebbouz et al.,2021 ; Giri et al.,2021**) .

L'animal dont le ruminant est un élément bio-accumulateur dans la chaîne trophique qu'il transmet à l'homme consommant ses produits (viande, lait, oeufs, miel), les polluants et résidus s'accumulant au cours du cycle de vie de l'animal (**Simsek et al., 2000 ; Faye, 2008 ; Konuspayeva et al., 2011a**). Pour cette raison, les bovins et les ovins sont souvent utilisés comme espèces sentinelles de la contamination métallique (**Boumehres, 2010**).

En effet, les métaux lourds s'accumulent dans les tissus des animaux laitiers et finissent par être excrétés dans le lait en raison de leur nature non biodégradable et persistante (**Burger et Elbin, 2015**).

Du fait que le lait est largement apprécié par les consommateurs qui se trouvent ainsi exposés, même des quantités faibles en métaux lourds dans différents produits laitiers peuvent induire des problèmes sanitaires sérieux (**Diacono, 2007**). La grandeur de cette problématique est plus sérieuse en Algérie, où elle est considérée comme l'un des grands pays consommateurs en ce qui concerne la filière lait et dérivés (**Derouiche et al., 2016**).

C'est pourquoi les travaux sur l'évaluation de risque sanitaire du lait et des produits laitiers contaminés par des métaux toxiques comme le cadmium, le plomb, le cuivre et le zinc sont d'actualité et représente une nécessité aujourd'hui pour faire face à cette crainte de l'incorporation des toxiques pour les consommateurs de cet aliment de base.

II.2. Définition et Concept

II.2.1. Le risque alimentaire

Pendant de nombreux siècles, le risque alimentaire principal a été l'insuffisance alimentaire, cause directe de décès ou de carences plus ou moins graves.

Cependant la notion de risque alimentaire a été bouleversée ces dernières années. Celles-ci ont vu émerger de nouvelles craintes. Suite à un nombre croissant de crises (vache folle, dioxines, excès de benzène dans des boissons gazeuses, OGM, métaux lourds, nitrates dans l'eau de boisson, résidus de pesticides, listérioses, incertitudes sur les effets à long terme des édulcorants ou additifs alimentaires) le risque alimentaire paraît être soudainement entré dans la catégorie de risques majeurs pour l'homme (**Jechoux, 2006**).

Par conséquent, la salubrité biologique et chimique des aliments est devenue une préoccupation de plus en plus importante en santé publique. La nourriture est donc encore synonyme de danger pour la santé, non plus à cause d'un manque de ressource, mais bien à cause des risques toxicologiques, infectieux et des maladies dégénératives qui sont liés à notre alimentation (**Claudiel, 2004**).

Généralement, le risque alimentaire présente une triple spécificité : nous y sommes tous exposés car nous mangeons tous ; les preuves expérimentales sont indirectes et ne concernent qu'un petit nombre de dangers ; ce risque n'est que difficilement quantifiable, du fait même que nous exigeons qu'il soit nul (**Soubra, 2008**).

II.2.2. Notion de danger et risque alimentaires

Dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments, les termes de danger et de risques sont distingués et répondent à des définitions différentes.

Le concept de « risque » est devenu central en santé publique et est défini selon l'Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (**FAO**) et l'Organisation Mondiale de la Santé (**OMS**) comme : « une fonction de la probabilité d'un effet néfaste pour la santé et de sa gravité, du fait de la présence d'un ou de plusieurs dangers dans un aliment ».

Alors que le danger répond à la définition suivante : « agent biologique, physique ou chimique présent dans un aliment ou un état de cet aliment pouvant avoir un effet néfaste pour la santé » (**Commission du Codex alimentarius, 2003**).

II. 3. Démarche d'évaluation scientifique du risque alimentaire

C'est dans le cadre d'un changement de paradigme des risques forts vers les risques faibles et des fortes aux faibles doses d'exposition touchant un grand nombre de personnes que le processus d'évaluation du risque alimentaire a vu le jour (**Soubra, 2008**).

C'est une démarche qui permet d'arriver à une estimation raisonnable de la quantité de contaminants chimiques qui peuvent être ingéré quotidiennement au cours d'une vie, sans que le risque pour la santé ne dépasse un niveau tolérable (**Panisset et al., 2003**)

D'une manière générale, l'évaluation scientifique des risques est une démarche structurée développée par l'Académie des Sciences Américaine au début des années 80. Celle-ci la définit comme « une démarche méthodique de synthèse des connaissances scientifiques disponibles en vue d'évaluer les effets sur la santé résultant d'une exposition d'une population ou d'individus à une substance, un agent ou une situation dangereuse » (**NAS,1983**).

Elle repose sur quatre piliers, à savoir l'identification des dangers, l'évaluation de la relation dose-réponse, l'évaluation de l'exposition, qui sont résumés sous forme de caractérisation de la toxicité (**Figure 05**) (**Dong et Naidu ,2017**).

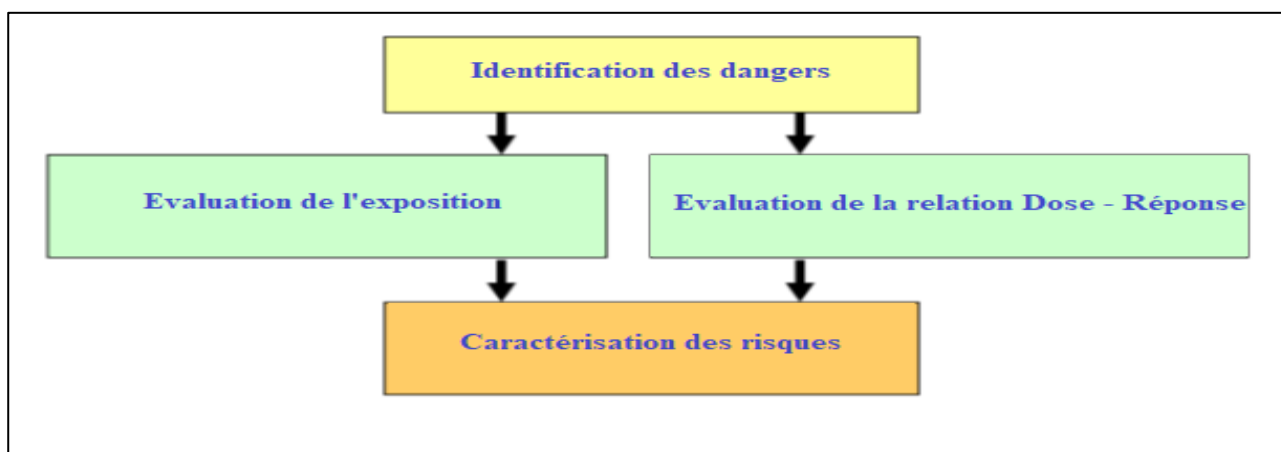


Figure 05 : Quatre piliers de l'évaluation des risques pour la santé humaine (**Dong et Naidu , 2017 modifié**).

Ces quatre étapes seront présentées en détail dans ce qui suit :

II.3.1. Identification des dangers

C'est la 1^{ère} étape de l'évaluation du risque. Elle consiste à identifier les effets adverses que peut causer sur la santé humaine un danger chimique, biologique ou physique présent dans un aliment ou un groupe d'aliments (**Soubra, 2008**).

Elle s'appuie d'une part sur les données épidémiologiques ou cliniques lorsqu'elles existent, et d'autre part sur des études conduites *in vitro* (modèles mécanistiques) ou *in vivo* (chez l'animal) (**Cassee et al., 1998**).

II.3.2. Evaluation du rapport dose-réponse (ou caractérisation du danger)

C'est l'étape qui suit l'identification du danger, elle permet d'évaluer qualitativement et quantitativement la nature des effets adverses sur la santé humaine associés aux dangers identifiés via la caractérisation de la relation dose-effet (ou réponse) (**Dong et Naidu, 2017 ; soubra, 2008**).

La relation entre une dose et son effet est représentée par une grandeur numérique appelée Valeur Toxicologique de Référence (VTR). Etablies par diverses instances internationales ou nationales sur l'analyse des connaissances toxicologiques animales et épidémiologiques, ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose) (**Burgeap, 2006**).

II.3.2.1. Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

Une VTR est une appellation générique regroupant tous les types d'indice toxicologique (tels que DJA, DJT, ...) qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet).

Les VTR sont spécifiques d'une durée d'exposition (aiguë, subchronique ou chronique), d'une voie d'exposition (orale ou respiratoire) et d'un type d'effet (reprotoxique, cancérigène) (**Anses, 2014**).

On parle de VTR « à seuil de dose » pour les substances qui provoquent, au-delà d'une certaine dose, des dommages dont la gravité est proportionnelle à la dose absorbée et de VTR « sans seuil de dose », pour les substances pour lesquelles il existe une probabilité, même infime, qu'une seule molécule pénétrant dans l'organisme provoque des effets néfastes pour cet organisme (**AFSSET, 2007; Anses, 2013**).

Les VTR sont construites à partir de données obtenues lors d'expérimentations animales ou directement chez l'Homme lors d'études épidémiologiques. Les études animales sont en pratique la source essentielle des données toxicologiques pour la construction de VTR (**figure 6**).

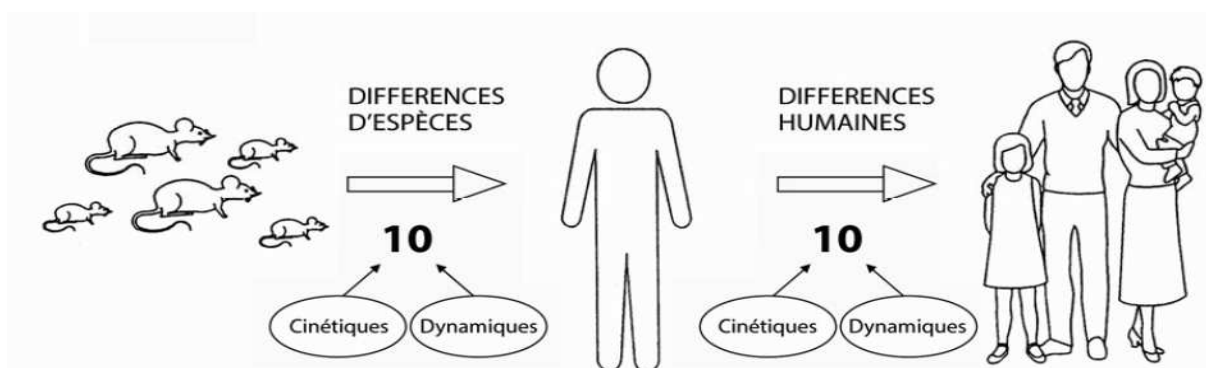


Figure 06 : Dérivation de la VTR pour les effets à seuil (Soubra, 2008).

Mathématiquement, la construction d'une VTR à seuil est définie de la manière suivante (Grignon, 2016) :

$$\text{VTR} = \text{Dose critique} / \text{UF}$$

Où :

- **UF** « Uncertainty Factors » ou facteur d'incertitude global.
- **La dose critique peut être :**
 - **le LOAEL** (Lowest Observed Adverse Effect Level) qui est la dose minimale entraînant un effet néfaste statistiquement significatif par rapport au témoin.
 - **le NOAEL** (No Observed Adverse Effect Level) qui est la dose maximale n'entraînant pas d'effet néfaste statistiquement significatif par rapport au témoin, située directement sous le LOAEL dans les doses du protocole ou dans les expositions identifiées.

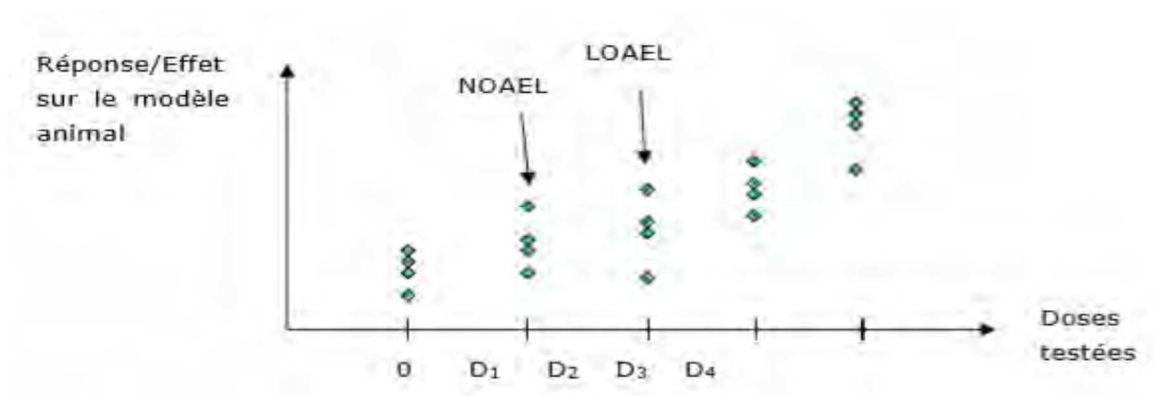


Figure 07 : Relation dose-réponse et définition de la NOAEL et de la LOAEL. Schéma issu du Guide d'élaboration des VTR (ANSES, 2017).

La VTR d'une substance chimique correspond à la dose journalière admissible (DJA) (en Anglais : Acceptable Daily Intake ou **ADI**) ou dose journalière tolérable (**DJT**) qui représente la quantité d'une substance qu'un individu peut théoriquement ingérer quotidiennement au cours de sa vie, sans risque pour la santé. Elle est habituellement exprimée en mg de substance par kg de poids corporel par jour (Lu FC et Kacew , 2002).

II. 3.3. Evaluation de l'exposition au risque alimentaire

L'évaluation de l'exposition est définie comme étant l'évaluation qualitative et/ou quantitative de l'ingestion d'agents biologiques, chimiques et physiques par le biais d'aliments, ainsi que par suite de l'exposition à d'autres sources (Soubra, 2008).

L'évaluation de l'exposition peut également identifier la quantité d'eau et d'aliments consommés, ainsi que la fréquence de la consommation dans une période donnée pour un groupe de population (tels que les nourrissons, enfants et adultes) ou une sous-population donnée (par exemple les végétariens et végétaliens), et peut associer les informations afin d'estimer l'exposition de la population à un danger microbiologique ou chimique par la consommation d'un aliment ou d'eau (Parent, 2018).

Généralement, la modélisation de l'exposition consiste à croiser les données de consommation avec les données de contamination selon le principe général suivant (Thompson et Bryers, 1994) :

$$\text{Exposition} = \text{consommation} \times \text{contamination (ou résidus)}.$$

Toutefois, il faut distinguer les substances et denrées soumises à autorisation et les contaminants alimentaires. Dans le premier cas, il s'agit d'une démarche qui aboutit à la fixation d'une dose journalière acceptable (DJA).

Dans le cas des contaminants alimentaires comme les mycotoxines et les métaux lourds, la situation peut être très critique dans la mesure où on ne dispose pas toujours d'études toxicologiques de qualité et suffisantes pour identifier une dose sans effet. La dose journalière tolérable (DJT) est alors proposée sur des bases toxicologiques souvent peu solides. L'évaluation de l'exposition du consommateur doit être réalisée de la façon la plus précise possible, pour être comparée à la DJT/DJA (**Parent, 2018**).

II.3.4. Caractérisation des risques

Estimation de l'incidence et de la gravité des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population humaine ou une composante de l'environnement en raison de l'exposition, réelle ou prévisible, à une substance ; la caractérisation peut comprendre « l'estimation du risque », c'est à dire la quantification de cette probabilité (**Melanie et al., 2015**).

Très souvent, la caractérisation des risques consiste à comparer une estimation de l'exposition à des produits chimiques avec une valeur indicative ou guide (**OMS,2017**).

II.4. L'exposition humaine via l'ingestion des métaux dans le lait constitue-t-elle un véritable danger chez le consommateur ?

L'examen de cette question nous a amenés à développer pour ce faire différents indices toxicologiques afin d'apporter des éléments de réponse qualitatifs et quantitatifs.

Généralement ; deux types d'indices toxicologiques sont utilisés, pour les risques sanitaires non cancérogènes sont évalués par le calcul du quotient de danger (QD ou THQ en anglo-saxonne pour le **Target hazard quotient**) alors que les risques cancérogènes sont évalués par le risque de cancer (Risk Cancer) (**Chalvatzaki et al.,2019**).

II.4.1. Estimated Daily Intake (EDI) (ou Dose journalière estimée en français)

Pour évaluer les risques potentiels pour la santé humaine associés à la consommation de lait, l'exposition alimentaire a été déterminée en calculant la dose journalière estimée (DJE) pour l'homme sur la base de questionnaires de fréquence de consommation de lait (**Miclean et al., 2019**).

L'EDI de métaux dépend de la concentration en métal, du poids corporel de l'homme et de la consommation alimentaire quotidienne.

Selon Meshref et al., 2014 ; Christophoridis et al., 2019, Boudebbouz et al., 2020 , l'EDI des métaux est déterminé par la formule suivante :

$$EDI = \frac{C_{Metal} \times W_{lait}}{BW(kg)} \text{ mg/kg bw/jour (1)}$$

Où :

- $C_{Métal}$ (mg du métal/kg du poids humide) est la teneur moyenne en métal des échantillons de lait cru.

- W_{Lait} : représente la consommation moyenne quotidienne de lait (en kg).

- BW (BodyWeight) : poids corporel (kg) pour chaque classe d'âge considérée.

II.4.2. Target hazard quotient (THQ) (Quotient de danger)

Le THQ représente les risques non cancérogènes pour la santé liés à l'exposition aux métaux lourds via la consommation de produits laitiers (USEPA, 2011).

Si :

Le $THQ < 1$: la population exposée est supposée être en sécurité (Zhuang et al., 2009).

Le THQ est calculé selon la formule suivante ((Boudebbouz et al.,2021) :

$$THQ = \frac{EF \times ED \times WMilk \times CMetal}{RFD \times BW \times TA} \quad (2)$$

Où :

EF : est la fréquence d'exposition (pour 365 jours par an), **ED** = durée d'exposition (30 jours)

AT : période de l'exposition, équivalente à la longévité humaine moyenne (c'est-à-dire 70 ans),

$C_{métal}$: concentrations de métal (mg/kg-BW),

RFD : la dose orale de référence (mg/kg/jour),

BW (Body Weight) : poids corporel moyen,

Compte tenu de l'écart de poids corporel et de la fréquence de consommation de denrées alimentaires chez différentes personnes, l'indice est calculé en fonction de différents groupes d'âge (adultes et enfants).

Avec : BW adulte de 70 kg (EPA 2008) et BW enfants selon le questionnaire .

D'autres part : le $TA = EF \times ED$: temps d'exposition pour les non-cancérogènes (c'est-à-dire, 70 ans) = durée de vie moyenne) était de 25 550 jours (EPA, 2011; EPA, 1989).

Également, le THQ peut être calculé comme suit (US EPA, 2008 ; Meshref et al., 2014 ; Castro Gonzalez et al., 2017) :

$$THQ = \frac{EDI}{RFD0} \quad (3)$$

Les doses de référence (RFD0) pour le Cd, le Pb, le Hg, le Cu, le Ni, le Fe et l'Al, Zn sont respectivement de 0,001, 0,0035, 0,0003, 0,04, 0,02, 0,7 et 1, 0.3 mg/kg de poids corporel/jour (USEPA, 2012 ; USEPA, 2014).

II.4.3. Hazard Index (HI) (pour Indice de danger en français)

Les humains sont souvent exposés à de multiples polluants qui ont des effets combinés ou interactifs. Dans cette situation, l'indice de danger ou l'Hazard Index (HI en anglo-saxonne) sera calculé (Castro – González et al., 2019 ; Giri et al., 2021 ;).

Cet indice détermine le risque potentiel non cancérigène induit par l'exposition à une mixture de plusieurs métaux. Il résulte de la somme de tous les THQ aux métaux lourds individuels.

L'équation (4) montre la représentation mathématique de ce paramètre selon l'USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1989 ; Storelli et al., 2020) :

$$HI = THQ_{Cd} + THQ_{Cr} + \dots THQ_{Pb} \quad (4)$$

II.4.4. Risque de cancer (RC) pour les adultes et les enfants

les risques cancérigènes sont définis comme la probabilité supplémentaire qu'un individu développera un cancer au cours de sa vie à la suite d'une exposition spécifique à un composé cancérigène (USEPA, 2001; Kamunda et al., 2016).

Le risque de cancer est calculé comme suit (Miclean et al., 2019 ; Giri et al., 2021;) :

$$CR = \frac{EFr \times ED \times EDI \times CSF0}{AT} \times 10^{-3} \quad (5)$$

Également, le CR peut être calculé comme suit (Castro Gonzalez et al., 2017) :

$$\text{Cancer Risk} = EDI \times CSF0 \quad (6)$$

CSF0 (Cancer Slope Factor) : est le facteur de pente cancérigène pour la voie orale des métaux considérés en $\text{mg kg}^{-1}\text{jour}^{-1}$ avec : le $\text{CSF (Pb)} = 0.0085$, $\text{CSF (Cd)} = 15$ et le $\text{CSF Cr} = 0.5$) (**US EPA, 2002**).

EFr = fréquence d'exposition (350 jours/an), **ED** = durée d'exposition (30 jours) (**USEPA, 2006**)

AT = temps moyen pour les cancérogènes (365 jours/an x 70 ans) (**USEPA, 2010**).

Selon l'**USEPA (US EPA, 2001)**, le risque de cancer est considéré comme acceptable pour la plage de 1×10^{-6} à 1×10^{-4} .

Les valeurs toxicologiques cancérigènes de référence sont nommées Excès de Risque Unitaire (ERU).

Les ERU correspondent au nombre de cas de cancers attendus pour une exposition unitaire (1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'inhalation et 1 $\text{mg}/\text{kg pc}/\text{j}$ par ingestion) durant toute la vie, 24 heures sur 24. Ainsi, un ERU de 10^{-4} signifie qu'une personne exposée durant toute sa vie à 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de polluant (ou à 1 $\text{mg}/\text{kg pc}/\text{j}$ par voie orale) aurait une probabilité supplémentaire de contracter un cancer de 0,0001 (par rapport à un sujet non exposé).

Cela signifie aussi que si 10 000 personnes sont exposées, un cas de cancer supplémentaire est susceptible d'apparaître (**Dalkia, 2016**).

Un risque acceptable pour l'espèce humaine ne doit pas dépasser une incidence de 1 pour 100,000 ou 1 pour 1,000,000.

Si le $\text{CR} < 10^{-6}$ le risque cancérigène est considéré comme être négligeable, si $\text{CR} > 10^{-4}$ il y a un risque élevé de développer un cancer chez les êtres humains, et quand $10^{-6} < \text{CR} < 10^{-4}$ il existe un risque acceptable pour les êtres humains (**US EPA, 2001**) (**Lu et al., 2014** ; **Li et al., 2014** ; **Keshavarzi et al., 2015**).

Le risque cumulatif de cancer résultant de l'exposition à de multiples métaux lourds cancérigènes est supposé être la somme des risques individuels d'exposition aux métaux lourds (**Storelli et al., 2020**).

Risque cancérigène total (Castro Gonzalez et al., 2017) : $= \sum \text{CR}_{\text{Pb}} + \text{CR}_{\text{Cd}} + \text{CR}_{\text{Cr}} + \text{CR}_{\text{As}}$ (7)

Chapitre III
Matériels et Méthodes

III.1. Type et objectifs d'étude

Le lait de chèvre est traditionnellement consommé pour ces propriétés nutritionnelles et thérapeutiques connues et ces bienfaits pour la santé humaine. Toutefois, comme tous les autres aliments, il peut être contaminé par des substances toxiques.

Les composés toxiques sont présents partout dans nos environnements et se traduisant par la pollution de l'air, de l'eau, du sol ou des végétaux par des éléments chimiques tels que les métaux lourds. Par leur transport, mobilité et bioaccumulation dans la chaîne trophique, ils peuvent contaminer plusieurs aliments dont le lait de chèvre.

La présente étude vise, dans un premier lieu, à déterminer les concentrations en quatre métaux lourds ; le Pb, le Cd, le Cu et le Zn dans des échantillons du lait des chèvres soumises à un pâturage naturel dans trois régions rurales de la wilaya de Jijel (Texenna, El-Milia et Djmila), et ce par deux méthodes différentes d'extractions et dosage par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique avec Flamme (SAAF).

Dans un second lieu, l'étude vise à évaluer le risque sanitaire, cancérigène et non cancérigène, lié à la consommation de ce lait.

La démarche adoptée pour cette évaluation débute par l'identification de danger jusqu'à la caractérisation de risque sanitaire en évaluant les indices toxicologiques suivants : la dose journalière estimée (EDI), le quotient de danger (THQ), l'indice de danger (HI) et le risque cancérigène (RC).

III.2. Identification de danger dans la région d'étude

III.2.1. Localisation des sites et description de leur environnement

III.2.1.1. Situation générale la wilaya de Jijel

La région de Jijel fait partie du Sahel littoral de l'Algérie ; elle est située au Nord-Est entre les latitudes 36° -10 et 36° - 50 Nord et les longitudes 5° -25 et 6° -30 Est.

Elle est bordée au Nord par la méditerranée ; au Sud par la wilaya de Mila ; au Sud-Est par la wilaya de Constantine ; au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif. La wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest (**figure 08**) (**Boudjedjou, 2010**).

La wilaya de Jijel s'étant sur une superficie de 2.398,69 Km², elle est constituée administrativement de 11 Daïras et 28 Communes (**APC de Jijel, 2021**).

Selon la Direction de Programmation et de Suivi de Budget (DPAT, 2021), la wilaya de Jijel compte 811740 habitants en 2021.



Figure 08 : Limites administratives de la wilaya de Jijel en Algérie (D.P.A.T., 2016).

La wilaya de Jijel se distingue par un relief montagneux (82% du Territoire de la wilaya), marqué par des altitudes relativement élevées (1800 m) sur les parties sommitales de l'arrière-pays et une pente excessivement marquée (généralement supérieure à 25%) (APC de Jijel, 2021).

Selon la direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information (DSASI) de la wilaya de Jijel et d'après la campagne agricole de la saison 2019/2020, l'effectif caprin est estimé à 33228,00 dont 18533,00 chèvres avec une production annuelle de 1169,80 × (10³) L de lait.

L'auto consommation de lait de chèvre à la wilaya de Jijel a été estimée à 702,49 × (10³) L/an et la vente aux particuliers à 467,31 × (10³) L/an, la vente aux industries n'était pas mentionnée selon cette dernière enquête.

III.2.2. Zones ciblées par l'étude

La présente étude est réalisée dans 3 régions rurales différentes de la wilaya qui sont :

III.2.2.1. El-Milia

a. Description du site

El Milia est une commune algérienne faisant partie depuis le découpage administratif de 1984 à la wilaya de Jijel. Elle se trouve à mi-distance entre les villes de Jijel, Mila, Constantine et Skikda. La mer Méditerranée est à une vingtaine de kilomètre au Nord.

El Milia est limitée administrativement par les communes suivantes :

-Au Nord : Collo et Oued Zhou.

-A l'Est : Ain Kechra.

-A l'Ouest : El ancer.

-Au Sud : Sidi Marouf et Settara.

b. Démographie et populations sensibles

Les populations exposées sont définies comme les populations résidant ou fréquentant la zone étudiée.

El Milia est d'une superficie de 232 km² d'après les dernières estimations de **DPAT, 2021** on compte 99.515 habitants, les populations ciblées par notre étude sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 05 : Populations ciblées dans la région d'El-Milia (DPAT, 2021).

