



DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

**Mémoire de fin d'études**

Présenté par

**Zidane Awatif**

Pour l'obtention du diplôme de

**Master en Sciences Alimentaires**

**Spécialité : Nutrition & Pathologie**

**Thème**

**Détermination des teneurs en éléments traces  
métalliques (pb, cd, zn, cu) de quelques produits  
laitiers algériens.**

Soutenu publiquement le 06/07/2020

Devant le Jury

Président	Dr Benbouziane Bouasria	Grade	MCB	U. Mostaganem
Encadreur	Dr. MOKHTAR Meriem	Grade	MCA	U. Mostaganem
Examineur	Mr Zabouri Younes	Grade	MAA	U. Mostaganem

Année universitaire 2019-2020

## **Remerciement**

*C'est avec une profonde reconnaissance et une considération particulière que je remercie mon encadreur M<sup>me</sup> **MOKHTAR Meriem** pour son aide précieuse, ses conseils, sa patience, son soutien et ses efforts dont elle a fait preuve au cours de l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude.*

*Je remercie **Dr Benbouziane Bouasria**, merci d'avoir accepté de donner de votre temps pour présider mon jury et juger ce travail.*

*Je remercie également, **Mr Zabouri Younes** qui nous fait l'honneur d'examiner ce travail. Vos conseils me seront précieux.*

*Mes respectueux remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants du département des sciences alimentaires.*

*Je tiens à remercier chaleureusement, tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce travail.*

## *Dédicace*

*Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu le tout Puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*Avec un énorme plaisir et une immense joie que je dédie ce travail aux étoiles qui éclairent ma vie, à ma source de tendresse « Mes chers parents ».*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

*A mes très chères sœurs : Kheira, Nariméne et mon cher petit frère : Akram, pour leur grand amour et leur soutien avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.*

*A mes professeurs, ainsi à mes amis, et toute personne qui m'a aidé pour faire ce modeste travail*

*A ma famille et à toute personne que j'aime.*

## ملخص

في الوقت الحاضر ، يشكل تلوث الحليب ومنتجاته بالعناصر المعدنية مصدر قلق كبير للباحثين بسبب أثارها الضارة على صحة الإنسان. الهدف من هذا العمل هو كشف وتقدير مستوى بعض العناصر المعدنية (Pb و Cd و Cu و Zn) في منتجات الحليب الجزائرية المختلفة وتقييم مخاطرها على الصحة. تم اختيار مجموعة مكونة من 10 عينات (5 ياغورت ، وثلاث ياغورت للشرب ، واثنين من الحليب المنكه). أوضحت النتائج عدم وجود اي عنصر سام في جميع المنتجات. كانت قيمة النحاس عالية جدًا في أحد العينات المختبرة 1,49 مغ/كغ = Y2. يحتوي الحليب المنكه الذي تمت دراسته على قيم جيدة من الزنك والنحاس مقارنة بمنتجات الألبان الأخرى. كانت الجرعات اليومية المقدرة المحتسبة للزنك والنحاس منخفضة جدًا ، مما يعني أن العناصر الأساسية (Zn ، Cu) التي يتم الحصول عليها من خلال استهلاك منتجات الحليب لدينا منخفضة جدًا. من مؤشرات المخاطر المحسوبة ، لا يشكل أي منتج خطرًا على المستهلك ، ولكن نظرًا لأن النحاس له تأثير تراكمي ، فقد يشكل الاستهلاك المنتظم لـ Y2 مشكلة مع مرور الوقت.

**الكلمات المفتاحية :** العناصر المعدنية ، منتجات الألبان ، الجرعة اليومية المقدرة ، مؤشر المخاطر.

## **Abstract**

Nowadays, milk and dairy products contamination with trace metals is a major concern because of their adverse effects on human health. The objective of this study was to detect trace metals (Pb, Cd, Cu, and Zn) in some Algerian dairy products and to assess their health risks. A total of 10 samples (5 yogurts, 3 drinking yogurts, and 2 flavored milks) were selected. The results revealed that no toxic metals were detected in any of the products. The copper value was very high in one of the tested yogurts Y2 (1.49 mg/kg). The flavored milks contained good values of zinc and copper compared to the rest of the dairy products. The estimated daily intakes for zinc and copper were very low, which means that essential elements (Cu, Zn) obtained by consuming our dairy products are very low. Based on the calculated risk indices, none of the products represents a danger to the consumer; but since copper has a cumulative effect, regular consumption of Y2 might be a problem in the long term.

**Keywords:** Trace metals, dairy products, estimated daily intake, risk index.

## Résumé

De nos jours, la contamination du lait et des produits laitiers par les éléments traces métalliques présente une majeure préoccupation pour les chercheurs en raison de leurs effets néfastes sur la santé humaine. L'objectif de ce travail est de détecter et d'estimer le niveau de certains éléments traces métalliques (Pb, Cd, Cu et Zn) dans différents produits laitiers algériens et d'évaluer leurs risques pour la santé. Au total, 10 échantillons (5 yaourts, trois yaourts à boire et deux laits aromatisés) ont été sélectionnés. Les résultats ont révélé qu'aucun métal toxique n'a été détecté dans tous les produits. La valeur de cuivre était très élevée dans un des yaourts testés Y2 (1.49 mg/kg). Les laits aromatisés étudiés contiennent de bonnes valeurs en zinc et en cuivre par rapport aux autres produits laitiers. Les doses journalières estimées calculées pour le zinc et le cuivre étaient très faibles, ce qui signifie que les apports en éléments essentiels (Cu, Zn) obtenus par la consommation de nos produits laitiers sont très faibles. A partir des indices de risque calculés, aucun produit ne constitue un danger pour le consommateur, mais comme le cuivre a un effet cumulatif, il se peut qu'une consommation régulière d'Y2 puisse poser un problème à long terme.

**Mots clés :** Eléments traces métalliques, produits laitiers, dose journalière estimée, indice de risque.

## LISTE DES TABLEAUX

<b><u>Tableau 1</u></b> : Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels (Hopkin, 1989).....	4
<b><u>Tableau 2</u></b> : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Brignon, 2005).....	5
<b><u>Tableau 3</u></b> : Echantillons utilisés dans cette étude .....	12
<b><u>Tableau 4</u></b> : Dose journalière estimée et indice de risque pour le Cu .....	24
<b><u>Tableau 5</u></b> : Dose journalière estimée et indice de risque pour le Zn.....	25

## LISTE DES FIGURES

<b><u>Figure 1</u></b> : Origine des éléments traces métalliques dans le sol (Académie des sciences, 1998).....	7
<b><u>Figure 2</u></b> : Transfert des ETM vers les animaux d'après l'institut d'élevage 2010 .....	8
<b><u>Figure 3</u></b> : Voies d'exposition de l'homme aux éléments traces métalliques (Antoniadis et al., 2019).....	9
<b><u>Figure 4</u></b> : Spectrophotomètre à absorption atomique (Shimadzu, AA-7000) .....	14
<b><u>Figure 5</u></b> : Courbe d'étalonnage du plomb .....	17
<b><u>Figure 6</u></b> : Courbe d'étalonnage du cadmium .....	17
<b><u>Figure 7</u></b> : Courbe d'étalonnage du zinc .....	18
<b><u>Figure 8</u></b> : Courbe d'étalonnage du cuivre .....	18
<b><u>Figure 9</u></b> : Concentrations des ETMs dans les laits aromatisés .....	20
<b><u>Figure 10</u></b> : Concentrations des ETMs dans les yaourts .....	21
<b><u>Figure 11</u></b> : Concentrations des ETMs dans les yaourts à boire .....	23

## Liste des abréviations

<b>Ag</b>	:	argent
<b>Al</b>	:	aluminium
<b>Ar</b>	:	argon
<b>As</b>	:	arsenic
<b>Au</b>	:	or
<b>C</b>	:	concentration
<b>Cd</b>	:	cadmium
<b>Cr</b>	:	chrome
<b>Cu</b>	:	cuiivre
<b>DJA</b>	:	dose journalière admise
<b>DJE</b>	:	dose journalière estimée
<b>ETM</b>	:	élément trace métallique
<b>Fe</b>	:	fer
<b>Hg</b>	:	mercure
<b>IR</b>	:	indice de risque
<b>LA</b>	:	lait aromatisé
<b>Mn</b>	:	manganèse
<b>Ni</b>	:	nickel
<b>P</b>	:	poid
<b>Pb</b>	:	plomb
<b>Q</b>	:	quantité
<b>ROS</b>	:	reactive oxygen species

**Se** : sélénium

**Sn** : étain

**Ti** : titane

**V** : vanadium

**Y** : yaourt

**YB** : yaourt à boire

**Zn** : zinc

# Table des matières

**Remerciements**

**Dédicaces**

**ملخص**

**Abstract**

**Résumé**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**La liste des abréviations**

<b>Introduction</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : Partie bibliographique</b> .....	3
I.1.Les éléments traces métalliques (ETM) .....	3
I.2.Classification des éléments traces métalliques .....	3
I.2.1.Métaux essentiels .....	3
I.2.2.Métaux non-essentiels (métaux toxiques) .....	3
I.3. Sources des éléments traces métalliques.....	4
I.4. Pollution par les éléments traces métalliques .....	6
I.4.1.Contamination des sols .....	6
I.4.2.Contamination de l'air .....	6
I.4.3.Contamination de l'eau .....	7
I.4.4.Transfert des éléments traces métalliques dans les plantes .....	7
I.4.5.Transfert des éléments traces métalliques aux animaux .....	8
I.4.6. Exposition de l'homme aux éléments traces métalliques .....	8

I.5. Eléments traces métalliques dans le lait et les produits laitiers .....	10
I.6. Effet toxique des éléments traces métalliques .....	10
<b>CHAPITRE II : Matériel et Méthodes</b> .....	<b>12</b>
II.1. Échantillonnage .....	12
II.2. Préparation de la verrerie .....	12
II.3. Digestion acide par voie humide des échantillons .....	13
II.4. Dosage des ETMs par spectrophotométrie d'absorption atomique .....	13
II.4.1. Appareillage .....	13
II.4.2. Courbes d'étalonnage .....	14
II.4.3. Analyse des échantillons .....	14
II.5. Évaluation des risques de toxicité des ETMs pour humaine .....	14
II.5.1. Dose journalière estimée .....	14
II.5.2. Caractérisation du risque .....	15
II.6. Analyses statistiques .....	15
<b>CHAPITRE III : Résultats et discussion</b>	
III.1. Courbes d'étalonnage.....	16
III.2. Détermination de la concentration des ETMs .....	19
III.2.1. Métaux toxiques .....	19
III.2.2. Eléments essentiels .....	20
III.3. Évaluation des risques de toxicité des ETMs .....	24
<b>Conclusion</b> .....	<b>27</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>29</b>

# **Introduction**

## Introduction

Le développement économique et social rapide de notre société au cours des dernières décennies, notamment en ce qui concerne les activités industrielles, l'exploitation minière, l'utilisation non contrôlée de pesticides, a entraîné une large diffusion d'éléments traces métalliques dans l'environnement et par la suite dans la chaîne trophique.

La contamination par les éléments traces métalliques (ETMs) est considérée comme un problème sérieux compte tenu de leur toxicité et de leur pouvoir cumulatif dans la chaîne alimentaire. Certains aliments d'origine animale comme le lait et les produits laitiers sont des composants importants pour l'alimentation humaine. Cependant, ils peuvent également contenir des substances chimiques et des contaminants qui constituent un facteur de risque pour la santé du consommateur (**Licata et al., 2004 ; Meshref et al., 2014**).

