

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 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité/Option: Production et Technologie Laitières

Département: Ecologie et Génie de l'Environnement

### Métaux lourds dans le lait des vaches produit dans les différents systèmes d'élevages dans la région de Guelma : contamination et risque de consommation

Présenté par :

AMROUCHI Marwa

GHEBACHE Rahim

Devant la commission composée de :

Pr. Dr. BENYOUNES Abdelaziz	Président	Université de Guelma
Dr. BOUSBIA Aissam (M.C.B)	Encadreur	Université de Guelma
Dr. OUMEDDOUR Abdelkader (M.C.B)	Examineur	Université de Guelma
Pr. Dr. CHEMMAM Mabrouk	Membre	Université de Guelma
Mme. LEKSIR Choubeila (M.A.A)	Membre	Université de Guelma
Mme. SLIMANI Atika (M.A.A)	Membre	Université de Guelma

Juin 2017

### Remerciements

Il est primordial de remercier « ALLAH » le Tout-Puissant de tout ce qu'il nous apporte dans la vie et de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur, **Dr. BOUSBIA Aissam**, pour son savoir-faire, ses conseils, sa compétence, sa patience, son enthousiasme et l'attention particulière avec laquelle il a suivi et dirigé ce travail, nous le remercions vivement.

Nos respects et notre reconnaissance vont au **Pr. BENYOUNES Abdelaziz**, pour avoir accepté de présider ce jury.

Nous tenons à remercier **Dr. OUMEDDOUR Abdelkader** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

**Nous témoignons toute nos reconnaissances à :**

Monsieur **CHEMMAM Mabrouk** pour son aide et ses conseils bien avisés.

Monsieur **BOUDALIA Sofiane** pour ses remarques constructives qui ont contribué à l'amélioration de ce mémoire.

Monsieur **CHELAGHMIA Mohammed Lyamine** pour son aide et ses conseils  
Madame **Bahia** la technicienne du laboratoire pédagogique de microbiologie de l'université 8 mai 1945 Guelma pour son aide et sa patience, ainsi que les membres du laboratoire de recherche de chimie appliqué (Université 8 Mai 1945, Guelma).

Au personnel administratif du DSA de Guelma particulièrement Madame **DAHEL Karima** ainsi le personnel de service statistique.

Un grand merci pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, qu'ils trouvent ici l'expression de tous nos remerciements.

## Résumé

**Contexte :** Le lait est un produit indispensable dans la nutrition humaine, et la contamination du lait par les métaux lourds est une majeure préoccupation pour les chercheurs en raison de leurs effets néfastes sur la santé humaine. **Objectifs :** L'objectif de cette étude a été (a) l'évaluation de la concentration en fer (Fe), en cuivre (Cu), en Zinc (Zn) en Cadmium (Cd) et en Chrome (Cr) dans le lait cru des vaches, (b) la recherche des sources potentielle de la contamination, et (c) l'évaluation des risques pour la santé humaine liés à la consommation de lait produit dans la région de Guelma. **Méthodes :** Un total de quarante huit élevages a été enquêté appartenant aux trois systèmes d'élevages différents à savoir : le système extensif, intensif et périurbain. En parallèle, des prélèvements de lait pour chaque exploitation ont été réalisés, à raison d'un échantillon par élevage. Ces échantillons ont été minéralisés et transformés en cendres afin de doser les métaux lourds par un spectromètre d'absorption atomique. Les indicateurs de risques de pollution, l'indice synthétique de pollution et l'apport journalier estimé (EDI) ont été calculés. **Résultats :** La comparaison de l'indice synthétique de pollution en fonction des différents systèmes d'élevages a révélé une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre des valeurs faibles pour les élevages extensifs et des valeurs élevées pour les élevages périurbains. L'ordre d'importance des teneurs métalliques dans l'ensemble des élevages était comme suit :  $Zn > Fe > Cu > Cd > Cr$ . Les résultats ont indiqué que les concentrations moyennes en Fe, Cu, Zn et Cd étaient plus élevées que les normes suggérés par la fédération internationale des produits laitiers. L'analyse comparative de ces concentrations en fonction des différents systèmes d'élevages montre une concentration en Fe plus élevée en élevages intensifs par rapport aux types d'élevages ( $p < 0,05$ ). En outre, des teneurs plus élevées en Zn et Cd ont été détectées dans les élevages périurbains ( $p < 0,05$ ). Parmi les cinq métaux, seul le Fe et le Cu qui n'ont pas dépassés l'apport quotidien admissible. Par contre, le Cd, le Zn et le Cr montrent des valeurs (EDI) plus élevées aux valeurs admissibles. De même, le Cd montre une valeur (EDI) de 168 mg/jour soit 365% de la valeur admissible dans les élevages périurbains soit la valeur la plus élevée. **Conclusion :** quel que soit le système d'élevage, les teneurs élevées en Zn, Cr et Cd de certains échantillons de lait pourraient être potentiellement dangereuses pour les consommateurs du lait cru collectés dans cette régions d'étude.

**Mots clés :** Lait de vache, métaux lourds, système d'élevage, pollution, apport journalier estimé (EDI)

## Abstract

**Background:** Because it's widely consumed, milk contamination with heavy metals remains a very important problem for human health prevention. **Objectives:** The objective of this study was (a) to evaluate the concentration of iron (Fe), copper (Cu), Zinc (Zn) to Cadmium (Cd) and Chromium (Cr) in milk, (b) the search for potential sources of pollution, (c) the assessment of the risks to human health related to the milk consumption produced in Guelma region. **Methods:** A total of forty-eight farms were surveyed belonging to the three different livestock systems, namely the extensive, intensive and peri-urban systems. At the same time, milk samples were collected for each holding, one sample per rearing. These samples were mineralized and transformed into ash to determine the heavy metals by an atomic absorption spectrometer. The pollution risk indicators, the total pollution index and the estimated daily intake (EDI) were calculated. **Results:** Comparison of the total pollution index with different livestock systems revealed a significant difference ( $p < 0.05$ ) between low values for extensive farms and high values for peri-urban farms. The order of importance of the metallic contents in the whole of the farms was as follows:  $Zn > Fe > Cu > Cd > Cr$ . The results indicated that the average concentrations of Fe, Cu, Zn and Cd were higher than the standards suggested by the International Dairy Federation. The comparative analysis of these concentrations according to the different farming systems shows a higher Fe concentration in intensive farms compared to the types of farms ( $p < 0.05$ ). In addition, higher levels of Zn and Cd were detected in peri-urban farms ( $p < 0.05$ ). Of the five metals, only Fe and Cu did not exceed the allowable daily intake. Also, Cd, Zn and Cr show higher values (EDI) than permissible values. Similarly, the Cd shows a value (EDI) of 168 mg / day, *ie* 365% of the allowable value in peri-urban farms, *ie* the highest value. **Conclusion:** Regardless of the livestock system, high levels of Zn, Cr and Cd in some milk samples could be potentially hazardous to consumers of raw milk collected in this study region.

**Key words:** Cow milk, heavy metals, livestock system, pollution, estimated daily intake (EDI).

## ملخص

**تمهيد:** الحليب منتج أساسي في تغذية الإنسان، وتلوثه بالمعادن الثقيلة مصدر قلق كبير للباحثين لما له من آثار سلبية على صحة الإنسان وإن الهدف من هذه الدراسة يتمثل في تقييم مدى تركيز كل من الحديد (Fe)، النحاس (Cu)، والزنك (Zn) وكذلك الكروم (Cr)، الكاديوم (Cd) في الحليب الخام من الأبقار، وكذا البحث عن مصادر التلوث المحتملة وتقييم مخاطرها على صحة مستهلكي الحليب المنتج في منطقة قالمة .