Tranche d'âge	Enfants (0-4 ans)	Enfants (4-10 ans)	Adulte (20-70 ans)
Nombre d'habitants	8945	8136	58168

c. Environnement naturel, pratiques agricoles et élevages

La région d'El-Milia se caractérise par un relief montagneux très accidenté. Les montagnes occupent 82 % de la superficie totale. Ils peuvent atteindre des altitudes de l'ordre de 1200 m. La région est caractérisée par, des îlots de montagnes couverts par une végétation assez dense et des sources d'eau.

Les zones des montagnes sont situées autour de la ville, caractérisées par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique important. (**Lebsir et Bessam , 2017**)

Selon la Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information (**DSASI**) de la wilaya de Jijel et d'après **la campagne agricole de (2019/2020)** l'effectif caprin est estimé à **1510,00** dont **500,00** chèvres avec une production annuelle de **73,50 × (10³) L** de lait.

L'auto consommation de lait de chèvre à el Milia a été estimée à **44,10 × (10³) L/an** et la vente aux particuliers à **29,40 × (10³) L/ an**.

d. Emissions du site

La zone d'el Milia se caractérise par la présence de la zone industrielle Bellara **avec** une superficie de 523 hectares (**Medjita et Boukerzaza., 2018**). C'est un complexe sidérurgique qui occupe une position privilégiée à mi-distance entre les villes de Jijel, Mila, Constantine et Skikda (**Boudemagh et Mihoubi ,2017**).

Bellara est une zone industrielle avec des établissements à risque, elle se trouve implantée tout au cœur d'une zone urbaine, proche d'environ de 1 km du centre-ville d'El Milia.

Elle regroupe 05 établissements industriels (**figure 09**) ; parmi lesquels deux sont en cours d'achèvement (AQS et centrale électrique) (**Barkat et Chetioui, 2018**).

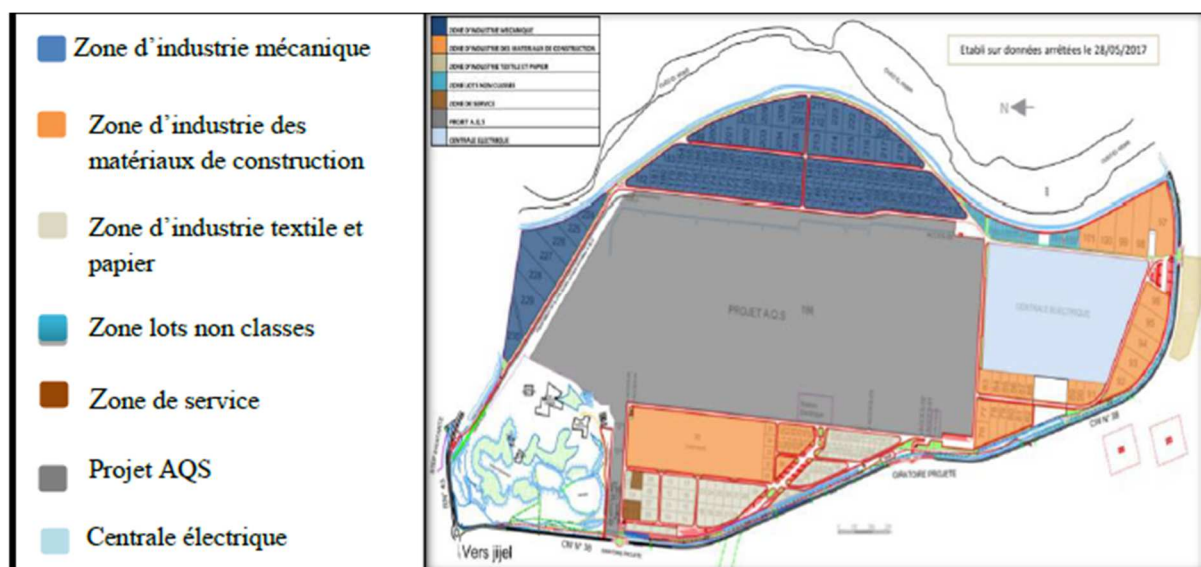


Figure 09 : Les établissements de la zone industrielle de Bellara (**Source : Direction des Mines et Industrie de Jijel (2018)**).

Outre la zone industrielle de bellara, la région d'el Milia se caractérise aussi par la présence d'une tannerie créée en 1980, où il y'a des processus de fabrication de plusieurs qualités de cuire pour chaussure, meuble vêtements et maroquinerie.

III.2.2.2. Texenna

a. Description du site

La commune de Texenna a été créée lors du découpage administratif de 1984. Elle se situe à 20 Km au Sud-Est de la ville de Jijel sur la Route Nationale RN 77 qui relie cette dernière à Sétif.

Texenna est limitée administrativement par les communes suivantes :

Au Nord par la commune de Kaous, au Sud par la commune de Boudria Benyajis, à l'Est par la commune d'Oudjana et Emir Abdelkader, à l'Ouest par la commune d'El Aouana et Selma Benziada (APC de Jijel, 2021).

b. Démographie et populations sensibles

Texenna est d'une superficie de 125.79 km² et compte 19.985 habitants d'après les dernières estimations du **DPAT, 2021** ; les populations ciblées par notre étude sont mentionnées dans le tableau ci-dessous)

Tableau 06 : Populations ciblées dans la région de Texenna (DPAT, 2021).

Tranche d'âges	Enfants de 0-4 ans	Enfants de 4-10 ans	Adulte de 20-70 ans
Nombre d'habitants	1 478	1 383	1274

c. Environnement naturel, pratiques agricoles et élevages

La commune de Texenna se caractérise par la présence des montagnes. Ils se présentent en deux chaînons, l'un se trouve à l'Est et l'autre à l'Ouest avec des altitudes qui peuvent dépasser les 1000 m et une couverture végétale assez dense.

Cette dernière est favorisée par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses. (Mouloud, 2017).

Selon la **DSASI** de la wilaya de Jijel, et d'après la **campagne agricole** de (2019/2020) l'effectif caprin est estimé à **1400.00** dont **820.00** de chèvres avec une production annuelle de **51.00 × (10³) L** de lait.

L'auto consommation de lait de chèvres a la région de Texenna a été estimée à **36.00× (10³) L / an** et la vente aux particuliers à **15.00× (10³) L / an**.

d. Emissions du site

D'une manière générale, le Trafic routier représente la part majoritaire des émissions au niveau de la région de Texenna, situés notamment au niveau de la route nationale 77 (Jijel -el Eulma) en passant par Texenna. Cette part a eu tendance à se renforcer pendant la période estivale.

La présence des décharges sauvages incontrôlées peut également contribuer à libérer des charges polluantes très diversifiées via les lixiviats.

III.2.2.3. Djimla

a. Description du site

Djimla est une commune située à 45 km au Sud-Est de Jijel, limitée au Nord par la commune D'Oudjana, au Nord-Est par la commune de Chahna, à l'Ouest par la commune de Boudriaa Ben yadjis, et au Sud elle jouxte la wilaya de Mila. Elle est traversée par la RN77 reliant Jijel à Sétif, et la RN105 qui lie la commune à la wilaya de Mila. **(APC de Jijel, 2021)**.

b. Démographie et populations sensibles

Djimla s'étend sur une superficie totale de 65.28 km² et compte d'après les recensements du **DPAT, (2021)**, 22,140 habitants.

Les populations ciblées par notre étude sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 07 : Populations ciblées dans la région de Djimla (DPAT, 2021).

Tranche d'âges	Enfants de 0 - 4 ans	Enfants de 4 – 10 ans	Adulte de 20 – 70 ans
Nombre d'habitants	2 197	1 955	12 084

c. Environnement naturel, pratiques agricoles et élevages

La commune de Djimla est une zone montagneuse qui s'élève de 600m à 1342m d'altitude, caractérisée par une grande pluviométrie et par une forte chute de neige **(Mayache, 2018)**.

Selon la **campagne agricole** de (2019/2020) réalisée par la **DSASI** de la wilaya de Jijel, l'effectif caprin est estimé à **980.00** dont **690.00** chèvres avec production annuelle de **42.00 × (10³) L** de lait.

L'auto consommation de lait de chèvres à la région de Djimla a été estimée à **29.50 × (10³) L / an** et la vente aux particuliers à **12.50 × (10³) L / an**.

d. Emissions du site

La construction du barrage de Tabellout entre 2010 et 2018 entre la commune de Djimla et Texenna a induit pendant sa phase de constructions des impacts très négatifs sur l'environnement local à savoir le déplacement de ménages et l'inondation de grandes surfaces des terrains agricoles.

La construction de ce cinquième plus grand barrage en Algérie avec une capacité de 294 millions m³ a engendré également des émissions causées par les activités du chantier le long de la période des travaux (8 ans) telles que les installations du chantier, la construction des nouvelles routes d'accès au site du chantier, matériaux utilisés (ciment ;granulats), charriage et déchets solides ...etc.

III.3. Évaluation de l'exposition : dosage des métaux lourds dans le lait de chèvres

III.3.1. Démarche expérimentale

III.3.1.1. Conditionnement du matériel et flaconnage

Pendant toutes les étapes du travail, les consignes pour éviter une éventuelle contamination ont été respectées. Des flacons en polyéthylène de 250 ml, conçues pour le prélèvement, ainsi que tout le flaconnage utilisé au cours des préparations de réactifs et de dosage (fioles, béchers, set de filtration,) ont été nettoyées avec le détergent et rincer avec l'eau de robinet. Par la suite, une décontamination par l'acide nitrique a été réalisée, cette étape consiste en un trempage des flacons dans une solution d'acide nitrique (10%) pendant 48h, associé d'un rinçage successif avec de l'eau distillée (**Quémérais et Cossa, 1997**).

En fin, une stérilisation dans l'étuve pendant 12 heures à 120 C° avec un étiquetage des flacons ont été réalisés.

III.3.2. Prélèvement

Trois échantillons du lait de chèvre ont été prélevés à partir de trois endroits différents pour chaque région ciblée par l'étude (Texenna, Djmila, el-Milia) par les éleveurs pendant la période allée de 11 avril au 14 avril 2021.

Les règles d'hygiène suivantes sont prises en considération :

Lavage des mains et les mamelles de l'animal avant la traite.

Éliminer le premier jet de chaque quartier

Puis, le lait prélevé est conservé immédiatement dans des flacons de 250 ml préalablement décontaminée à l'acide nitrique et transportée dans une glacière au réfrigérateur de laboratoire avant toute utilisation.

Un échantillon mixte a été préparé à partir de trois échantillons de chaque région pour obtenir un seul mélange représentatif de chaque région. Ce dernier a été divisé en deux flacons avec lesquels l'extraction a été réalisée selon deux méthodes différentes.

III.3.3. Méthodes d'extraction des métaux lourds

Les extraits du lait de chèvre sont préparés selon deux méthodes différentes. Cette démarche a pour objectif de comparer entre deux techniques d'extraction des métaux lourds dans le lait de chèvre afin d'adopter la technique d'extraction la plus fiable avec un écart type satisfaisant entre les trois répartitions pour chaque échantillon mixte.

Les Protocoles expérimentaux d'extraction adoptés dans la présente étude sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau08 : Protocoles d'extraction des métaux lourds

Méthode d'extraction	Protocole expérimental	Référence
Méthode 1	<ul style="list-style-type: none"> • 15 ml du lait de chèvre • Ajouter 20 ml de HNO₃ 65% • Chauffer à sec à l'aide d'une plaque chauffante • Ajouter 5 ml de H₂SO₄ • Chauffer pour être complètement séché 	Shahbazi et al.,2016

	(plaque chauffante) <ul style="list-style-type: none"> • Ajouter 5 ml de H₂O₂ • Chauffer jusqu'à que l'échantillon devienne incolore et sécher (plaque chauffante) • Les résidus ont été dissous et compléter à 5,0 ml en utilisant de l'eau distillée trois fois 	
Méthode 2	<ul style="list-style-type: none"> • 1 ml du lait de chèvre • Ajouter 4 ml de HNO₃ • Ajouter 0.5 ml de H₂O₂ 35 % • Placer sur la plaque chauffante : 120 ° C pendant 25 minutes Puis 160 ° C en 35 minutes • Étape de refroidissement pendant 30 minutes a été réalisée à 22 ° C • Diluer à 10 ml avec de l'eau double désionisée. 	Peter al., 2012, Mititelu et al,2018 ;2019

Chaque extraction a été réalisée en 3 répétitions pour chaque région, comme la montre la **figure (10)**

L'extrait obtenu a été ensuite filtré et les filtrats sont conservés dans des flacons fermés au réfrigérateur jusqu'au le jour du dosage par la SAA.

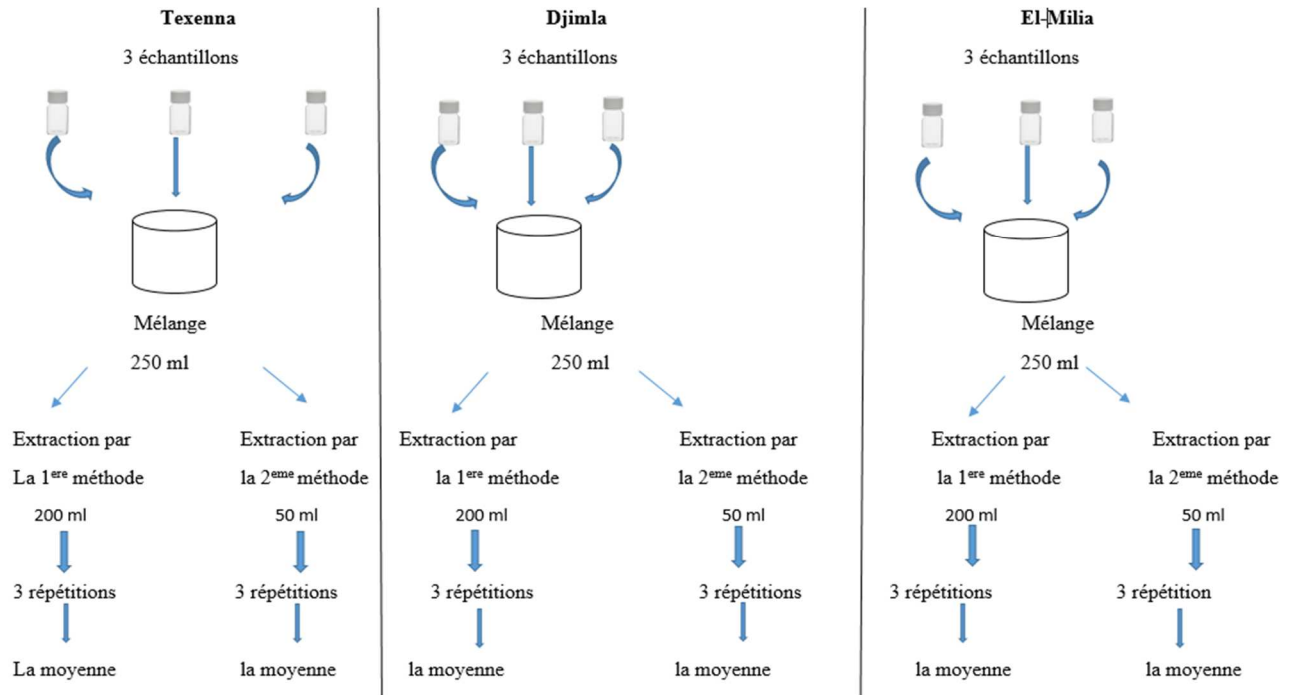


Figure10 : Démarche générale adoptée pour la préparation des extraits des métaux lourds.

III. 4. Analyse par la SAA

III.4.1. Principe

La spectrophotométrie d'absorption atomique consiste à porter les éléments à doser à leur état atomique sur le trajet d'un rayonnement UV- visible et à mesurer l'absorbance de la vapeur à une longueur d'onde spécifique (PERE, 1999).

L'appareil utilisé pour le dosage de nos minéralisats est un modèle **Shimadzu AA 6800**.

L'intérêt majeur de cette méthode est les faibles valeurs des limites de détection. Ces valeurs de détection représentent les valeurs de concentration à partir desquelles une méthode d'analyse permet de certifier la présence d'élément dans un échantillon (Le floch, 2004).

IV. Caractérisation des risques sanitaires liés à la consommation du lait de chèvre

Dans la finalité de caractériser le risque sanitaire lié à l'exposition aux quatre métaux lourds : le plomb ; le cadmium, le cuivre et le zinc via la consommation du lait de chèvres contaminés par les métaux lourds dans les trois régions ciblées par l'étude, plusieurs indices toxicologiques ont été calculé ; il s'agit de :

VI.1. Estimated daily intake (EDI) ou (Dose journalière estimée)

L'estimation du risque pour la santé pour les quatre métaux étudiés a été estimée à l'aide de l'EDI, calculé comme suit (Meshref et al., 2014), (Christophoridis et al., 2019) selon l'équation (1), page 30 :

$$EDI = \frac{C_{Metal} \times W_{lait}}{BW(kg)} \text{ mg/kg bw/jour}$$

Avec :

- **C Métal (mg/kg)** : est la teneur moyenne en plomb et cadmium des échantillons de lait cru selon leur Analyse par la SAA.
- **W Lait** : représente la consommation moyenne quotidienne de lait (kg) selon la tranche d'âge ciblée par la présente étude.

La consommation moyenne adoptée dans la présente étude a été estimée selon un questionnaire alimentaire effectué en ligne sur la population jijelienne.

- **BW (BodyWeight)** : le poids corporel moyen pour les tranches d'âges ciblées par l'étude,

Le poids corporel moyen des adultes a été fixé à 70 kg selon la littérature (EPA 2008). (EPA, 2011 ; EPA, 1989). (Dept. Of Environmental Affairs, 2010)

Alors que celui des deux tranches restantes, de moins 4ans et la seconde de 4 a10ans a été estimé selon l'enquête réalisée en ligne sur 198 participants.

➤ Questionnaire alimentaire

Les participants volontaires étaient portés à remplir en ligne trois types de questions (annexe)

- Des questions de type général (âge, poids),
- Une question de quantité du lait consommé pendant 24 heures
- Une question de fréquence alimentaire de consommation du lait.

VI.2. Target Hazard quotient (THQ) (Quotient de danger)

Les risques non cancérigènes probables pour le Pb, le Cd, le Cu et le Zn auxquels les consommateurs sont exposés via la consommation du lait de chèvres ont été évalué par le calcul du THQ selon la formule suivante **numéro 3 page 31** :

$$\text{THQ} = \text{EDI}/\text{RFD}_0 \text{ (USEPA ,2008)}$$

THQ < 1 signifie que la population exposée est supposée être en sécurité.

Les doses de référence (RFD0) pour le Cd, Pb, Zn et le Cu sont respectivement de 0,001, 0,0035, 0,3 et 0,04 mg/kg de poids corporel/jour (ESEPA 2012 ; ESEPA, 2014).

III.3. Hazard Index (HI) (Indice de danger)

Dans la présente étude, l'indice de danger consiste à caractériser le risque en combinant le risque potentiel déclenché par l'exposition aux quatre métaux étudiés simultanément et est calculé conformément à l'USEPA selon l'équation **numéro 4 page 31** :

$$\text{HI} = \text{THQ}_{\text{Cd}} + \text{THQ}_{\text{Pb}} + \text{THQ}_{\text{Zn}} + \text{THQ}_{\text{Cu}}$$

VI.4. Risque de cancer (RC)

Le risque de cancer pour le cadmium et le plomb a été calculé en fonction de l'équation suivante selon l'équation **numéro 6 page 31** :

$$\text{Cancer Risk} = \text{EDI} * \text{CSF}_0$$

CSF (Cancer Slope Factor): Est le facteur de pente cancérigène pour la voie orale des métaux considérés en $\text{mg kg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ avec: le CSF (Pb) = 0,0085, CSF (Cd) = 15 (US EPA, 2002)

IV.5. Risque cumulatif de cancer

Le risque cumulatif de cancer dans la présente étude a été évalué suite à l'exposition aux deux métaux lourds cancérigènes, le Cd et le Pb comme la somme des risques individuels de ces deux métaux, selon la formule suivante selon l'équation **numéro 7 page 32** :

$$\text{RC cumulatif} = \text{RC}_{\text{Cd}} + \text{RC}_{\text{Pb}}$$

V. Analyse statistique des données

Concernant les statistiques descriptives, les concentrations en quatre métaux étudiés (Pb, Cd, Cu et Zn) ont été exprimées en milligramme par litre du lait cru, et présentées sous forme de moyenne \pm l'erreur standard à la moyenne et ce pour chaque métal avec des représentations graphiques de leur profil pour chaque site.

Une analyse unidirectionnelle de variance (ANOVA) a été réalisée pour évaluer les différences du profil métallique du lait entre les trois régions ciblées par l'étude. La valeur $p < 0,05$ a été considérée comme indiquant une différence significative statistiquement entre les

régions comparées. Pour les groupes significativement différents sont donc traités par une analyse post hot avec le test tukey.

Les corrélations ont été étudiées en utilisant la méthode de corrélation de Pearson pour évaluer la dépendance entre le profil des quatre métaux en même temps dans la même région et entre les trois régions retenues.

Les statistiques descriptives ont été exécutées par le tableur Microsoft Excel 2016 alors que les tests d'hypothèse et l'analyse factorielle ont été réalisés par le logiciel SigmaPlot version 12.0 GraphPad Prism7 et SPSS Statistics 25.

Chapitre IV

Résultats et Discussion

IV.1. Résultats

IV.1.1. Résultats de l'évaluation de l'exposition : dosage des métaux lourds par la SAA

Pour évaluer les risques sanitaires auxquels les consommateurs sont exposés via la consommation du lait de chèvre, la première étape du travail a été entreprise en vue d'évaluer l'exposition des consommateurs par l'analyse des métaux lourds par la SAA.

Les résultats exprimés dans la présente étude concernent uniquement les extraits de la première méthode, ceux de la deuxième méthode d'extraction ont été écartés en raison de la faible rentabilité enregistrée.

Les données statistiques de concentrations en ces métaux (moyenne \pm erreur standard de moyenne ou SEM) sont récapitulées dans le **tableau 09**. Ces résultats sont exprimés en mg/kg.

De l'analyse générale de résultats de ce tableau, il ressort que ces concentrations sont fortement élevées en deux métaux non essentiels et hautement toxiques, le plomb et le cadmium, à la fois au niveau des trois régions ciblées par l'étude, mais plus significativement au niveau d'El milia, et qui dépassent largement les valeurs limites. Le même dépassement est observé avec le cuivre, métal essentiel, notamment au niveau de Texenna, alors que les concentrations en zinc étaient la seule exception avec des valeurs sous les valeurs limite de cet oligoélément essentiel.

Tableau09 : Valeurs moyennes (\pm SEM) des différentes concentrations en métaux lourds (mg/kg) dans le lait de chèvre de 3 régions.

	Région	Moyenne \pm Erreur standard	Valeurs Limite Mg/kg	Référence
Plomb	El-milia	0,425\pm 0,0065	0,02	FAO/WHO (2012)
	Texenna	0,382 \pm 0,0026		
	Djimla	0,338 \pm 0,0223		
Cadmium	El-milia	0,0155 \pm 0,0021	0,0026	Commission du Codex Alimentarius (2014)
	Texenna	0,00397 \pm 0,0007		
	Djimla	0,0359 \pm 0,0025		
Cuivre	El-milia	0,0500\pm 0,0024	0,01	(IDF, 1979)
	Texenna	0,0633\pm 0,0044		
	Djimla	0,0369\pm 0,0019		
Zinc	El-milia	1,425 \pm 0,1042	3,28	(L'IDF 1979)
	Texenna	2,712\pm 0,1148		
	Djimla	1,467\pm 0,1298		

Les résultats de l'analyse des échantillons sont regroupés dans le **tableau (09)** et représentés graphiquement dans la **figure (11)**.

Les concentrations en plomb dans le lait de chèvre présentent des variations plus ou moins importantes. La plus forte teneur (**0,425 mg/kg**) en plomb a été enregistrée au niveau de la région El-milia, alors que la faible teneur (**0,332 mg/kg**) est observée au niveau de Djimla.

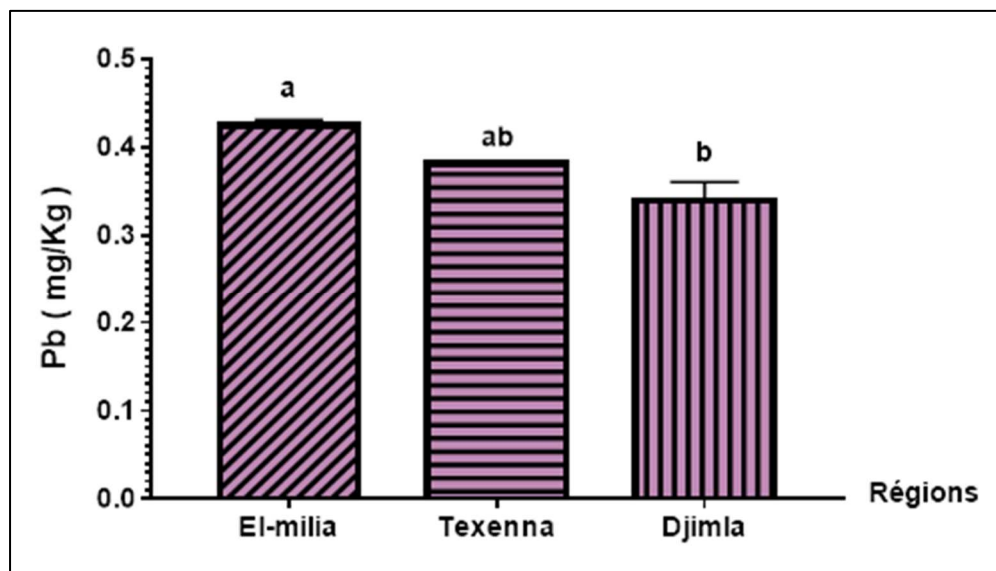


Figure 11 : Variations des teneurs en plomb dans le lait de chèvre. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

L'analyse statistique (ANOVA) a montré une différence significative ($p = 0,012$) entre les 3 régions (**Tableau09**).

De même, le test post hoc tukey a confirmé cette différence entre la région d'El-milia et Djimla, par contre la région de Texenna n'est pas significativement différente des deux autres régions (**Figure11**).

Dans l'ensemble, toutes les teneurs détectées dépassent de loin la valeur limite pour le plomb (**0,02 mg/kg**), adoptée par les organismes internationaux suivants : la **commission du codex alimentaires (FAO/WHO)**, **International Dairy Fedration (IFD)**, **Commission Regulation (EC)**, (**IDF Standard (1979)**, **EC (2006)**, **FAO/WHO (2012)**), et ce pour les trois régions retenues.

IV.1.1.2. Cadmium

Des concentrations élevées en cadmium ont été détectées dans tous les échantillons du lait prélevés dans les trois régions (**Figure 12**).

Les concentrations moyennes en cadmium dans le lait de chèvre de différentes régions présentent le gradient de concentration suivant : $C_{\text{Djimla}} > C_{\text{El-milia}} > C_{\text{Texenna}}$. Ces dernières varient respectivement ($0,0359 \pm 0,00247$) mg/kg, ($0,0155 \pm 0,00214$) mg/kg, ($0,00397 \pm 0,000742$) mg /kg (**Tableau 09** et **Figure 12**).

Comme pour le plomb, les teneurs moyennes en cadmium enregistrées pour toutes les régions dépassent le seuil recommandé par Codex **Alimentarius Commission (FAO/WHO) (2014)** ($0,0026$ mg/kg).