Les produits d'origine animale, en particulier le lait et les produits laitiers, jouent un rôle important dans l'alimentation humaine et acquièrent une signification particulière dans l'alimentation infantile, car ils représentent une excellente source de nutriments (les protéines, les lipides, les vitamines, et les minéraux). Par conséquent, l'introduction de niveaux élevés de métaux lourds dans les produits laitiers pourrait constituer un risque potentiel et des problèmes de santé publique (**Meshref et al., 2014 ; Astolfi et al., 2020**).

Du point de vue nutritionnel, les éléments traces contenus dans le lait et les produits laitiers peuvent être regroupés en éléments essentiels (fer, cuivre et zinc) à faible dose et en éléments non essentiels ou toxiques (plomb et cadmium). La présence de ces derniers, même à faible concentration, peut entraîner des troubles métaboliques aux conséquences extrêmement graves.

Les oligo-éléments tels que le fer, le cuivre et le zinc sont essentiels à de nombreuses fonctions biologiques. Les carences en ces éléments contribuent de manière significative à de nombreuses pathologies ; toutefois, si elles sont présentes à des niveaux plus élevés, elles peuvent avoir un effet négatif sur la santé humaine.

En Algérie, il n'existe pas de réglementation claire sur les concentrations maximales des éléments traces métalliques dans les produits alimentaires ; et à notre connaissance, aucune étude n'a été effectuée pour doser les ETMs dans les produits laitiers (yaourts, yaourts à boire, et laits aromatisés...).

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'exposition du consommateur algérien aux éléments traces métalliques (plomb, cadmium, cuivre et zinc) à travers les différents produits laitiers qui existe sur le marché. Les concentrations de Pb, Cd, Cu et Zn ainsi que les doses journalières estimées (DJE) et l'indice de risque (IR) dans différents produits laitiers sont évalués.

# **Chapitre I : partie bibliographique**

## Chapitre I : Partie bibliographique

### I.1. Les éléments traces métalliques (ETM)

Les métaux sont des éléments qui se trouvent naturellement dans notre environnement. Certains d'entre eux, oligo-éléments, sont essentiels pour le bon fonctionnement des cellules à des faibles concentrations (López-Alonso, 2012 ; Li *et al.*, 2017 ; Lin *et al.*, 2020). Parmi ces oligo-éléments, on peut citer le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), et le zinc (Zn) (Pourret et Bollinger, 2018; Wu *et al.*, 2018).

D'autres en revanche sont toxiques même à de très faibles concentrations et n'ont aucune fonction biologique essentielle, comme l'argent (Ag), l'aluminium (Al), le cadmium (Cd), l'or (Au), le plomb (Pb) et le mercure (Hg) (Bruins *et al.*, 2000 ; Antoniadis *et al.*, 2019).

Tous les métaux, essentiels ou non, sont toxiques pour les organismes au-dessus de certains seuils de concentration dans le milieu. Ainsi, le terme « éléments traces métalliques » est utilisé pour regrouper tous les métaux dont la concentration est inférieure à 1 g. k g<sup>-1</sup> de matière sèche dans la croute terrestre ou inférieure à 0.1 g. k g<sup>-1</sup> de matière sèche chez les organismes vivants. Les ETM les plus connus pour leur toxicité sont l'As, le Cd, le Cr, le Cu, le Hg, le Ni, le Pb et le Zn (Bolan *et al.*, 2014; Beckers et Rinklebe, 2017; Rinklebe *et al.*, 2019).

### I.2. Classification des éléments traces métalliques

#### I.2.1. Métaux essentiels

Ce sont des éléments essentiels, à l'état de trace, dans plusieurs processus cellulaires. Ils existent en faible proportion dans les tissu biologiques (Lin *et al.*, 2020). Certains peuvent devenir toxiques lorsque leur concentration dépasse un certain seuil : le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le fer (Fe) (Kabata-Pendias et Pendias, 2001) (tableau 1).

#### I.2.2. Métaux non-essentiels (métaux toxiques)

Ce sont des éléments très toxiques pour les organismes vivants même à de faibles concentrations, ils n'ont aucun effet bénéfique connu sur les cellules. Parmi ces métaux, on

a : le plomb (Pb), le mercure (Hg) et le cadmium (Cd) (**Behanzin *et al.*, 2014 ; Rinklebe *et al.*, 2019**).

**Tableau 1** : Principaux éléments métalliques essentiels et non-essentiels (**Hopkin, 1989**).

<b>Éléments essentiels majeurs</b>	<b>Oligo-éléments essentiels</b>	<b>Éléments "essentiels" en ultra trace</b>	<b>Éléments nonessentiels</b>
- Calcium	- Fer	-Lithium	-Plomb
- Phosphore	- Iode	- Fluor	- Cadmium
- Potassium	- Cuivre,	- Aluminium	- Mercure
- Soufre	- Manganèse	- Étain	
- Magnésium	- zinc		
- Chlore	- Cobalt		
- Sodium	- Molybdène		
	- Sélénium		
	- Chrome		
	- Nickel		
	- Vanadium		
	- Silicone		
	- Arsenic		

### **I.3. Sources des éléments traces métalliques**

Les métaux et les métaux lourds en particulier sont très utiles à l’homme. En effet, de par leurs propriétés, ils entrent dans la composition d’une grande variété de produits (métallurgie, chimie, pharmacie, énergie, etc.) (**tableau 2**).

**Tableau 2 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (Brignon, 2005).**

<b>Produits</b>	<b>Métaux</b>
<b>Batteries et autres appareils électriques</b>	Cd, Ni, Hg, Pb, Zn, Mn
<b>Pigments et peintures</b>	Ti, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cd, Cr, Al, As, Cu, Fe
<b>Alliages et soudures</b>	Cd, Pb, Zn, As, Mn, Sn, Ni, Cu
<b>Biocides (pesticides, herbicides)</b>	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
<b>Agents de catalyse</b>	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
<b>Verre</b>	As, Mn, Sn
<b>Engrais</b>	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
<b>Matières plastiques</b>	Cd, Sn, Pb
<b>Produits dentaires et cosmétiques</b>	Sn, Hg
<b>Textiles</b>	Cr, Fe, Al
<b>Raffineries</b>	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
<b>Carburants</b>	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

Les métaux lourds sont des constituants naturels de la croûte terrestre. Les principales sources naturelles des ETM sont l'exploitation minière (Pb, Zn, Ar), l'érosion des métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments, les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines (Antoniadis et al., 2019).

L'activité humaine représente le second moyen d'émission des métaux. Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation du flux de

métaux, sont les rejets urbains et industriels, la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle (**Beckers et Rinklebe, 2017; Rinklebe et al., 2019**).

#### **I.4. Pollution par les éléments traces métalliques**

Selon **Baize (1997)** la contamination d'un milieu par les métaux lourds désigne une augmentation des teneurs totales de ces éléments dans le milieu suite à des apports anthropiques importants. Selon **Akujobi (2012)**, les métaux lourds constituent de sérieux polluants environnementaux, en particulier dans les zones à haute pression anthropique ; leur présence dans l'atmosphère, le sol et l'eau, même sous forme de traces, peut causer de graves problèmes à tous les organismes.

##### **I.4.1. Contamination des sols**

Dans le sol, les éléments traces métalliques se trouvent naturellement dans le sol à de très faibles concentrations. On parle de pollution des sols par un élément trace lorsque l'élément trace est présent à une dose supérieure à la concentration habituelle et qui représente une menace pour l'activité biologique ou les fonctions du sol.

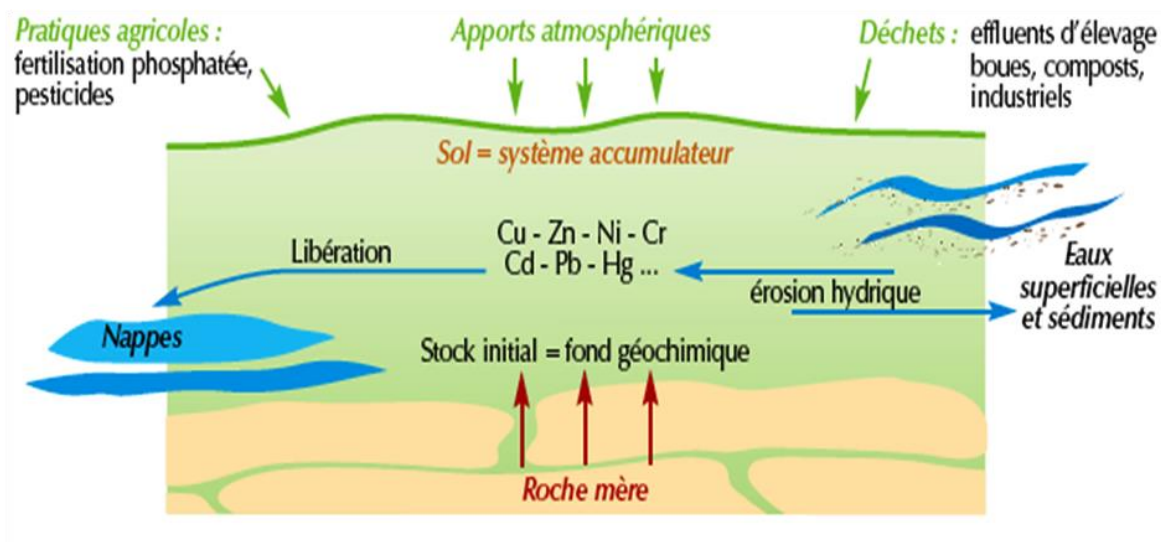
L'accumulation de métaux lourds dans les sols est une préoccupation en production agricole en raison de leurs effets néfastes sur la croissance des cultures, la qualité des produits alimentaires et la santé de l'environnement (**Augusto Costa, 2001 ; El Hachimi et al., 2014 ; Ariyae et al., 2015; Bazargani-Gilani et al., 2016; Hashemi, 2018**).

Selon **Lee et al. (2001)**, parmi les plus importantes sources de métaux lourds dans l'environnement sont : poussières et dépôts atmosphériques, fertilisants minéraux (cuivre contenu dans les phosphates), pesticides, lisiers et fumiers, boues de stations d'épuration, activités minières, déchets industriels (bâtiments) ou urbains, transports, etc.. (**figure 1**).

##### **I.4.2. Contamination de l'air**

Il existe plusieurs éléments dans l'air ambiant, comme le cadmium, le plomb, le zinc, le cuivre, etc..(**Veeresh, 2003 ; McBride et al., 2015**). Les éléments traces métalliques sont transportés à de longues distances par des particules atmosphériques contenant divers éléments

qui provient de fusions métallurgiques, de combustions à haute température, des incinérateurs municipaux, des véhicules, etc. (Di Benedetto, 1997 ; Jiao et al., 2015).



**Figure 1 :** Origine des éléments traces métalliques dans le sol (Académie des sciences, 1998).

#### I.4.3. Contamination de l'eau

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes : Les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, polluants atmosphériques, ainsi que les anciennes décharges (Gaujous, 1993 ; Ratul et al., 2016; Chabukdhara et al., 2016 ).

#### I.4.4. Transfert des éléments traces métalliques dans les plantes

Les végétaux sont exposés aux ETM Par voie aérienne en surface des feuilles et des tiges sous forme de particules qui pénètrent dans les stomates ou de composés gazeux (Se, As, Hg, Sn, etc.), ou bien des particules dissoutes dans les eaux de pluie ou d'irrigation. Les ETM qui se trouvent dans la solution du sol peuvent aussi être absorbés par les racines (Mench et Baize, 2004 ; Hashemi, 2018; Senou et al., 2019).