**الطريقة:** في بداية الأمر تم التحقيق مع ثمانية وأربعين من أصحاب المزارع التي تنتمي كل منها الى الأنظمة التالية: نظام واسع النطاق والنظم المكثفة ونظم الضواحي، و بعدها تم إحراز عينات بمعدل عينة حليب واحدة لكل مزرعة، و من ثم تمت معدنة العينات وذلك من خلال تحويلها إلى رماد لكي تخضع إلى معايرة المعادن الثقيلة بواسطة مطياف الامتصاص الذري، و من ثم تم حساب مؤشرات مخاطر التلوث، ومؤشر التلوث الصناعي والاستهلاك اليومي المقدر.

**النتائج:** أظهرت المقارنة بين مؤشر التلوث الصناعي لأنظمة مزارع مختلفة فرق معنوي ( $p < 0.05$ ) بين القيم المنخفضة للمزارع الواسعة والقيم العالية لمزارع الضواحي. وكانت محتويات المعادن الأكثر أهمية في جميع المزارع على النحو التالي  $Cr < Cd < Cu < Fe < Zn$ ، وأشارت النتائج إلى أن متوسط تركيزات الحديد والنحاس والزنك والكاديوم كانت أعلى من المعايير المقترحة من قبل الاتحاد الدولي لمنتجات الألبان، و من خلال تحليل مقارن لهذه التركيزات وفقا لنظم التربية الأبقار المختلفة يظهر الحديد بتركيز أعلى في المزارع المكثفة مقارنة بالنظم الأخرى ( $p < 0.05$ )، و من جهة أخرى تبين أن Zn و Cd حازا على أعلى قيم وذلك في نظم الضواحي، على غرار المعادن الخمسة فإن الحديد والنحاس لم يتجاوزا الاستهلاك اليومي المقبول. أما بالنسبة Cd والزنك والكروم تظهر القيم (EDI) أعلى مقارنة بالقيم المسموح بها. وبالمثل يظهر Cd بقيمة 168 (EDI) ملغ / يوم أي 365% من القيمة المعتمدة في المزارع المحيطة بالمدن و التي تمثل أعلى قيمة .

**الخلاصة:** مهما كان نظام تربية الأبقار الحلوب المعتمد، فإن المستويات العالية من الزنك، والكروم و Cd في بعض عينات الحليب المنتج في ولاية قالمة يمكن أن تجعل منه خطر يهدد صحة مستهلكيه.

**كلمات المفتاحية:** حليب البقر، والمعادن الثقيلة، ونظام تربية والتلوث والاستهلاك اليومي المقدر (EDI).

## Liste des figures

	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1</b>	Voies permettant le transport des éléments traces métalliques dans l'environnement .....	<b>3</b>
<b>Figure I.2</b>	Différentes voies d'exposition des bovins aux métaux lourds .....	<b>10</b>
<b>Figure II.1</b>	Relief de la région de Guelma .....	<b>14</b>
<b>Figure II.2</b>	Carte bioclimatique de la wilaya de Guelma .....	<b>15</b>
<b>Figure II.3</b>	Production laitière bovine et taux de collecte dans la région de Guelma .....	<b>15</b>
<b>Figure II.4</b>	Contribution en % des espèces bovines, ovines et caprines dans la production laitière totale dans la région de Guelma .....	<b>16</b>
<b>Figure III.1</b>	Scores des indicateurs de risque de la pollution selon les types d'élevage .....	<b>25</b>
<b>Figure III.2</b>	Variation du taux moyen du Fe en fonction du type d'élevage .....	<b>30</b>
<b>Figure III.3</b>	Variation du taux moyen du Cu en fonction du type d'élevage .....	<b>31</b>
<b>Figure III.4</b>	Variation du taux moyen du Zn en fonction du type d'élevage .....	<b>32</b>
<b>Figure III.5</b>	Variation du taux moyen en Cd en fonction du type d'élevage .....	<b>33</b>
<b>Figure III.6</b>	Variation du taux moyen en Cr en fonction du type d'élevage .....	<b>34</b>
<b>Figure III.7</b>	Liens entre le teneur en Cd et Cr dans le lait et l'indicateur de pollution	<b>36</b>

## Liste des tableaux

	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b>	seuil toxique et apport recommandé pour Ar, Cd, Pb et Zn .....	<b>2</b>
<b>Tableau I.2</b>	Dose hebdomadaire tolérable des principaux métaux toxiques pour l'homme.....	<b>6</b>
<b>Tableau III.1</b>	Les différents types d'élevages échantillonnés .....	<b>21</b>
<b>Tableau III.2</b>	Caractéristiques structurelles et fonctionnelles des élevages enquêtés	<b>21</b>
<b>Tableau III.3</b>	Les indicateurs de risque en fonction des différents types d'élevages	<b>23</b>
<b>Tableau III.4</b>	Indice synthétique du risque de pollution des élevages sélectionnés en fonction des types d'élevages .....	<b>26</b>
<b>Tableau III.5</b>	Caractéristiques descriptives des concentrations des métaux moyennes des échantillons du lait cru analysés (mg/L) .....	<b>27</b>
<b>Tableau III.6</b>	Concentration moyenne des métaux lourds en mg/L en fonction des différents types d'élevages .....	<b>34</b>
<b>Tableau III.7</b>	Coefficient de corrélation de Spearman entre les différents métaux lourds dosés dans le lait cru .....	<b>36</b>
<b>Tableau III.8</b>	Apport journalier estimé et valeur admissible pour les consommateurs adultes.....	<b>40</b>

# Sommaire

## Introduction

### Synthèse Bibliographique

I.	Métaux lourds dans le lait et les produits laitiers.....	1
I.1.	Généralité.....	1
I.2.	Classification des métaux lourds.....	2
I.3.	Toxicité des principaux métaux.....	3
	I.3.1. Le cadmium (Cd).....	4
	I.3.2. Le plomb (Pb).....	5
	I.3.3. Le zinc (Zn) .....	6
	I.3.4. Cuivre.....	7
	I.3.5. Le mercure (Hg).....	8
I.4.	Source de contamination.....	8
I.5.	Concentration des métaux lourds dans les produits laitiers.....	10
I.6.	Effet toxique des métaux lourds sur la santé animale.....	11
I.7.	Transformation du lait et transfert des métaux lourds.....	12
	Conclusion.....	12

### Matériels et Méthodes

II.1.	Monographie de la région d'étude .....	14
	II.1.1. Localisation de la région d'étude.....	14
	II.1.2. Relief.....	14
	II.1.3. Climat .....	14
II.2.	Situation de la production laitière dans la région de Guelma.....	15
II.3.	Echantillonnage des élevages .....	16
II.4.	Enquête de terrain et collecte des données.....	16
II.5.	Indicateurs de risques de pollution .....	17
II.6.	Prélèvement des échantillons du lait cru des vaches.....	18

II.7.	Dosage des métaux lourds.....	19
II.8.	L'estimation de l'apport journalier.....	19
II.9.	Traitement des données et analyses statistiques.....	20

## **Résultats et discussion**

III.1.	Échantillonnage des élevages étudiés.....	21
III.2.	Situation des différents types d'élevages par rapport aux risques de pollution.....	22
III.3.	Évaluation de la contamination des métaux lourds dans le lait cru.....	26
III.4.	Analyse comparative de la concentration du lait cru en métaux lourds en fonction des types d'élevages .....	29
III.5.	Relation entre les différents métaux lourds étudiés.....	36
III.6.	Évaluation des risques pour la santé humaine liés à la consommation du lait produit par les différents systèmes d'élevages .....	38