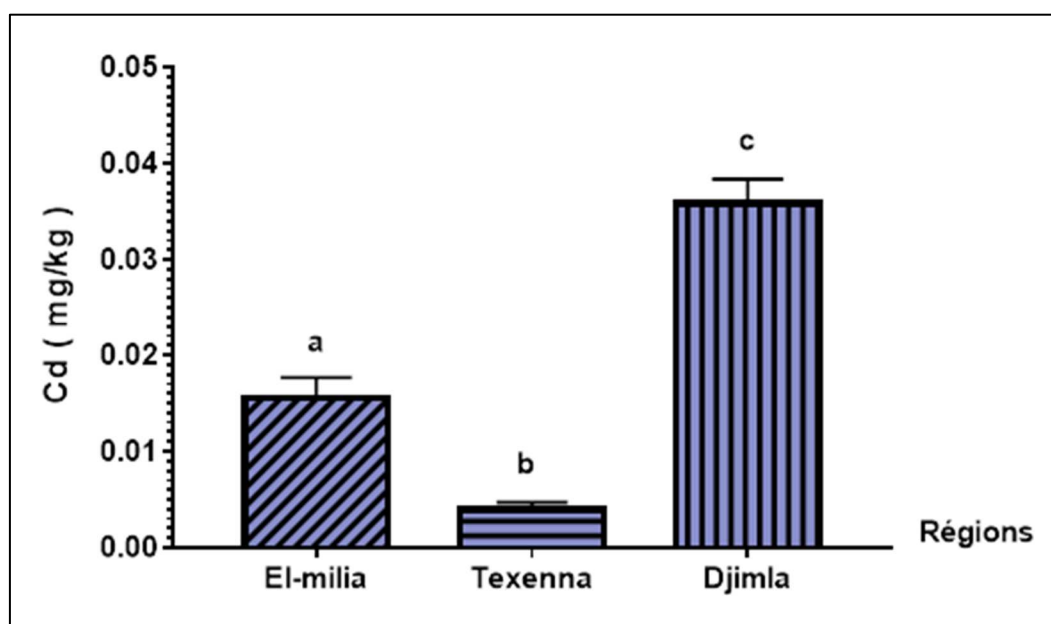


Figure 12 : Variations des teneurs en cadmium dans le lait de chèvre. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

Le dépassement de seuils était particulièrement prononcé au niveau de la région de Djimla par rapport aux autres régions avec une concentration moyenne maximale de ($0,0359$ mg/kg \pm $0,00247$). La **figure 12** illustre bien l'ampleur de cette contamination.

L'analyse par l'ANOVA a montré une différence très hautement significative ($p < 0,0001$) entre les 3 régions retenues (**Tableau 09**). Ces différences entre les différentes régions sont indiquées par les lettres minuscules de la **Figure (12)**.

IV.1.1.3. Cuivre

Les résultats de l'analyse du Cu dans les échantillons du lait avec leurs statistiques descriptives sont regroupés dans le **tableau (09)** et représentés graphiquement dans la **figure (13)**.

Les résultats obtenus ont révélé des teneurs variantes en cuivre dans le lait de chèvre et d'une région à une autre qui sont généralement élevées. Elles s'échelonnent entre une valeur minimale de l'ordre de **0,0369 mg/kg** au niveau de la région de Djimla et une valeur maximale de l'ordre de **0,0633 mg/kg** au niveau de Texenna.

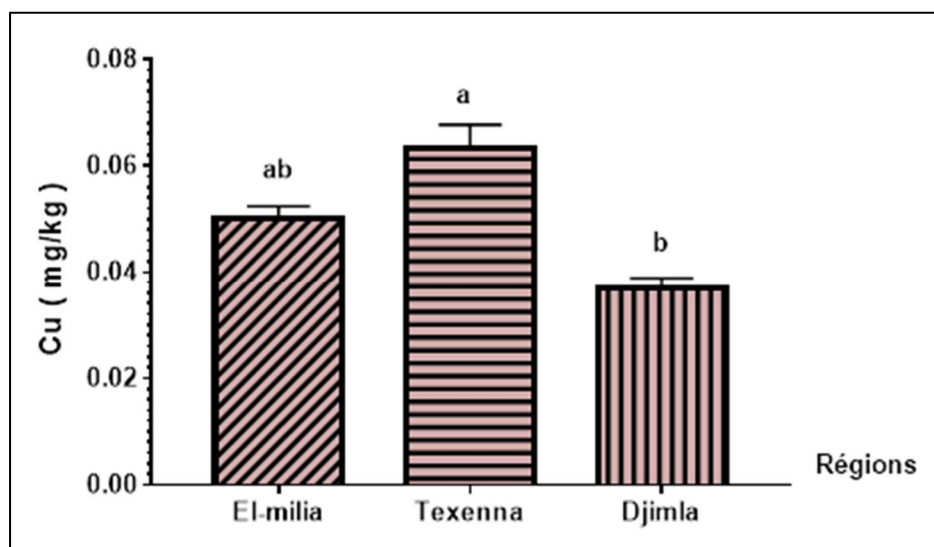


Figure13 : Variations des teneurs en cuivre dans le lait de chèvre. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

La **figure (13)** montre que les concentrations moyennes en cuivre varient significativement d'une région à une autre. Ceci est bien démontré par l'analyse de la variance qui illustre bien cette variation ($p=0,003$).

La concentration en cuivre la plus élevée est observée au niveau de la région de Texenna et elle différerait d'une manière significative ($p=0,003$) avec les concentrations enregistrées au niveau de Djimla. Par contre la région d'El-milia ne montrait aucun effet significatif entre les concentrations de deux autres régions étudiées (**Figure13**).

IV.1.1.4. Zinc

Les résultats de l'analyse du Zn dans les échantillons du lait avec leurs statistiques descriptives sont regroupés dans **le tableau (09)** et représentés graphiquement dans **la figure (14)**.

D'après les résultats des analyses du Zn obtenus dans la présente étude, nous n'avons observé aucun dépassement de valeur limite, en revanche, les teneurs en zinc détectées sont faibles dans tous les échantillons du lait analysé et varient entre un minimum de l'ordre de **(1,425 ± 0,1042 mg/kg)** signalé au niveau de El- milia, et un maximum de l'ordre de **(2,712 ± 0,1148 mg/kg)** au niveau de Texenna.

De plus, l'analyse statistique de la variance a révélé une différence très hautement significative d'une région à l'une autre ($p = 0,0003$).

La concentration en cuivre la plus élevée est enregistrée au niveau de la région de Texenna par rapport aux deux autres régions qui montrent des teneurs semblables (El-milia et Djimla).

A signaler que les valeurs trouvées dépassent la valeur limite proposée par **l'IFD (1979)** qui est de **3,28 mg/kg**.

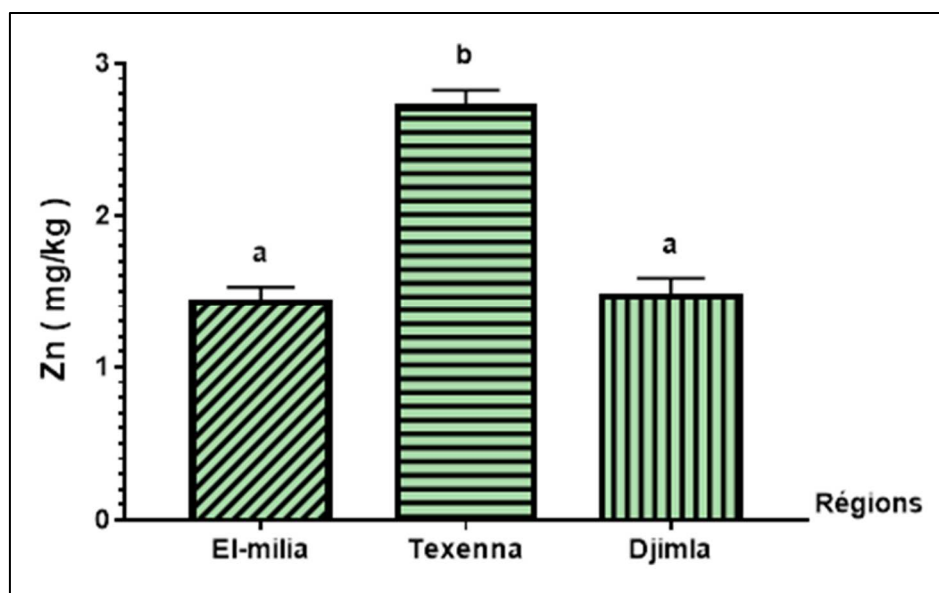


Figure 14 : Variations des teneurs en zinc dans le lait de chèvre. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.1.2. Résultats de l'analyse de corrélation

Le coefficient de corrélations de Pearson (**Tableau10**) (**Voir annexe 02**) a été réalisé entre les concentrations en quatre métaux mesurés dans les échantillons du lait de chèvre dans les trois régions ciblées par l'étude pour comprendre toute association possible, positive ou négative, entre elles.

Pour la région d'El milia, la teneur résiduelle en Pb dans le lait était positivement corrélée avec les teneurs en **Cd (r=0,542)**, et négativement corrélée avec la concentration du **Cu (r=-0,865)** et du **Zn (-0,499)**. De plus, le Zn et le Cu étaient fortement corrélés entre eux avec $r = 0,867$.

Deux fortes corrélations ont caractérisé les métaux détectés dans le lait prélevé de chèvres de Texenna, l'une positive, lie entre le plomb et le **zinc (r = 0,912)** et l'autre négative entre le zinc et le cuivre.

Une corrélation très puissante ($r = 1$) associé positivement le **plomb et le zinc** dans le lait de chèvres de Djimla, avec une négative ($r = -0,982$) lie le **cadmium et le cuivre**.

IV.2. Discussion

Le lait est un élément incontournable dans le quotidien des algériens ; et parmi tous les types du lait, celui de chèvre est considéré comme l'un a plus complets et des mieux équilibrés.

Néanmoins, la contamination de cet aliment de base en métaux lourds toxiques est considérée comme un problème sérieux compte tenu de leur toxicité et de leur pouvoir cumulatif dans la chaîne trophique. Les ruminants, dont les chèvres, sont des organismes bioaccumulateurs des métaux et sont souvent utilisés comme espèces sentinelles de la contamination métallique. Le lait représente une des voies d'élimination des métaux, et est de ce fait une source non négligeable de contamination pour l'homme. (**Akhmetsadykova,2012**)

Notre question de recherche porte sur l'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation du lait de chèvres contaminés par deux métaux hautement toxiques et non essentiels, le plomb et le cadmium, et deux oligoéléments essentiels, le zinc et le cuivre.

IV.2.1. Plomb

Généralement, le plomb est un métal si répandu dans l'environnement et sa présence dans le lait peut être en raison de plusieurs sources environnementales (dépôts atmosphériques, déchets, échappements de véhicules, effluents urbains, etc.) (**Meshref et al., 2014**).

Dans la présente étude, les concentrations moyennes en Pb trouvées varient entre (**0,425 mg/kg**) et (**0,338 mg/kg**). La plus forte teneur (**0,425 mg/kg**) a été enregistrée au niveau de la région El-milia.

Il est admis que la source de contamination par le plomb n'est pas uniforme, ces concentrations élevées apparaissent fort probablement influencées par la présence, en sus de sources naturelles, d'autres sources suspectes d'aggraver la situation. Des apports d'origines anthropiques, particulièrement atmosphériques, provenant de la zone industrielle de bellara peuvent expliquer de leur part ces teneurs élevées.

Des résultats analogues ont été rapportés par **El Sayed et al., (2011)** et **Meshref et al., (2014)** avec des valeurs de Pb proche à nos résultats (0,327, 0,4086 mg/kg, respectivement).

Alors que, **Enb et al., (2009)** et **El-Ansary, (2017)** ont trouvé des valeurs plus faibles (0,066 et 0,084 ; et 0,0934 et 0,05878 mg/kg) pour le lait de vache et de bufflonne, respectivement.

La plus forte concentration en Pb (60 mg/kg) a été trouvée dans des échantillons de lait de vache cru prélevés sur des animaux élevés à proximité de la zone se composent de granites et de gneiss granitiques situés dans la région de Tirupati dans le district de Chittoor Andhra Pradesh, en Inde. Cependant, ces concentrations sont fortement influencées par les variations saisonnières, qui sont attribués au changement dans la composition botanique de l'herbe principalement en hiver (**Raghu, 2015**).

En comparant les concentrations en plomb de cette étude avec la limite maximale autorisée pour le Pb dans le lait rapporté par la **Commission du Codex Alimentaires** et **L'IFD (0,02 mg/kg)**, nos résultats montrent un dépassement vraiment alarmant pour tous les échantillons du lait analysés.

La forte concentration en Pb dans le lait mise en évidence dans les trois régions ciblées par la présente étude pourrait s'expliquer d'une part par les sources naturelles (altération des roches et des sols), mais d'autre part, par la pollution de l'environnement par ce métal.

En effet, les activités agricoles et industrielles (El milia particulièrement), et le transport routier sont des sources anthropiques connues pour l'augmentation de la concentration de plomb dans l'environnement.

Concernant le transport routier, l'Algérie figure parmi les pays qui utilisent encore l'essence plombée. Selon l'étude de **Semadi et Deruelle, (1993)** la concentration en plomb dans l'essence en Algérie atteint une concentration de 0,45 g / L.

En effet, les additifs d'alkyle de plomb dans l'essence sont brûlés et émis dans l'atmosphère et peuvent être responsables d'une concentration élevée de plomb dans certaines végétations, bords de route, sol, air, eau et plantes (**Tunegova et al., 2016**).

IV.2.2. Cadmium

Le cadmium (Cd) est l'un des polluants industriels et environnementaux les plus toxiques en raison de sa longue demi-vie (15-30 ans) et ces effets délétères multiformes sur la santé humaine tels que : tératogène, cancérigène, effets hépatotoxiques, néphrotoxiques, squelettiques et reproductifs (**Domingo, 1994; Flora et Agrawal., 2017; Zhong et al., 2018**), ça peut être bio accumulé dans divers tissus en particulier le foie et les reins, qui amplifie les effets délétères sur la santé humaine (**WHO,2005**).

La présence de Cd à forte concentration dans le lait analysé pourrait être due à la consommation d'aliments contaminés par les animaux et d'eau contaminés d'où il provient des émissions industrielles et des engrais (roches phosphatées, qui constituent la base des engrais commerciaux et les boues), qui peuvent contaminer les sols et les cultures.

Aussi, l'inhalation de fumées et de poussières provenant des activités industrielles, et équipements métalliques doublés de cadmium utilisés dans la transformation commerciale des aliments, émaux de poterie et le plastiques contenant du cadmium (**Abd-El-Aal et al., 2012**).

Dans la présente étude, les concentrations moyennes en Cd trouvées varient entre (**0,00397 mg/kg**) et (**0,0359 mg/kg**), où la région de Djimla a enregistré la valeur la plus effrayée. Notre étude montre de ce fait, de très sérieuses menaces toxicologiques pour la santé de la population de cette région consommatrice de lait de chèvre.

Les origines de cette menace peuvent provenir à la fois de sources naturelles (altération de la roche mère) et anthropiques (trafic routier, activités liées au barrage de Tabellout et agriculture locale).

En effet, la part des ETM endogènes, issus du fond pédogéochimique local, peut contribuer de manière significative au stock global en ETM selon une étude d'**Afalfiz et al., (1998)**, où elle a suggéré que les ETM dans les sols de la wilaya de Jijel sont principalement d'origine naturelle.

Une tendance similaire ou proche à celles de nos résultats a été signalée par **Khalil, (2018)** qui a trouvé une teneur en cadmium qui varie entre (0 – 0,03 mg/kg) dans le lait de chèvre en Egypte. Néanmoins, nos valeurs sont inférieures à celles de **Nnadozi et al., (2014)** qui ont trouvé 0,420 et 0,103 mg/kg pour le lait de chèvre et de brebis, respectivement.

Les valeurs rapportées par **Ali et al., (2011)** au Nigéria (0,59 mg/kg) ; **Abdul et al., (2012)** au Palestine (0,66 mg/kg), **Malhat et al., (2012)** en Egypte (2,836 mg/kg), et **Alem et al., (2015)** dans le lait prélevé en Éthiopie (0,206 mg/kg) sont trop élevés par rapport aux valeurs de notre étude.

Cependant, nos résultats sont supérieurs à **SolaLarr anaga et Navarro-Blasco, (2009)** ; **Bilandzic et al., (2011)** ; **Pilarezyk et al., (2013)** et **Khan et al., (2014)** qui ont rapporté des valeurs du Cd plus faibles que notre étude où ils ont rapporté : 0,0004, 0,003, 0,004 et 0,002 mg/, respectivement.

Alors que la plus forte concentration en Cd (12 mg/kg) a été trouvée dans des échantillons de lait de vache cru prélevés sur des animaux élevés à proximité de la zone se composent de granites et de gneiss granitiques situés dans la région de Tirupati dans le district de Chittoor Andhra Pradesh, en Inde (**Raghu, 2015**).

En fin, il faut bien signaler que pour l'ensemble des régions ciblées par l'étude, les teneurs en cadmium obtenues dépassent largement la valeur limites standard (0,0026 mg/kg) déterminées par la Fédération internationale de laiterie et le codex Alimentarius (**FIL, 1979 ; Commission du Codex Alimentarius, 2014**).

IV.2.3. Cuivre

Le cuivre est largement connu dans le monde entier comme une bonne source d'importance biologique dans le lait, où, par une teneur excessive en cuivre dans le lait, contribue à l'oxydation rapide des lipides et contribue à l'accélération de nombreuses maladies (**Nazir et al., 2015**).

La contamination possible du lait par le cuivre peut provenir de l'alimentation animale, d'une teneur plus élevée en cuivre dans l'eau et également du cuivre et des alliages de cuivre utilisés dans les équipements (**Mitchel, 1981 et Temiz et Soylu, 2012**)

Selon **Mitchell (1981)**, les aliments pour animaux et plus particulièrement l'eau potable, est le plus important facteur de contamination du lait en cuivre.

Des teneurs plus élevées que celles trouvées dans notre étude ont été enregistrées par **Khalil., (2018)** (0,336 mg/kg) en Egypte dans le lait de chèvre.

Généralement, le niveau moyen de Cu dans les échantillons de lait cru de vache à travers le monde variait entre 0,0136 mg/kg et 36 mg/kg, ils sont au-dessus de la limite maximale (0,01 mg/kg) (**IDF, 1979**).

Les niveaux de Cu les plus élevés ont été enregistrés en Inde chez des vaches élevées dans une zone considérée comme l'un des plus grands gisements de barytine du monde dans la province de Tirupati (36 mg/kg), et dans une zone constituée de granites et de gneiss granitiques à Mangampeta dans le district de Kadapa, Andhra Pradesh (28mg/kg) (**Raghu, 2015**).

IV.2.4. Zinc

Le zinc est un élément essentiel pour la santé humaine, il est important pour la croissance et le développement normaux du corps humain.

Il est indispensable à la structure et à l'activité de plus de 300 enzymes responsables de la synthèse des acides nucléiques et des protéines, de la différenciation et de la réplication cellulaires, de la sécrétion d'insuline, de la maturation sexuelle et il peut également être impliqué dans les performances fonctionnelles du système immunitaire et d'autres processus physiologiques (**Vahcic et al.,2010**).

Le niveau élevé de concentration de Zn dans le lait est le résultat de la contamination du sol par le zinc qui contribue à une concentration accrue dans la végétation qui sert de fourrage aux brebis (**Balabanova et al., 2015**).

Les résultats obtenus dans cette étude varient entre (**1,425 mg/kg**) et (**2,712 mg/kg**). En comparant les concentrations en zinc de trois régions avec la limite maximale autorisée pour cet élément dans le lait telle que rapportée par **L'IDF (3 ,28 mg/kg)**, tous les échantillons de lait ne dépassent pas cette limite.

Ces concentrations étaient plus faibles par rapport aux résultats obtenus par d'autres auteurs, à travers plusieurs pays du monde comme **Lante et al., (2006)** ; **El-Gendy et al., (2007)** ; **El Sayed et al., (2011)**, **Malhat et al., (2012)** en Egypte avec des moyennes respectives de 3,6 mg/kg, 2,152 mg/kg et 1,209 mg/kg, 7,20 mg/kg.

D'autre part, nos résultats sont plus élevés par rapport aux résultats obtenus dans l'étude de **Khalil, (2018)** avec des teneurs en Zn dans les échantillons de lait examinés de 0,417 à 1,420 mg/kg dans le lait de brebis et de chèvre.

IV. 3. Résultats de la caractérisation des risques sanitaires liés à la consommation du lait de chèvre

Tenant compte des niveaux élevés en métaux lourds, notamment en plomb et en cadmium, détectés dans le lait des trois régions ciblées par l'étude dans la wilaya de Jijel, il nous a paru fondamental, dans la deuxième partie de ce travail, d'évaluer les effets de cette contamination polymétallique sur la santé des consommateurs du lait dans ces régions.

IV.3.1. Résultat du questionnaire

198 individus de la population jijélienne ont répondu sur le questionnaire mis en ligne, les réponses obtenues sont présentées sous dessous :

Tableau 11 : Résultats du questionnaire alimentaire sur la consommation de lait.

Population	Poids corporel Moyen (en kg)	Pourcentage de consommation (%)	Quantité consommée par jour (en ml)
Adultes	70	53,8	200
Enfants de 0 à 4 ans	15,54	39,4	600
Enfants de 4 à 10 ans	27,27	59,2	400

IV.3.2. Dose Journalière Estimée (EDI)

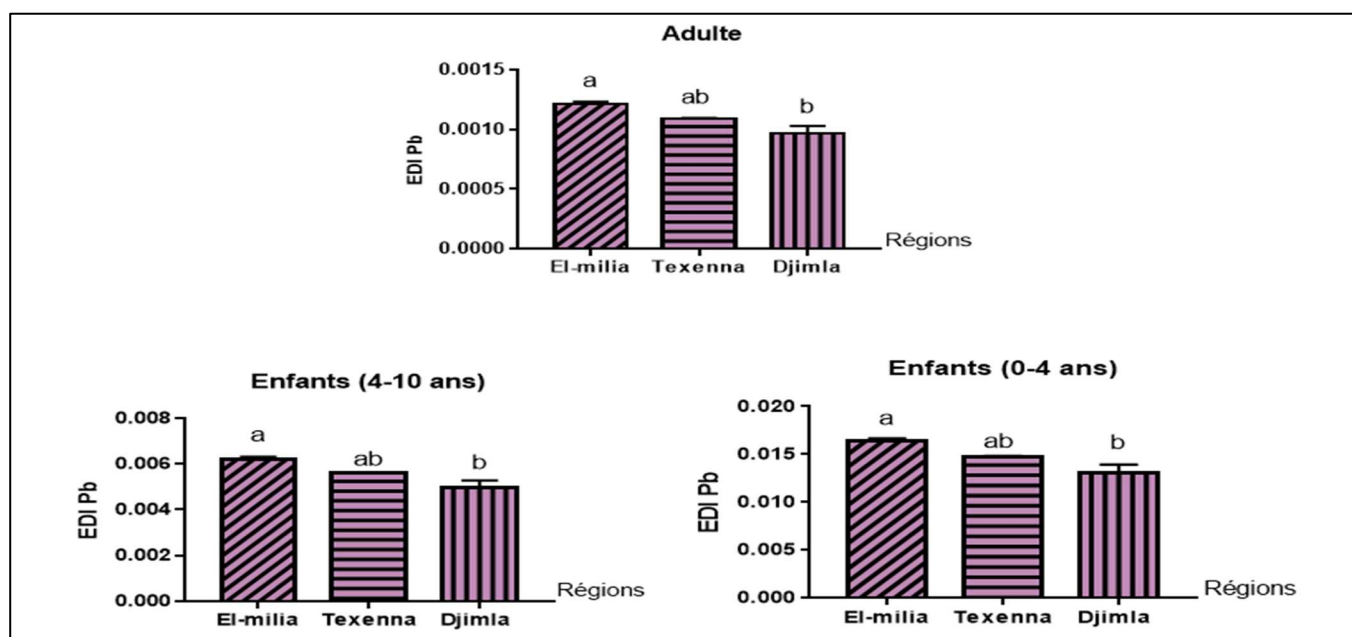
IV.3.2.1. Plomb

Les résultats de l'EDI du Pb et leurs traitements statistiques pour les trois régions de l'étude sont récapitulés dans le **tableau 12** et présentés dans la **figure 15**.

Les résultats obtenus montrent que les EDI de Plomb des adultes pour les trois régions sont en dessous de la valeur limite proposé par le FAO (0,0036 mg/kg /jour) (**FAO/OMS,1993**), par contre celles des enfants dépassent de loin ce seuil. Ce dépassement est particulièrement observé pour les enfants de 0 à 4 ans. Selon l'analyse statistique ANOVA, l'EDI de Pb diffère significativement entre les trois régions étudiées ($P=0,012$).

Tableau 12 : Les doses journalières estimées de plomb en mg/kg du poids corporel/jour)

Tranche d'âge	Régions	Moyenne ± Erreur standard	Valeur limite mg/kg BW/jour
Adulte	El-milia	0,001214± 1,872×10 ⁻⁵	0,0036
	Texenna	0,00109 ± 7,506×10 ⁻⁶	
	Djimla	0,000967 ± 6,376×10 ⁻⁵	
Enfants 0-4 ans	El-milia	0,0164 ± 0,000253	
	Texenna	0,01474±0,0001014	
	Djimla	0,01307 ± 0,0008616	
Enfants 4-10 ans	El-milia	0,00623± 9,612×10 ⁻⁵	
	Texenna	0,005598±3,853×10 ⁻⁵	
	Djimla	004965± 0,0003273	

**Figure 15** : Présentation graphique des résultats de l'EDI Plomb. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.2.2. Cadmium

Contrairement au plomb, l'ensemble des EDI de Cd pour les adultes et les enfants (**Tableau 13** et **figure 16**), et ce dans les trois régions de l'étude, ne dépasse pas la norme proposée par (FAO/WHO, 2012) $EDI(Cd) < 0,0083$ mg/kg poids corporel /jour. Néanmoins, de l'analyse de résultats du **tableau (13)**, il ressort que ces EDI de cadmium sont fortement élevées au niveau

de la région de Djimla par rapport aux deux autres régions, et ce pour toutes les tranches d'âges étudiées, les EDI (Cd) obtenues suivent le gradient suivant : $EDI_{Cd \text{ Djimla}} > EDI_{Cd \text{ El-milia}} > EDI_{Cd \text{ Texenna}}$.

Tableau 13 : Les doses journalières estimées de cadmium en mg/kg du poids corporel/jour). Les résultats exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM) .