Les ETM comme le Ni, Cr et Pb sont transférés à la plante au niveau des racines, Zn et Mn au niveau des feuilles et des tiges, le Cd, Cu et Fe sont répartis de façon uniforme dans la plante (Mench *et al.*, 1992 ; Senou *et al.*, 2019).

#### I.4.5. Transfert des éléments traces métalliques aux animaux

Lors de la consommation d'eau, de productions végétales (fourrage, céréales), ou de terre contaminés, les éléments traces métalliques peuvent être transférés éventuellement aux animaux (Petit, 2007 ; Hashemi, 2020). La figure 2 explique le mode de transfert des éléments traces métalliques aux animaux.

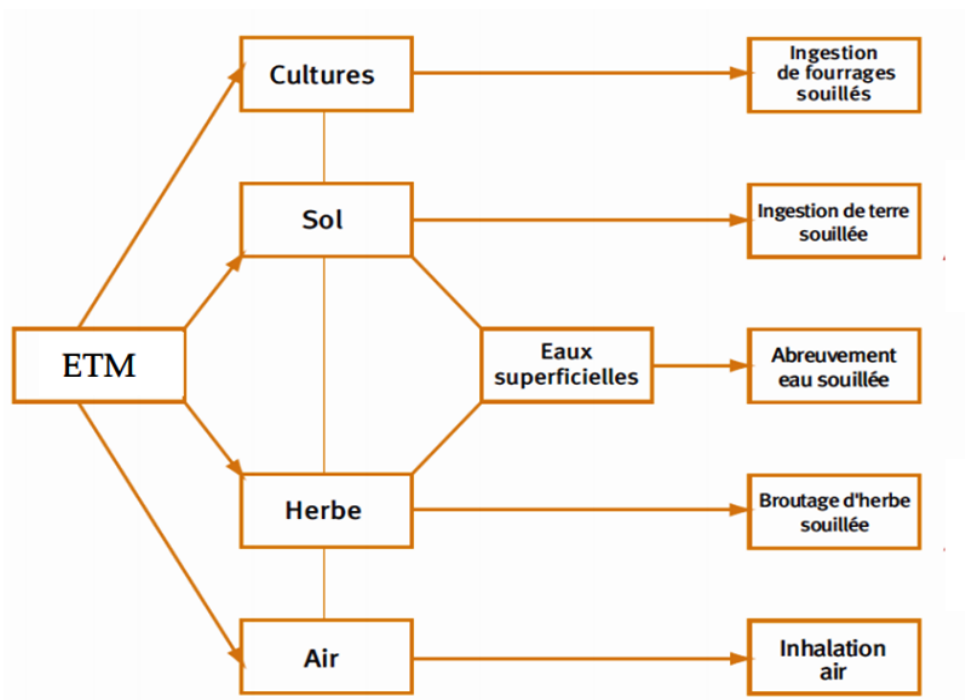
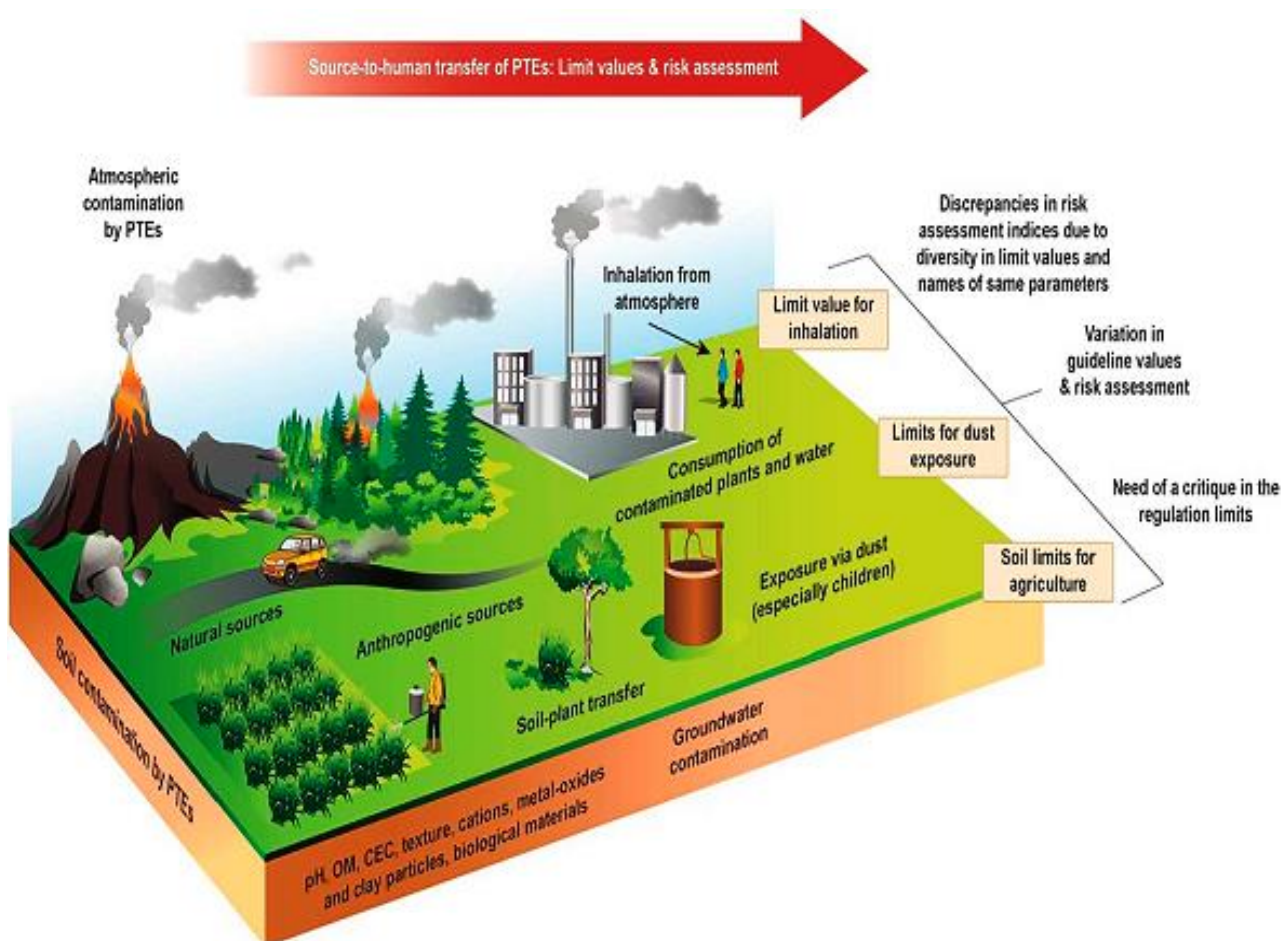


Figure 2 : Transfert des ETM vers les animaux d'après l'institut d'élevage 2010.

#### I.4.6. Exposition de l'homme aux éléments traces métalliques

L'homme absorbe les éléments traces métalliques réparties dans différents cycles de l'environnement par plusieurs voies et devenir lui-même réservoir de ces éléments traces avec des effets néfastes sur sa santé (Di Benedetto, 1997 ; Antoniadis *et al.*, 2019).

L'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés (fruits, céréales, lait et produits laitiers, viandes et abats d'animaux préalablement contaminés) est la cause principale de la contamination de l'homme (**figure 3**) (Petit, 2007 ; Antoniadis *et al.*, 2019 ; Hashemi, 2020).



**Figure 3:** Voies d'exposition de l'homme aux éléments traces métalliques (Antoniadis *et al.*, 2019).

Beaucoup de métaux lourds se trouvent dans l'air sous une forme inhalable par l'homme et peuvent être à l'origine d'une contamination par la voie respiratoire. Beaucoup plus que dans les sols, l'eau ou les aliments, cette présence des métaux lourds dans l'air est difficile à mettre en évidence et à éviter (Petit, 2007 ; Antoniadis *et al.*, 2019).

## **I.5. Eléments traces métalliques dans le lait et les produits laitiers**

Les produits laitiers et en particulier le lait contiennent des nutriments qui sont cruciaux pour maintenir le bon fonctionnement physiologique de chaque individu. Ils représentent une bonne source de lipides, de protéines, de glucides, de minéraux, d'acides organiques, d'enzymes et de vitamines (**Dobrzanski et al., 2005 ; Khan et al., 2014 ; Astolfi et al., 2020**). Leur consommation régulière est donc largement recommandée.

Les produits laitiers sont les aliments naturels les plus diversifiés. Ils contiennent plus de 20 éléments mineurs et oligo-éléments différents. La plupart d'entre eux, comme le cuivre, le zinc, le manganèse et le chrome, sont essentiels et très importants pour assurer un bon métabolisme, et une croissance normale (**Stawarz et al., 2007 ; WHO, 2006 ; Khan et al., 2014 ; Astolfi et al., 2020**).

Cependant, le lait et les autres produits laitiers peuvent contenir des quantités variables de différents contaminants toxiques qui sont nocifs pour la santé lorsqu'ils dépassent les seuils autorisés (**Arianejad et al., 2015**). Ces produits sont souvent contaminés par les métaux lourds soit par des pratiques d'élevage, soit par des procédés de fabrication et d'emballage (**Ayar et al., 2009**).

L'exposition de la vache à un environnement contaminés ou la consommation de l'eau et des plantes contenant des niveaux élevés de métaux lourds peuvent conduire par la suite à la contamination du lait (**Hashemi, 2020**). Au cours des processus industriels (production et emballage), la teneur en éléments traces peut considérablement augmenter (**Lahiji et al., 2016**).

## **I.6. Effet toxique des éléments traces métalliques**

La contamination des aliments par les ETM a une série d'effets néfastes sur la santé humaine. Les métaux non-essentiels peuvent échapper aux mécanismes de contrôle et par la suite peuvent entraîner : la liaison avec des constituants cellulaires spécifiques, la compartimentation, l'homéostasie, le dysfonctionnement des processus cellulaires, la détérioration oxydative. Ces métaux ont donc des effets très toxiques et mortels.

Les symptômes les plus importants de la toxicité des ETM chez l'homme sont : la déficience intellectuelle chez les enfants, les troubles du système nerveux central, la dépression chez les adultes, l'insomnie, les pathologies des reins et du foie, l'instabilité émotionnelle et les troubles de la vision (**Flora et al., 2008 ; Jan et al., 2011 ; Gupta al., 2019**).

La toxicité des métaux chez l'homme dépend principalement de la génération d'un stress oxydatif, qui se caractérise par : a) une production accrue de ROS , b) une diminution/dégradation des antioxydants intracellulaires et des piègeurs de radicaux libres et, c) une inhibition/réduction du métabolisme et des enzymes liées à la détoxification (**Gupta al., 2019**).

Bien que la toxicité résultant d'une exposition soudaine ou professionnelle à des quantités importantes de métaux affecte généralement les systèmes organiques, la gravité de la toxicité dépend du type et de la forme des ETM, de la voie et de la durée d'exposition, ainsi que de la sensibilité de l'individu (**Duruibe et al., 2007 ; Jan et al., 2011 ; Gupta al., 2019**).