### **Conclusion**

### **Références bibliographiques**

### **Annexe**

### Introduction et problématique

Le lait a une influence positive sur la santé humaine. Il est considéré comme un aliment complet où il est une source importante des protéines, des graisses, des vitamines et des sels minéraux (Enb *et al.*, 2009 ; Qin *et al.*, 2009 ; Yuzbas *et al.* 2009; Salah et Ahmed 2012 ; Seyed et Ebrahim 2012). Il existe environ trente-huit micro et oligoéléments éléments qui ont été trouvés dans le lait cru provenant de différentes régions à travers le monde (Dobrzański *et al.*, 2005 ; Nwankwoala *et al.*, 2002). La teneur en minéraux dans le lait cru des vaches peut varier en fonction de plusieurs facteurs, à savoir la période de lactation, les pratiques de l'élevage, la saison, les conditions climatiques, la composition des aliments, la santé de l'animal et l'environnement (Licata *et al.*, 2004 ; Yahaya *et al.*, 2010). Les conditions de traitement du lait lors des différents processus de transformation et conservation peuvent également avoir une influence importante sur la composition minérale du lait (Lante *et al.*, 2006 ; Salah *et al.*, 2013). Tous ces minéraux, y compris les oligo-éléments dans le lait de vache, se sont produits sous forme d'ions inorganiques et restent avec des protéines, des peptides, des hydrates de carbone et d'autres molécules (Vegarud *et al.*, 2000). La plupart de ces oligo-éléments ont une importance bénéfique pour la santé. Par exemple, ils agissent comme des cofacteurs enzymatiques qui peuvent jouer un rôle vital dans différentes fonctions physiologiques du corps humain et le manque de ces minéraux peuvent causer des problèmes pathologiques principalement en âge de vulnérabilité (Enb *et al.*, 2009). Les éléments essentiels deviennent toxiques lorsque le niveau de concentration dépasse 40 à 200 fois leur valeur seuil recommandée (Rao, 2005). Malhatet *et al.* (2012) ont constaté que la contamination du lait est considérée comme l'un des principaux aspects dangereux au cours des dernières années. La pollution environnementale accrue a accéléré les problèmes de contamination du lait et les incertitudes concernant la qualité du lait (Farid et Baloché, 2012).

La contamination mondiale du lait par des polluants environnementaux et les composés xénobiotiques dans les aliments de bétail comme les métaux lourds, les mycotoxines, les dioxines et d'autres polluants sont considérés comme des facteurs de risque ayant une grande influence sur la santé publique (Seyed et Ebrahim, 2012). Les principales sources de contamination en métaux lourds sont les effluents industriels ou domestiques, la combustion, la décomposition des engrais chimiques, les pesticides, etc. (Degnon *et al.*, 2012). Douleur abdominale, hépato toxicité, neurotoxicité, vomissements (Hussain *et al.*, 2010), diminution du niveau de quotient intellectuel, maladie d'Alzheimer, troubles du comportement (Ahmad

**et al., 2011**), lésions tissulaires, irritation des poumons, cancer (**Bushra et al., 2014**) etc. pourraient être générés en raison de l'exposition excessive aux métaux lourds.

Outre, les métaux lourds ne sont pas biodégradables dans la nature, ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire par biotransformation, bioaccumulation et biomagnification (**Aslam et al., 2011**).

L'animal est un élément bio-accumulateur dans la chaîne trophique qu'il transmet à l'homme consommant ses produits (viande, lait, œufs, 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., 2011**).

La contamination du lait par les métaux lourds est peu étudiée dans les pays en développement comme l'Algérie. Cependant, plusieurs travaux de recherches en Algérie ont été focalisés sur la contamination des produits halieutiques comme les moules (**Taleb et Boutiba, 2007**). Ces produits marins sont largement considérés comme des bons indicateurs de la contamination du milieu marin dans lequel ils vivent.

Une étude a été réalisée en Algérie par (**Yabrir et al., 2016**) a permis de faire un état des lieux relatif à la présence des métaux lourds dans le lait des espèces ovines et caprines dans la zone steppique.

Comme le lait est l'un des constituants majeurs de l'alimentation humaine, même des quantités faibles en métaux lourds dans différents produits laitiers peuvent induire des problèmes sanitaires sérieux (**Diacono, 2007**). C'est pourquoi les travaux sur l'impact des sources polluantes sur la qualité du lait en Algérie sont nécessaires.

C'est dans ce contexte que s'insère la présente étude qui vise à mettre en évidence :

- L'évaluation environnementale des risques de pollution dans les différents systèmes d'élevages
- L'évaluation de la concentration en fer (Fe), en cuivre (Cu), en Zinc (Zn) en Cadmium (Cd) et en Chrome (Cr) dans le lait cru des vaches ;
- L'analyse comparative de la qualité du lait produit dans chaque système de production ;
- L'étude de l'interaction entre les résultats de l'enquête environnementale et la qualité toxicologique du lait
- L'évaluation des risques pour la santé humaine liés à la consommation du lait produit dans la région de Guelma ;

Cette étude comprend deux grandes parties : la première partie est consacrée à une recherche bibliographique sur la contamination du lait et les produits laitiers par les métaux lourds. La deuxième partie de ce travail rapporte la méthodologie mise en œuvre, les résultats obtenus et leur discussion et enfin une conclusion.

## **I. Métaux lourds dans le lait et les produits laitiers**

### **I.1. Généralité**

Les métaux lourds sont par définition des métaux ayant des densités supérieures à 5 g mL<sup>-1</sup> (**Sorentino, 1979**), par exemple Fe, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni, Zn et Mn. Environ cinquante-trois des quatre-vingt dix éléments naturels s'appellent métaux lourds (**Weast, 1984**), et beaucoup d'entre eux, tels que Cu, Mn, Fe et Zn, sont des micronutriments essentiels, mais peuvent devenir toxiques à des concentrations supérieures à la quantité normale requise pour la croissance (**Weast, 1984**).

D'autres métaux lourds, tels que Cd, Hg et Pb, ont jusqu'ici des rôles inconnus dans les organismes vivants et sont toxiques même à très faibles concentrations (**Wood, 1974 ; Nies, 1999**). Les métaux lourds tels que le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) sont des toxines potentiellement bioaccumulables dans le système de production laitière car les sols ont tendance à agir aussi longtemps sur les animaux (**Brown et Parks, 2001**).

Les résultats des recherches effectuées jusqu'à maintenant montrent que beaucoup de produits végétaux ou animaux sont chimiquement contaminés, ayant des agents nocifs de grand risque comme les métaux lourds (Pb, Cd) et d'autres substances chimiques.

Le danger que les fourrages ou les produits animaux deviennent potentiellement dangereux pour l'animal ou pour le corps humain résulte de leur degré de contamination avec différentes pollutions chimiques. Les animaux pourraient être contaminés par des métaux lourds en ingérant des aliments pollués. Les métaux lourds avec une toxicité potentielle sont arrivés dans des flux multiples (**Nicholson et al., 1998**).

La toxicité des polluants dépend des espèces animales, de la dose chimique, et de leur action sur l'organisme (**Nicholson et al., 1998**). Le plomb et le cadmium ont un effet toxique et une action oncologique, entraînant un cancer hépatique, cutané et pulmonaire et des paramètres hématologiques modifiés (**Aitken, 1997**). Ainsi, les objectifs de cette synthèse bibliographique étaient : définir les métaux lourds, les classer, chercher leur quantité dans les produits laitiers et leur toxicité pour l'homme et les animaux.

## I.2. Classification des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent être classés en quatre grands groupes pour leur importance dans la santé.

- **Essentiel** : Cu, Zn, Co, Cr, Mn et Fe. Ces métaux sont également appelés micronutriments et sont toxiques lorsqu'ils sont pris au-delà des exigences (**Reeves et Baker, 2000**).
- **Non essentiel** : Ba, Al, Li et Zr ;
- **Moins toxique** : Sn et Al ;
- **Très toxique** : Hg, Cd et Pb.