Tranche d'âge	Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P	Valeur limite mg/kg BW/jour
Adulte	El-milia	$4,429 \times 10^{-5} \pm 6,11 \times 10^{-6}$	P < 0,0001	0,0083
	Texenna	$1,133 \times 10^{-5} \pm 2,121 \times 10^{-6}$		
	Djimla	$0,0001027 \pm 7,046 \times 10^{-6}$		
Enfants 0-4 ans	El-milia	$0,0005985 \pm 8,257 \times 10^{-6}$		
	Texenna	$0,0001532 \pm 2,866 \times 10^{-5}$		
	Djimla	$0,001387 \pm 9,521 \times 10^{-5}$		
Enfants 4-10 ans	El-milia	$0,0002274 \pm 3,137 \times 10^{-5}$		
	Texenna	$5,818 \times 10^{-5} \pm 1,089 \times 10^{-5}$		
	Djimla	$0,0005271 \pm 3,617 \times 10^{-5}$		

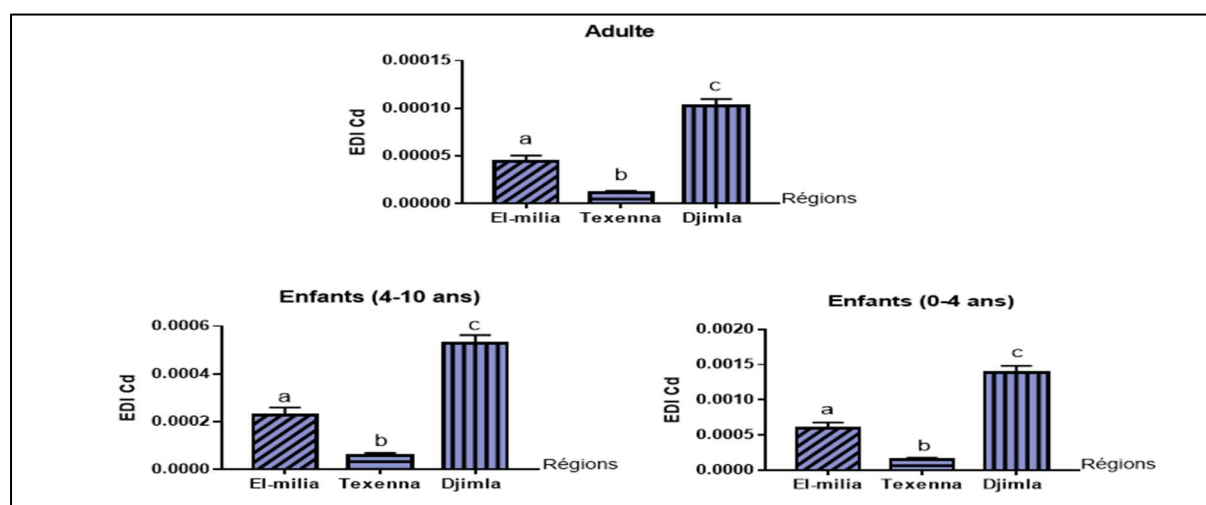


Figure 16 : Présentation graphique des résultats de l'EDI Cadmium. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.2.3. Cuivre

La dose journalière estimée du cuivre la plus élevée a été enregistrée au niveau de Texenna et ce pour toutes les tranches d'âge, mais plus particulièrement pour les enfants âgés de 0 à 4.

L'analyse statistique ANOVA a montré qu'il existe une différence significative dans la dose journalière estimée du cuivre entre les trois régions étudiées, alors que l'analyse post hoc de Tukey a confirmé cette différence entre la région de Texenna et de Djimla (**Tableau 14** et **Figure 17**).

Tableau 14 : Les doses journalières estimées de cuivre en mg/kg du poids corporel/jour). Les résultats exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM).

Tranche d'Age	Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adulte	El-milia	0,000143 \pm 6,953 $\times 10^{-6}$	0,003
	Texenna	0,0001809 \pm 1,275 $\times 10^{-5}$	
	Djimla	0,0001054 \pm 5,616 $\times 10^{-6}$	
Enfants 0-4 ans	El-milia	0,001932 \pm 9,395 $\times 10^{-5}$	
	Texenna	0,002444 \pm 0,0001723	
	Djimla	0,00142 \pm 7,589 $\times 10^{-5}$	
Enfants 4-10 ans	El-milia	0,0007339 \pm 3,569 $\times 10^{-5}$	
	Texenna	0,0009285 \pm 6,544 $\times 10^{-5}$	
	Djimla	0,0005413 \pm 2,883 $\times 10^{-5}$	

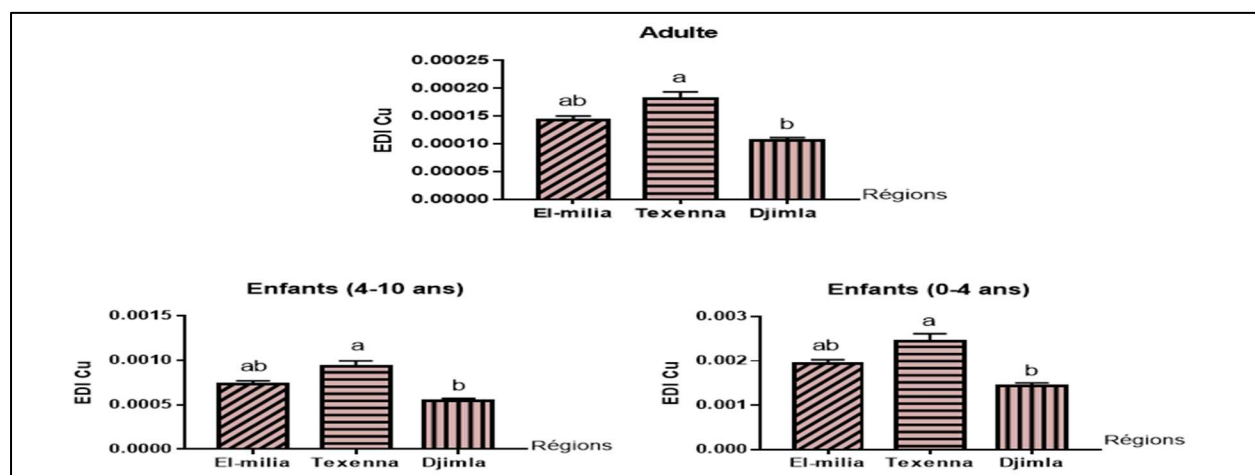


Figure 17 : Présentation graphique des résultats de l'EDI Cuivre. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.2.4. Zinc

Comme le cuivre, la valeur de l'EDI du Zinc la plus élevée a été observée au niveau de la région de Texenna (**Tableau 15** et **figure 18**). En outre, l'analyse statistique ANOVA a révélé une différence significative entre les régions El-milia et Djimla .

Tableau 15 : Les doses journalières estimées de Zinc en mg/kg du poids corporel/jour). Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM)

Tranche d'âge	Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adulte	El-milia	0,004072 \pm 0,0002977	P<0,0001
	Texenna	0,007748 \pm 0,0003281	
	Djimla	0,004192 \pm 0,0003423	
Enfants 0-4 ans	El-milia	0,05503 \pm 0,004024	
	Texenna	0,1047 \pm 0,004434	
	Djimla	0,05665 \pm 0,004625	
Enfants 4-10 ans	El-milia	0,02091 \pm 0,001529	
	Texenna	0,03977 \pm 0,001684	
	Djimla	0,02152 \pm 0,001757	

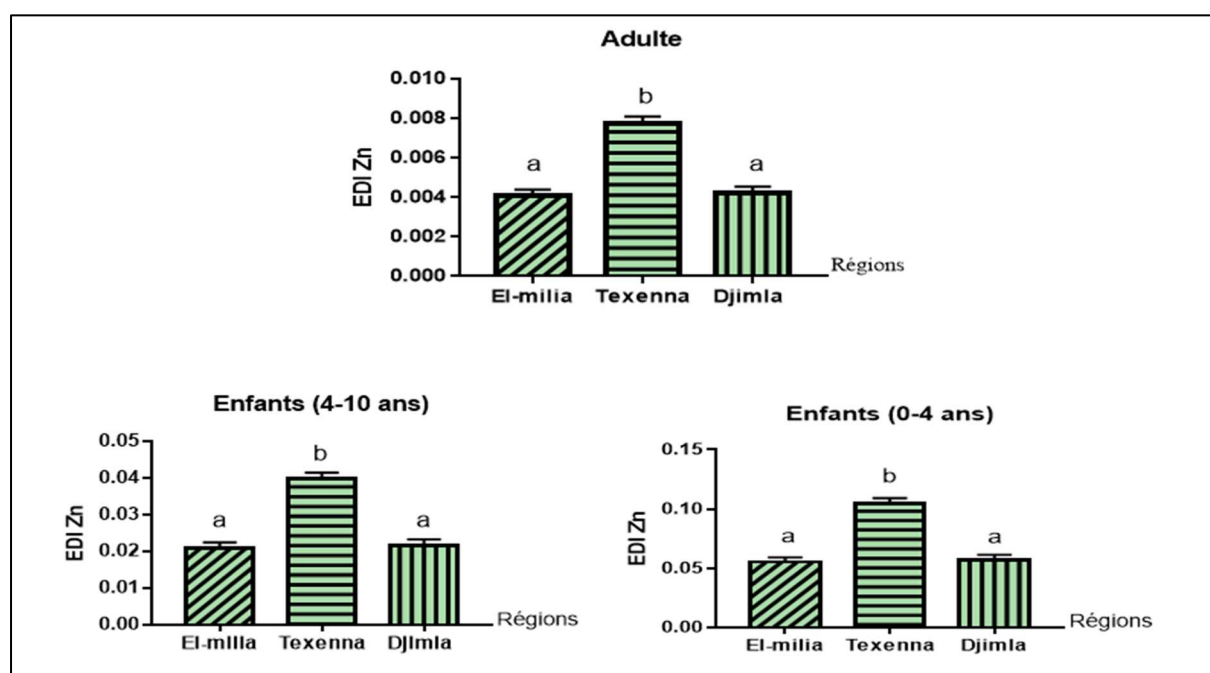


Figure 18 : Présentation graphique des résultats de l'EDI Zinc. Les lettres minuscules indiquent les différences entre les régions.

IV.3. 3. Quotient de Danger (THQ)

IV.3.3.1. Plomb

Selon les résultats du calcul obtenus du THQ (Pb) (adulte et enfants), on constate que le risque non cancérigène le plus élevé est observé au niveau d'El Milia par rapport aux deux autres régions (Texenna et Djimla) (**tableau 16** et **figure 19**), ce risque est plus élevé chez les adultes par rapport aux enfants. D'une manière générale les valeurs de THQ obtenus durant la présente étude ne dépassent pas la valeur limite indiquée par **Zhuang et al., 2009** (THQ <1) .

Tableau 16 : Résultats du quotient de danger de plomb. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM)

Tranche d'âge	Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adulte	El-milia	0,3467 \pm 0,005487	0,012
	Texenna	0,3117 \pm 0,002028	
	Djimla	0,2763 \pm 0,01819	
Enfants 0-4 ans	El-milia	5,74 $\times 10^{-5}$ \pm 8,66 $\times 10^{-7}$	
	Texenna	5,16 $\times 10^{-5}$ \pm 3,464 $\times 10^{-7}$	
	Djimla	4,573 $\times 10^{-5}$ \pm 3,031 $\times 10^{-6}$	
Enfants 4-10 ans	El-milia	2,18 $\times 10^{-5}$ \pm 3,464 $\times 10^{-7}$	
	Texenna	1,96 $\times 10^{-5}$ \pm 1,155 $\times 10^{-7}$	
	Djimla	1,74 $\times 10^{-5}$ \pm 1,155 $\times 10^{-6}$	

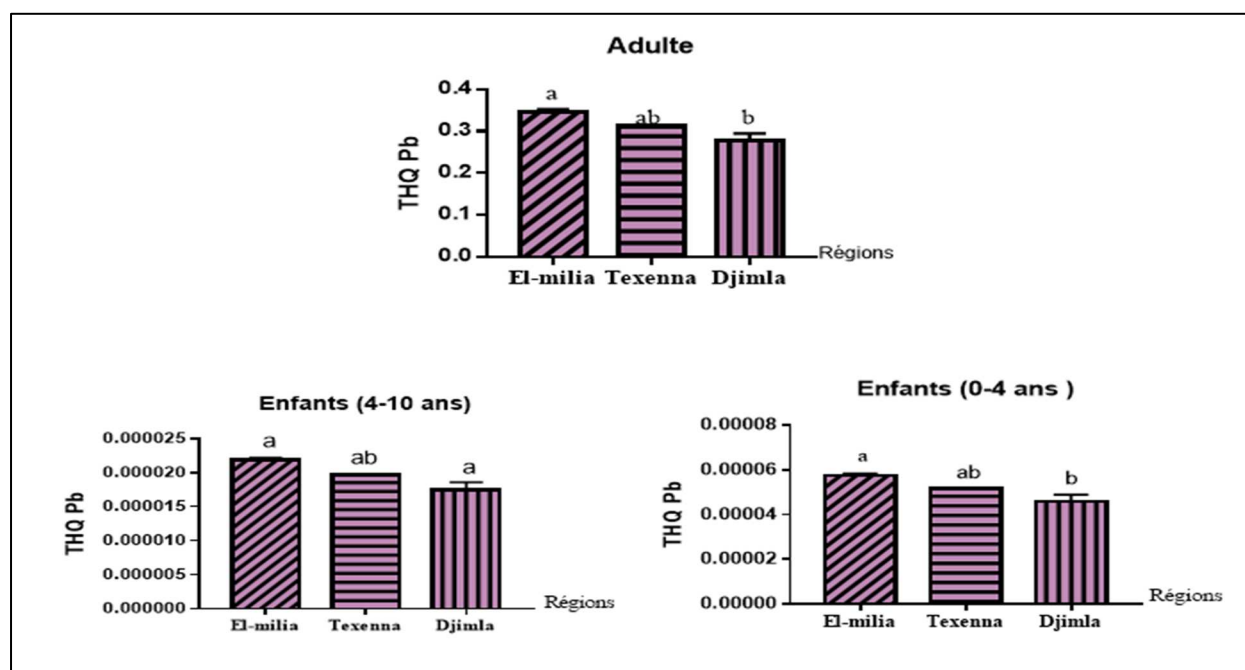


Figure 19 : Présentation graphique des résultats du THQ Plomb. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.3.2. Cadmium

D'après les résultats présentés dans le **tableau 17** et la **figure 20** ci-dessous, la région de Djimla montre le risque non cancérigène le plus élevé pour le cadmium. La tranche d'âge la plus vulnérable pour ce risque non cancérigène du cadmium était les adultes (valeur en gras) par rapport aux enfants, mais toutes les valeurs obtenues ne présentent pas risque pour la santé puisqu'elles ne dépassent pas la valeur indiquée par **Zhuang et al.,(2009)** THQ <1.

Tableau 17 : Résultats du quotient de danger de cadmium. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM).

		Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adulte		El-milia	0,04427 \pm 0,006098	P<0,0001
		Texenna	0,01135 \pm 0,002127	
		Djimla	0,1027 \pm 0,007094	
Enfants 0-4 ans		El-milia	5,983 $\times 10^{-7}$ \pm 8,264 $\times 10^{-8}$	
		Texenna	1,532 $\times 10^{-7}$ \pm 2,866 $\times 10^{-8}$	
		Djimla	1,387 $\times 10^{-6}$ \pm 9,77 $\times 10^{-8}$	
Enfants 4-10 ans		El-milia	2,273 $\times 10^{-7}$ \pm 3,122 $\times 10^{-8}$	
		Texenna	5,82 $\times 10^{-8}$ \pm 1,088 $\times 10^{-8}$	
		Djimla	5,27 $\times 10^{-7}$ \pm 3,595 $\times 10^{-8}$	

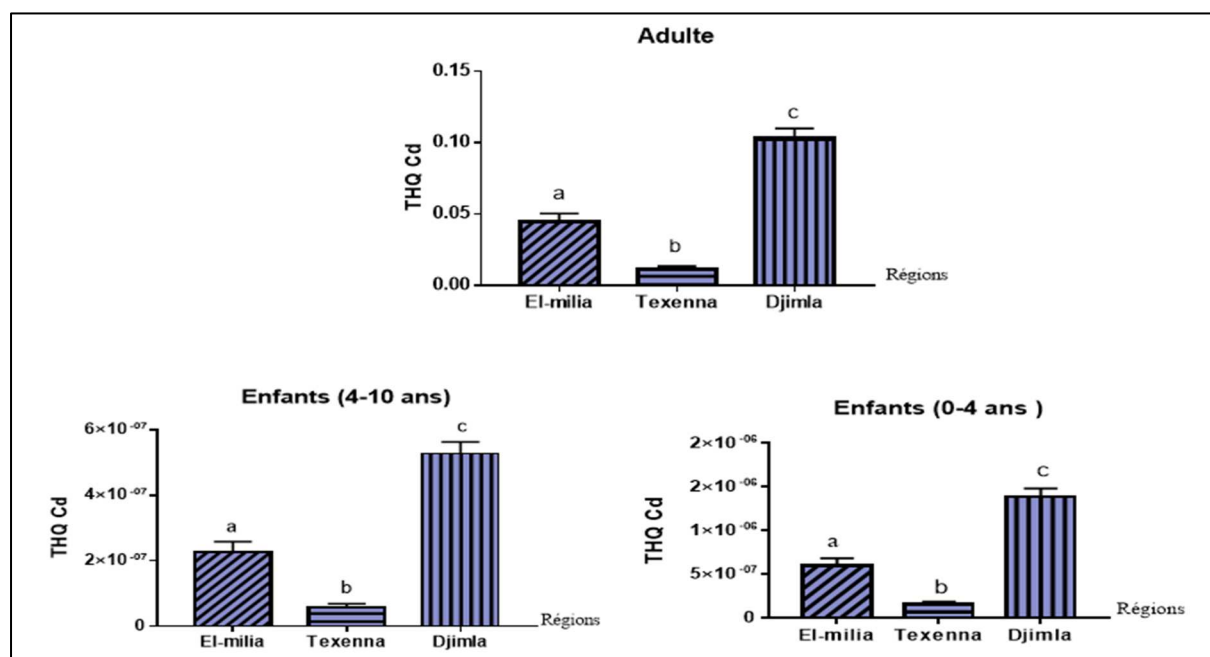


Figure 20 : Présentation graphique des résultats du THQ Cadmium. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.3. 3. Cuivre

Un risque non cancérigène faible qui ne dépasse pas la valeur indiquée par **Zhuang et al., (2009)** THQ <1 du cuivre a été constaté pour toutes les tranches d'âges dans toutes les régions. La région de Texenna a montré la valeur la plus élevée par rapport, aux deux autres régions (**Tableau 18** et **figure 21**). Le risque non cancérigène pour le cuivre est plus élevé chez les adultes que les enfants.

Tableau 18 : Résultats du quotient de danger de cuivre. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM)

		Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adulte	El-milia		0,003573 \pm 0,0001733	0,003
	Texenna		0,004523 \pm 0,0003175	
	Djimla		0,002637 \pm 0,0001417	
Enfants 0-4 ans	El-milia		7,727 $\times 10^{-5}$ \pm 3,767 $\times 10^{-6}$	
	Texenna		9,767 $\times 10^{-5}$ \pm 6,839 $\times 10^{-6}$	
	Djimla		5,7 $\times 10^{-5}$ \pm 3,035 $\times 10^{-6}$	
Enfants 4-10 ans	El-milia		2,933 $\times 10^{-5}$ \pm 1,433 $\times 10^{-6}$	
	Texenna		3,713 $\times 10^{-5}$ \pm 2,624 $\times 10^{-6}$	
	Djimla		2,163$\times 10^{-5}$ \pm 1,157$\times 10^{-6}$	

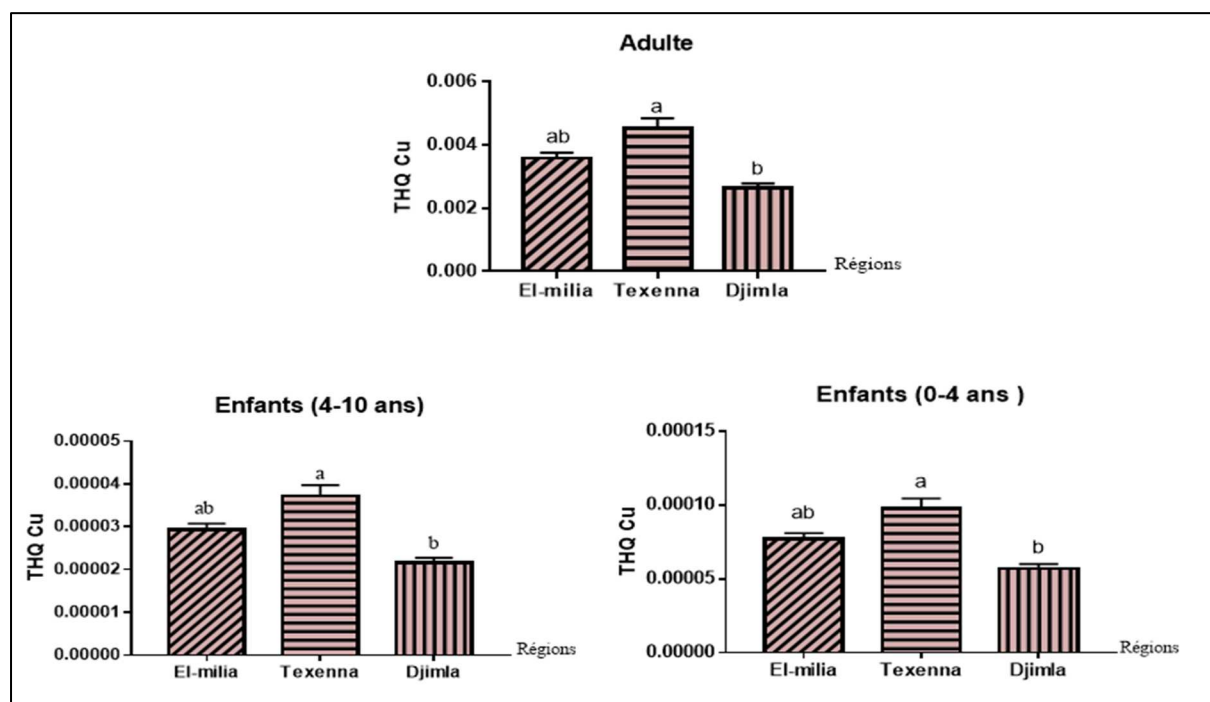


Figure 21 : Présentation graphique des résultats du THQ Cuivre. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.3. 4. Zinc

Comme pour le cuivre, le zinc présente un risque non cancérigène faible et la valeur la plus élevée était au niveau de la région de Texenna par rapport, aux deux autres régions (**Tableau 19** et **figure 22**)

Tableau 19 : Résultats du quotient de danger de Zinc. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM).

		Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adulte		El-milia	0,0136 \pm 0,0009815	0.0003
		Texenna	0,0258 \pm 0,001106	
		Djimla	0,014 \pm 0,001155	
Enfants 0-4 ans		El-milia	0,0165 \pm 0,001212	
		Texenna	0,0314 \pm 0,001358	
		Djimla	0,017 \pm 0,001386	
Enfants 4-10 ans		El-milia	0,006273 \pm 0,000459	
		Texenna	0,0119 \pm 0,0005033	
		Djimla	0,006457 \pm 0,0005283	

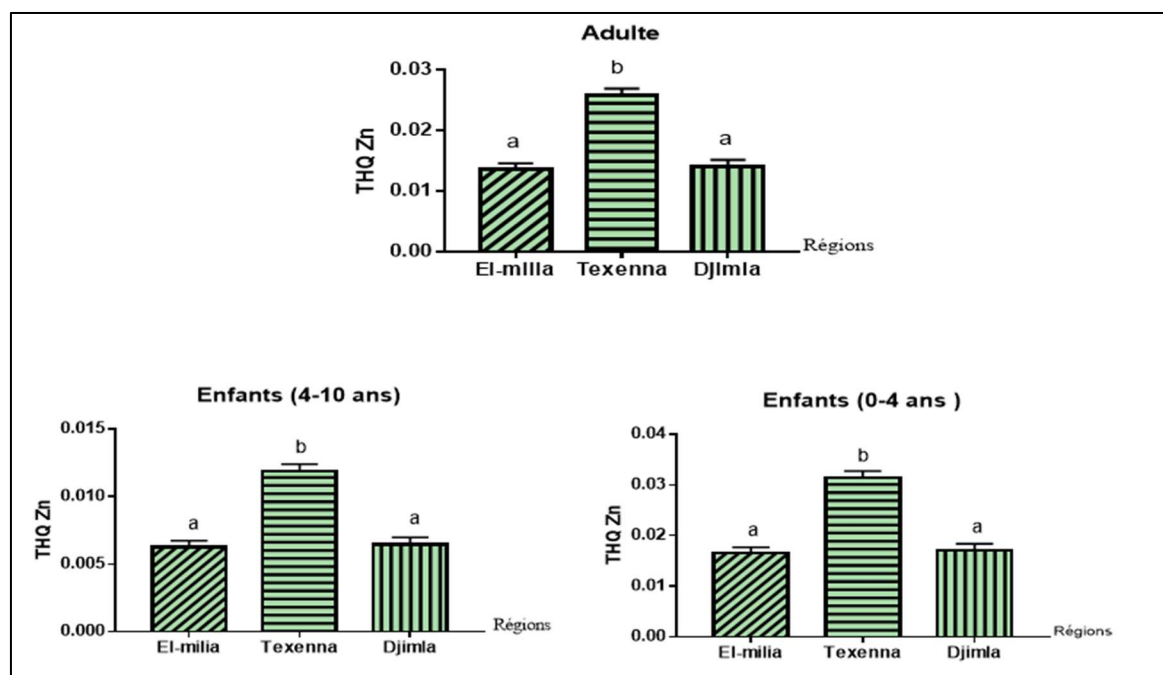


Figure 22 : Présentation graphique des résultats du THQ zinc. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

Les adultes montrent des valeurs plus élevées pour le risque non cancérigène du zinc que les enfants mais sans dépassement de la valeur indiquée par **Zhuang et al., 2009** THQ <1.

IV.3.4. Indice de Danger (HI)

L'indice de danger (Hazard Index) détermine le risque potentiel non cancérigène induit par l'exposition simultanée à une mixture de plusieurs métaux, il résulte de la somme de tous les THQ aux métaux lourds individuels analysés.

Le **tableau 20** contient les valeurs estimées d'HI pour les adultes et les enfants et sont représentés graphiquement dans la **figure (23)**.

Tableau 20 : résultats de l'indice de danger des métaux. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM).

Tranche d'âge	Régions	Moyenne \pm Erreur standard	Sig
Adulte	El-milia	0,4043\pm 0,0126	P=0,0455
	Texenna	0,3533 \pm 0,003383	
	Djimla	0,3957 \pm 0,0156	
Enfants 0-4 ans	El-milia	0,01663 \pm 0,001184	P=0,0003
	Texenna	0,03157 \pm 0,001325	
	Djimla	0,0171 \pm 0,001386	
Enfants 4-10 ans	El-milia	0,006323\pm 0,000459	P=0,0003
	Texenna	0,012 \pm 0,0005033	
	Djimla	0,006493 \pm 0,0005283	

➤ **Pour l'HI des adultes :**

Les valeurs estimées d'HI ont révélé des différences significatives entre les 3 régions étudiées (P=0,0455). De plus ; la région d'El-milia présente la valeur estimée la plus élevée de ce risque par rapport autres régions tandis que l'ensemble des valeurs du **tableau 20** ne montre pas un risque non cancérigène pour les consommateurs.

➤ **Pour l'HI des Enfants :**

Le même constat a été enregistré avec une différence significative en HI entre les 3 régions pour les enfants entre 0 et 4ans (P=0,0003) et pour les enfants entre 4 et 10ans (P=0,0003).

Le **tableau 20** révèle l'absence de risques (les valeurs en gras) pour les deux tranches d'âges au niveau de la région de Texenna par rapport aux régions de Djimla et El-milia.