**Chapitre II :**  
**Matériels et Méthodes**

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

### II.1. Échantillonnage

Un total de 10 échantillons de produits laitiers appartenant à deux entreprises agro-alimentaires connues a été obtenu d'un supermarché au niveau de la wilaya de Mostaganem pendant le mois de Mai 2020. Parmi ces produits laitiers, cinq yaourts (aromatisés et aux fruits), deux laits aromatisés, et trois yaourts à boire (**tableau 3**).

**Tableau 3 :** Echantillons utilisés dans cette étude.

Échantillons	Code	Type	Marque
Yaourts	Y1	Aromatisé	A
	Y2	Aux fruits	A
	Y3	Aux fruits	B
	Y4	Aux fruits	B
	Y5	Aromatisé	B
Yaourts à boire	YB1	Aromatisé	B
	YB2	Aromatisé	B
	YB3	Aromatisé	A
Laits aromatisés	LA1	Chocolat	B
	LA2	Chocolat	A

### II.2. Préparation de la verrerie

Afin d'éliminer tout risque de contamination des échantillons par les métaux lourds, tous les tubes et verreries utilisés sont lavés, rincés avec de l'eau de robinet, puis immergés dans l'eau distillée contenant l'acide nitrique à 10% pendant 24h. La verrerie et les tubes sont ensuite rincés pour une deuxième fois avec l'eau distillée, et séchés à l'aide d'une étuve avant leur utilisation (ISO, 1994).

### **II.3. Digestion acide par voie humide des échantillons**

La minéralisation des échantillons est essentielle surtout pour des échantillons solides. Elle permet de limiter ou de faire disparaître les interférences liées aux matières organiques et de réaliser en outre une concentration qui améliore la sensibilité des mesures. La minéralisation par voie humide est le processus le plus utilisé actuellement.

Dans un bécher de 50 ml, 5g de chaque échantillon est mélangé avec 5 ml d'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  (65%) et 2 ml de peroxyde d'hydrogène  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%). Les béchers sont posés sur une plaque chauffante à 90 °C, ensuite la température est progressivement augmentée à 120 °C. Une fumée brune va apparaître indiquant l'oxydation de la matière organique. Après l'évaporation totale de la solution et le refroidissement des béchers, les échantillons sont complétés à 50 ml avec de l'eau distillée et filtrés par la suite (**Peters, 2003**).

### **II.4. Dosage des ETMs par spectrophotométrie d'absorption atomique**

#### **II.4.1. Appareillage**

La spectroscopie d'absorption atomique est une technique qui permet la détection ainsi que la concentration d'un élément dans une solution basée sur le principe de l'absorption de lumière. Chaque élément trace possède un processus d'absorption propre à lui. La longueur d'onde du faisceau lumineux absorbé nous indique la présence de l'élément tandis que son intensité détermine la concentration.

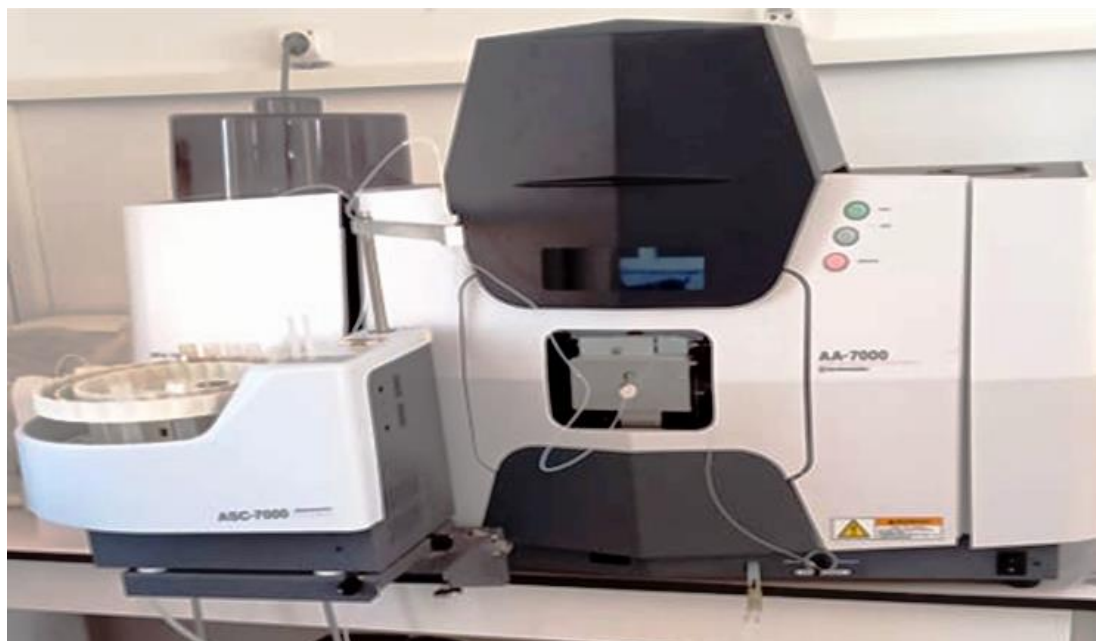
L'analyse est réalisée sur un spectromètre d'absorption atomique à flamme Shimadzu AA-7000 (**figure 4**). Cet appareil comprend les analyses en mode flamme pour les solutions les plus concentrées, ainsi que l'atomisation en mode four graphite pour les concentrations à l'état de traces.

#### **II.4.2. Courbes d'étalonnage**

Pour chaque élément étudié, une courbe d'étalonnage a été réalisée en mesurant l'absorbance des standards (0,1-2 ppm) à des longueurs d'onde de l'ordre de 217, 228.8, 213.86, et 324.75 nm respectivement pour le plomb, cadmium, zinc et cuivre.

### II.4.3. Analyse des échantillons

Afin de déterminer les concentrations en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn et Cu) dans les échantillons étudiés, l'absorbance des solutions préalablement préparés par la digestion humide a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique. Pour chaque élément, une lampe spécifique a été utilisée.



**Figure4:** Spectrophotomètre à absorption atomique (Shimadzu, AA-7000)

## II.5. Évaluation des risques de toxicité des ETMs

### II.5.1. Dose journalière estimée

L'évaluation des risques liés aux ETMs pouvant se trouver dans les aliments, prend en compte les résultats d'études toxicologiques réalisées chez l'animal afin d'établir une dose journalière ou hebdomadaire tolérable pour l'homme.

La dose journalière estimée (DJE) des éléments traces métalliques dépend à la fois de la concentration en ETMs dans les aliments, et de la consommation alimentaire quotidienne. De plus, le poids corporel peut influencer la tolérance aux contaminants. La DJE des éléments traces métalliques a été déterminé par l'équation suivante :

$$\text{DJE} = \frac{\text{C métal} \times \text{Q aliment}}{\text{P}} (\text{mg/ kg de poids corporel / jour}).$$

**C métal** : Concentration des ETMs dans les produits étudiés (mg/kg).

**Q aliment** : Quantité de produit laitier ingérée par jour (kg/j).

**P** : Poids corporel (kg).

La consommation journalière moyenne (100g par personne par jour), et le poids corporel moyen (20 kg pour les enfants, 75 kg pour les hommes et 65kg pour les femmes). (Miclean *et al.*, 2019).

### II.5.2. Caractérisation du risque

La caractérisation du risque pour les effets à seuil est exprimée par l'indice de risque IR (ou le quotient de danger). Il est calculé pour la voie d'exposition orale de la manière suivante :

$$\text{IR} = \text{DJE/DJA}$$

**DJE** : Dose journalière estimée (mg/kg/j).

**DJA** : Dose journalière admise (mg/kg/j). DJA : Cd = 0.01 mg/kg ; Pb=0.035 mg/kg ; Cu = 0.4 mg/kg ; le Zn = 0.33mg/kg.

Si : **IR**<1, la survenue d'un effet toxique est très probable,

Si **IR**> 1, l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclue (Miclean *et al.*, 2019).

### II.6. Analyses statistiques

Chaque expérience a été indépendamment répétée deux fois. Pour le traitement des données, l'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Statbox version 6.4 (1999).

## **Chapitre III :**

# **Résultats et discussion**

## Chapitre III : Résultats et discussion

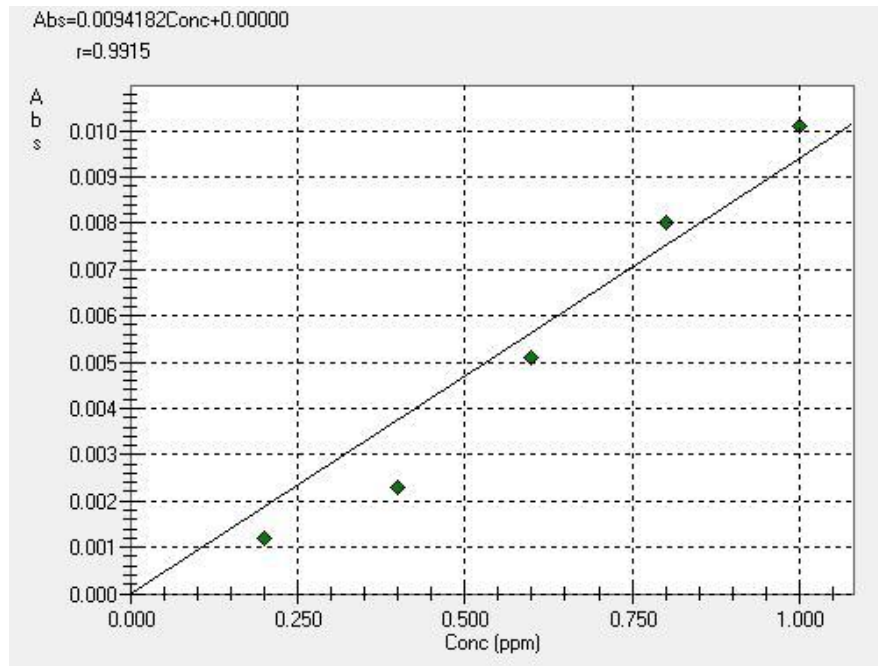
Le lait est considéré comme un aliment complet vu qu'il contient de nombreux nutriments dont certains sont essentiels (eau, glucides, protéines, lipides, minéraux et vitamines), il occupe une place prépondérante dans l'alimentation humaine. Mais ce produit est souvent contaminé par certains polluants tels que : les mycotoxines, les éléments traces métalliques, ou les pesticides. Cette contamination peut avoir lieu au cours de l'élevage, durant les procédés de fabrication et d'emballage (**Hashemi, 2020**).

Le contrôle des éléments traces dans le lait et les produits laitiers, qui sont largement consommés par l'homme, y compris les enfants, est nécessaire (**Guler, 2007**). Pour certains éléments, leurs effets sont cumulatifs et le contrôle de leurs niveaux dans les aliments est très important (**Zhuang et al., 2009**). Les enfants sont les plus touchés par la toxicité du Pb ou du Cd car leurs système immunitaires n'est pas complètement développés (**FAO, 2009**). Par conséquent, la surveillance du lait et des produits laitiers doit être strictement contrôlée (**Sieber et al., 2006**).