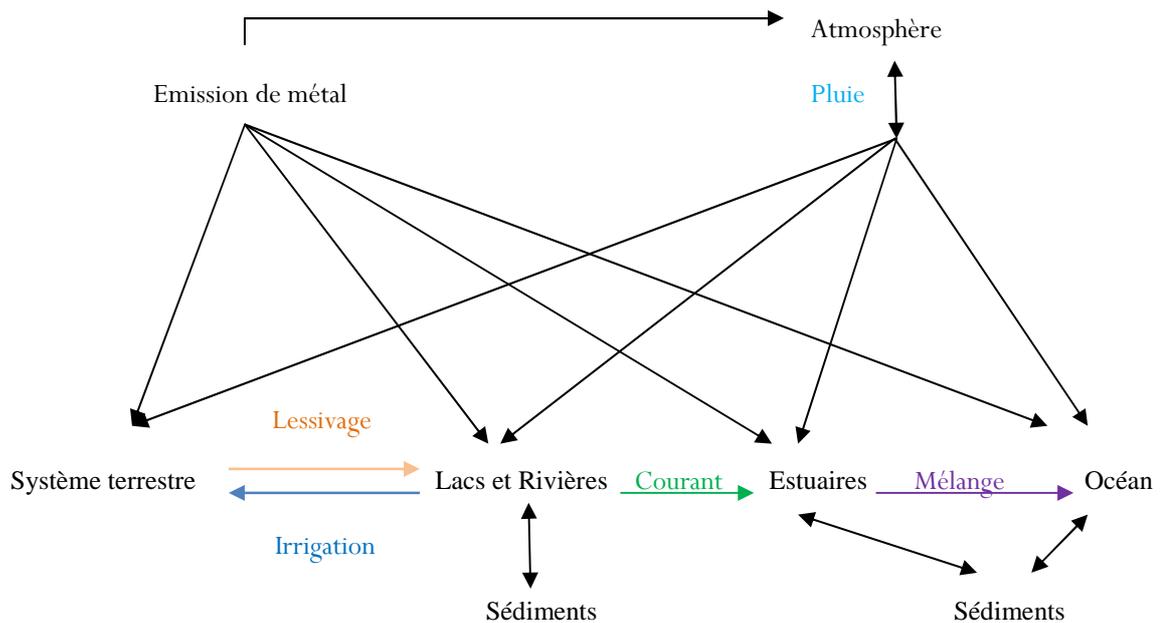
Les métaux lourds sont également appelés oligo-éléments en raison de leur présence dans des quantités sous forme des traces ( $10 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) ou ultra trace ( $1 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ ) dans les matrices environnementales.

La limite toxique et l'apport recommandé pour certains métaux sont illustrés dans le **Tableau I.1 (Reeves et Baker, 2000)**.

**Tableau I.1 : seuil toxique et apport recommandé pour Ar, Cd, Pb et Zn**

Eléments	Seuil toxique	Apport recommandé
<b>Arsenic</b>	3 mg /jour pendant 2-3 semaine	15-25 $\mu\text{g}$ / jour (adulte)
<b>Cadmium</b>	200 $\mu\text{g}$ /Kg de poids frais	15-50 $\mu\text{g}$ / jour (adulte) 2-25 $\mu\text{g}$ / jour (enfant)
<b>Plomb</b>	> 500 $\mu\text{g}$ / L (Sang)	20-280 $\mu\text{g}$ /jour (adulte) 10-275 $\mu\text{g}$ / jour (enfant)
<b>Zinc</b>	150 $\mu\text{g}$ / jour	15 $\mu\text{g}$ /jour

Le caractère cumulatif de ces éléments fait que la caractérisation des risques conduit généralement à l'évaluation d'une dose hebdomadaire tolérable (DHT). Les métaux sont redistribués naturellement dans l'environnement par les cycles géologiques et biologiques (**Figure I.1**). 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.



**Figure I.1 : Voies permettant le transport des éléments traces métalliques dans l'environnement**

(Source : Adaptation de KLASSEN et WATKINS, 2003)

### I.3. Toxicité des principaux métaux

Plusieurs facteurs influencent la toxicité des métaux lourds. Il existe par exemple des interactions entre des métaux toxiques et des métaux essentiels lorsque le métabolisme d'un métal toxique est similaire à celui d'un métal essentiel.

Les jeunes enfants ou les personnes âgées sont les plus susceptibles à la toxicité des métaux lourds. En effet, les enfants ont un taux d'absorption intestinal des métaux plus important que les adultes, particulièrement pour le plomb. La principale source d'exposition à la plupart des métaux lourds est par l'ingestion de la nourriture contaminée (**Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).

Les métaux très souvent recherchés dans le lait ou les fromages d'après les recherches bibliographiques effectuées sont le cadmium, le mercure, le plomb, le cuivre et le zinc. C'est pourquoi, ces métaux seront développés plus particulièrement dans cette synthèse bibliographique.

### I.3.1. Le cadmium (Cd)

Le cadmium 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 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).

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. Le Cd 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 à l'utilisation de fertilisants minéraux tels que les superphosphates en agriculture conventionnelle (**Olsson et al., 2001 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). La majeure source d'exposition au Cd est la nourriture contaminée (**Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). Par ordre d'importance décroissante, les denrées les plus dangereuses sont les suivantes (**Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**) :

- **Légumes et fruits (environ 35% de l'apport)** et les céréales et produits dérivés (23,5%). L'absorption du Cd par les végétaux peut se faire par voie racinaire. Le taux d'absorption est très variable et dépend de l'espèce végétale, et même de la variété. Le soja et la betterave à sucre, constituant majeur des concentrés, sont tous deux connus pour avoir un fort potentiel de transfert du Cd du sol via leur système racinaire (**Haghir, 1973 ; in Olsson et al., 2001**). La concentration en Cd dans les végétaux dépendra également de la concentration de Cd dans le sol, mais aussi des 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.

- **Les produits de la mer (18%)**
- **Le lait et les produits laitiers (9%)**

Les différentes formes de la toxicité provoquée par ce métal sont :

- **Toxicité aigüe:** Une forte ingestion de Cd cause des nausées et douleurs abdominal. L'inhalation de fumées de matériel contenant du Cd peut produire un œdème pulmonaire (**Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).

- **Toxicité chronique :** Une exposition de long terme au Cd cause des troubles pulmonaires et rénaux. Cela peut aussi engendrer des troubles cardiovasculaires et du système

squelettique (**Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). Il est également considéré comme immunodépresseur et cancérigène. La dose hebdomadaire tolérable (DHT) est de 7 µg/kg de poids corporel pour un adulte sur 50 ans (**Tableau I.2**) (**Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). 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 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).

### **I.3.2. Le plomb (Pb)**

Le plomb est un métal assez répandu dans la croûte terrestre, et est présent sous forme de sulfure, carbonate et sulfate. Même si aujourd'hui, beaucoup de ses usages sont très restreints à cause de sa toxicité, le Pb est utilisé dans les batteries et accumulateurs, tuyaux et soudures, vêtements de protections aux rayons X, peinture. La pollution dans l'environnement est liée à l'industrie minière, à une mauvaise gestion des déchets, à une pollution automobile. De plus, l'épandage de boue de stations d'épuration peut conduire à la pollution des terres agricoles (**Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). La principale voie d'exposition pour la population et les animaux est la nourriture contaminée et les sources environnementales comme les anciennes maisons peintes à base de peinture contenant du plomb (**Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). Les aliments les plus susceptibles de contenir des traces de plomb sont par ordre décroissant (**Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**) : les légumes et fruits, le lait et les produits laitiers, les abats et les produits carnés, le vin, les produits de la mer. L'absorption digestive du plomb est favorisée par la vitamine D, par un régime riche en graisses, et par des carences en fer, calcium, phosphore, zinc, magnésium, vitamine B1 et en fibre végétales. Dans le sang, le plomb est à 95% sous forme fixée aux protéines plasmatiques et à 5% sous forme libre. Il diffuse ensuite dans les tissus et on le retrouve dans l'os à 80%, dans lequel il entre en compétition avec le calcium. On le retrouve également dans les tissu mou (ex : reins, foie, rate), dans les dents, les ongles ou les cheveux. Il passe facilement dans le lait et le placenta. (**Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).