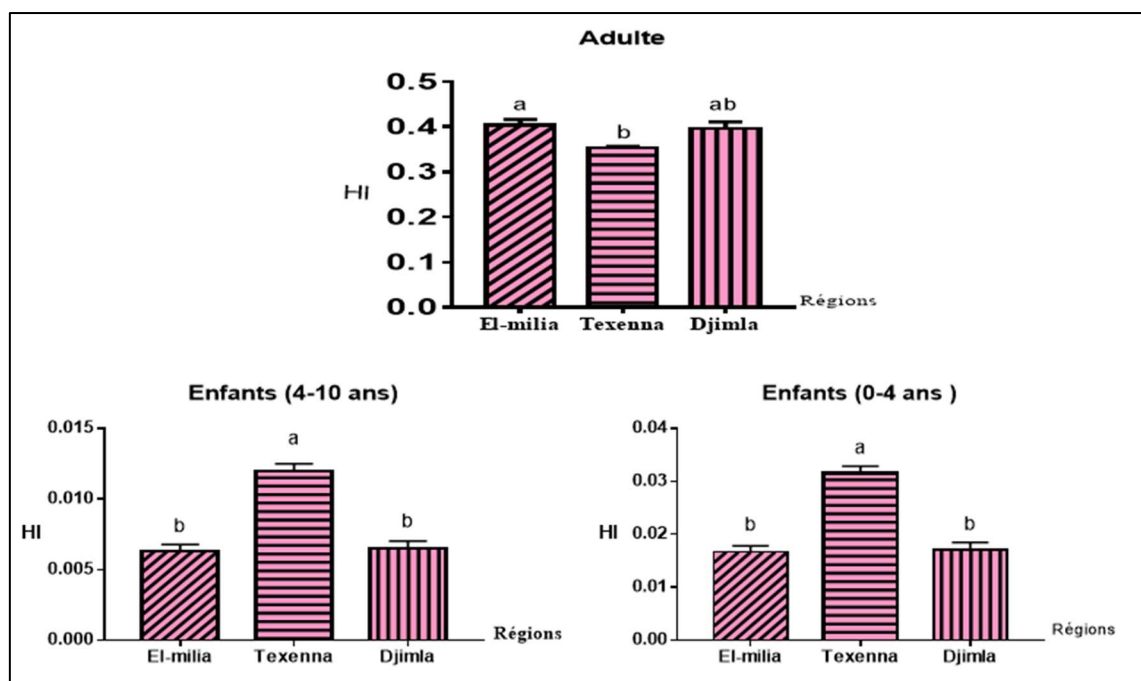


Figure 23 : Présentation graphique des résultats de l'indice de danger. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.5. Risque de Cancer (RC)

Parmi les métaux concernés par l'étude, l'indice de Risque de cancer est calculé seulement pour le cadmium et le plomb qui sont classés dans les substances cancérigènes (groupe 1), cancérigènes probables (groupe 2A) pour l'humain (IARC,2016).

IV.3.5.1. Plomb

Le tableau 21 révèle l'absence de risques cancérigène associé à l'ingestion du plomb dans le lait pour les adultes et les enfants âgés de 4 à 10 ans dans les trois régions étudiées (el Milia, Texenna et Djimla) (figure24), car les résultats ne dépassent pas la limite 1×10^{-6} à 1×10^{-4} établie par US EPA , (2001).

Par contre, l'exposition par ingestion du plomb dans le lait pour les enfants de 0 an à 4 ans entraine un risque cancérigène (valeurs en gras) suite au dépassement de la limite proposée par US EPA, 2001, (figure 24) dans les trois régions étudiées.

Tableau 21 : résultat du Risque Cancérigène du plomb. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM).

Tranche d'âge	Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adultes	El-milia	$1,03 \times 10^{-5} \pm 1,732 \times 10^{-7}$	0,012
	Texenna	$9,27 \times 10^{-6} \pm 6,35 \times 10^{-8}$	
	Djimla	$8,22 \times 10^{-6} \pm 5,427 \cdot 10^{-7}$	
Enfants 0-4 ans	El-milia	$0,0001393 \pm 2,028 \times 10^{-6}$	
	Texenna	$0,0001253 \pm 8,819 \times 10^{-7}$	
	Djimla	$0,0001111 \pm 7,39 \times 10^{-6}$	
Enfants 4-10 ans	El-milia	$5,297 \times 10^{-5} \pm 8,373 \times 10^{-7}$	
	Texenna	$4,76 \times 10^{-5} \pm 3,464 \times 10^{-7}$	
	Djimla	$4,22 \times 10^{-5} \pm 2,771 \times 10^{-6}$	

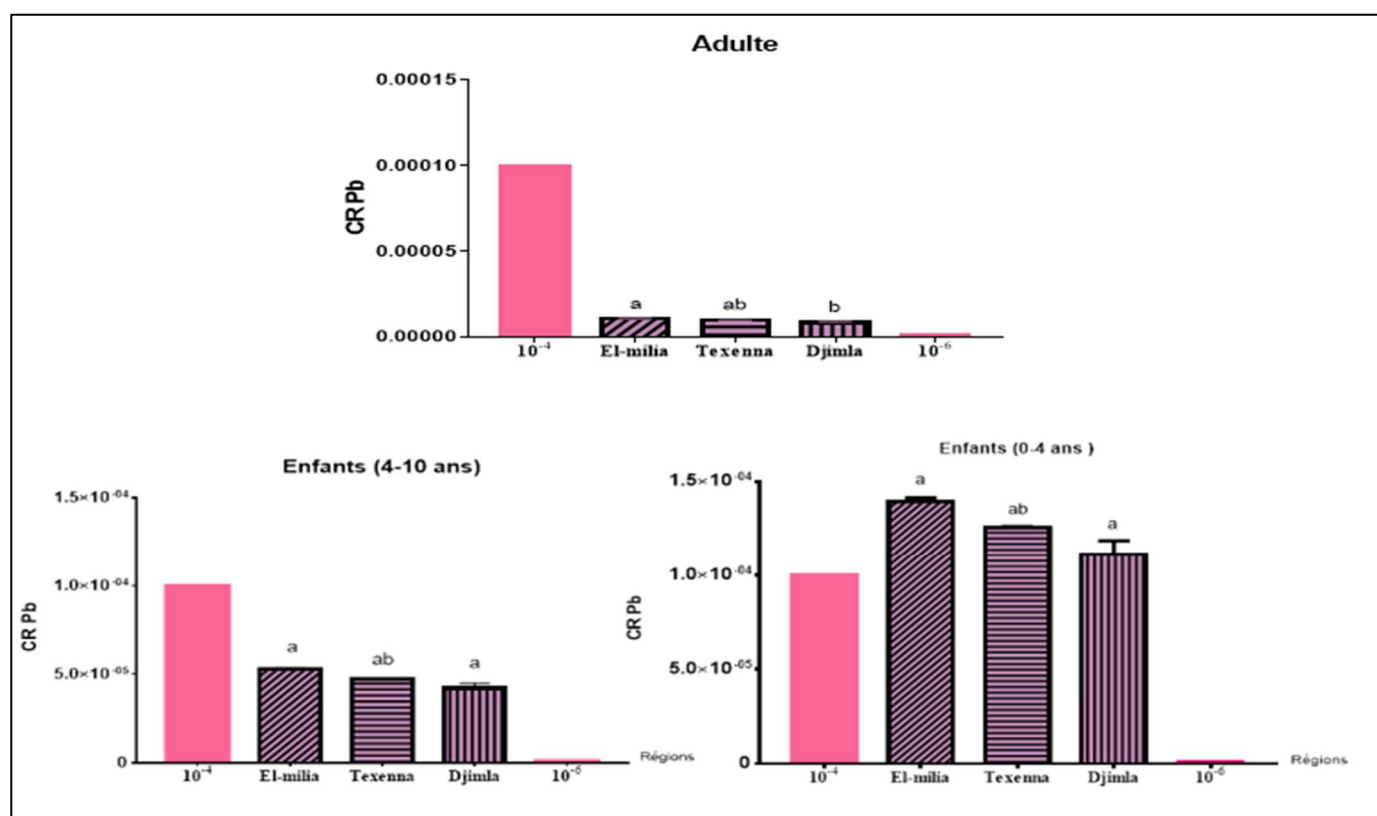


Figure 24 : Présentation graphique des résultats du Risque Cancérigène de plomb. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.5.2. Cadmium

Les résultats du Risque du Cancer lié au cadmium, qui sont exprimés dans le **tableau 22** et illustré graphiquement dans la **figure 25**, montrent l'existence d'un risque cancérigène pour les 3 tranches d'âges sans exception. Parmi ceux, les individus de la région de Djimla sont les plus

touchés, car les valeurs dépassent le seuil indiqué par US EPA ,2001 qui est 1×10^{-6} à 1×10^{-4} . Les enfants de 0 à 4 ans sont les plus exposés au risque cancérigène de cadmium.

Tableau 22 : résultat du risque cancérigène du cadmium. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM).

Tranche d'âge	Régions	Moyenne \pm Erreur standard	P
Adulte	El-milia	0,0006643 \pm 9,16.10 ⁻⁵	P<0,0001
	Texenna	0,00017 \pm 3,188.10⁻⁵	
	Djimla	0,00154 \pm 0,0001041	
Enfants 0-4 ans	El-milia	0,008983 \pm 0,001246	
	Texenna	0,0023 \pm 0,0004302	
	Djimla	0,02083 \pm 0,001425	
Enfants 4-10 ans	El-milia	0,003413 \pm 0,000471	
	Texenna	0,0008733 \pm 0,0001637	
	Djimla	0,007903 \pm 0,0005436	

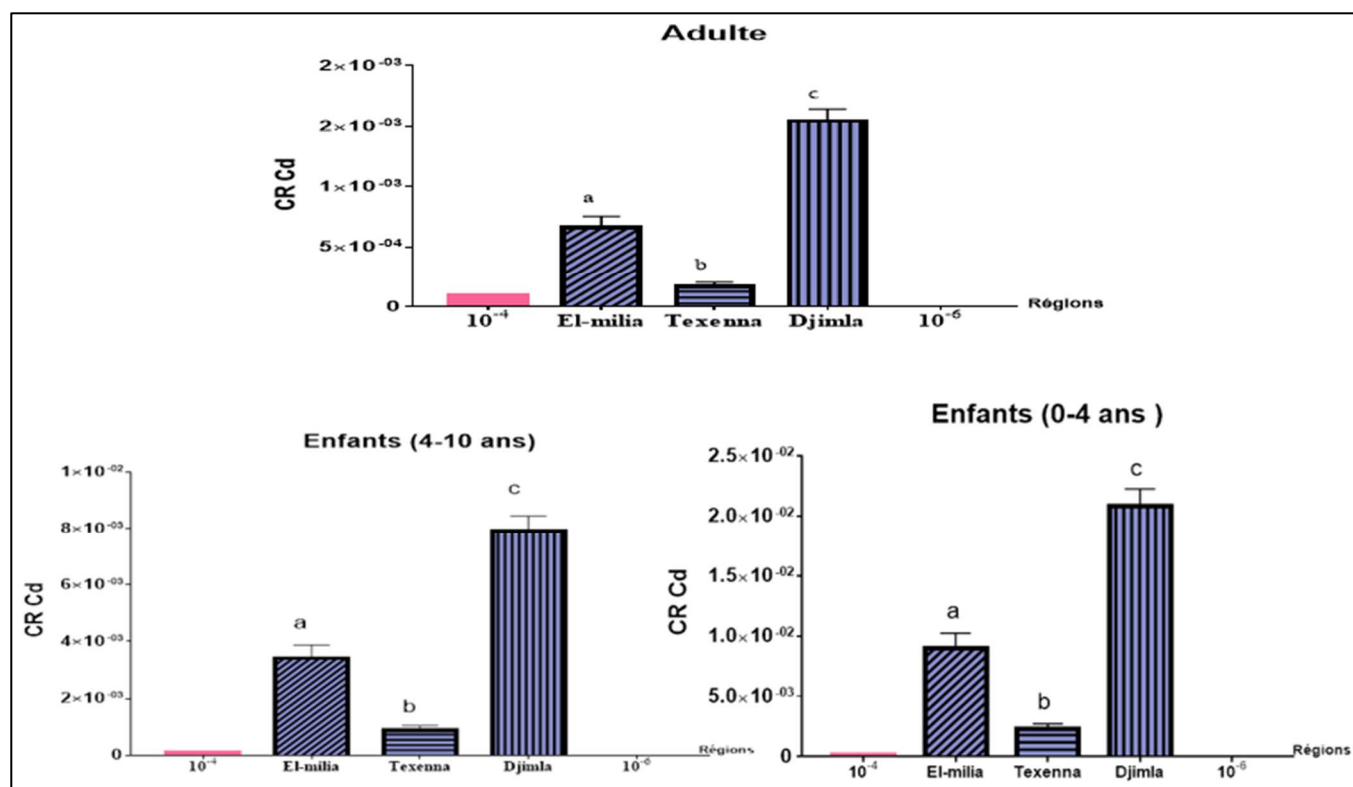


Figure 25: Présentation graphique des résultats du risque cancérigène de Cadmium. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV.3.6. Le Risque Cumulatif de Cancer

Le risque cumulatif représente le résultat de l'exposition à de multiples métaux lourds cancérogènes (Storelli et al., 2020) dans notre étude se sont le plomb et le cadmium.

L'analyse statistique (ANOVA) a révélé une différence significative entre les trois régions El-milia Djimla et Texenna et ce pour les trois tranches d'âges ($P < 0,0001$)

Tableau 23 : résultat du risque cumulatif de cancer. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm Erreur standard de moyenne (SEM).

		Moyenne \pm Erreur standard	Sig
Adulte	El-milia	$0,0006747 \pm 9,19 \times 10^{-5}$	$P < 0,0001$
	Texenna	$0,000179 \pm 3,188 \times 10^{-5}$	
	Djimla	$0,00155 \pm 0,0001041$	
Enfants 0-4 ans	El-milia	$0,00911 \pm 0,001234$	
	Texenna	$0,00242 \pm 0,0004302$	
	Djimla	$0,02093 \pm 0,001425$	
Enfants 4-10 ans	El-milia	$0,003463 \pm 0,000471$	
	Texenna	$0,0009227 \pm 0,0001644$	
	Djimla	$0,007947 \pm 0,0005404$	

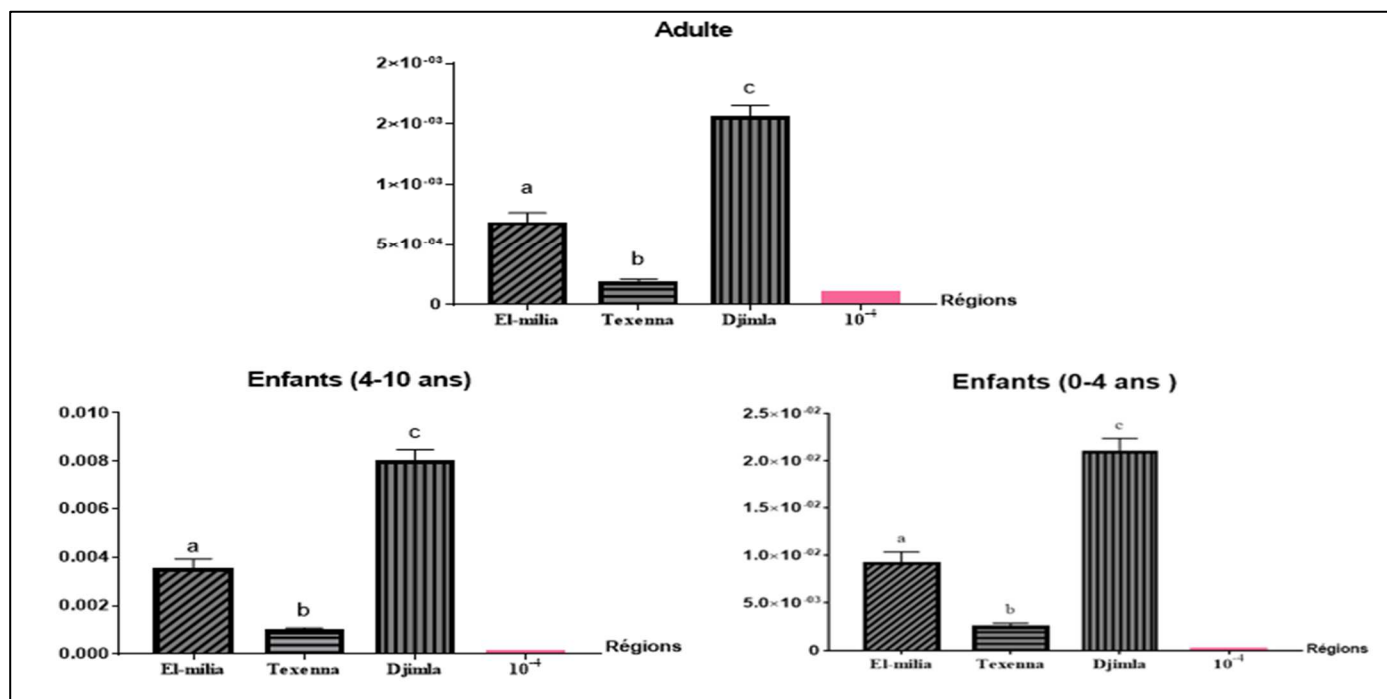


Figure 26 : Présentation graphique des résultats de risque cumulatif de cancer. Les lettres minuscules indiquent les différences significatives entre les régions.

IV. 4. Discussion

IV.4.1. Dose Journalière Estimée (EDI)

L'EDI est une valeur liée à la fois à la concentration en métaux dans le lait, à la consommation quotidienne de lait et au poids corporel (pc), qui influence la tolérance aux contaminants (**Meshref et al., 2014**).

Généralement, elle est calculée pour estimer le risque pour la santé (non cancérigène et cancérigène).

D'après les résultats obtenues dans cette étude, l'EDI des métaux lourds varie d'un métal à un autre, cela revient à la différence de concentration moyenne en métal dans les différents échantillons du lait prélevés de 3 régions rurales à Jijel.

De plus, et selon le questionnaire alimentaire adopté, la consommation moyenne quotidienne de lait de chèvre varie d'une tranche d'âge à une autre, de même pour la fréquence alimentaire de consommation du lait, où les enfants étaient les plus consommateurs du lait par rapport aux adultes, ce qui explique les variations enregistrées dans les valeurs estimées d'EDI.

Le risque concernant les expositions estimées aux métaux concernés via le lait de chèvre a été évalué donc en calculant l'EDI de ces métaux et en les comparant avec la Dose Journalière Tolérable Provisoire (Provisional Tolerable Daily Intake ou PTDI).

Concernant le plomb, le comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires a recommandé les apports hebdomadaires tolérables provisoires de Pb comme 0,0036 mg/ Kg BW /jour (**FAO/OMS, 1993**).

Dans le présent travail, les valeurs moyennes d'EDI du Pb varient entre ($0,000967 \pm 6,376 \times 10^{-5}$ mg/kg BW/jour) et ($0,0164 \pm 0,000253$ mg/kg BW/jour). En se référant aux normes, ces valeurs ont dépassé la norme de FAO.

Safaei et al., (2020) en Iran East Azerbaïdjan et **Sarsembayeva et al., (2020)** à Kazakhstan, Almaty a trouvé des valeurs en EDI Pb inférieures à ceux de notre étude ($6,9 \times 10^{-6}$ / $1,00 \times 10^{-5}$ respectivement).

Idem pour les valeurs rapportées par **Castro-Gonzalez et Calderon-Sanchez,(2018)** en Mexique ($8,7 \times 10^{-05}$), **Chirinos-Peinado et Castro-Bedriñana, (2020)** en Inde ($1,29 \times 10^{-03}$) sont inférieurs à la valeur maximale.

En outre, **Khalil, (2018)** a publié une étude sur le lait de chèvre en Egypte, et a trouvé des valeurs plus faibles par rapport à nos résultats ($8,5 \times 10^{-04}$ mg/kg BW /jour).

Cependant **Raghu, (2015)** a déjà réalisé une étude en Inde, Tirupati sur le lait de vache cru et a obtenue des valeurs supérieures à celles de notre étude (0,12 mg/kg/jour) et c'est parmi les EDI les plus élevées à l'échelle mondiale.

En ce qui concerne le cadmium, le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires a recommandé les apports hebdomadaires tolérables provisoires de Cd comme 0,0083 mg/ Kg BW /jour (**FAO/WHO, 2012**).

Dans notre étude les valeurs moyennes d'EDI Cd varient entre ($1,133 \times 10^{-5} \pm 2,121 \times 10^{-6}$) et ($0,001387 \pm 9,521 \times 10^{-5}$). Ces valeurs sont inférieures à la norme recommandée par le FAO/OMS (0,0083 mg/kg/jour). Ils sont également inférieurs aux valeurs rapportées par **Iftikhar et al., (2014)** en Pakistan ($2,91 \times 10^{-03}$) et par **Raghu, (2015)** en Inde (Tirupati) ($2,47 \times 10^{-2}$).

Cependant, la valeur maximale d'EDI de la présente étude, enregistrée au niveau de la région de Djimla était supérieur aux EDI rapportés par **Bousbia et al.,(2019)** en Algérie à Guelma ($1,18 \times 10^{-04}$), par **Safaei et al.,(2020)** en Iran, Azerbaïdjan oriental ($4,80 \times 10^{-06}$), par **Sarsembayeva et al.,(2020)** à Kazakhstan, Almaty ($2,7 \times 10^{-05}$), par **Zwierzchowski and Ametaj,(2019)** au Canada, Alberta ($8,29 \times 10^{-07}$) et par **Chirinos-Peinado and Castro-Bedriñana., 2020** en Inde (11×10^{-05}).

Quant aux EDI du Cuivre, les valeurs d'EDI obtenus sont comparées aux apports alimentaires Recommandé (RDA) fixées pour ces métaux. D'après (**Boudebouz et al., 2020**) les RDA du cuivre sont fixées à 0,9 mg/kg /jour.

L'apport quotidien de Cu à travers la consommation de lait de chèvre dans notre étude varient entre ($0,002444 \pm 0,0001723$) mg/kg BW/jour et ($0,00142 \pm 7,589.10^{-5}$) mg/kg BW/jour.

Bakircioglu et al, (2018) en Turquie, **Édirne** et **Giri et al,(2011)** en Inde ont trouvés des valeurs proches a ceux de notre étude ($1,54 \times 10^{-03}$) ($1,23 \times 10^{-03}$) respectivement.

Les valeurs rapportées par **Zodape et al.,(2012)** en Inde à Mumbai ($7,67.10^{-02}$), **Temiz et Soyly.,(2012)** en Turquie, au Sud-Est de Samsun ($9,66.10^{-03}$), **Capcarova et al,(2019)** en Slovaque, région de Nitra ($3,57 \times 10^{-03}$), **Raghu.,(2015)** en Inde, Tirupati ($7,41 \times 10^{-02}$) sont plus élevées que les résultats de notre étude.

Par contre les valeurs rapportées par **Bousbia et al., (2019)** en Algérie, Guelma ($9,42 \cdot 10^{-04}$), par **Giri et Singh.,(2019)** en Inde, Est de Singhbhum ($1,03 \times 10^{-03}$), par **Ismail et al.,(2017)** en Pakistan, Pendjab ($1,69 \times 10^{-04}$), par **Ahmad et al.,(2017)** en Pakistan, Pakhtunkhwa ($5,90 \cdot 10^{-04}$) pour les EDI du Cu sont très faibles par rapport à nos valeurs.

De même, **Khalil, (2018)** a trouvé des valeurs plus faibles par rapport à nos résultats (1×10^{-04}) mg/kg/jour pour le Cuivre en Egypte.

Pour le zinc, les apports alimentaires Recommandés (RDA) ont été fixés pour ce métal à 11 mg/jour (**khalil, 2018**). Nos valeurs varient entre **0,004072** et **0,1047** mg/kg BW/jour.

Bousbia et al, (2019) à Guelma en Algérie ont trouvé des valeurs d'EDI en zinc fortement élevées par rapport à nos résultats (27,320 mg/kg BW/jour). Dans le monde, **Meshref et al., (2014)** en Egypte ont également trouvés des valeurs d'EDI de zinc largement supérieur par rapport à nos résultats ($2,1 \times 10^{-02}$ mg/kg bw/jour).

Tandis que **khalil, (2018)** en Egypte a trouvé des résultats plus faibles par rapport à notre étude ($4,6 \times 10^{-03}$ mg/kg bw / jour).

IV.4.2. THQ et HI

Le THQ a été reconnu comme un paramètre utile pour l'évaluation des risques associés à la consommation d'aliments contaminés par des métaux (**Agbenin et al., 2009**). Des impacts nocifs peuvent survenir sur la population exposée si le THQ est > 1 (**Dadar et al.,2017 ; Rahmani et al., 2018**).

Pour le THQ Pb, les résultats obtenus dans cette étude variaient entre 0,3467 et $1,74 \times 10^{-5}$ pour le Plomb.

Khalil, (2018) a trouvé des valeurs de THQ en Pb en Egypte dans le lait de chèvre, vache et les moutons de 0,2428 ; 0,400 et 0,7017 respectivement.

Pour le lait de chèvre, cette valeur est inférieure à la valeur maximale de notre et étude, mais elle est supérieure concernant le lait de vache et proche pour le lait des moutons. Le même constat a été trouvé par **Giri et al., (2021)** avec un THQ de Pb de 0,006.

De plus, le THQ de Pb dans le lait collecté dans la ville de Faisalabad (**Aslam et al.,2011**) était supérieur à notre résultat ($2,8 \times 10^{+1}$). De même, **Castro Gonzalez et al., (2017)** ont trouvés la valeur THQ de Pb : $3,36 \times 10^{-2}$ pour les filles et $3,24 \times 10^{-2}$ pour les garçons, ces valeurs sont inférieurs à la valeur maximale de notre étude ($3,467 \times 10^{-1}$).

Selon **Bigucu et al., (2016)**, un effet néfaste sur la santé a été observé en Turquie dans le lait cru de vache collecté dans la province de Şakirbey, dans la province de Yeniçiftlik et dans la province de Gümüşçay avec des valeurs de THQ >1 , où les valeurs étaient de 3,1 ;1,7 et 1.7 respectivement.

Alors que **Chirinos-Peinado et Castro-Bedriñana,(2020)** ont trouvés un THQ de $3,41 \times 10^{-1}$ en Inde, cette valeur proche à la valeur maximale trouvée dans cette étude.

Par contre, **Zwierzchowski et Ametaj,(2019)** ont trouvés un THQ de $4,7 \times 10^{-4}$ au Canada, cette valeur est supérieure à notre valeur minimale mais inférieure à la valeur maximale.

Pour THQ Cd, les résultats de cette étude varient entre ($1,027 \times 10^{-1}$ et $5,82 \times 10^{-8}$) et sont donc inférieur à 1.

Le THQ rapporté par **Khalil, (2018)** dans le lait de chèvre (0,10) est proche à la valeur maximale de notre étude. **Giri et al., (2021)** ont trouvés un THQ de Cd (0,033) inférieure à la valeur maximale de notre étude.

Tandis que, **Bousbia et al., (2019)** à Guelma en Algérie et **Meshref et al., (2014)** en Egypte ont trouvés $1,18 \times 10^{-1}$ et $1,7 \times 10^{-1}$ respectivement. Ces valeurs sont supérieures aux valeurs de notre étude.

Zwierzchowski et Ametaj, (2019) au Canada, ont trouvés une valeur de $8,29 \times 10^{-4}$, cette valeur est considérée dans l'intervalle des valeurs de nos résultats.

A contrario, **Castro Gonzalez et al., (2017)** ont trouvés une valeur de THQ de Cd : $4,59 \times 10^{-2}$ pour les filles et $4,3 \times 10^{-2}$ pour les garçons et ces valeurs sont inférieurs à la valeur maximale de l'étude ($1,027 \times 10^{-1}$).

Alors que la valeur THQ (2,91) était largement supérieure à 1 dans le lait cru collecté dans la province de Peshawar (**Iftikhar et al., (2014)**) au Pakistan.