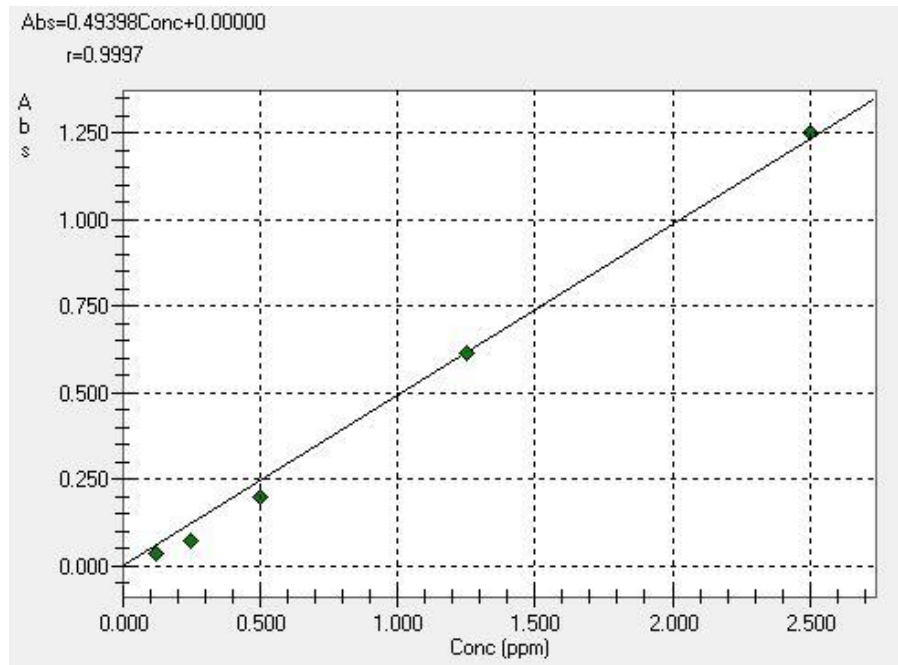
Il existe plusieurs méthodes permettant de mesurer la teneur en métaux lourds dans différents échantillons (sols, eau, aliments...). Certaines méthodes mesurent cette concentration directement sur l'échantillon solide par fluorescence X. Néanmoins, il est plus précis en chimie analytique d'effectuer des mesures sur une solution par spectroscopie atomique. C'est une technique capable de doser un grand nombre d'éléments traces métalliques dans une solution. Elle permet le dosage de très faibles concentrations d'ETMs. C'est une technique appropriée car rapide, simple et sensible.

### III.1. Courbes d'étalonnage

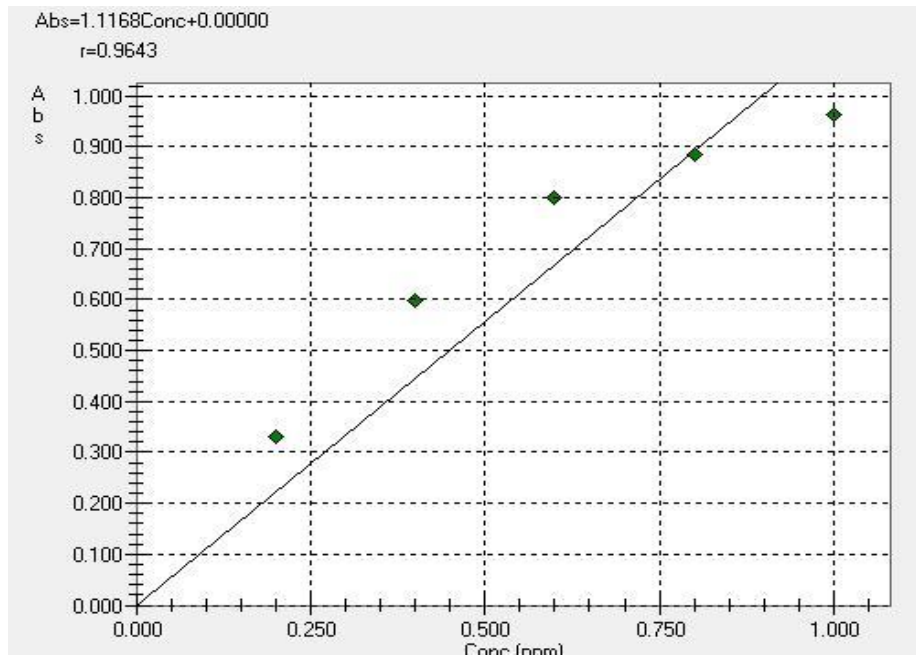
Afin de quantifier les ETMs dans les produits laitiers sélectionnés, des courbes d'étalonnage ont été effectuées en utilisant un spectrophotomètre à absorption atomique en lisant l'absorbance des différentes concentrations des standards (0,1-2 ppm). Les courbes d'étalonnage pour le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) sont représentées respectivement sur les **figures 5, 6, 7 et 8**.



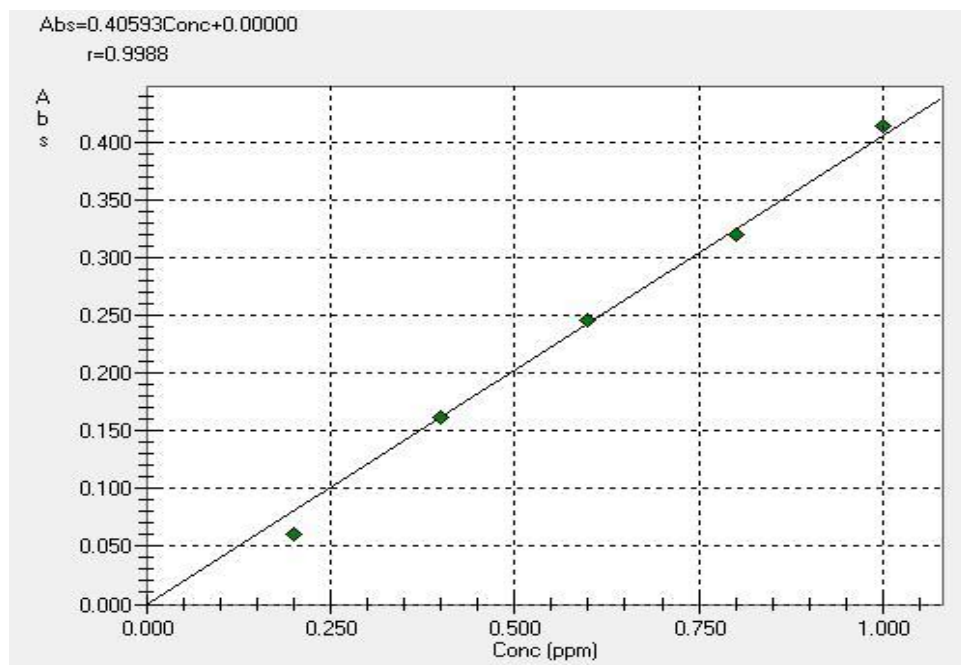
**Figure 5 :** Courbe d'étalonnage du plomb.



**Figure 6 :** Courbe d'étalonnage du cadmium.



**Figure 7 :** Courbe d'étalonnage du zinc.



**Figure 8 :** Courbe d'étalonnage du cuivre.

## III.2. Détermination de la concentration des ETMs

### III.2.1. Métaux toxiques

Les teneurs en plomb, cadmium, zinc et cuivre ont été déterminées dans 10 échantillons de produits laitiers. En ce qui concerne les métaux toxiques, plomb et cadmium, aucune trace de ces deux éléments n'a été détectée. Il se peut que les taux de ces deux éléments soient inférieurs à la limite de détection comme l'analyse a été effectuée avec la flamme ce qui donne des résultats en ppm (mg/kg) alors que le four de graphite nous permet d'avoir des résultats de l'ordre de ppb ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).

**Khan et al. (2014)** ont dosé différents éléments traces métalliques dans le lait et le yaourt y compris le plomb et le cadmium. Selon leurs résultats, le lait contenait plus de cadmium que le yaourt aromatisé (à boire et en pot) et le yaourt aux fruits (à boire et en pot) avec des valeurs de l'ordre de 0.0023, 0.0017, 0.0013, 0.0016 et 0.0017 mg/kg respectivement. En ce qui concerne le plomb, les valeurs étaient plus importantes dans le yaourt aux fruits en pot, suivi du yaourt aux fruits à boire, aromatisé en pot, aromatisé à boire, et à la fin le lait ( $0.024 > 0.0134 > 0.0124 > 0.0042 > 0.0033$  mg/kg).

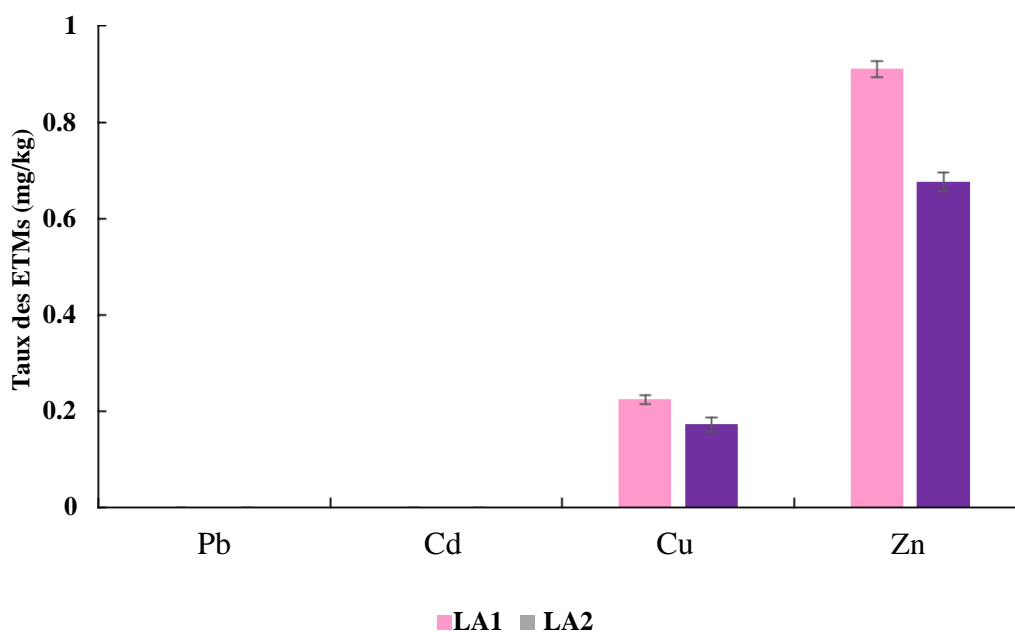
Le cadmium est un élément très toxique qui n'a aucune fonction connue dans le corps. Lorsqu'il pénètre dans l'organisme, par ingestion ou inhalation, il passe dans le sang et s'accumule dans le foie, et provoque également des troubles rénaux (**Rana et al., 2018**). Il est également très proche du calcium, et à ce titre est capable d'interagir avec le calcium contenu dans les os. Il peut ainsi se substituer au calcium osseux et modifier les propriétés mécaniques du squelette en créant une porosité osseuse, une déformation des os, des fractures et un ratatinement progressif du corps (**Wu et al., 2020**).

Il existe deux principales voies d'absorption du plomb, respiratoire et l'ingestion. Une fois absorbé, le plomb est distribué, à partir des poumons ou du tractus digestif, dans l'organisme par le sang où il se lie à l'hémoglobine. Le plomb s'accumule dans le système nerveux, le foie, les reins, les muscles et dans la trame osseuse. Plusieurs organes sont susceptibles d'être affectés à la suite d'une exposition prolongée au plomb : le système nerveux, les reins et les systèmes gastro-intestinal et reproducteur (**Rana et al., 2018**).