L'absorption du plomb est largement supérieure chez les jeunes organismes, ce qui augmente les effets toxiques. A cause de ses caractéristiques chimiques, il passe facilement dans le placenta et le lait (**Klassen et Watkins, 2003 ; Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).

Le Plomb est à l'origine de nombreux effets chez l'homme :

- Effet sur le système nerveux
- Anémie
- Troubles rénaux
- Effet endocrinien
- Affaiblissement du système immunitaire
- Probable effet cancérigène

**Tableau I.2 : Dose hebdomadaire tolérable des principaux métaux toxiques pour l'homme (Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010)**

<b>Métal lourd</b>	<b>Dose hebdomadaire tolérable</b>
<b>Plomb</b>	25 µg/kg de poids corporel
<b>Cadmium</b>	7 µg/kg de poids corporel
<b>Méthyle mercure</b>	1.6 µg/kg de poids corporel
<b>Etain</b>	840 mg/pers
<b>Arsenic inorganique</b>	15 µg/kg de poids corporel

### 1.3.3. Le zinc (Zn)

Le zinc est un métal essentiel nutritionnellement. Une exposition excessive au zinc est relativement peu commune mais serait toxique. Le zinc est présent dans la plupart des aliments, l'eau et l'air. La dose journalière recommandée est de 15mg / jour pour l'homme. Une vache en lactation ou tarie a besoin de 75 mg/ kg (matière sèche intégrale) de zinc dans le régime (GNBCA, 2000 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010). Les produits dont les teneurs en zinc sont les plus importantes sont les suivants : Produits de la mer, viande, céréales complètes, produits laitiers, cacahuètes et légumes. Les végétaux peuvent prélever le zinc du sol (Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010).

Des problèmes gastro-intestinaux, diarrhée, fortes fatigue et fièvre peuvent être les effets d'une ingestion importante de zinc (Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010).

### **I.3.4. Cuivre**

Le cuivre (Cu) est un constituant de la croûte terrestre, présent dans le sol sous forme de minéraux (surtout de cuprite, malachite). Les principaux minerais de cuivre sont les sulfures, les oxydes et les carbonates. Le cuivre est connu, extrait et utilisé par les humains depuis plus de 5000 ans (**Wilkinson, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). C'est probablement le deuxième élément le plus important, après le fer, en ce qui concerne son utilité pour les humains. Les tuyaux de cuivre sont très répandus en plomberie, particulièrement pour les systèmes d'alimentation en eau domestique. Le cuivre est utilisé pour la production de fil électrique et dans la fabrication d'alliages comme le laiton et le bronze. Il est aussi employé pour l'électro-placage, en photographie, pour les toitures, comme catalyseur dans l'industrie chimique et pour l'élimination des mercaptans dans le raffinage du pétrole. Le cuivre est beaucoup utilisé dans les préparations de pesticides (fongicides et agents antimicrobien), en particulier pour le traitement du bois et des sources d'approvisionnement en eau potable et en eau destinée à des fins récréatives (**Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).

Les valeurs de références ou limites de qualité pour la concentration du Cu dans l'eau sont de 2 mg/l pour l'UE et l'OMS, 1,3 mg/l pour le Canada et 1 mg/l pour les USA (**AFSSA, 2006**).

Le cuivre est un élément essentiel de l'alimentation des mammifères et il est nécessaire à de nombreuses réactions enzymatiques (**Faye et Bengoumi, 1994**). La carence en Cu entraîne divers troubles cliniques, comme l'anémie, la neutropénie et des perturbations de la formation des os.

Selon l'Organisation mondiale de la santé l'apport quotidien de 0,5 mg/kg de poids corporel de Cu n'est pas dangereux pour la santé humaine (**OMS, 1973**).

#### **Effets toxiques du cuivre sur la santé**

L'absorption des doses importantes (plus de 15 mg) de cuivre a des effets nocifs sur la santé. Les cas d'intoxication aiguë par le cuivre sont rares chez les mammifères supérieurs, car le cuivre est un émétique puissant. Parmi les espèces domestiques, le mouton est particulièrement sensible à l'intoxication au cuivre. Chez les humains, la toxicité aiguë du cuivre se manifeste surtout dans des cas d'ingestion accidentelle; ses symptômes sont les suivants : goût métallique dans la bouche, nausée, vomissement, douleur épigastrique, diarrhée, jaunisse, hémolyse, hémoglobinurie, hématurie et oligurie. Dans les cas graves, les selles et la salive peuvent prendre une couleur verte ou bleue; dans la phase terminale, il y a anurie, hypotension et coma précédant la mort. Le cuivre s'accumule surtout dans le cerveau,

le foie et les reins (Olsson et al., 2001 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010).

### **I.3.5. Le mercure (Hg)**

Le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Les vapeurs de mercure sont bien plus toxiques que le mercure liquide (Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010). Le mercure a été utilisé dans l'industrie électrique et chimique, en dentisterie, comme fongicide. Il peut également être apporté dans le sol via les boues de station d'épuration (Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010). Le mercure s'accumule dans l'environnement (sédiment) et dans les chaînes alimentaires. On peut en retrouver dans les denrées d'origine aquatique à cause du phénomène de bioaccumulation. Il est très faiblement résorbé par les racines et les feuilles des végétaux. Il est présent dans l'atmosphère et dans l'eau mais les doses sont très faibles et ne constituent pas une source d'exposition importante pour l'homme (Klassen et Watkins, 2003 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010).

La toxicité du mercure est due au méthyle mercure. A des concentrations importantes, il peut provoquer chez l'homme des troubles sensoriels, moteurs, psychiques, tératogéniques, reproductifs, immunitaires (Kammerer et Le bizec, 2009 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010). La DHT du méthyle mercure est fixée à 1,6 µg/kg (Tableau I.2).