La valeur la plus élevée de THQ de Cd était de $2,47 \times 10^{+1}$ et est enregistrée dans le lait cru de la province de Tirupati (Inde) par **Raghu ,(2015)**.

Quant au THQ Cu, les résultats obtenus dans cette étude varient entre ($4,523 \times 10^{-3}$ et $2,163 \times 10^{-5}$) et sont donc inférieur à 1.

Des valeurs plus élevées (1,92 ;1,85 et 1,44) ont été enregistrées en Inde respectivement dans la région de Mumbai, la province de Turipati et la province de Magampeta par **Raghu ,(2015)**.

En Algérie, **Bousbia et al., (2019)** à Guelma et **Meshref et al., (2014)** en Egypte ont trouvés des THQ de Cu : $2,36 \times 10^{-2}$, 8×10^{-3} respectivement, ces valeurs sont supérieures à nos résultats.

D'après **Khalil, (2018)** la valeur de THQ de Cu dans le lait de chèvre, vache et les moutons ($2,8 \times 10^{-2}$; $1,1 \times 10^{-2}$; $2,62 \times 10^{-2}$) respectivement, ces résultats sont supérieurs de cette étude.

Et aussi de **Elsaim et Ali, (2018)** : $2,59 \times 10^{-02}$ par **Elsaim et Ali, (2018)** à Sudan.

Castro Gonzalez et al., (2017) ont trouvés la valeur THQ de Cu : $2,04 \times 10^{-4}$ pour les filles et $1,96 \times 10^{-4}$ pour les garçons, ces valeurs sont inférieures à notre valeur maximale ($4,523 \times 10^{-3}$). Egalement, **Zwierzchowski et Ametaj, (2019)** au Canada ont trouvés avec une valeur ($2,07 \times 10^{-3}$). Alors que **Giri et al, (2021)** ont trouvés un THQ de Cu ($2,7 \times 10^{-2}$), cette valeur est supérieure à la valeur maximale de notre étude.

Pour THQ Zn, d'après nos résultats, nous avons constaté des valeurs de THQ pour le zinc varient entre un minimum de l'ordre de **0,006273** et un maximale de l'ordre de **$3,14 \times 10^{-2}$** .

Les valeurs rapportées par **Khalil, (2018)** dans le lait de chèvre, vache et les moutons (0,0153 ; 0,0126 et 0,0156) respectivement en Egypte étaient supérieures à notre étude. Par contre, **Meshref, et al., (2014)** ont trouvés le THQ de Zn dans le lait est de 7×10^{-2} , cette valeur est inférieure à la valeur maximale de notre étude. Pour **Giri et al.,(2021)**, ils ont trouvés le THQ de Cd (0,031), cette valeur proche à la valeur maximale de notre étude.

Castro Gonzalez et al., (2017) ont trouvés la valeur THQ de Zn : $3,15 \times 10^{-2}$ pour les filles et $3,04 \times 10^{-2}$ pour les garçons, ces valeurs sont proches à la valeur maximale de l'étude ($3,14 \times 10^{-2}$) concernant la valeur des filles mais inférieure à celle des garçons.

A signaler qu'aucune valeur THQ supérieure à 1 n'a été observée pour tous les groupes d'âge, ce qui indique que les personnes ne seraient pas exposées à un risque non cancérigène pour la santé.

On peut donc conclure que l'évaluation des risques liée à l'ingestion du lait de chèvre contaminé par chaque métal séparément a été trouvé dans les limites de sécurité (THQ<1) pour les trois tranches d'âge dans les 3 régions étudiées et ne présente pas de ce fait un risque pour les consommateurs.

Néanmoins, la co-exposition simultanée à de multiples métaux lourds pourrait entraîner des effets additifs ou cumulatifs, pour cela, une évaluation des risques non cancérigènes cumulés a

été effectuée où des valeurs de HI (somme des THQ métalliques individuels) ont été calculées dans cette étude.

Il est admis que si des valeurs d'HI supérieures ou égales à 1, elles indiquent un risque pour la santé humaine (**Khan et al.,2013 ; US-EPA ,2016**). Les résultats d'HI obtenus varient entre (**0,4043 et 0,006323**), donc inférieurs à 1.

Dans la même fourchette des résultats, **Giri et al., (2021)** ont trouvés des valeurs de HI (0.097 de Pb, Cd , Cu ,Zn) et (0.238 pour Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Pb, Se) ces 2 valeurs sont inférieures à notre valeur maximale. **Castro Gonzalez et al., (2017)** ont trouvés également des valeurs en HI de (Pb, Cd, Cu, Zn) (0,111204) pour les filles et (0,109604) pour les garçons et ces valeurs sont inférieures à la valeur maximale. Le même constat avec **Miclean et al., (2019)** qui ont trouvés des valeurs en HI pou (Pb, Cd, Cu, Zn) pour les mâles de 0,085, pour les femelles de 0,066 et pour les enfants de 0,123.

En fin, l'indice de danger (HI) calculé était inférieur à 1 pour tous les groupes d'âges étudiés, ce qui confirme que la consommation de lait de chèvre ne pose aucun risque non cancérigène formel pour la santé humaine. Mais avec la comparaison de nos valeurs avec les études de **Giri et al.,(2021) ; Castro Gonzalez et al.,(2017) ; Miclean et al.,(2019)**, l'indice de danger obtenu reste alarmant particulièrement pour le groupe d'adulte.

IV.4.3. Risque cancérigène (RC) et le risque cancérigène cumulé

La probabilité qu'un individu développe un cancer au cours d'une vie d'exposition à la consommation du lait contaminé a été estimée à l'aide du risque cancérigène (RC) (**Farokhneshat et al., 2016**).

Concernant la cancérogénicité des métaux lourds, le Centre International de Recherche sur le Cancer a classé le cadmium dans le groupe 1 (cancérigène pour l'homme) et le plomb dans le groupe 2A (probablement cancérigène pour l'homme) (**IARC,2016**).

Si le $CR < 10^{-6}$ le risque cancérigène est considéré comme être négligeable, si le $CR > 10^{-4}$ indique un risque élevé de développer un cancer chez les êtres humains, et quand $10^{-6} < CR < 10^{-4}$ il existe un risque acceptable pour les êtres humains (**US EPA ,2001 ; Li et al.,2014 ; Lu et al.,2014 ; Keshavarzi et al.,2015**).

Le Niveaux de CR de Pb qu'on a dans cette étude varient entre ($8,22 \times 10^{-6}$) et ($1,393 \times 10^{-4}$). Il existe un risque cancérigène seulement pour la tranche d'Age (0-4) ans ou les valeurs trouvées dépassent la marge acceptable 10^{-4} et 10^{-6} .

Castro Gonzalez et al, (2017) ont trouvés des valeurs de CR de Pb : $1,03 \times 10^{-5}$ pour les filles et $9,90 \times 10^{-6}$ pour les garçons, ces résultats sont dans la marge de nos résultats. Les résultats obtenus par **Giri et al., (2021)** ($9,4 \times 10^{-8}$) sont inférieures à notre valeur de CR. De même, **Miclean et al., (2019)** ont trouvés des valeurs de CR de Pb pour les adultes (Males ($5,8 \times 10^{-7}$), et femelles ($4,5 \times 10^{-7}$)) et les enfants ($8,4 \times 10^{-6}$) inférieurs à nos résultats.

Concernant le **Niveaux de CR de Cd** obtenus dans notre étude varient entre ($1,7 \times 10^{-4}$; $2,083 \times 10^{-2}$), ces résultats dépassent la marge de 10^{-4} et 10^{-6} . Un risque estimé élevé de développer un cancer a été donc trouvé.

Giri et al., (2021) ont trouvés des valeurs de CR pour Cd ($5,4 \times 10^{-6}$) largement inférieures aux résultats de notre étude. De même pour **Castro Gonzalez et al., (2017)** ($6,90 \times 10^{-4}$ pour les filles et $6,65 \times 10^{-4}$ pour les garçons).

Miclean et al, (2019) ont trouvés les valeurs suivantes pour le risque cancérigène de Cd pour les adultes males ($2,9 \times 10^{-4}$), et femelles ($2,2 \times 10^{-4}$) et pour les enfants ($4,2 \times 10^{-4}$).

L'analyse de résultats obtenus a montré un risque cancérigène très élevé chez les enfants de (0-4 ans) que chez les adultes pour ce métal toxique.

Ces valeurs démontrent donc un risque élevé pour tous les enfants, ce qui les prédispose à souffrir d'un certain type de cancer, puisque les valeurs trouvées sont supérieures aux valeurs maximales de 10^{-6} à 10^{-4} telles qu'elles sont rapportées par **l'US-EPA (2002)**.

Idem, on remarque qu'il y'a une augmentation du risque cancérigène lié au cadmium pour tous les groupe d'âge étudiés particulièrement au niveau de Djimla.

Le risque cancérigène total (TCR) a été calculé comme la somme du CR pour le Cd et pour le Pb, en supposant leurs effets additifs (**Farokhneshat et al .,(2016)**, **Miclean et al.,(2019)**) .

Les valeurs de cette étude varient entre une valeur maximale ($2,093 \times 10^{-2}$) et une valeur minimale ($1,79 \times 10^{-4}$), ces valeurs dépassent la valeur indiquée par **Tepanosyan et al.,(2017)** où le CR cumulatif pour tous les contaminants potentiels cancérigènes doit préserver les valeurs $< 10^{-4}$.

Miclean et al., (2019) ont trouvés les résultats de risque cumulatif de Pb et Cd pour les adultes males ($2,9 \times 10^{-4}$), pour les femelles ($2,2 \times 10^{-4}$) et pour les enfants ($4,2 \times 10^{-4}$), ces valeurs sont inférieures à la valeur maximale ($2,093 \times 10^{-2}$) de notre étude. **Giri et al., (2021)** ont trouvés un

TCR pour les trois métaux : As, Pb, Cd $2,0 \times 10^{-8}$ ou ($5,494 \times 10^{-6}$ pour le Pb et le Cd) cette valeur elle plus faibles aux valeurs trouvées dans notre étude.

D'après les résultats obtenus, on constate que le risque cumulatif de cancer est plus élevé chez les enfants et plus précisément les enfants de 0 à 4 ans que les adultes.

En effet, pendant les 13 première années de la vie, les enfants consomment plus de nourriture pour leur développement (**Castro Gonzalez et al.,(2017)**) y compris le lait qui est largement consommé par les nourrissons et les enfants (**Tripathi et al.,(1999)**) car il est considérés comme une des sources majeures d'aliments nutritifs pour eux , ils contiennent des macro et micronutriments, tels que des vitamines et des acides gras spéciaux ,qui sont essentiels à la croissance, au développement osseux et les fonctions immunitaires (**Leksir et al.,(2019)**; **Malbe et al., (2010)**).

De plus, il a été démontré que les enfants sont affectés par l'effet causé par le mélange de métaux dans le lait à cause de leurs voies digestives non développées qui favorisent l'absorption des métaux toxique.

Cependant, le risque le plus élevé survient entre les premiers mois de la vie et jusqu'à l'âge de 14 ans, après il y a une diminution des valeurs de risque par absorption (**Solis et al., (2009)** ; **Castro Gonzalez et al., (2017)**).

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, la contamination du lait par les métaux lourds peut contrebalancer ces avantages et affecter la santé humaine.

Ce travail a été réalisé dans le but d'évaluer la teneur en quatre métaux sélectionnés (Pb, Cd, Cu et Zn) dans le lait de chèvres soumises à un pâturage naturel dans trois régions rurales de la wilaya de Jijel (Texenna, El-Milia et Djmila) et les risques associés à la consommation de ce lait pour la santé humaine à Jijel.

Les teneurs en cadmium (Cd), plomb (Pb), cuivre (Cu) et Zinc (Zn) dans les échantillons de lait de chèvre analysé ont été déterminées à l'aide de la spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Les valeurs de la dose journalière estimée (EDI), quotient de danger (THQ), Indice de danger (HI), le risque cancérigène (CR), et finalement le risque cancérigène cumulatif ont également été calculées pour trois tranches d'âges différentes (4 ans <, 4-10 ans et les adultes).

L'analyse des métaux lourds dans le lait de chèvre a montré des niveaux élevés du plomb, du cadmium et du cuivre par rapport à la norme de l'IDF, EC, Codex Alimentarius Commission (0,02 ; 0,0026 ; 0,01 mg/kg) respectivement et des valeurs faibles par rapport au zinc (3,26 mg/kg).

Pour évaluer les risques sanitaires associés à la consommation de lait, l'exposition alimentaire a été déterminée en calculant la dose journalière estimée (EDI).

L'EDI de Plomb est supérieur à la valeur proposée par **FAO/OMS,1993 (0,0036 mg/kg du pc/jour)** par contre les valeurs de Cadmium sont inférieures par rapport aux valeurs proposées par le **FAO/OMS, 1993 (0,0083 mg/kg du pc/jour)**.

Quant aux valeurs de THQ et HI, elles étaient dans les limites acceptables (THQ, HI < 1) pour les trois tranches d'âges dans les 3 régions.

Concernant les valeurs du risque cancérigène (CR) et de risque cumulatif du Plomb et du Cadmium ont, elles dépassaient les limites acceptables de (10^{-4} et 10^{-6}) et de 10^{-4} respectivement, pour le CR du plomb, il existe un risque cancérigène seulement pour la

tranche d'âge (0-4 ans) au niveau d'El-milia , par contre le CR du cadmium et le risque cumulatif ont montré des valeurs élevées pour les trois tranches d'âge au niveau de Djimla, cette augmentation est beaucoup plus alarmante pour les enfants de la tranche d'âge de 0 à 4 ans.

En fin, les niveaux élevés des métaux lourds détectés dans le lait de chèvre constitueraient donc une réelle source de risques pour la santé des populations locales. Ces risques sont plus inquiétants et posent de graves problèmes pour les consommateurs avec un risque cancérigène élevé particulièrement les enfants âgés moins de 4 ans.

L'ensemble des résultats obtenus constitue donc une justification scientifique de l'urgence nécessaire de la mise en place de moyens de lutte contre les sources de la contamination de ce denrée alimentaire de base pour baisser les niveaux d'exposition en ces toxiques pour la population générale et la préserver des sérieux risques toxicologiques liés à cette exposition.

Cependant, cette étude ne constitue qu'une étape préliminaire et il serait intéressant de détailler ce travail par :

- La réalisation des études académiques plus approfondies sur les sources de cette grave contamination dans des régions considérées rurales
- Elargir la liste des métaux analysés et la recherche d'éventuels autres contaminants tels les pesticides et les HAP
- La systématisation des études d'évaluation du risque sur la population locale de toutes les régions de la wilaya.

Références Bibliographiques

Liste des références

A

Abd-El Aal S F A., Awad E I., Kamal, R M K M., (2012). Prevalence of some trace and toxic elements in raw and sterilized cow's milk. *J. American Sci.* 8(9):753–761.

Abdul KA., Swaileh K M., Hussein R M., Matani M., (2012). Levels of metals (Cd, Pb, Cu and Fe) in cow's milk, dairy products and hen's eggs from the West Bank, Palestine. *Int. Food Res. J.*19(3): 1089-1094.

Aboutayeb R.,(2009). Technologie du lait et dérivés laitiers. Disponible sur <http://www.azaquar.com>. Consulté le 28/05/2021.

ADEME (Agence de l'Environnement et de la maitrise de l'énergie)., (2002).Bilan entre les micropolluants organiques, éléments traces métalliques, stations d'épuration d'effluents paramètres agronomiques, pH et matières sèche des boues de urbains. Données de janvier 1998 à avril 2000. P 93.

Adli C., (2016). Quantification des éléments traces métalliques (cadmium, plomb et mercure total) de certains produits de la pêche débarqués dans la zone Essaouira-Dakhla : Evaluation des risques sanitaires. Thèse de Doctorat : Univ. Ibn Zohr. Maroc.P 91.

AFNOR (Association Francaise de Normalisation)., (1993). Contrôle de la qualité des produits alimentaires : lait et produits laitiers : analyses physicochimiques. Paris La Défense : AFNOR, 1993, 4e éd. P16.

AFSSET (Agence Française de la SécuritéSanitaire de l'Environnement et du Travail.),(2007).Valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances reprotoxiques. Paris; 2007.P 6.

Aftab T., Tahira S., Khan B., Chaudhry MN.,(2011).Physicochemical properties, contamination and suitability of canal water for irrigation, Lahore branch Pakistan. Pakistan.**J. Environ. Anal. Chem.**12: 88–94.

Agbenin J O., Danko M., Welp G., (2009). Soil, vegetable compositional relationships of eight potentially toxic metals in urban garden fields from Northern Nigeria. **J. Sci. Food Agric.** 89 :1, (49-54). <https://doi.org/10.1002/jsfa.3409>.

Ahmad I., Zaman A., Samad N., Ayaz M M., Rukh S., Akbar A., (2017). Atomic Absorption Spectrophotometry Detection of Heavy Metals in Milk of Camel, Cattle, Buffalo and Goat from Various Areas of Khyber- Pakhtunkhwa (KPK), Pakistan. **J. Anal Bioanal Tech.** 8:367. doi: 10.4172/2155-9872.1000367.

Ait amer mezianeIT L., (2008). Aptitude des laits de chèvres et berbis à la coagulation par des protéases d'origine avicole. Mémoire de Magister en science Agronomiques, Institut National Agronomique, El Harrach 5Alger). P 116.

Akhmetsadykova S., (2012). Impact de la pollution sur la qualité du lait de chamelle au Kazakhstan. Thèse de doctorat, Université Nationale Kazakh al-Farabi. P 172.

Alais C., (1975). Sciences du lait. Principes des techniques laitières. Edition Sepaic, Paris.

Alais C., (1984). Science du lait : Principes des technologies Laitiers. Edition Sepac. 4^{ème} Ed., Paris.

Alary V., Duteurtre G., Faye B., (2011). Elevages et sociétés : les rôles multiples de l'élevage dans les pays tropicaux. **J. Prod. Anim.** 24 (1) : 145-156.

Alem G., Tesfahun K., Kassa B., (2015). Quantitative determination of the level of selected heavy metals in the cows' milk from the dairy farm of the Haramaya University, Eastern Ethiopia. **Int. J. Chem. Nat. Sci.** 3(1): 240-248.

Alférez M J M., Barrionuevo M., López Aliaga I., Sanz-Sampelayo M R., Lisbona F., Robles J C., Campos M S., (2001). Digestive utilization of goat and cow milk fat in malabsorption syndrome. **J. Dairy Res.** 68(03). doi:10.1017/s0022029901004903.

Ali J A., Bukar D E., Jimoh N., Hauwa NT., Yusuf N., Umar Z T., (2011). Determination of copper, zinc, lead and some biochemical parameters in fresh cow milk from different locations in Niger State, Nigeria. **Afr. J. Food Sci.** 5(3): 156-160.

Alloway B J., (1995). Heavy Metals in soils. Second edition. Blackis Academic and Professional, London 368.

Al-Othman Z., Ali R., Al-Othman A M., Ali J., Habila M A., (2012). Assessment of toxic metals in wheat crops grown on selected soils of Khyber Pukhtoon Khaw, Pakistan, irrigated by different water sources. **Arabian J Chem.** 4–11. doi: 10.1016/j.arabjc.2012.04.006.

Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R., (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait dans Sciences et Technologies du lait, transformation du lait par Carole L. Vignola. Edition Presses Internationales Polytechnique. P 1-73. P 603.

Amroun TT et Zerrouki N., (2014). Caractérisation de la composition biochimique du lait de chèvres kabyles élevées en région montagneuse en Algérie. Laboratoire Des Ressources Naturelles, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou – Algérie.

André C., (2014). Principe de précaution et gestion du risque chimique : à propos des produits de substitution (l'exemple des éthers de glycol). Colloque de l'AFTIM, Oct 2000, Paris, France. HAL Id: ineris-00972211. <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972211.P2>.

ANSES (Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail), (2013). Exposition au plomb : effets sur la santé associés à des plombémies inférieures à 100µg/l. Rapport d'expertise collective, Edition Scientifique.

ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail), (2014), "Valeurs toxicologiques de référence - Guide d'élaboration de l'Anses. P 02.

ANSES ((Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail), (2017). Valeurs toxicologiques de référence (VTR). Guide d'élaboration de VTR de l'Anses. RAPPORT d'expertise collective Comités d'experts spécialisés « Caractérisation des dangers et valeurs toxicologiques de référence ». Mission permanente Saisine n° 2017-SA-0016 Troisième édition. P 56.

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.

APC., (2021). Jijel Assemblée populaire communale de Jijel.

Aranguren M M S., (2008). Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse de Doctorat : Univ. Toulouse III – Paul Sabatier. France. P 490.

Arris S., (2008) : Etude Expérimentale de l'Élimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales, doctorat en sciences en génie des procédés. P 10-11.

Aurélien D., (2011). Etude et modélisation de la biosorption des métaux par les bactéries. Application au transfert du cadmium et du zinc, seuls ou en mélange, par *Escherichia coli* et *Cupriavidus metallidurans* en colonnes de sable d'Hostun. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble.

Awad L., Huel G., Lazar P., Boudenec C., (1981). Facteurs de variation interindividuelle de la plombémie". **Rev Epidem et Santé Publ.**29 : 113-124.

B

Bakircioglu D., Topraksever N., Yurtsever S., Kizildere M., Kurtulus Y.B., (2018). Investigation of macro, micro and toxic element concentrations of milk and fermented milk products by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer, to improve food safety in Turkey. *Microchemical Journal.* 136, 133–138.

Balabanova B., Stafilov T., Sajin R., Baceva K., (2015). Quantitative assessment of metal elements using moss species as biomonitors in downwind area of one lead-zinc mine. *J. Environ. Sci.*52(3): 290 – 301. N.

Barkat S., Chetioui A., (2018). Maitrise de l'urbanisation aux abords des sites industriels cas du parc industriel de bellara, el Milia. P53.

Bannister J.V., Bannister W.H., Rotilio G., (1987). Aspects of the structure, function, and applications of superoxide dismutase. **CRC Crit. Rev. Biochem.** 22 (2) : 111–180.

Bekaert E., (2004). Gestion des chlorures des métaux lourds stabilisation d'un phosphate d'étain dans un vitrifié silicate. Thèse de doctorat de l'université de Lille- France. P 53.

Bektaş, N., Ađim, B A., Kara S. (2004). Kinetic and equilibrium studies in removing lead ions from aqueous solutions by natural sepiolite. **J. Hazard. Mater.** 112(1- 2) : 115- 122.

Bengoumi M., Ameziane El Hassani T., (2013). Evolution and efficacy of transfer of technologies in small ruminant production systems in North Africa. In: 8th Int. Seminar FAO-CIHEAM network on sheep and goat technology creation and transfer in small ruminants:

roles of research, development services and farmer associations, Tangier, Morocco, 11-13 June 2013. *Options Méditerr.Sér. A*: 15-24.

Benguedda-Rahhal W., (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de Doctorat : Univ. Tlemcen. Algérie. P 146.

Bigucu, E., Kaptan, B., Palabiyik I., Öksüz Ö., (2016). The Effect of Environmental Factors on Heavy Metal and Mineral Compositions of Raw Milk and Water Samples. **Journal of Tekirdag Agricultural Faculty /JOTAF**.4(13) :61-70.

Bilandzic M., Dokic M., Sedak., (2011). Trace element levels in raw milk from northern and southern regions of Croatia. **Food Chem.** 127 : 63–66.

Burgeap B.,(2006). LACQ (64) Identification des dangers Relations dose/effet et dose/réponse Valeurs toxicologiques de référence. BURGEAP Bordeaux 43 rue Marcel Sembat 33130 Bègles Tél : 05 56 49 38 22 E-mail :agence.de.bordeaux@burgeap.f.

Bosset J O., Albrecht B., Badertscher R., (2000).Caractéristiques microbiologiques chimiques et sensorielles de lait de Caillés et de fromage de chèvre de type F6mlaggini(buexion,robiola) et Foermagella. **Ped. LAIT. France : CNRS.** 2000,95 (5).

Boudebouz A., Boudalia S., Bousbia A., Habila S., Boussadia M I., Gueroui Y., (2020). Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. **Sci.Total Environ.**141830. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141830

Boudjedjou L., (2010). Etude de la flore adventice des cultures de la région de Jijel.Mémoire de magister. Université Ferhat Abbas –Sétif .P12.

Boudemagh S., Mihoubi C., (2017). Etude géologique et géotechnique de la zone de BELLARA el Milia Algérie, mémoire présente en vue de l'obtention du diplôme de master en géologie de l'ingénieur Université Larbi Ben M'hidi. Oum El Bouaghi.

Bouchelkia N.,(2015). Etude de l'élimination du Plomb, du Zinc et du cadmium par adsorption sur un charbon actif préparé à base des noyaux de jujube .Mémoire de Magister. Université de Bejaia.

Boumehres A., (2010). Etude comparative des techniques d'extraction des éléments traces métalliques dans le foie, le rein et le lait et leur détermination par spectrophotométrie

d'absorption atomique (flamme et four graphite).Mémoire de Magister. Université Mentouri de Constantine. P 89.

Boumendjel M., Feknous N.,Mekideche F.,Dalichaouche N., Feknous I.,Touafchia L.,Metlaoui N.,Zenki R.,(2017).Caractérisation du lait de chèvre produit dans la région du Nord-Est Algérien. Essai de fabrication du fromage frais. **Jof AJNP.**(2) :492-506.5P.

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 farming types in Guelma province (Algeria): contamination and risk assessment of consumption. **JAPS:** 29.

Boxstael F V.,Dhoore K .,(2007). Ce que tout le monde doit savoir sur le lait cru et le lait de chèvre. P 11-12.

Browing E.,(1969). Toxicity of industrial metals. 2e édition. Butterworths, Londres. P 348.

Burger J et Elbin, S., (2015). Metal levels in eggs of waterbirds in the New York Harbor (USA): Trophic relationships and possible risk to human consumers. **J. Toxicol. Environ. Health A.** 78:78-91.

C

Cai Q., Long M L., Zhu M., Zhou Q Z., Zhang L., Liu J., (2009). Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead–zinc smelter in Guizhou.**China. Environmental Pollution.**157(11):3078–3082. doi:10.1016/j.envpol.2009.05.048.

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.

Casas S., (2005). Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd Pb, Cu et Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de. Doctorat : Univ. Sud Toulon. France.P 346.

Cassee F R., Groten J P., Bladeren P J., Van B., Feron V J.,(1998). Toxicological Evaluation and Risk Assessment of Chemical Mixtures. **Critical Reviews in Toxicology.** 28(1):73–101. doi:10.1080/10408449891344164.

Castro Gonzalez N P., Moreno-Rojas R., Calderón Sánchez F., Moreno Ortega A., Juárez Meneses M.,(2017). Assessment risk to children's health due to consumption of cow's milk in polluted areas in Puebla and Tlaxcala, Mexico. **Food Additives & Contaminants: Part B.** 10(3): 200–207. doi:10.1080/19393210.2017.1316320.

Castro-Gonzalez N P., Calderon-Sanchez F., (2018). Heavy metals in cow's milk and cheese produced in areas irrigated with waste water in Puebla, Mexico. 11: 33–36.

Castro-González NP., Moreno-Rojas R., Calderón-Sánchez F.,Moreno-Ortega A, Tamariz-Flores JV., (2018a). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala,México. **Rev. Mex. Cienc Pecu.** 9(3):466–485.

Castro – González N P., Francisco C S, Marcos PS., Eutiquio SG.,Erick R C.,(2019). Health Risk Due to Chronic Heavy Metal Consumption via Cow's Milk Produced in Puebla, Mexico, in Irrigated Wastewater Areas. **Food Additives et Contaminants: Part B.** 12(1) :38-44. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1520742>.