### III.2.2. Eléments essentiels

Les résultats obtenus pour les deux éléments essentiels (le cuivre et le zinc) dans les laits aromatisés, yaourts, et yaourts à boire sont indiqués respectivement dans les **figures 9, 10 et 11**. D'une façon générale, les valeurs du zinc dans les produits laitiers étaient plus importantes que le cuivre à l'exception du yaourt Y2. Les concentrations du zinc varient de 0.133 à 0.910 mg/kg, alors que celui du cuivre est de 0.005 à 1.490 mg/kg.

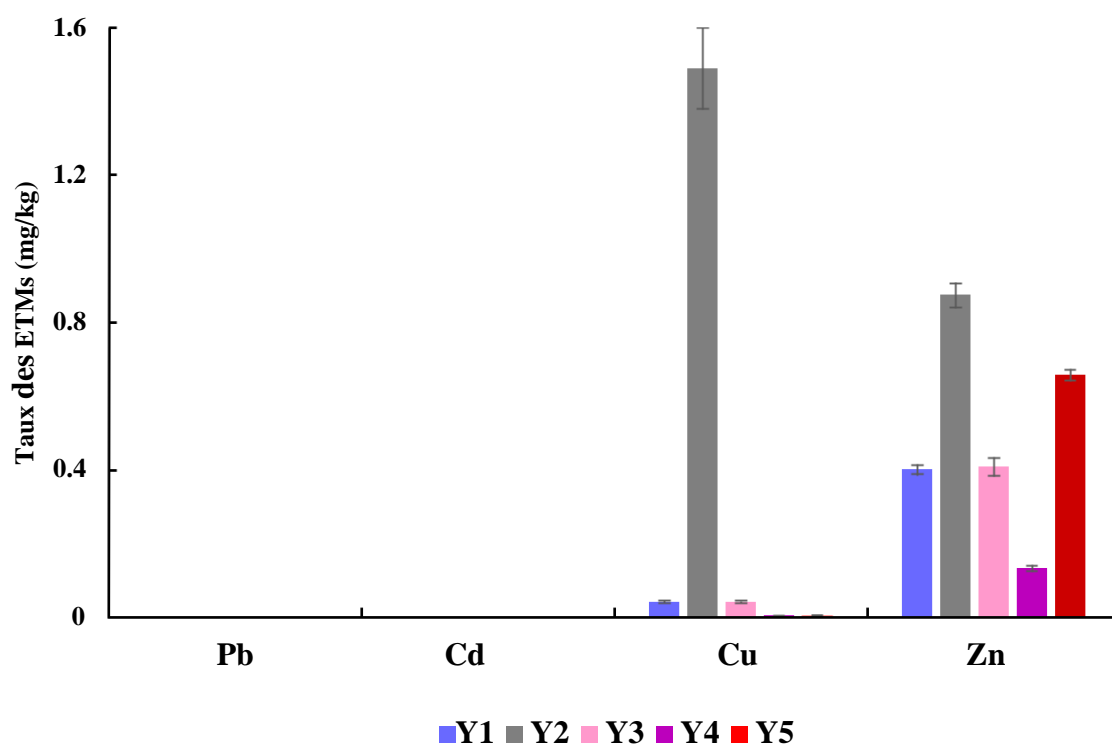
Les laits aromatisés étudiés contiennent des valeurs très importantes de zinc et de cuivre par rapport aux autres produits laitiers, cela peut être attribué à la présence du chocolat (lait au chocolat). Le cacao est un aliment d'origine végétale à haute valeur nutritionnelle. Outre l'apport important de glucides, notamment sous forme de fibres solubles et insolubles, il est riche en polyphénols et en vitamines. De même, c'est une source importante de minéraux, notamment de magnésium, de calcium, de fer, de zinc, de cuivre, de potassium et de manganèse (**Peixoto et al., 2016**).



**Figure 9** : Concentrations des ETMs dans les laits aromatisés.

Les deux laits aromatisés appartiennent à deux marques différentes, la valeur nutritionnelle de LA1 en minéraux (Zn, Cu) est plus importante que LA2 ( $p < 0.5$ ) avec des valeurs de l'ordre de 0.224, 0.172 mg/kg pour le cuivre et 0.91, 0.676 mg/kg pour le zinc.

Ces chiffres restent faibles par rapport au contenu en cuivre et zinc retrouvé dans le lait au chocolat en Brésil. Dans un travail réalisé par **Pédro et al. (2006)**, le contenu minéral de plusieurs marques de lait au chocolat y compris le cuivre et le zinc a été étudié. Ils ont trouvé que leurs produits renferment une valeur en cuivre de 2.6 à 6 mg/kg et de 3.9 à 16.7 mg/kg de zinc.



**Figure 10 :** Concentrations des ETMs dans les yaourts.

En ce qui concerne les yaourts, on remarque que la concentration en cuivre de l'Y2 (1.49 mg/kg) est très élevée par rapport aux autres yaourts. Sachant que c'est un yaourt aux fruits, et si on le compare à Y1 (0.042 mg/kg) qui est de la même marque mais aromatisé, on peut déduire que les fruits utilisés (mangue) peuvent être contaminés. Il a été démontré que les yaourts aux fruits peuvent causer un empoisonnement au cuivre (Cu) en raison de la teneur élevée en Cu dans la partie fruitée (**Bremner, 1998 ; Capcarova et al., 2017**). Le Cu

peut inhiber la microflore, oxyder les lipides et présenter une toxicité pour les organismes vivants à des concentrations élevées (**Li et al., 2005; Capcarova et al., 2017**).

Lorsque **Capcarova et al. (2017)** ont dosé le cuivre dans la partie blanche du yaourt et dans le fruit, ils ont trouvé que le yaourt lui-même (sans fruits) contenait 0.01 mg/kg, alors que les fruits contenaient 0.21, 0.32 et 0.50 mg/kg de cuivre pour les fraises, les myrtilles et les cerises respectivement.

Concernant l'autre marque, Y3 (yaourt aux fruits) contient une valeur moyenne en cuivre (0.042 mg/kg) par rapport à Y4 (aux fruits) et Y5 (aromatisé) qui ont des concentrations très faible (0.0005 mg/kg chacun). Donc la valeur nutritionnelle en cet élément est très faible pour ces deux yaourts si on les compare aux teneurs retrouvés dans la littérature bien qu'Y5 soit destinée pour les enfants.

**Khan et al. (2014)** ont évalué les concentrations du cuivre dans du yaourt aromatisé et aux fruits, les valeurs étaient de l'ordre de 0.157 et 0.228 mg/kg respectivement. Dans un autre travail réalisé par **Prioteasa et Prodana (2014)**, les valeurs du cuivre variaient de 0.091 à 0.226 mg/kg pour les yaourts aromatisés et 0.096 à 0.163 mg/kg pour les yaourts aux fruits.

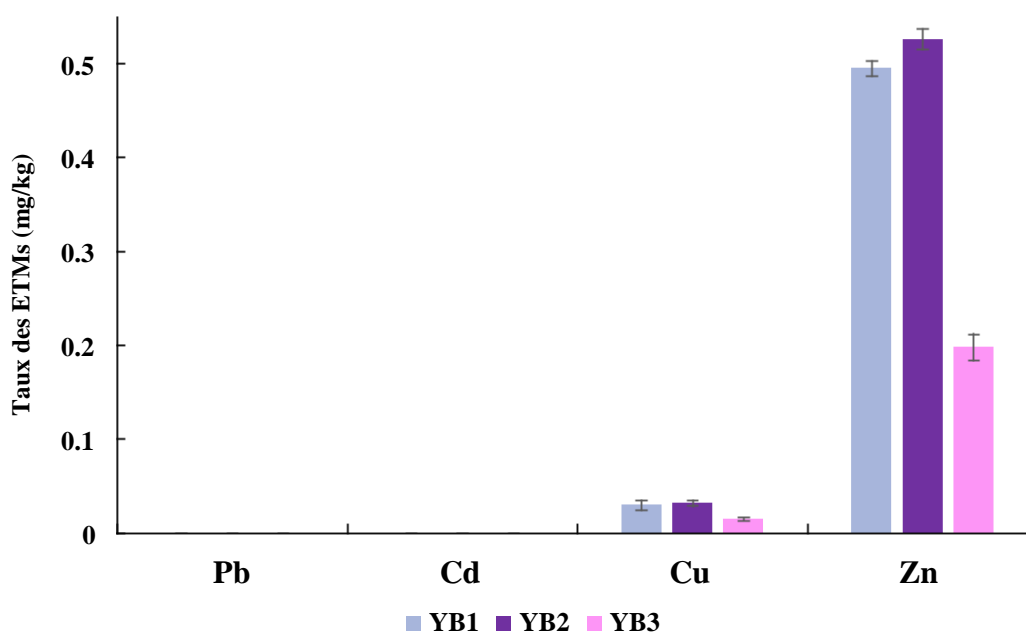
En ce qui concerne le zinc, Y2 est toujours le yaourt qui contient plus d'éléments (0.874 mg/kg), suivi de Y5 (0.657 mg/kg), Y3 (0.409 mg/kg), Y1 (0.401 mg/kg), et enfin Y4 (0.133 mg/kg). **Capcarova et al. (2017)** ont trouvé une valeur proche de celle d'Y2 dans un yaourt aux fruits (0.91 mg/kg).

Dans un travail mené par **Prioteasa et Prodana (2014)**, les valeurs du zinc ont été évaluées dans plusieurs yaourts aromatisés et aux fruits, ils ont trouvé des taux de 0.862 à 2.016 mg/kg et de 0.591 à 1.95 mg/kg respectivement. Par contre d'autres auteurs, **Llorent-martinez et al. (2012)** et **Khan et al. (2014)**, ont trouvé des concentrations beaucoup plus élevées (>2 mg/kg).

Pour le dosage des éléments traces métalliques dans les yaourts à boire, les teneurs du zinc étaient beaucoup plus importantes que celles du cuivre. Le yaourt à boire YB2 était le plus riche en éléments (0.032 et 0.526 mg/kg), suivi d'YB1 (0.031 et 0.495 mg/kg) pour

le cuivre et le zinc respectivement. La différence entre ces deux produits n'est pas significative ( $p > 0.05$ ). Ce rapprochement du résultat est due au fait que les yaourts à boire sont produits par la même marque. Le troisième produit est très pauvre en cuivre et en zinc (0.015 et 0.198 mg/kg).

**Khan et al. (2014)** a dosé le cuivre et le zinc dans deux yaourts à boire dont un et aromatisé et le deuxième aux fruits, ils ont trouvé des valeurs supérieures aux nôtres ((0.137 et 0.719 mg/kg) pour le cuivre et (3.535 et 3.667 mg/kg) pour le zinc, respectivement).



**Figure 11** : Concentrations des ETMs dans les yaourts à boire.

Le cuivre et le zinc sont des oligo-éléments qui jouent un rôle vital dans la physiologie animale. Le cuivre intervient dans de nombreuses fonctions physiologiques : croissance, synthèse de l'hémoglobine, développement des tissus de connexion en particulier dans le système cardiovasculaire et dans les os, ainsi que dans les processus inflammatoires. Le maintien des fonctions immunitaires et l'implication dans la chaîne respiratoire cellulaire sont également des fonctions physiologiques primordiales du cuivre (**Wu et al., 2020**).

Comme le cuivre, le zinc est essentiel à de nombreuses fonctions physiologiques. Il est impliqué dans le fonctionnement de plus de 300 enzymes intervenant dans les

métabolismes fondamentaux tels que la synthèse et la dégradation de glucides, lipides, protéines et acides nucléiques (Wu et al., 2020).