### **I.4. Source de contamination**

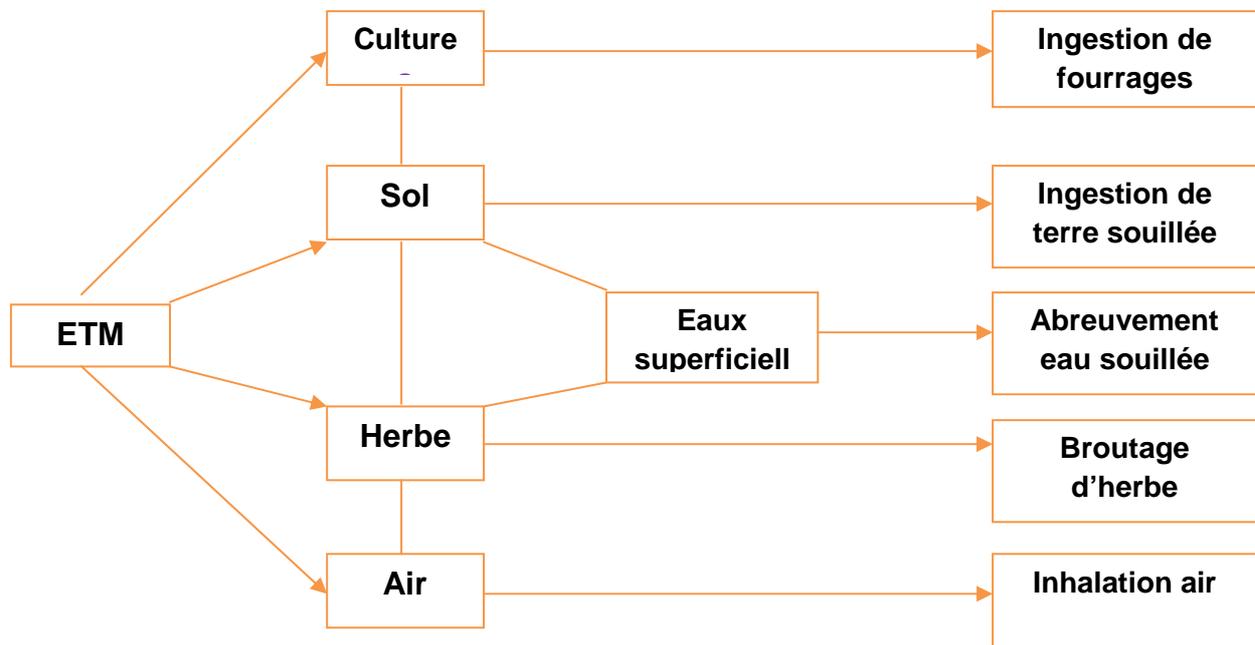
Naturellement, tous les sols contiennent des concentrations variables de métaux lourds en fonction du type de matériau par lequel le sol a été formé. Des métaux lourds peuvent être ajoutés aux sols de pâturages grâce à l'application d'engrais minéral et organique, issu des restes des animaux, des pesticides et dépôt atmosphérique (véhicule et les émissions industrielles) (Zarcinas et al., 2004). La teneur en métaux lourds des selles et des urines du bétail varie selon l'alimentation animale. Les déchets de bovins de boucherie et de produits laitiers contiennent des concentrations de métaux lourds plus importants lorsqu'ils sont nourris avec des aliments concentrés plutôt que des fourrages ou des ensilages (Nicholson et al., 1998). En outre, la teneur en métaux lourds du fumier bovin dépend principalement de la concentration dans l'alimentation animale. Compte tenu de l'impact potentiel des métaux lourds sur la pollution des sols de pâturage à long terme, il est important de quantifier les concentrations de métaux dans les sols de pâturage pour détecter l'accumulation possible à long terme de métaux lourds.

L'impact des métaux lourds dans les sols de pâturages est affecté par les caractéristiques du sol (**De matos, 2001**). La concentration des métaux dans le sol varie selon l'origine de la pollution, la présence de métaux dans l'environnement (**Sorentino, 1979**) et les caractéristiques chimiques du sol. La répartition des métaux lourds n'est pas identique dans tout le profil du sol (**Martin, 1982**); Cependant, les métaux lourds se situent normalement dans les 25 premiers cm du sol dans les sols cultivés (**Wilkinson, 2003**).

La pollution des métaux lourds peut aussi provenir de sources naturelles et anthropiques. Les activités telles que l'exploitation minière et l'agriculture ont contaminé une vaste zone de monde comme le Japon, l'Indonésie et la Chine, principalement en Cd, Cu et Zn (**Herawati, 2000**), Cu et Pb dans le nord de la Grèce (**Zantopoulos, 1999**), Cu, Pb, Cu, Ni, Zn et Cd dans l'Australie (**Smith, 1996**).

Les métaux lourds peuvent entrer dans le système de production laitière selon plusieurs voies (**Figure I.2**). Il s'agit notamment du dépôt atmosphérique, de l'usage des engrais inorganiques, des produits agrochimiques et des engrais (**Nicholson, 2003**). Cependant, l'ampleur de ces intrants directs sera déterminée par de nombreux facteurs indirects, tels que l'emplacement de la ferme et l'utilisation d'aliments concentrés. Dans l'organisme animal, les métaux pénètrent dans les aliments destinés à l'alimentation du bétail comme les fourrages verts, l'eau potable et des médicaments pharmaceutiques, etc.

L'une des principales voies d'exposition pour les vaches est par l'ingestion de terre et herbe amendées par les boues de station d'épuration. En effet, lorsque les boues sont épandues, elles sont susceptibles de contaminer l'herbe fraîche, le sol, les fourrages, l'air, et l'eau en métaux lourds (**Institut de l'élevage, 2010 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**). Cependant, cela ne concerne pas l'agriculture biologique où l'épandage de boues de station d'épuration est interdit. Toutefois, tout animal peut ingérer un sol contaminé en métaux lourds, cette ingestion pouvant augmenter en fonction de la plus ou moins grande disponibilité alimentaire (surpâturage). La contamination peut intervenir également par inhalation de poussière et par contact directes et indirectes avec des boues. Ainsi, les facteurs de transfert des métaux lourds vers l'animal sont nombreux. Néanmoins, une fois contaminé, l'animal absorbera les métaux lourds de manière plus ou moins importante selon : les métaux lourds (Pb < Cd < Hg), l'âge de l'animal et la quantité absorbée (**Institut de l'élevage, 2010 in Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010**).



**Figure I.2 : différentes voies d'exposition des bovins aux métaux lourds**

(Source : d'après l'Institut de l'Élevage, 2010)

### **I.5. Concentration des métaux lourds dans les produits laitiers**

Le lait est une substance complexe et bioactive qui favorise la croissance et le développement des nourrissons, des enfants et des adultes. Il est considéré comme une nourriture presque complète puisqu'il s'agit d'une bonne source de protéines, de graisses, de sucres, de vitamines et de minéraux. Par conséquent, le lait et les produits laitiers sont des composantes importantes dans le régime alimentaire (**Buldini et al., 2002**). Bien que le lait soit une source idéale de macro élément (Ca, K et P) et de micro éléments (Cu, Fe, Zn, Se), des quantités supplémentaires de métaux pourraient entrer dans le lait et dans les produits laitiers atteignant des niveaux nocifs pour les humains (**Qin et al., 2009**). Le lait et les produits laitiers 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**).

**Bakircioglu et al. (2011)**, ont étudié les concentrations de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se et Zn dans des échantillons de fromage emballés dans des boîtes en plastique et en étain.

Ils ont constaté qu'il y avait des différences considérables parmi les éléments étudiés des échantillons de fromage emballés dans des boîtes en étain et en plastique. Ils ont conclu que les types de fromage et les matériaux d'emballage jouent un rôle clé dans le contenu des métaux traces.

### **I.6. Effet toxique des métaux lourds sur la santé animale**

Les métaux lourds sont des contaminants qui persistent dans l'environnement qui peuvent causer de graves risques pour l'environnement et pour la santé. Ils sont libérés dans l'environnement à partir des activités naturelles et artificielles. Certains métaux lourds (comme le Cu et le Fe) sont essentiels pour maintenir une bonne activité métabolique dans les organismes vivants; d'autres (comme Pb et Cd) ne sont pas essentiels et n'ont aucun rôle biologique (**Ayar et al., 2009**). Cependant, à des concentrations élevées, ils peuvent causer une toxicité pour les organismes vivants (**Li et al., 2005**).

Les métaux lourds constituent un groupe très hétérogène d'éléments très variés dans leurs propriétés chimiques et leurs fonctions biologiques. Les métaux lourds sont conservés sous une catégorie de polluants environnementaux en raison de leurs effets toxiques sur les plantes et les animaux. Certains métaux lourds, comme l'arsenic (As), le Cadmium (Cd), le plomb (Pb), le Mercure (Hg) sont des toxines cumulatives. Ces métaux lourds s'accumulent et ne sont pas métabolisés dans d'autres composés intermédiaires et ne se décomposent pas facilement dans l'environnement.