Ceballos L S., Morales E R., de la Torre Adarve G., Castro J D., Martínez L P., Sampelayo, M R S., (2009). Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and analyzed by identical methodology. **Journal of Food Composition and Analysis.** 22(4) : 322–329. doi:10.1016/j.jfca.2008.10.020.

Certin J F., fayol M., fauquet A., Héry M., langlois E., vincent R., (2007). Résultats de la campagne de contrôle 2006 —Inspection du travail-prévention des risques professionnels des CRAM (avec le soutien de l'INRS) sur l'utilisation des agents cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction dans l'industrie. INRS, 2007, Hygiène et sécurité du travail. 207: 77-84.

Cervantes, E.,(2019). Health risk due to chronic heavy metal consumption via cow's milk produced in Puebla, Mexico, in irrigated wastewater areas. **Food Addit. Contam. B** 12 (1): 38–44.

Chalvatzaki E., Chatoutsidou S., Lehtomäki H., Almeida S., Eleftheriadis K., Hänninen O et Lazaridis M., (2019). Characterization of Human Health Risks from Particulate Air Pollution in Selected European Cities. **Atmosphere.** 10(2) : 96. doi:10.3390/atmos10020096.

Chebira N A S., (2008). Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales. Thèse de. Doctorat. Univ. Constantine. Algérie. P178.

Chilliard Y., (1997). Caractéristiques biochimiques des lipides du lait de chèvre : comparaison avec les laits de vache et humain. Intérêt nutritionnel du lait de chèvre. **Annales Pharmaceutiques Françaises.** 59 : 1, 51.

Chirinos-Peinado D M et Castro-Bedriñana J I.,(2020). Lead and cadmium blood levels and transfer to milk in cattle reared in a mining area. **Heliyon.** 6(3). doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03579.

Christophoridis C., Kosma A., Evgenakis E., Bourliva A., Fytianos K., (2019). Determination of heavy metals and health risk assessment of cheese products consumed in Greece.**J. Food Compos. Anal.** 82 : 103238.

Claudel N.,2004. Stratégie de production de la confiance dans le domaine du marché des produits alimentaires. Université de Toulouse.

Commission du Codex alimentarius. Procedural manual., (2003).13th ed. Roma : Joint FAO / WHO Food Standards Programme. P 51-52.

CommissionCodex Alimentarius.,(2014).FAO/WHO Joint Food Standards Programme, Codex Committee on Contaminants in Foods, Eighth Session The Hague, The Netherlands, 31 March – 4 April 2014 (Prepared by Japan and the Netherlands).

Cotzias GC., (1967). Importance of trace substances in experimental health, as exemplified by manganese, Proc. First. Conf. Trace Subst. Env. Health.5-19, Columbia éd.

Corcy J C., (1991).La chèvre. Ed.la maison rustique (Paris). P 177-185.

Cyraniak E et Draszawka B B., (2014). Heavy metals in circulation biogeochemical. World Scientific News. 6 :30-36.

D

Dadar M., Adel M., Nasrollahzadeh SH., Fakhri Y., (2017). Trace element concentration and its risk assessment in common kilka (*Clupeonella cultriventris caspia* Bordin,1904) from southern basin of Caspian Sea. **Toxin Rev.** 36 : 222–227.

Dalkia., (2016).Évaluation des risques sanitaires pour une exposition chronique liés aux rejets atmosphériques de la chaufferie mixte de Surville, Projet, Version 2. P107.

Deblonde T.,(2013). Évaluation des risques sanitaires de la consommation d’eaux potentiellement chargées en résidus de médicaments anticancéreux. Médecine humaine et pathologie.Université de Lorraine. Thèse de Doctorat de l’université de Lorraine.P 116.

Davis J A., Volesky B., Vierra R., (2000). Sargassum seaweed as biosorbent for heavy metals, **Water Research** . 34(17) : 4270-4278.

Debry et Gerard.,(2001). Lait, Nutrition et santé. Jean-Pierre Poulin « Représentation sociales du lait ». Ed : Tec et Doc. Paris. Lavoisier. PP498-38.ISBN: 2-7430-0431-2.

Department of Environmental Affairs., (2010) The Framework for the Management of Contaminated Land, South Africa. Available online : <http://sawic.environment.gov.za/documents /562.pdf> (consulté le 20/06/2021).

Derouiche M., Aissaoui zitou W., Medjouj N H.,Zidoune M N.,(2016).Consommation de lait et de produits laitiers en milieu rural de Tebessa, Algérie. **Livest. Res. Rural. Dev.** 28 : Article #89.from <http://www.lrrd.org/lrrd28/5/meri28089.html>.

Deti H., Hymete A., Bekhit A A., Mohamed A M I., Bekhit A E D A., (2014). Persistent organochlorine pesticides residues in cow and goat milks collected from different regions of Ethiopia. *Chemosphere*. 106:70–74. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.012>.

Diacono E., (2007). Métaux lourds et radionucléides dans le lait de chamelle frais et fermenté au Kazakhstan. Rapport de stage de Master 2 : Productions animales en régions chaudes : Montpellier II : P. 53.

Dingwall-Fordyce I., Lane R E., (1963). A follow-up study of lead workers. *Occupational and EnvironmentalMedicine*.20(4) : 313-315.

Direction des Mines et Industrie de Jijel., (2018).

Donati E.R., (2018). Heavy Metals In The environment microorganisms and bioremediation. Boca Raton, FL : CRC Press, Argentina. 3-73.

Dong Z., Naidu R.,(2017).Uncertainties in Human Health Risk Assessment: Advances in Exposure and Toxicity, “Clean-Up 2017 - International Conference on Contaminated Site Remediation”, CRC-Care, Bandung.

Domingo J., (1994). Metal-induced developmental toxicity in mammals: à review. **Part A is J.Part A Current Issues .42 :123–141.**

DPAT (Direction de programmation et de suivi de budget)Jijel.,(2016).

DPAT (Direction de programmation et de suivi de budget)Jijel.,(2021).

DSASI (Direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information)Jijel., (2020).

E

EC(Commission Regulation),, (2006). (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Off. J. Eur. Union 364.

El-Ansary M A.,(2017). Determination of Heavy Metals Content (Cadmium and Lead) in Raw Cow's and Buffalo's Milk. Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol. 4(8) :116-120.

El-Gendy S M., Mohran M A, Hanafy N., Mohamed T H.,(2007). Studies on chemical pollutants of milk produced in Assiut vicinity. Proc. The 10th Egyptian Conference on Dairy Science and Technology. 2007 Nov 19-21; Cairo (Egypt): Egyptian Society of Dairy Science.

Elsa Bignon,(2010).Amelioration de la qualité des laits biologique :caractérisation des micropolluants.Institut Technique de l'agriculture biologique .P58.

Elsaim M H., Ali Y., (2018). Evaluation of some heavy metals in fresh cow's milk from different regions of Sudan. **AJAIC.2 : 8–14.**

El Sayed E M., Hamed AM., Badran S M., Mostafa A A.,(2011).A survey of selected essential and heavy metals in milk from different regions of Egypt using ICP-AES. **Food Addit.Contam. Part B.** 4(4):294– 298.

Enb A., Abou Donia M A., Abd Rabou N S., Abou-Arab A A k., El-Senaity, M H (2009). Chemical composition of raw milk and heavy metals behavior during processing of milk products. **Global Vet.** 3(3) : 268–275.

EPA (Environmental Protection Agency),,(1993). Reference dose (RfD): description and use in health risk assessments. [https:// www.epa.gov/iris/reference-dose-rfd-description-and-use-health-risk-assessments](https://www.epa.gov/iris/reference-dose-rfd-description-and-use-health-risk-assessments).

EPA(Environmental Protection Agency),.(2008). Child-specific exposure factors handbook. EPA/600/R-06/096F. Washington, DC: National Center 526 for Environmental Assessment Office of Research and Development.

EPA(Environmental Protection Agency),. (2011). Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. EPA/600/R-09.

Etchevers A., Glorennec P., Lucas J P., Le Bot B., Lecoffre, C., Le Tertre A.,(2017). Exposition au plomb des enfants en France : niveaux d'imprégnation et déterminants. **J. Toxicol. Anal. et Clin.** 29(4) :483–495. doi:10.1016/j.toxac.2017.07.001

F

FAO/WHO., (1993). Evaluation of certain food additives and contaminants. In: 837 WTRSN(Ed.), 41st Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Food and Agriculture Organization/World Health Organization.

FAO/WHO- Food and Agriculture Organization/World Health Organization., (2012). Joint FAO/WHO food standards program: Codex committee on contaminants in foods (Editorial amendments to the general standard for contaminants and toxins in food and feed), sixth session, Maastricht, Netherlands, 26-30 march, 2012;CX/CF 12/6/11.

Fargasova A., (2004). Toxicity comparison of some possible toxic metals (Cd, Cu, Pb, Se, Zn) on young seedlings of *Sinapis alba* L. **Plant, Soil and Environment.** 50 : 1-33- 38.

Flora S J., Agrawal S.,(2017). Arsenic, cadmium, and lead. Reproductive and Developmental Toxicology. Elsevier.P 537–566.

Farokhneshat F., Mahvi A H., Jamali ., (2016). Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk Assessment of Chromium in Drinking Water Sources: Birjand. Iran. Res. **J. Environ. Toxicol.** 10 :166–171.

Favier JC.,Ripert J \$., Toque C., Feinbery M., (1995). Répertoire général des aliments table de composition. P 100

Faye B.,(2008). Synthesis and recommendations. Proc. of . Intern. Workshop, « Impact of pollution on animal products”. Almaty (Kazakhstan), 27-30 Septembre 2007, B. Faye and Y. Sinyavskiy (Eds). P 199-202.

G

Gakidou E., Afshin A., Abajobir A A., Abate K H., Abbafati C., Abbas K M. et al., (2017). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet* 390 (10100): 1345–1422.

Gall J E., Boyd R S et Rajakaruna N., (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environ. Monit. Assess.* 187(4). doi:10.1007/s10661-015-4436-3.

Garnier.,(2005) .Toxicité du plomb et de ses dérivés EMC - Toxicologie-Pathologie .

Gautam R K et Chattopadhyaya M C.,(2004). Biosorption of heavy metals from wastewater. book compendium.

Giri S., Singh G., Jha V N., Tripathi R M., (2010). Risk assessment due to ingestion of natural radionuclides and heavy metals in the milk samples: a case study from a proposed uranium mining area, Jharkhand. *Environ. Monit. Assess.* 175(1-4) : 157–166. doi:10.1007/s10661-010-1502-8.

Giri A., Bharti V K., Kalia S., Kumar B et Chaurasia O. P., (2021). Health Risk Assessment of Heavy Metals Through Cow Milk Consumption in Trans-Himalayan High-Altitude Region. *Biological Trace Element Research.* doi:10.1007/s12011-021-02593-6

Gonzalez-Montana J. R., (2009). Metales pesados en carne y leche y certificacion para la Union Europea. *UE*), 305–310.

Goullé, J.P et Guerbet M., (2016). Recensement des niveaux d'intoxications mortelles par l'arsenic, le chrome, le mercure, le plomb, le thallium. *Toxicol. Anal. et Clin.* 28(1) :16–27. doi:10.1016/j.toxac.2015.08.001.

Grignon C.,(2016). Toxicocinétique en santé environnementale : application à la mesure de l'exposition aux perturbateurs endocriniens.Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers.P.182.

Guiraud J P., (1998).Microbiologie alimentaire. Ed.Dunod,Paris. P.625.

Goyer R A et Clarkson T W., (2001). Toxic Effects of Metals. In: Klaasen, C.D., Ed., Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, 6th Edition, McGraw-Hill, New York, 861-867.

H

Haenlein G F W.,(2014). Goat Milk in Human Nutrition ». Small Ruminant Research 51 (2), 155-63. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.010>.

Haghiri F., (1973). Cadmium Uptake by Plants1. **J. Environ. Qual.** 2(1) : 93.

Halstead J A., Smith J C., (1970). Plasma-zinc in health and disease. **J. Lancet.** 295 (7642) : 322–324.

Hammond P B., Succop P., Dietrich K N., Clark C S., Hee S Q., Bornschein R L.,(1985). The influence of social and environmental factors on dust lead, hand lead, and blood lead levels in young children. **Environ. Res.** 38(1) : 108-118.

Herber M., (1994). Trace Element Analysis in Biological Specimens volume 15 (Techniques and instrumentation in analytical chemistry). Edited by : R.F.M. Herber, M. Stoepler.

I

IARC (International agency for research on cancer) ., (2006). Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, & International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans (Vol. 86). World Health Organization.

IARC(International agency for research on cancer),.(2016).Agents Classified by the IARC Monograph Vol. I-106;[en ligne] .Disponible sur : <https://www.ehs.ucla.edu/doc/OSHAPHS1.pdf>. . /file.Consulté le 15.08.2021.

Iftikhar B., Arif S., Siddiqui S., Khattak, R., (2014). Assessment of toxic metals in dairy milk and animal feed in Peshawar, Pakistan. **Biotechnol. J. Int.**883–893.

ICA (International Council on Archives),, (1995).ACI (Alliance coopérative internationale) My.COOP - Gérer votre coopérative agricole.

INSTITUT DE L'ELEVAGE., (2010). L'épandage des boues d'épuration sur prairies en élevage laitier guide pratique collection synthèse.

Ismail A., Riaz M., Akhtar S., Ismail T., Amir M., Zafar-ul-Hye M., (2014). Heavy metals in vegetables and respective soils irrigated by canal, municipal waste and tube well waters. *Food Addit. Contam. Part B-Chem.*, 7(3) : 213–219. doi:10.1080/19393210.2014.888783.

Islam M S., Ahmed M K., Habibullah-Al-Mamun M., Masunaga S., (2015). Assessment of trace metals in foodstuffs grown around the vicinity of industries in Bangladesh. *J Food Compos Anal* .42:8–15. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.031>.

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.

J

Jechoux V., (2006). L'expertise scientifique en Europe dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments : état des lieux et perspectives. These pour le Doctorat Veterinaire ,La Faculte de Medecine de Creteil.

Jaubert G., (1997). Flavour of goat farm bulk milk. *Cah Opt Mediter*.25: 89-93.

J O R A (Journal Officiel de la République Algérienne n°69), (1993). Arrêté interministériel du 29 Safar 1414 correspondant au 18 août 1993 relatif aux spécifications et à la représentation de certains laits de consommation. P 16.

Juste C., (1988). Appréciation de la mobilité et de la biodisponibilité des éléments en traces du sol. *Sci. Sol*.26 (2) : 103-112.

K

kammerer M., Le Bizec B., (2009). Les dangers chimiques liés aux denrées alimentaires, photocopié d'enseignement ENVN, UV.P 75, 4, 50 .

Kamund C., Mathuthu M ., Madhuku M., (2016). Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soils from Witwatersrand Gold Mining Basin, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.13(7):663. doi:10.3390/ijerph13070663.

Keshavarzi B., Tazarvi Z., Rajabzadeh M A ., Najmeddin A., (2015). Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban

street dust of Shiraz, Iran. *Atmospheric Environment*, 119, 1–10. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.08.0

Khalil O S F., (2018). Risk Assessment of Certain Heavy Metals and Trace Elements in Milk and Milk Products Consumed in Aswan Province. Dairy science and Technology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Aswan University, Aswan, Egypt. Osama.safwat@agr.aswu.edu.eg. *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ.* 9 (8): 289 - 296.

Khan M U., Malik R N., Muhammad S., (2013). Human health risk from Heavy metal via food crops consumption with wastewater irrigation practices in Pakistan. *Chemosphere.* 93:2230–2238.

Khan N., Jeong I S., Hwang I M., Kim J S., Choi S H., Nho E Y., Choi J Y., Park K S., Kim K S., (2014). Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Fd. Chem.* 147: 220-224.

Klassen C D., Watkins J B. ; (2003). *Essentials of toxicology Casarett and Doull's.* USA : The McGraw-Hill Companies.

Konuspayeva G., Jurjanz S., Loiseau G., Barci V., Akhmetsadykova Sh., Meldebekova A., Faye B., (2011a). Contamination of Camel Milk (Heavy Metals, Organic Pollutants and Radionuclides) in Kazakhstan. *Journal of Environmental Protection.* 2. P 90-96.

ℒ

Lamontagne M., Champagne C P., Reizt-Ausseau J., Moineau S., Lamoureux L., (2000). Exploitation de l'activité β - galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maîtrise, Université de Laval, Canada.

Landrans M et Paclot C., (1994). "Le saturnisme infantile ». *Change santé sociale.* 74 :23-28.

Landrans M., Le Goaster C., Bouy P., Debaisieux F et Roussel C., (1999). Evaluation de l'exposition des enfants aux polluants émis par l'usine métal blanc à Bourg- Fidèle, St-Maurice, RNSP et DDASS des Ardennes. P 47.

Lante A., Lomolino G., Agnini M., Spettoli P., (2006). Content and characterization of minerals in milk in crescenza and squaquero Italian fresh cheeses by ICP-OES. *Food Control*. 17(3): 229-333.

Larekeb M., (2015). Elimination du zinc par adsorption et par coagulation-floculation , Thèse de Doctorat, Université de Biskra .

Lebsir A., Bessam A., (2017). Les eaux usées et leur traitement au niveau de la station d'épuration d'El-Milia, En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie Option : Eau et Environnement . Université Mohammed Seddik Benyahia –Jijel. P4.

Le floch M., (2004). Caractérisation physico-chimique et estimation des émissions particulaires métalliques de l'usine d'incinération d'ordures ménagères de Toulon dans l'air ambiant.

Levkov, V., Stafilov T., Pacinovski N., Bačeva K., Mateva N., Gjorgovska N., (2017). Content of major and trace elements in raw ewes' milk used for production of traditional white brined cheese. *Slovak Journal of Animal Science*. 1 :7–14.

Licata P., Trombetta D., Cristani M., Giofrè F., Martino D., Calò M., Naccari, F. (2004). Levels of toxic and essential metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environment International*. 30(1) :1–6. doi:10.1016/s0160-4120(03)00139-9

Licata P., Di Bella G., Potortì A. G., Lo Turco V., Salvo A., et Dugo, G mo. (2012). Determination of trace elements in goat and ovine milk from Calabria (Italy) by ICP-AES. *Food Additives and Contaminants: Part B*. 5(4): 268–271. doi:10.1080/19393210.2012.705335.

Li Z., Ma Z., van der Kuijp T J., Yuan Z ., Huang L., (2014). A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of The Total Environment*. 468-469, 843–853. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.090.

Lozano M., Trujillo M., (2012). Chemical residues in animal food products: an issue of public health. In: *Public health: methodology, environmental and systems issues*. Intech Open, Rijeka, Croatia. 163–175.

Lu FC ., Kacew ., (2002) . Lu's Basic Toxicology: Fundamentals, Target Organs and Risk Assessment, Fourth Edition. CRC Press; 2002. P 409.

Lu X., Zhang X., Li L Y ., Chen H., (2014). Assessment of metals pollution and health risk in dust from nursery schools in Xi'an, China. *Environmental Research*. 128:27–34. doi:10.1016/j.envres.2013.11.007.

M

Maas S., Lucot E., Gimbert F., Crini N., Badot P.M., (2011). Tracemetals in raw cows' milk and assessment of transfer to Comté cheese. *Food Chem*. 129 : 7–12.

Madani T., Sahraoui H., Benmakhlouf H., (2015). Elevage caprin en Algérie : Systèmes d'élevage, performances et mutations. In : Workshop Natl. Valorisation des « races » locales ovines et caprines à faibles effectifs, un réservoir de diversité génétique pour le développement local, INRAA, Alger.

Mager E. M., (2011). Lead, *Fish Physiology*.31(11):185- 236.

Mahieu H., Jaouen J.C, Luquet G.M et Mouillet L. (1977). Etude comparative de la composition et de la contamination des laits des espèces laitières bovines, ovines et caprines. *Le lait*.57 : 565-568.

Malhat F., Hagag M., Saber A., et Fayz A.E., (2012). Contamination of cow's milk by heavy metal in Egypt. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. 88(4):611-613.

Maud A.J., (2005). Etudes biochimiques et génétiques de la réponse adaptative de mollusques face aux contaminations métalliques et au stress oxydant école doctorale sciences du vivant, géosciences et sciences de l'environnement ». L'université bordeaux I. 1-15.

Mayache M.,2018. Ecologie et Biologie de la Sittelle Kabyle, *Sitta ledanti* dans quelques forêts humides de la région Jijel (Algérie)En vue de l'obtention du diplôme Master Université A. MIRA – Bejaia.P15.

Medjita W., Boukerzaza H., (2018). zone industrielle bellara, quels risques pour el Milia ?. 1Aménagement urbain, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Algérie.2Université Constantine 3.

Meshref A M S., 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(4) :381–388. doi:10.1007/s11694-014-9203-6

Mélanie J., Julien J., Carole B., Gilles R., (2015).Évaluation des risques sanitaires liés à la présence de contaminants chimiques dans les aliments : retour d'expérience et proposition d'un outil méthodologique Environnement, Risques et Santé. 14(1): 38-55.

Miclean., Cadar., Levei., Roman., Ozunu., et Levei., (2019). Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) Transfer along Food Chain and Health Risk Assessment through Raw Milk Consumption from Free-Range Cows. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(21): 4064. doi:10.3390/ijerph16214064.

Miland N., Roux J C., Fourest E. ,(1993). Improvement of heavy metal from industrial wastes by filamentous fungi. Récents progress.25 :19-4.

Miquel G., (2001) Effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques .

Mitchel., G.E.,(1981). Trace metals level in queensland dairy products. Aust. J.Dairy Techno.16:70 –73.

Mititelu M., Moroşan E., Neacsu S M., IoniţăE I., (2018). Research regarding the pollution degree from romanian Black Sea coast. Farmacia. 66(6):1059-1063.

Mititelu M., Ghica M., Ionita A C., Morosan E., (2019). The influence of heavy metals contamination in soil on the composition of some wild edible mushrooms. Farmacia. 67(3):398-404.

Monika U et Vlasta M. (2005). Cadmium, lead and mercury in human milk from Slovakia .

Morgan D., Gunneberg C., Gunnell D., Healing T D., Lamerton S et al., (2012). Medicinal properties of goat milk. J Dairy Goat 90: 1.Food Additives and Contaminants. 22(6): 579–589.

Mouloud M., (2017). Etude géologique et géotechnique du glissement de terrain de Texanna, Wilaya de Jijel. En vue de l'obtention de diplôme de master en géologie. Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi . P 17.

Muchuweti M., Birkett J W., Chinyanga E., Zvauya R., Scrimshaw M D.,Lister J N., (2006). Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implication for human health. Agriculture, Ecosystems and Environment .112: 41-48.

Muhib M I., Chowdhury M A Z., Easha N J., Rahman M M., Shammi M., Fardous Z., Alam M K., (2016). Investigation of heavy metal contents in cow milk samples from area of Dhaka, Bangladesh. International Journal of Flow Control. 3(1). doi.org/10.1186/s40550-016-0039-1.

Munees A., (2012). Implications of bacterial resistance against heavy metals in bioremediation : a review. Institute of Integrative Omics and Applied Biotechnology Journal .3 : 39–46.

N

Nadeau F R.,(2012).Évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques d'un terrain contaminé par des métaux.Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maitre en environnement (M. Env.).Université de Sherbrooke, Québec . P 33.

Nakib L., (2010). Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique. Mémoire de Magister, Université de Constantine.

NAS (National Academy of Sciences), (1983). Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, Commission on Life Sciences, National Research Council. Washington, DC.

Nascimento T V C., Almeida Júnior W L G de ., Lopes Júnior E S., Menezes D R., Dias F S et Costa M M da., (2017). Physical and chemical characteristics of milk from goats supplemented with different levels of total digestible nutrients in the dry period. Acta Scientiarum. Animal Sciences.39(4):429. doi:10.4025/actascianimsci.v39i4.3581.

Nazir R., Khan M., Rahman U.R, Masab H,Khan M.A., Rahman M. et Abdul khaliq., (2015). Comparative study of heavy metals (Ni, Cu, Fe, and Cr) in milk of cattle and humans collected from Khyber Pakhunkhwa, Pakistan. Global Veterinary. 14(5) :761 – 767.

Nkwunonwo U C., Odika P O., Onyia N I., (2020). A Review of the Health Implications of Heavy Metals in Food Chain in Nigeria. The Scientific World Journal.1–11. doi:10.1155/2020/6594109.

Nordberg G, Group C.,(2003). Cadmium and human health : a perspective based on recent studies in China. *J. Trace Elem. Exp. Med.* 16:307-319.

Nnadozi C U., Birnin-Yauri U A., Muhmmad C.,(2014). Assessment of some dairy products sold in Sokoto Metropolis, Nigeria. *Int. J. Advanc. Resh. In Chemical Sci.*1(10):31-37.

NRC (National Research Council),,(1983). Risk assessment in the federal government: managing the process [R]. National research council edition. Washington, DC: National Academy Press.

Nuyts Daelemans P H G., Jorens M M., Elseviers F L., Van de Vyver M E., De Broe., (1991). Does Lead Play a Role in the Development of Chronic Renal Disease Nephrology Dialysis Transplantation, Volume 6. Issue .5:307–315.

O

Olsson I M., Jonsson S., Oskarsson A.,(2001). Cadmium and zinc in kidney, liver, muscle and mammary tissue from dairy cows in conventional and organic farming. *The Royal Society of Chemistry, J. Environ. Monit.* 3: 531–538.

O.M.S.,(1997). Heath and environment in sustainable development.

OMS., (2017). Boîte à outils d'évaluation des risques pour la santé humaine de l'OMS: dangers chimiques [WHO human health risk assessment toolkit: chemical hazards] ; (Document n°8 du projet d'harmonisation du PISSC) ; ISBN 978-92-4-254807-5.

Oves M., Saghir Khan M., Huda Qari A., Nadeen Felemban M., Almeelbi T., (2016). Heavy Metals: Biological Importance and Detoxification Strategies. *Journal of Bioremed Biodeg.* 7:334. doi: 10.4172/2155-6199.1000334.

Ozturan K et Atasever M., (2018). Mineral elements and heavy metals in milk and dairy products [Sut ve Urunlerinde Mineral Maddeler ve Agır Metaller]. *Ataturk universitesi Veteriner Bilimleri Dergisi.* 13(2):229–241. <https://doi.org/10.17094/ataunivbd.317822>.

P

Pack E C., Kim C H., Lee S H., Lim C H., Sung D G., Kim M H., Park K H., Hong S S., Lim K M., Choi D W.,Kim S W., (2014). Effects of environmental temperature change on

mercury absorption in aquatic organisms with respect to climate warming. *J. Toxicol. Environ. Health, Part A*. 77:1477-1490.

Palvonic I., Sikiric M., Havranek J L., Plavljanic N., Brajenovic N.,(2004). Lead and cadmium levels in raw cow's milk from an industrialised Croatian region determined by electrothermal atomic absorption spectrometry. 164-184.

Panisset J C., Dewailly E., Doucet-Leduc H., (2003).Contamination alimentaire. In : *Environnement et santé publique-Fondements pratique* P.369-395.

Peter O O., Eneji I S., Sha'Ato R.,(2012). Analysis of heavy metals inhuman hair using atomic absorption spectrometry (AAS). *Am.J. Anal. Chem.* 3 :770–773.

Parent M.,(2018).Principes d'évaluation du risque chimique en sécurité alimentaire.16-065-A-15. Doi : 10.1016/S1877-7856(18)66571-7.