### III.3. Évaluation des risques de toxicité des ETMs

La dose journalière estimée DJE d'un ETM exprimée en mg par unité de masse corporelle standardisé (par exemple 60 kg) est l'estimation de la dose présente dans les aliments exprimée en fonction de la masse corporelle, qui peut être quotidiennement ingérée pendant toute la vie, sans risque appréciable pour la santé du consommateur (Assad, 2017).

Les valeurs des doses journalières estimées (DJE) pour le cuivre et le zinc sont présentées dans les **tableaux 4** et **5** respectivement. Selon les résultats, on remarque qu'il existe une grande différence entre les doses journalières des différents produits laitiers ( $p < 0.05$ ). Ces valeurs varient aussi entre les hommes, les femmes et les enfants car elles dépendent du poids corporel. Les enfants ayant le poids corporel le plus faible ont une DJE plus importante, suivie des femmes, et en derniers lieu les hommes.

Les laits aromatisés offrent un bon rapport en zinc et en cuivre par rapport aux autres produits laitiers. Les yaourts Y4 et Y5 ont les doses journalières les plus faibles en cuivre (homme :  $0.06 \times 10^{-4}$ , femme :  $0.07 \times 10^{-4}$ , enfant :  $0.25 \times 10^{-4}$  mg/kg/jour). En ce qui concerne le yaourt Y2, et comme les concentrations en cuivre étaient très élevées probablement due à des fruits contaminés, les doses journalières enregistrées étaient très élevées surtout pour les enfants ( $74.55 \times 10^{-4}$  mg/kg/jour).

Dans une étude réalisée par Hashemi et al., (2017), les doses journalières enregistrées dans le yaourt était équivalent à  $2.6 \times 10^{-4}$  ce qui est proche aux valeurs enregistrées avec nos laits aromatisés.

En ce qui concerne le zinc, la meilleure dose journalière a été trouvé dans le lait aromatisé YL1 (homme :  $1.21 \times 10^{-3}$ , femme :  $1.40 \times 10^{-3}$ , enfant :  $4.55 \times 10^{-3}$  mg/kg/jour), suivie du Y2 (homme :  $1.16 \times 10^{-3}$ , femme :  $1.34 \times 10^{-3}$ , enfant :  $4.37 \times 10^{-3}$  mg/kg/jour). YL3 et Y4 offrent les doses journalières les plus faibles en zinc avec des valeurs de l'ordre de  $0.26$  à  $0.99 \times 10^{-3}$  et  $0.17$  à  $0.66 \times 10^{-3}$  mg/kg/jour. Ces valeurs restent très faibles par

rapport à la dose journalière estimée retrouvée par **Hashemi et al., (2017)** ( $6.8 \times 10^{-3}$  mg/kg/jour).

**Tableau 4 :** Dose journalière estimée et indice de risque pour le Cu.

Échantillons	DJE (mg/ kg / jour)			IR		
	Homme (75 kg)	Femme (65 kg)	Enfant (20 kg)	Homme (75 kg)	Femme (65 kg)	Enfant (20 kg)
<b>Y1</b>	$0.56 \times 10^{-4}$	$0.64 \times 10^{-4}$	$2.10 \times 10^{-4}$	0.0062	0.0016	0.0053
<b>Y2</b>	$19.86 \times 10^{-4}$	$22.92 \times 10^{-4}$	$74.55 \times 10^{-4}$	0.0497	0.0573	0.1863
<b>Y3</b>	$0.56 \times 10^{-4}$	$0.64 \times 10^{-4}$	$2.10 \times 10^{-4}$	0.0014	0.0016	0.0053
<b>Y4</b>	$0.06 \times 10^{-4}$	$0.07 \times 10^{-4}$	$0.25 \times 10^{-4}$	0.0002	0.0002	0.0006
<b>Y5</b>	$0.06 \times 10^{-4}$	$0.07 \times 10^{-4}$	$0.25 \times 10^{-4}$	0.0002	0.0002	0.0006
<b>LA1</b>	$2.98 \times 10^{-4}$	$3.44 \times 10^{-4}$	$11.20 \times 10^{-4}$	0.0075	0.0086	0.0280
<b>LA2</b>	$2.29 \times 10^{-4}$	$2.64 \times 10^{-4}$	$8.60 \times 10^{-4}$	0.0057	0.0066	0.0215
<b>YB1</b>	$0.40 \times 10^{-4}$	$0.46 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	0.0010	0.0012	0.0038
<b>YB2</b>	$0.42 \times 10^{-4}$	$0.49 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-4}$	0.0011	0.0012	0.0040
<b>YB3</b>	$0.22 \times 10^{-4}$	$0.23 \times 10^{-4}$	$0.75 \times 10^{-4}$	0.0005	0.0006	0.0019

Pour l'indice de risque calculé des deux éléments traces, aucun produit ne constitue un danger pour le consommateur, vu que tous les indices de risque calculés sont inférieurs à 1. Bien que le yaourt Y2 contienne une valeur élevée de cuivre (ce qui a donné un indice de risque de l'ordre de 0.18 pour un enfant de 20 kg), cela est capable de poser un problème si ce yaourt est consommé plusieurs fois par jour ou par un enfant d'une plus faible taille.

Il faut mentionner que dans ce travail, l'indice de risque est calculé seulement en tenant compte de la consommation de ces produits laitiers ; et qu'il existe d'autres aliments consommés durant la journée contenant aussi le cuivre et le zinc. Il existe aussi un autre rapport d'éléments traces métalliques qui provient de d'autre modes de contamination tels que l'inhalation et le contact cutané.

**Tableau 5 :** Dose journalière estimée et indice de risque pour le Zn.

Échantillons	DJE (mg/ kg / jour)			IR		
	Homme (75 kg)	Femme (65 kg)	Enfant (20 kg)	Homme (75 kg)	Femme (65 kg)	Enfant (20 kg)
<b>Y1</b>	$0.53 \times 10^{-3}$	$0.61 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	0.0016	0.0018	0.0060
<b>Y2</b>	$1.16 \times 10^{-3}$	$1.34 \times 10^{-3}$	$4.37 \times 10^{-3}$	0.0035	0.0040	0.0132
<b>Y3</b>	$0.54 \times 10^{-3}$	$0.62 \times 10^{-3}$	$2.04 \times 10^{-3}$	0.0016	0.0019	0.0061
<b>Y4</b>	$0.17 \times 10^{-3}$	$0.20 \times 10^{-3}$	$0.66 \times 10^{-3}$	0.0005	0.0006	0.0020
<b>Y5</b>	$0.87 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-3}$	$3.28 \times 10^{-3}$	0.0026	0.0030	0.0099
<b>LA1</b>	$1.21 \times 10^{-3}$	$1.40 \times 10^{-3}$	$4.55 \times 10^{-3}$	0.0036	0.0042	0.0137
<b>LA2</b>	$0.90 \times 10^{-3}$	$1.04 \times 10^{-3}$	$3.38 \times 10^{-3}$	0.0027	0.0031	0.0102
<b>YB1</b>	$0.66 \times 10^{-3}$	$0.76 \times 10^{-3}$	$2.47 \times 10^{-3}$	0.0020	0.0023	0.0075
<b>YB2</b>	$0.70 \times 10^{-3}$	$0.81 \times 10^{-3}$	$2.63 \times 10^{-3}$	0.0021	0.0024	0.0079
<b>YB3</b>	$0.26 \times 10^{-3}$	$0.30 \times 10^{-3}$	$0.99 \times 10^{-3}$	0.0008	0.0009	0.0030

# **Conclusion**

## Conclusion

Les éléments traces métalliques comme le zinc et le cuivre sont indispensables à la croissance et au bien-être des organismes vivants, y compris de l'homme. On peut néanmoins s'attendre à ce qu'ils aient des effets toxiques quand les organismes sont exposés à des niveaux de concentration supérieurs à ceux qu'ils requièrent normalement. D'autres éléments, comme le plomb et le cadmium, ne sont pas indispensables aux activités métaboliques et manifestent des propriétés toxiques.

Ces éléments peuvent être présents dans de nombreux aliments y compris le lait et les produits laitiers. Des risques sanitaires significatifs ont été observés lorsque l'homme est exposé d'une manière importante et régulière aux éléments traces métalliques. La tendance de ces derniers à s'accumuler dans les tissus, leur persistance et le risque élevé pour la santé ont soulevé des inquiétudes quant à l'impact sur la santé humaine en raison de l'exposition alimentaire à des concentrations faibles mais chroniques.

Notre présente étude fournit des informations importantes sur la détermination des teneurs en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Cu et Zn) dans quelques produits laitiers algériens. L'évaluation des différentes concentrations de ces éléments a été réalisée en utilisant un spectrophotomètre à absorption atomique après une digestion acide par voie humide des échantillons. L'estimation des risques pour la santé des consommateurs était basée sur la dose journalière estimée et l'indice de risque ou le quotient de danger.

En ce qui concerne les métaux toxiques, plomb et cadmium, aucune trace de ces deux éléments n'a été détectée. Les laits aromatisés étudiés contiennent les meilleures valeurs en zinc et en cuivre par rapport aux autres produits laitiers. Mais si on compare les valeurs obtenues par rapport au marché international, nos produits renferment des valeurs très faibles en cuivre et en zinc.

Un des produits analysés (yaourt Y2) contenait des valeurs inquiétantes en cuivre, bien qu'il ait un indice de risque inférieur à 1, mais le cuivre à un caractère cumulatif dans les tissus et peut engendrer des problèmes à long terme.

Aucun produit ne constitue un danger pour le consommateur, vu que tous les indices de risque calculés sont inférieurs à 1. Cependant, le nombre de métaux lourds analysés et la taille de l'échantillon ont été limités dans notre étude et d'autres études semblent nécessaires afin de confirmer l'absence de risques toxicologiques possibles.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

**Académie des sciences.** 1998. Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leurs gestion ; Rapport n°42 Août.

**Antoniadis, V., Golia, E.E., Liu, Y., Wang, S., Shaheen, S.M., Rinklebe, J.,** 2019. Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece. *Environ. Int.* 124: 79–88.

**Akujobi CO, Odu NN, Okorundu SI,** 2012. Bioaccumulation of lead by *Bacillus* species isolated from pig waste. *Journal of Research in Biology.* 2: 83-9.

**Arianejad, M., Alizadeh, M., Bahrami, A., Arefhoseini, S. R.,** 2015. Levels of Some Heavy Metals in Raw Cow's Milk from Selected Milk Production Sites in Iran: Is There any Health Concern?. *Health promotion perspectives.* 5(3): 176.

**Ariyae, M., Mansouri, B., Rezaei, Z.,** 2015. Comparison of the metal concentrations in the muscles of slaughtered cows, calves, and sheep in Sanandaj city, Iran. *Iran J Toxicol.* 28 (9):1235–1238.

**Astolfi, M. L., Marconi, E., Protano, C., Canepari, S.,** 2020. Comparative elemental analysis of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Food Control.*

**Augusto Costa, AC., Pereira Duta F.,** 2001. Bioaccumulation of copper, zinc, cadmium and lead by *Bacillus* SP., *Bacillus cereus*, *Bacillus speareucus* and *Bacillus subtilus*. *Brazilian Journal of Microbiology.* 32: 32-50.

**Ayar, A., Sert, D., Akin, N.,** 2009. The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia Turkey, *Environmental Monitoring Assessment.* 152: 1-12.

**Baize, D.,** 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. Paris : Inra éditions.

**Bazargani-Gilani, B., Pajohi-Alamoti, M., Bahari, A., Sari, AA.,** 2016. Heavy metals and trace elements in the livers and kidneys of slaughtered cattle, sheep and goats. *Iran J Toxicol.* 10(6): 7–13.