Les métaux lourds perturbent les fonctions métaboliques selon deux manières :

- Ils s'accumulent et perturbent ainsi la fonction des organes et les glandes vitales comme le cœur, le cerveau, les reins, les os, le foie, etc.
- Ils déplacent les minéraux nutritionnels vitaux de leur lieu d'origine, empêchant ainsi leur fonction biologique. Il est cependant impossible de vivre dans un environnement exempt de métaux lourds. Il existe de nombreuses façons dont ces toxines peuvent être introduites dans le corps, comme la consommation des aliments, les boissons, l'exposition cutanée et l'air inhalé (**Singh, 2007**).

Plusieurs métaux et leurs composés ont été déclarés toxiques pour les animaux. Les As, Cu, Pb, Hg et Cd étaient les métaux lourds les plus toxiques où des nombreux métaux toxiques exercent leurs effets négatifs sur les systèmes enzymatiques des animaux. Beaucoup d'entre eux se lient à des enzymes spécifiques et des protéines nécessaires pour la fonction

cellulaire et donc rivaliser avec d'autres substances essentielles pour la maintenance et le fonctionnement continu des cellules (**Davis, 2010 ; in Tibebu et Berhan, 2015**).

### **I.7. Transformation du lait et transfert des métaux lourds**

Un travail qui a été réalisé en 2006 par **Anastasio** et ses collaborateurs en Italie avait pour objectif la détection des concentrations en métaux lourds (Pb, chrome (Cr), Cd et Hg) dans les laits crus de brebis et les produits laitiers dérivés (fromages frais et affinés et ricotta). Les résultats montrent une concentration en Chrome qui a augmenté lors de la transformation du lait cru en fromage. Ceci peut être dû au fait que le Chrome se lie au composants du lait, comme la caséine et, pendant la coagulation passe dans le lait caillé. Le chrome est utilisé dans l'industrie du cuir dans les encres et l'aciérie. Aux alentours des zones d'échantillonnages, se trouvaient des industries de ce type. La législation européenne n'a pas encore fixé de réglementation sur le chrome dans le lait et les produits laitiers. La concentration en Pb a fortement augmenté lors de la transformation du lait (0, 18  $\mu\text{g/g}$ ), en ricotta (0.39  $\mu\text{g/g}$ ). Cette augmentation peut être la conséquence d'une contamination durant la fabrication du fromage puisque les métaux présents dans le lait à l'origine restent fixés aux protéines durant la transformation. En effet, selon **Beach et Henning, (1988)**, dans le lait de rate, presque 90% du Pb est associé aux micelles de caséines. En outre, l'augmentation de la concentration en Pb sur le fromage affiné ne peut être expliquée par les pertes en eau, mais est certainement causée par les conditions environnementales du site d'affinage. Par ailleurs, le Pb, à cause de sa large utilisation dans les procédés industriels, se place parmi les métaux dont la diffusion par l'atmosphère est la plus élevée. Ceci pourrait expliquer les hautes concentrations trouvées dans les sites relativement éloignés des lieux urbains et industriels. La concentration en Cadmium n'a pas variée énormément entre le lait et le produit fini, ce qui suggère que ce composé n'est pas vraiment associé à la fraction soluble et probablement distribué indifféremment entre les caséines et les composés de faibles poids moléculaires.

La plus haute teneur en mercure fut détectée dans le fromage frais. La concentration décroissante depuis le lait vers la ricotta est due au procédé de transformation.

### **Conclusion**

Les métaux lourds, à savoir, As, Cd, Pb et Hg sont les plus toxiques pour tous les êtres humains, les animaux, les poissons et l'environnement. Les niveaux excessifs de métaux lourds causent une toxicité sévère. Bien que certains métaux lourds soient essentiels pour les animaux, les plantes et plusieurs autres organismes, tous les métaux lourds présentent leurs

effets toxiques par interférence métabolique et mutagenèse. Le Pb et l'Hg provoquent une toxicité sévère. Le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) sont des toxines potentiellement bioaccumulables du système de production laitière, car les sols ont tendance à fonctionner comme des réservoirs à long terme. Bien que différents métaux lourds affichent une gamme de propriétés et de mobilités différentes dans le sol, les pertes sont généralement faibles et peuvent se produire grâce à l'élimination des cultures, à la lixiviation et à l'érosion des sols. L'accumulation à long terme de métaux lourds dans les sols agricoles provoque une diminution de la productivité des sols en inhibant les populations microbiennes dans le sol et peut présenter un risque pour la santé des animaux, des hommes et des écosystèmes.

Les procédés de transformation peuvent jouer sur la concentration finale en métaux lourds, l'augmentant ou la réduisant en fonction du produit final. Ainsi, le Cr et le Pb auront tendance à se lier aux micelles de caséine, leur concentration pouvant augmenter dans un fromage.

## II.1. Monographie de la région d'étude

### II.1.1. Localisation de la région d'étude

La wilaya de Guelma se situe au Nord-est du pays et constitue du point de vue géographique, un point de rencontre, voir un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum el Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les hauts plateaux et le Sud.

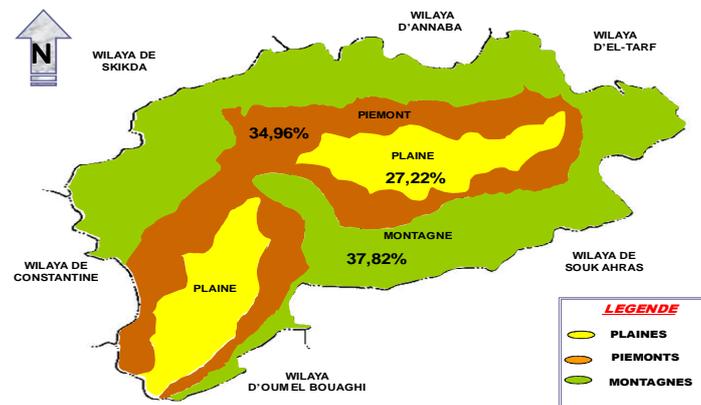
Elle est limitrophe aux Wilayas suivantes : Annaba au Nord, El-Tarf au Nord-est, Souk Ahras à l'Est, Oum El-Bouaghi au Sud, Constantine à l'Ouest et la wilaya de Skikda au Nord-ouest.

### II.1.2. Relief

La géographie de la wilaya se caractérise par un relief diversifié, dont on retient particulièrement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau (**Figure II.1**).

Ce relief se décompose comme suit :

- Les montagnes occupent les 37,82% ;
- Les Plaines et Plateaux occupent 27,22% ;



**Figure II.1 : Relief de la région de Guelma**

### II.1.3. Climat

Le territoire de la Wilaya se caractérise par un climat subhumide au Centre et au Nord et semi-aride vers le Sud (**Figure II.2**). Ce climat est doux et pluvieux en hiver et chaud en été. La température qui varie de 4 °C en hiver à 35,4 °C en été, est en moyenne de 17,3 °C.

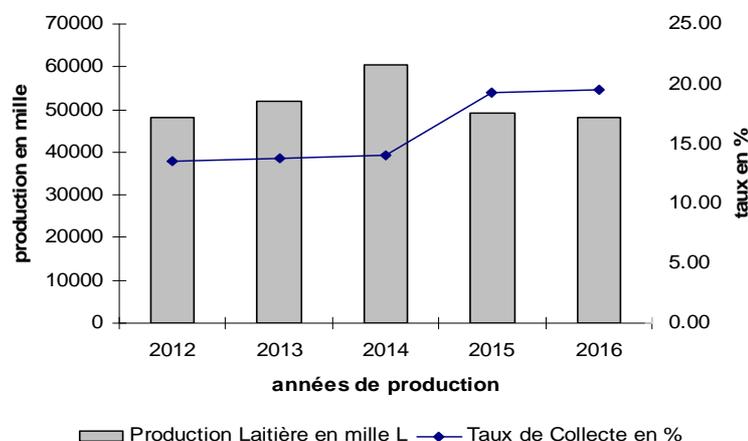
La pluviométrie varie de 350 à 400 mm/an au Sud et dépasse les 600 mm/an au Nord. Près de 57% de cette pluviométrie, est enregistrée pendant la saison humide (octobre à mai).