Parkinson D K., RYAN C., Bromet E J et Connell M M., (1986). A psychiatric epidemiologic study of occupational lead exposure. *American journal of epidemiology*, 123(2):261-269. . doi:10.1093/oxfordjournals.aje.a114234.

Park Y.W., (2006). Goat Milk-Chemistry and Nutrition . In *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*, édité par Young W. Park et George F.W. Haenlein, 34-58. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing Professional. <https://doi.org/10.1002/9780470999738.ch3>.

Park Y.W., Juárez M., Ramos M et Haenlein G.F.W.(2007).Physico-Chemical Characteristics of Goat and Sheep Milk. *Small Ruminant Research* .68 (1-2): 88-113. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>.

PERE J. P., (1999). Techniques spectroscopiques en biochimie analytique. Bordeaux : Centre Régional de Documentation Pédagogique D'Aquitaine.P 150.

Peter O O., Eneji I S, et Sha'Ato R.,(2012).Analysis of Heavy Metals in Human Hair Using Atomic Absorption Spectrometry (AAS) ». *American Journal of Analytical Chemistry*.03 (11) :770-73. <https://doi.org/10.4236/ajac.2012.311102>.

Pilarezyk R., Wojcik J., Czerniak P., Sablik P., Pilarezyk B., et Tomza-Marciniak A., (2013). Concentrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm. *Environ. Monit. Assess.* 185:8383–8392.

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.

Rahmani J., Fakhri Y., Shahsavani A., Bahmani Z., Urbina M.A., Chirumbolo S., et al., (2018). A systematic review and meta-analysis of metal concentrations in canned tuna fish in Iran and human health risk assessment. *Food Chem. Toxicol.* 118 :753–765.

Ramade F., (1992). Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales.P 55.

Razafindradrandra Y Et Seveque J.L., (1998). Sites pollués et potentiellement pollués. Identification et contrôle juridique et technique. Collection Environnement. Paris, Victoires Editions. P 256 .

Rink L.,(2011). *Zinc in Human Health.* Biomedical and Health Research, v. 76. Amsterdam ; Washington, DC: IOS Press .

Rousselet D E., (2007).Réponse cellulaire vis-à-vis de l'exposition au cadmium chez les animaux, thèse doctorat en biologie. Université joseph fourier-grenoble.1 :19-72.

S

Safa M., (2016).Etude de la capacité de rétention et d'élimination des cations métalliques par adsorbants naturels », Thèse de Doctorat, Université de Mascara.

Safaei P., Seilani F., Eslami F., Sajedi S R., Mohajer A., (2020). Determination of essential nutrients and heavy metal content of raw cow's milk from East Azerbaijan province, Iran. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 1–11.

Saka S., Bahi A et Aouacheri W., (2011). L'effet du stress oxydant induit par l'acétate de plomb sur le système enzymatique du glutathion chez les rats. In *Annales de Toxicologie Analytique.*23(3) : 139-145.

Semadi A et Déruelle S., (1993). Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). *Pollution Atmosphérique.* 86-102.

Sarsembayeva N B., Abdigaliyeva T B., Utepova Z A., Biltebay A N ,Zhumagulova S Zh ., (2020). Heavy metal levels in milk and fermented milk products produced in the Almaty region, Kazakhstan. *Veterinary World* .13(4) :609–613.doi: 10.14202/vetworld.2020.609-613.

Serpaud B., Al-Shukry R., Casteignau M., Matejka G., (1994). Adsorption des métaux lourds (Cu, Zn, Cd et Pb) par les sédiments superficiels d'un cours d'eau: rôle du pH, de la température et de la composition du sédiment. *Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science.* 7(4) : 343-365.

Seyed M D et Ebrahim R., (2012). Determination of lead residue in raw cow milk from different regions of Iran by flameless atomic absorption spectrometry. *Am-Eurasian J. Toxicol. Sci.* 4(1):16-19.

Schweitzer E J., Matas A J., Gillingham K J., Payne W D., Gores P F., Dunn D L., Najarian J S., (1991). Causes of renal allograft loss. Progress in the 1980s, challenges for the 1990s. *Annals of surgery.* 214(6):679.

Shahbazi Y., Ahmadi F., Fakhari F., (2016). Voltammetric determination of Pb, Cd, Zn, Cu and Se in milk and dairy products collected from Iran: An emphasis on permissible limits and risk assessment of exposure to heavy metals. *Food Chemistry.* 192:1060–1067. doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.123.

Simsek O., Gultekin R., Oksuz O., Kurultay S., (2000) . The effect of environmental pollution on heavy metal content of raw milk. *Nahrung.* 44: P 360-363.

Singh A., Sharma R.K., Agrawal M., Marshall F M., (2010). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chem Toxicol* 48:611–619. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>.

Soubra I., 2008. Évaluations scientifiques des Risques toxiques liés à certaines substances chimiques (additifs alimentaires) et contaminants (mycotoxines). Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech).

Sola-Larranaga C et Navarro-Blasco I., (2009). Chemometric analysis of minerals and trace elements in raw cow milk from the community of Navarra, Spain. *Food Chemistry.* 112 : 189-196.

Solis C., Isaac-Olive K., Mireles A ., Vidal-Hernandez M., (2009). Determination of trace metals in cow's milk from waste water irrigated areas in Central Mexico by chemical treatment coupled to PIXE. *Microchemical Journal.* 91(1) : 9–12. doi:10.1016/j.microc.2008.06.001.

Soma G., Gurdeep S., Jha V., Tripathi R M., (2011). Risk assessment due to ingestion of natural radionuclides and heavy metals in the milk samples: a case study from a proposed uranium mining area, Jharkhand. *Environ. Monit. Assess.* 175: (1-4), 157.

Storelli A., Barone G., Dambrosio A., Garofalo R., Busco, A., Storelli, M M. (2020). Occurrence of trace metals in fish from South Italy: Assessment risk to consumer's health. *Journal of Food Composition and Analysis.* 90: 103487. doi:10.1016/j.jfca.2020.103487.

Stouthart A J H., Spanings F A., Lock R A., Bonga S E W., (1995). Effects of water pH on chromium toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquatic Toxicology.* 32(1):31- 42.

Subhashini S S., Velan M., Kaliappan S., (2013). Biosorption of lead by *Kluyveromyces marxianus* immobilized in alginate beads. *Journal of environmental biology.*34(5):831.

T

Temiz H., Soylu A., (2012). Heavy metal concentrations in raw milk collected from different regions of Samsun, Turkey. *Int. J. Dairy Technol.* 65 : 516–522.

Thompson F E Et Bryers T., (1994). Dietary assessment resource manual. *Journal of Nutrition* , vol.124, p.2245s-317s.

Thornton I et Abrahams P., (1983). Soil ingestion — a major pathway of heavy metals into livestock grazing contaminated land. *Science of The Total Environment.*28(1-3):287–294. doi:10.1016/s0048-9697(83)80026-6.

Tripathi R M., Raghunath R., Sastry V N et Krishnamoorthy T M., (1999). Daily intake of heavy metals by infants through milk and milk products. *Science of the Total Environment.* 227: (2–3), 229–235.

Tunegova M., Toman R et Tancin V., (2016). Heavy metals – environmental contaminants and their occurrence in different types of milk. *Slovak J. Anim. Sci.,* 49 (3):122-131.

U

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund: Human Health Evaluation Manual [part A]: Interim Final. Washington, DC, USA.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (2001). Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment), EPA/540/R/99/005. USA Office of Emergency and Remedial Response, Washington DC.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) ,(2002). Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, DC (OSWER9355.4-24). Retrieved October 21, 2019 from: https://rais.ornl.gov/documents/SSG_nonrad_supplemental.pdf.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) ,(2006) USEPA Region III Risk-Based Concentration Table: Technical Back-ground Information. United States Environmental Protection Agency, Washington.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (2008). region 8, United States, Environmental Protection Agency. Baseline human health risk assessment for the standard mine site Gunnison County, Colorado. Syracuse Research Corporation.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (2010) .Risk Based Concentration Table. Available from: <http://www.epa.gov>.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (2011). USEPA Regional Screening Level (RSL) Summary Table: November 2011.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) ,(2012). EPA Region III Risk-based Concentration (RBC) Table 2008 Region III, 1650 Arch Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm.

US EPA (United States Environmental Protection Agency) ,(2014). Regional Screening Level (RSL) Summary Table–May 2014.

US-EPA (United States Environmental Protection Agency), (2016). United states environmental protection agency.Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. [Internet]; [consulté 13/08/2021].https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf.

V

Vahcic N., Hruskar M., Markovic K., Banovic M., Baric I C., (2010). Essential minerals in milk and their daily intake through milk consumption. *Mljekarstvo*. 60(2) :77–85.

Vanier P., (2005). Le lait au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Ecologie environnement. P 65.

Varol M et Sünbül M R., (2020). Macroelements and toxic trace elements in muscle and liver of fish species from the largest three reservoirs in Turkey and human risk assessment based on the worst-case scenarios. *Environmental Research*.184 :09298. doi:10.1016/j.envres.2020.109298.

Viala A et Botta A., (2005). Toxicologie, Ed., Tee & Doc EM inter Lavoisier.

W

Wehrmuller K et Ryffel S., (2007).Produits au lait de chèvre et alimentation.ALP actuel, no 27.Eds, Sta.Rech. Agro. Liebefeld-Posieux ALP. Posieux. Suisse.

Weisberg M., Joseph P., Hale B., Beyersmann D., (2003) .Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*.192 :95–117.

WHO., (2005). Enhancing Participation in Codex Activities: An FAO/WHO Training Package.Food & Agriculture Org.

Y

Yruela I., (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*.36(5): 409. doi:10.1071/fp08288.

Z

Zhuang P., McBride M.B., Xia H., Li N. et Li, Z., (2009). Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshanmine, south China.*Sci.Total - Zhong.*

Zhong W., Zhang Y., Wu Z., Yang R., Chen X., Yang J ., Zhu L., (2018). Health risk assessment of heavy metals in freshwater fish in the central and eastern North China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.157:343–349. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.03.048.

Zodape G., Dhawan V., Wagh R., 2012. Determination of metals in cow milk collected from Mumbai city, India. Srilanka: Eco Revolution Colombo, P. 270,274.

Zorrig W, 2009. Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue *Lactuca sativa*. Faculté des sciences de Tunis-Sup Agro Montpellier, 276.

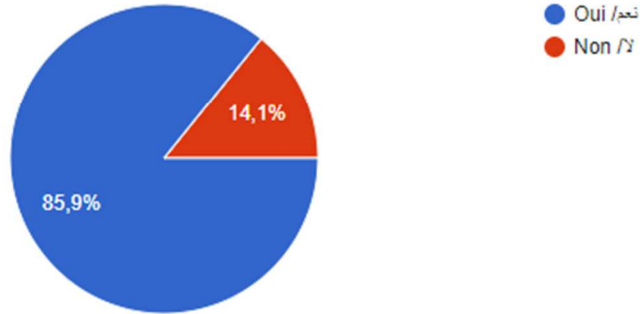
Zwierzchowski G., Ametaj B N., 2019. Mineral elements in the raw milk of several dairy farms in the province of Alberta. *Foods*. 8 :345.

Annexes

Annexe 01 : Résultats du questionnaire

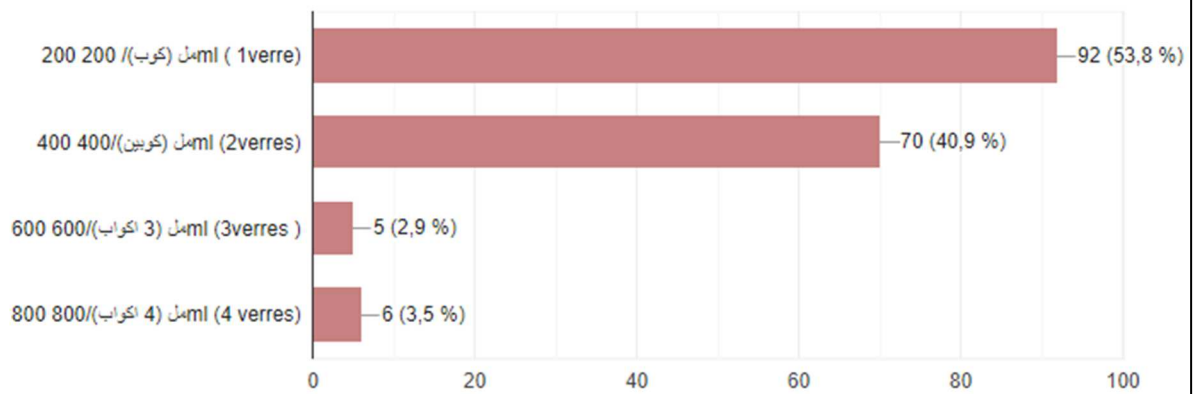
هل تستهلك الحليب؟ Est ce que vous consommez du lait

198 réponses



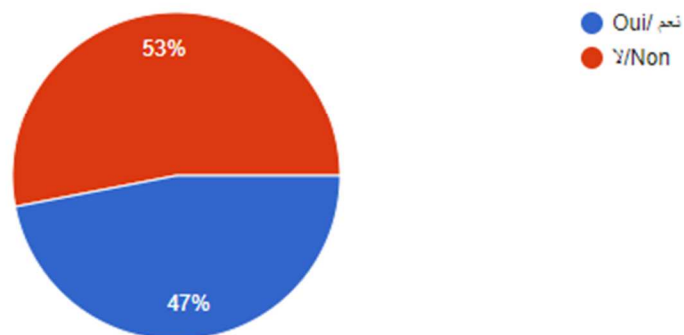
إذا نعم ، كم هي كمية الحليب المستهلكة يوميا ؟ Si oui quelle est la quantité du lait consommable par jour ?

171 réponses



هل لديكم اطفال تتراوح اعمارهم بين 0 و 4 سنوات ؟ Est ce que vous avez des enfants entre 0 et 4ans

198 réponses



؟ اذا نعم كم وزنهم (كغ) Si oui quel est leur poids (kg)

81 réponses

10kg

20

12

12kg

11

15

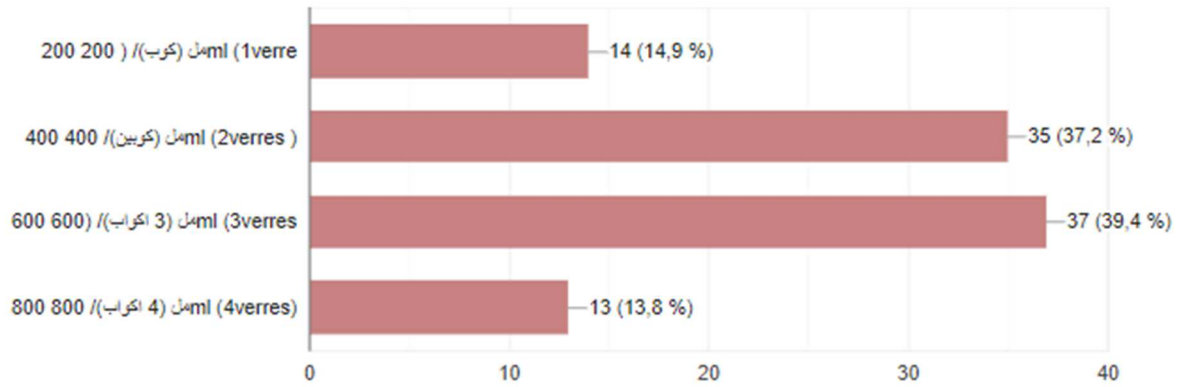
15kg

9kg

20kg

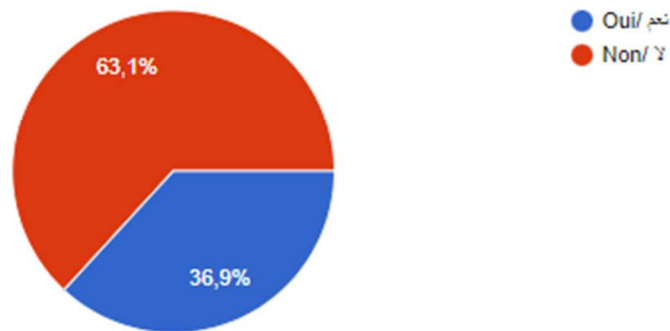
كم هي كمية الحليب التي يستهلكونها يوميا ؟ ? Quelle est la quantité du lait qu'ils consomment par jour ?

94 réponses



هل لديكم اطفال تتراوح اعمارهم بين 4 و 10 سنوات ؟ ? Est ce que vous avez des enfants entre 4 et 10ans

198 réponses



؟ اذا نعم كم وزنهم (كغ) ? Si oui quel est leur poids (kg)

63 réponses

35

20

25

27 kg

19

25kg

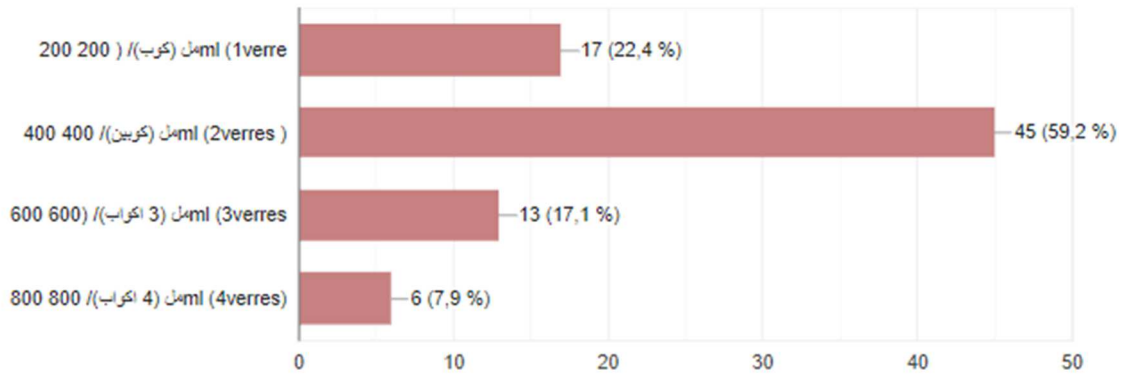
35kg

18kg

24

كم هي كمية الحليب التي يستهلكونها يوميا ؟ ? Quelle est la quantité du lait qu'ils consomment par jour ?

76 réponses



Annexe 02 : Tableau10 : Résultat de la matrice de corrélation de Pearson entre les quatre métaux pour chaque région.

		El-milia			
		Plomb	Cadmium	Cuivre	Zinc
Plomb	Corrélation de Pearson	1	0,542	-0,865	-0,499
	N	3	3	3	3
Cadmium	Corrélation de Pearson	0,542	1	-0,047	0,458
	N	3	3	3	3
Cuivre	Corrélation de Pearson	-0,865	-0,047	1	0,867
	N	3	3	3	3
Zinc	Corrélation de Pearson	-0,499	0,458	0,867	1
	N	3	3	3	3

		Texenna			
		Plomb	Cadmium	Cuivre	Zinc
Plomb	Corrélation de Pearson	1	-0,162	-0,825	0,912
	N	3	3	3	3
Cadmium	Corrélation de Pearson	-0,162	1	-0,425	0,258
	N	3	3	3	3
Cuivre	Corrélation de Pearson	-0,825	-0,425	1	-0,984
	N	3	3	3	3
Zinc	Corrélation de Pearson	0,912	0,258	-0,984	1
	N	3	3	3	3

Djimla

Annexes

		Plomb	Cadmium	Cuivre	Zinc
Plomb	Corrélation de Pearson	1	-0,69	0,543	1,000**
	N	3	3	3	3
Cadmium	Corrélation de Pearson	-0,69	1	-0,982	-0,692
	N	3	3	3	3
Cuivre	Corrélation de Pearson	0,543	-0,982	1	0,545
	N	3	3	3	3
Zinc	Corrélation de Pearson	1,000**	-0,692	0,545	1
	N	3	3	3	3

Présenté par :
Bouchehou Naila
Belkoucem Sakina Ikram

Membres de Jury :
Président : Dr Krika A
Examinatrice : Dr Amira W
Encadreur : Dr Balli

Date de soutenance : Septembre 2021

Evaluation du risque sanitaire suite à la consommation du lait de chèvre susceptible d'être contaminé par les métaux lourds

RESUME

Parmi tous les aliments et sur la base de leur contenu nutritionnel, le lait de chèvre est considéré comme l'un des plus complets et des mieux équilibrés. La contamination de lait de chèvre par les métaux lourds est particulièrement problématique en raison de leur non biodégradabilité et de leur grande toxicité. Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer la teneur en 4 métaux (Pb, Cd, Cu et Zn) dans le lait de chèvres dans 3 régions à Jijel (Texenna, El-Milia et Djimila) et les risques associés pour la santé humaine.

Un total de 3 échantillons mixtes de lait de chèvre a été collecté de trois régions ciblées et les teneurs en métaux sectionnés ont été déterminées à l'aide de la Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA).

Dans le cadre d'évaluation des risques associés, les valeurs d'EDI, de THQ, d'HI, de CR, et finalement le risque cancérigène cumulatif ont également été calculées pour trois tranches d'âges différentes (>4 ans, 4-10 ans, adultes). L'analyse des métaux lourds dans le lait de chèvre a révélé des niveaux fortement élevés en 3 métaux (Pb, Cd, Cu) avec la plus forte teneur en Cd (0,0359 mg/kg) détectée au niveau de Djimila, en Pb (0,425 mg/kg) au niveau d'El milia, et en Cu (0,0633 mg/kg) au niveau de Texenna., tandis que des faibles valeurs en zinc ont été enregistrées au niveau des 3 régions. Concernant l'EDI, seulement celui du Plomb pour les enfants (0.-4ans) ont dépassé les normes proposées par (FAO/OMS, 1993). Alors que, les valeurs de THQ et d'HI sont trouvées dans les limite acceptables (THQ, HI < 1) pour les trois tranches d'âges. Les valeurs du CR et de CR cumulatif ont dépassé les limites acceptables (10^{-4} et 10^{-6}), 10^{-4} respectivement. C'est le cas de CR Plomb pour les enfants < 4 ans au niveau d'El-Milia. Alors que le CR cadmium et le risque cumulatif estimés étaient élevés pour les trois tranches d'âge mais plus particulièrement pour les enfants <4 ans au niveau de Djimila. Comme la teneur en métaux (Pb, Cd) dans le lait de chèvres échantillonnés dépassent de loin la limite de sécurité, les consommateurs sont éventuellement exposés à un risque cancérigène aggravé par l'effet cumulatif. Les valeurs de CR Cd, CR cumulé dans tous les groupes étudiés et CR Pb pour les enfants âgés entre 0et 4 ans dépassent la limite indiquant un risque élevé de cancer.

Mots-clefs : lait de chèvre, métaux lourds, El-milia, Texenna, Djimila, SAA, évaluation des risques, EDI, CR, THQ, HI.

Abstract

Among all foods and on the basis of their nutritional content, the goat's milk is one of the most complete and well-balanced. The contamination of goat's milk by heavy metals is particularly problematic particularly problematic because of their non-biodegradability and high toxicity. The objectives of this study were to evaluate the content of 4 metals (Pb, Cd, Cu and Zn) in goat milk in 3 regions in Jijel (Texenna, El-Milia and Djimila) and the associated risks to human health. A total of 3 mixed samples of goat milk were collected from three targeted regions and the levels of heavy metals were determined at the using Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS). As part of human risk assessment, EDI, THQ, HI, CR, and finally the cumulative carcinogenic risk was also determined. Cumulative carcinogenic risk was also calculated for three different age groups (>4 years, 4-10 yrs, adults). The analysis revealed very high concentration of heavy metals in goat milk of 3 metals (Pb, Cd, Cu) with the highest level of Cd (0,0359 mg/kg) detected at Djimila, Pb (0,425 mg/kg) at El milia, and Cu (0,0633 mg/kg) at the level of Texenna, while low values of zinc were recorded at the level of the 3 regions. The values of the estimated daily intake Only EDI pb was higher than the proposal values of FAO/WHO, 1993. Similarly, the values of THQ and HI values are found within acceptable limits (THQ, HI < 1) for all three age groups. The values of CR and cumulative CR exceeded the acceptable limits (10^{-4} and 10^{-6}), 10^{-4} respectively. This is the case of CR pb for children < 4 years at El-milia. While the estimated CR Cd and cumulative risk estimated were high for the three age groups but more particularly for the children <4 years at the level of Djimila. As the content of metals (Pb, Cd) in the sampled goat milk far exceeded the safety limit, consumers are potentially exposed to safety limit, consumers are possibly exposed to a carcinogenic risk aggravated by the cumulative effect. The values of CR Cd, cumulative CR in all the studied groups and CR Pb for the children aged between and 4 years exceeded the limit indicating a high cancer risk.

Keywords: goat milk, heavy metals, El-milia, Texenna, Djimila, SAA, risk assessment, EDI, CR, THQ, HI.

المخلص

من بين جميع الأطعمة وبناءً على محتواها الغذائي، يعتبر حليب الماعز من أكثر الأطعمة اكتمالاً وتوازناً. يعد تلوث حليب الماعز بالمعادن الثقيلة مشكلة خاصة بسبب عدم قابليتها للتحلل البيولوجي وسميتها العالية. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم محتوى 4 معادن (الرصاص والكاديوم والنحاس والزنك) في حليب الماعز في 3 مناطق في جيجل (تاكسنة الميلية جيملة) والمخاطر المرتبطة بصحة الإنسان.

تم جمع مجموعة عينات من حليب الماعز المختلط من ثلاث مناطق المستهدفة ومن ثم تحديد تراكيز المعادن باستخدام جهاز الامتصاص الذري الطيفي. لتحديد المخاطر الصحية المتعلقة باستهلاك الحليب الملوث بالمعادن تم حساب المؤشرات السمية التالية: EDI، THQ، HI. وأخيراً حساب الخطر السرطن والخطر السرطن التراكمي في ثلاث فئات عمرية مختلفة (أطفال 0-4 سنوات، 4-10 سنوات والبالغين).

كشفت تحليل المعادن الثقيلة في حليب الماعز عن مستويات جد مرتفعة من الكاديوم (0,0359 ملغ) بجيملة، الرصاص (0,425 ملغ) بالميلية، النحاس (0,0633 ملغ) بتاكسنة بينما قيم الزنك المسجلة في المناطق الثلاثة كانت أقل من القيم الحدية.

فقط قيم EDI للرصاص كانت أعلى من القيم المحددة (0,0036 ملغ / كغم / اليوم) من قبل (منظمة الأغذية والزراعة / منظمة الصحة العالمية، 1993). ولكن قيم THQ و HI ضمن الحدود المقبولة أصغر من 1 لجميع الفئات العمرية. أما قيم CR و CR التراكمي تجاوزت الحد (10^{-4} و 10^{-6}) لمعدن الرصاص عند الأطفال أقل من 4 سنوات على مستوى الميلية. في حين أن معدلات الكاديوم CR و التراكمي CR المقدرة كانت عالية لجميع الفئات العمرية الثلاث ولكن بشكل خاص للأطفال أقل من 4 سنوات في جيملة. نظراً لتجاوز محتوى المعادن (Cd, Pb) في حليب الماعز الذي تم أخذ عينات منه الحد الآمن، فمن المحتمل أن يتعرض المستهلكون لمخاطر مسببة للسرطان تتفاقم بسبب تراكم الخطر السرطاني لهذه المعادن. تتجاوز قيم CR Cd و CR التراكمي لجميع الفئات العمرية و CR Pb للأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين 0-4 سنوات الحد الذي يشير إلى ارتفاع مخاطر الإصابة بالسرطان.

الكلمات المفتاحية: حليب الماعز، المعادن الثقيلة، ميلية، تكسنة، جيملة، SAA، تقييم المخاطر THQ، HI، EDI، CR،