- Beckers, F., Rinklebe, J.,** 2017. Cycling of mercury in the environment: sources, fate, and human health implications: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 47: 693–794.
- Behanzin, G. J., Adjou, E.S., Yessoufou, A.G., Dahouenon, A.E., Sezan, A.,** 2014. Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes, *Journal Applied Biosciences.* 83 : 7499-7505.
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., Kirkham, M.B., Scheckel, K.,** 2014. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils— to mobilize or not to mobilize? *J. Hazard. Mater.* 266: 141–166.
- Bremner, I.,** 1998. Manifestations of copper excess. *Am. J. Clin. Nutr.* 67(5): 1069–1073.
- Brignon, J. M., Malherbe, L.,** 2005. Cadmium et ses dérivés. INERIS, données technico-économiques sur les substances chimiques en France. 25p.
- Bruins, M.R., Kapil, S., Oehme, F.W.,** 2000. Microbial resistance to metals in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 45: 198-207.
- Capcarova.,** 2017. “Detection of selected trace elements in yogurt components”. *Journal of Environmental Science and Health Part B.* 52(12): 858-863.
- Chabukdhara, M., Munjal, A., Nema, A.K., Gupta, S.K., Kaushal, R.K.,** 2016. Heavy metal contamination in vegetables grown around peri-urban and urban-industrial clusters in Ghaziabad, India. *Hum. Ecol. Risk. Assess.* 22: 736–752.
- DI Benedetto, M.,** 1997. Dossier SAM sur Les métaux lourds. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 49p.
- Dobrzanski, Z., Kolacz, R., Górecka, H., Chojnacka, K., & Bartkowiak, A.,** 2005. The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the silesian region. *Polish Journal of Environmental Studies.* 14(5): 685–689.
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J.N.,** 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *Int. J. Phys. Sci.* 2: 112–118.
- El hachimi, ML., Fekhaoui, M., Abidi, AE., Rhoujatti, A.,** 2014. Contamination des sols par les métaux lourds à partir de mines abandonnées : le cas des mines Aouli-Mibladen-Zeïda au Maroc. *Cah Agric.* 23: 213-9.

- Food and Agriculture Organization**, 2009. Food balance sheet.
- Flora, S.J.S., Mittal, M., Mehta, A.**, 2008. Heavy metal induced oxidative stress and its reversal by chelation therapy. *Indian J. Med. Res.* 128: 501–523.
- Gaujous, D.**, 1993. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Technique et documentation, Edition Lavoisier, Paris.
- Guler, Z.**, 2007. Levels of 24 minerals in local goat milk, its strained yoghurt and salted yoghurt (Tuzlu yogurt). *Small Ruminant Res.* 71: 130–137.
- Gupta, N., Yadav, K.K., Kumar, V., Kumar, S., Chadd, R.P., Kumar, A.**, 2019. Trace elements in soil -vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration -A Journal Pre-proof Journal Pre-proof review. *Sci. Total Environ.* 651: 2927 - 2942.
- Hashemi, M.**, 2018. Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicol Environ Saf*, 154: 263–267.
- Hashemi, M.**, 2020. Heavy metals concentrations in dairy cow feedstuffs from the south of Iran, *Food Additives & Contaminants: Part B.* 13(1): 10-15.
- Hopkin, S.P.**, 1989. *Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates.* Elsevier, Applied science, NY, USA, 366p.
- INSTITUT DE L'ELEVAGE**, 2010. L'épandage des boues d'épuration sur prairies en élevage laitier guide pratique collection synthèse.
- ISO**, 1994. Qualité de l'eau : Dosage du cadmium par spectrométrie d'absorption atomique. Suisse : ISO 5961, 10p.
- Jan, A.T., Ali, A., Haq, Q.**, 2011. Glutathione as an antioxidant in inorganic mercury induced nephrotoxicity. *J. Postgrad. Med.* 57: 72–77.
- Jiao, X., Teng, Y., Zhan, Y., Wu, J., Lin, X.**, 2015. Soil heavy metal pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast China. *PLoS One.* 10: 1–9.
- ISO**, 1994. Qualité de l'eau : Dosage du cadmium par spectrométrie d'absorption atomique. Suisse : ISO 5961, 10p.
- Jan, A.T., Ali, A., Haq, Q.**, 2011. Glutathione as an antioxidant in inorganic mercury induced nephrotoxicity. *J. Postgrad. Med.* 57: 72–77.
- Jiao, X., Teng, Y., Zhan, Y., Wu, J., Lin, X.**, 2015. Soil heavy metal pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast China. *PLoS One.* 10: 1–9.

- Jan, A.T., Ali, A., Haq, Q.,** 2011. Glutathione as an antioxidant in inorganic mercury induced nephrotoxicity. *J. Postgrad. Med.* 57: 72–77.
- Jiao, X., Teng, Y., Zhan, Y., Wu, J., Lin, X.,** 2015. Soil heavy metal pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast China. *PLoS One.* 10: 1–9.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H.,** 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C.
- Khan, N., Jeong, I. S., Hwang, I. M., Kim, J. S., Choi, S. H., Nho, E. Y.,** 2014. Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry.* 147: 220–224.
- Lahiji FA.,** 2016. “Potential of Rice Husk Biosorption in Reduction of Heavy Metals from *Oryza sativa* Rice”. *Biosciences Biotechnology Research Asia.* 13(4): 2231-2237.
- Lee, CG., Chon, HT., Jung, MC.,** 2001. Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au–Ag–Pb–Zn mine in Korea. *Applied Geochemistry,* 16: 1377-86.
- Li, Y., Mccrory, D.F., Powell, J.M., Saam, H., Jackson-Smith, D.,** 2005. A survey of selected heavy metal concentrations in Wisconsin dairy feeds. *J. Dairy Sci,* 88: 2911–2922.
- Li, J., Xing, L., Zhang, R.,** 2017. Effects of se and cd co-treatment on the morphology, oxidative stress, and ion concentrations in the ovaries of laying hens. *Biol Trace Elem Res.* 183: 156–163.
- Lin, X., Yang, T., Li, H.** 2020. Interactions Between Different Selenium Compounds and Essential Trace Elements Involved in the Antioxidant System of Laying Hens. *Biol Trace ElemRes.* 193: 252–260.
- López-Alonso, M.,** 2012. Trace minerals and livestock: not too much not too little. *ISRN Vet Sci,* 1–18.
- McBride, M.B., Shayler, H.A., Russell-Anelli, J.M., Spliethoff, H.M., Marquez-Bravo, L.G.,** 2015. Arsenic and lead uptake by vegetable crops grown on an old Orchard site amended with compost. *Water Air Soil Pollut :* 226-265.
- Mench, M., Juste, C., Solda, P.,** 1992. Effets de l'utilisation de boues urbaines en essais de longue durée: accumulation des métaux par les végétaux supérieurs. *Actual. Bot.* 1: 141- 156.
- Mench, M., Baize, D.,** 2004. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces. *Courrier de l'environnement de l'INRA n°52.* (INRA Éditions, Paris).
- Miclean, M., Cadar, O., Levei, EA., Roman, R., Ozunu, A., Levei, L.,** 2019. Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) transfer along food chain and health risk assessment through raw milk consumption from free-range cows. *Int J Environ Res Public Health.* 16(21): 4064

- Mench, M., Baize, D.,** 2004. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces. Courrier de l'environnement de l'INRA n°52. (INRA Éditions, Paris).
- Miclean, M., Cadar, O., Levei, EA., Roman, R., Ozunu, A., Levei, L.,** 2019. Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) transfer along food chain and healthrisk assessment through raw milk consumption from free-range cows. *Int J Environ Res Public Health*. 16(21): 4064.
- Pedro, NAR., Oliveira, E., Cadore, S.,** 2006. Study of the mineral content of chocolate flavoured beverages. *Food Chem*. 95: 94–100.
- Peters, J. B.,** 2003. Recommended Methods of Manure Analysis, Cooperative Extension Pub.
- Petit, B. K. M.,** 2007. Actualisation des connaissances sur les éléments biologiques et minéraux persistants dans les boues des stations d'épuration. Impact sur la santé publique. Thèse de doctorat vétérinaire, E.N.V. d'Alfort Paris, 141p.
- Peixoto, R.R.A., Devesa, V., Vélez, D., Cervera, M.L., Cadore, S.,** 2016. Study of the factors influencing the bioaccessibility of 10 elements from chocolate drink powder. *J. Food Compos. Anal*. 48: 41–47.
- Pourret, O., Bollinger, J.-C.,** 2018. “Heavy metal”-What to do now: to use or not to use. *Sci. Total Environ* : 610-611, 419–420.
- Prioteasa, L., Prodana, M.,** 2014. “Evaluation of heavy metals and toxic elements content in time in bio and non-bio yogurts by icp-ms method”, *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, Vol.76, Iss.3.
- Rana, M. N., Tangpong, J., Rahman, M. M.,** 2018. Toxicodynamics of Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic- induced kidney toxicity and treatment strategy: A mini review. *Toxicology reports*. 5: 704–713.
- Ratul, A.K., Hassan, M., Uddin, M.K., Sultana, M.S., Akbor, M.A., Ahsan, M.A.,** 2016. Potential health risk of heavy metals accumulation in vegetables irrigated with polluted river water. *Int. Food Res. J*. 25: 329–338.
- Rinklebe, J., Antoniadis, V., Shaheen, S.M., Rosche, O., Altermann, M.,** 2019. Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. *Environ. Int*. 126: 76–88.
- Senou, I., Nimi, M., Nacro, H., Some, A.,** 2019. Evaluation du niveau de transfert de métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et zinc) dans *Lactuca sativa* L. co-cultivée avec *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *J. Appl. Biosci*. 144: 14801 – 14812.

**Sieber, R., Rehberger, B., Schaller, F., Gallmann, P.,** 2006. Technological aspects of copper in milk products and health implications of copper. ALP science: No. 493, Agroscope Liebefeld-Posieux publisher.

**Stawarz, R., Formicki, G., Massányi, P.,** 2007. Daily fluctuations and distribution of xenobiotics, nutritional and biogenic elements in human milk in Southern Poland. Journal Environmental Science Health Part-A, Toxicology Hazard Substances and Environmental Engineering. 42(8): 1169–1175.

**Veeresh, H.,** .2003. Sorption and distribution of adsorbed metals in the soils of india. Appl GeoChem. 18: 1723-1731.

**WHO,** 2006. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. Geneva, Switzerland: World Health Organization. WHO Technical Report Series 930.

**Wu, W., Wu, P., Yang, F., Sun, D.-L., Zhang, D.-X., Zhou, Y.-K.,** 2018. Assessment of heavymetal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility. Sci. Total Environ. 630: 53–61.

**Wu J., Ren D. J., Zhang X. Q., Chen Z. H., Zhang S. Q., Li S.,** 2019. The adsorption properties of biochar derived from woody plants or bamboo for cadmium in aqueous solution. Desalin. Water Treat. 160: 268–275.

**Wu, Q., Liping Huang, L., Su, N.,** 2020. Calcium-dependent hydrogen peroxide mediates hydrogen-rich water-reduced cadmium uptake in plant roots [published online ahead of print. Plant Physiol: 377pp.

**Zhuang, P., McBride, M.B., Xia, H., Li, N., Li, Z.,** 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, south China. Sci. Total Environ. 407: 1551–1561.