**Figure II.2 : Carte bioclimatique de la wilaya de Guelma**

## II.2. Situation de la production laitière dans la région de Guelma

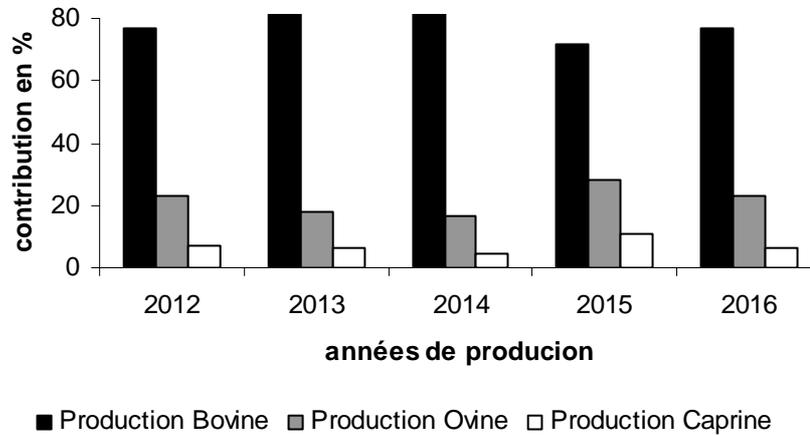
Durant la durée allant de l'année 2012 à l'année 2016, la production laitière dans cette région d'étude a subi une fluctuation importante. **La Figure II.3** montre une diminution de la production laitière durant la dite période, cette diminution peut être attribuée d'une part, aux conditions climatiques défavorables ces deux dernières années (l'augmentation de la température et la diminution de la pluviométrie) et d'autre part, aux conditions d'élevages (la hausse des prix de l'aliment de bétail). Cependant, le taux de collecte a montré une évolution importante au fil des années.



**Figure II.3 : Production laitière bovine et taux de collecte dans la région de Guelma**

(Source : établie par nos soins à partir des données de la DSA de W. de Guelma 2017)

La production laitière dans cette région d'étude est dominée par la production bovine c'est le cas des autres régions en Algérie où la contribution des autres espèces reste presque insignifiante (**Figure II.4**).



**Figure II.4 : Contribution en % des espèces bovines, ovines et caprines dans la production laitière totale dans la région de Guelma**

(Source : établie par nos soins à partir des données de la DSA de W. de Guelma 2017)

### II.3. Echantillonnage des élevages

Cette étude a été réalisée sur 48 élevages situés dans la région de Guelma. Ces élevages ont été choisis de manière à refléter les principaux types d'élevages laitiers de la région. Ce choix a été fait sur la base de la disponibilité des informations fiables et mesurées, la stabilité dans l'activité de l'élevage bovin laitier. Ceci est dans le but de disposer d'un échantillon hétérogène constitué à la fois des élevages intensifs, extensifs et périurbains.

### II.4. Enquête de terrain et collecte des données

Les données ont été collectées à l'aide des entretiens directs avec les éleveurs lors de chaque passage (4 passages par élevage), Soit au total 192 passages pour l'ensemble des élevages durant la durée d'investigation qui a été déroulée entre le mois de décembre 2016 et Mai 2017. Pour ce faire un questionnaire (annexe) était préparé d'une manière à obtenir des informations sur :

- **La structure** : les caractéristiques générales des exploitations et l'occupation du sol par les différentes cultures : situation régionale, main d'œuvre, taille du cheptel, la surface exploitée, nature de construction du bâtiment d'élevage, type de mécanisation.
- **Le fonctionnement** : réseau de collecte, la complémentation et l'usage des intrants

- **L'environnement** : les sources de pollutions recherchées ont été : le trafic routier, site industriel, incinérateurs de déchets ou décharge, villes, activités agricoles, activité minière.

## II.5. Indicateurs de risques de pollution

Afin d'agrèger les renseignements environnementaux et d'exploiter plus facilement les données, les différentes informations ont été présentées sous forme d'indicateurs.

La mise en place d'indicateurs a permis de comparer les niveaux de risque de pollution selon les élevages. Les valeurs des différents indicateurs ont ensuite été agrégées afin d'obtenir un indicateur synthétique (en point) représentant le risque pour chaque élevage. Ces indicateurs ont été déterminées à partir de la bibliographie, mais les valeurs attribuées sont indicatives et permettent seulement de comparer les données disponibles pour cette étude.

Selon les sources de pollutions identifiées et les données disponibles, les indicateurs suivants ont été retenus.

- **Présence de déchets dans la zone de pâture (PDZP)** : Les déchets laissés au pâturage se dégradent et déposent des éléments toxiques très peu solubles qui peuvent être ingérés par les animaux pâturant dans ces zones.

- 0 : absence de déchets
- 1 : déchets personnels de la ferme
- 2 : décharge

- **Circulation d'engins motorisés dans les pâturages (CEMP)** : responsables de dépôts de Cd et Pb.

- 0 : absence
- 1 : présence

- **Proximité d'une route à circulation importante (PRCI)**: La retombée du Pb et du Cd le long des routes à trafic important (axe routier principal) a été retenue pour une distance de 500 m. Au-delà, on a considéré que les particules sont dispersées par les vents sur tout le territoire (Miquel, 2001).

- 0 : route éloignée de plus de 500 m
- 1 : route à moins de 500 m

- **Distance usine, ville, exploitation minière ou pétrolière (DUVEMP)** : La dispersion des polluants émis par les usines se fait principalement par les rejets dans l'atmosphère (également par rejet dans l'eau, mais difficile à évaluer). On a retenu un rayon de 5 km pour les retombées proches des particules les plus lourdes. Il est reconnu que les sols les plus pollués sont ceux à proximité d'usine (**Miquel, 2001 ; Farmer et Farmer, 2000 ; Cai et al., 2009**). Une zone périphérique s'étalant entre 5 et 20 km correspond à la zone de diffusion locale des rejets qui dépend des conditions météorologiques, de l'occupation des sols et du relief de la zone. La dispersion par le vent à l'échelle régionale est considérée à partir de 20 km jusqu'à 400 km environ (**CRDP Amiens**).

- 0 : usine à plus de 400 km
- 1 : usine entre 20km et 400 km
- 2 : entre 5 et 20 km
- 3 : usine à moins de 5 km

- **Distance à une zone agricole (DZA)** : La contamination peut avoir lieu si les animaux pâturent sur un champ ayant été mis en culture précédemment. Sinon elle peut être due à la dispersion des produits appliqués dans les champs lors de l'épandage. Si l'épandage est réalisé alors que le vent est faible, la dérive des produits ne s'étend pas sur de grandes distances, et on estime la dispersion des gouttelettes à quelques dizaines de mètres (**Keichniger, 2006**). Le risque de pollution concerne surtout les cours d'eau à proximité de la zone d'épandage (une enquête plus approfondie serait nécessaire pour évaluer les risques liés à l'eau). Une zone de risque de 1 km a été considérée pour prendre en compte la contamination possible des cours d'eau autour des zones agricoles et la dispersion par le vent.

- 0 : pas de zones de cultures
- 1 : zone de culture à moins de 1 km

## **II.6. Prélèvement des échantillons du lait cru des vaches**

Le lait analysé est un lait de mélange de la première traite de plusieurs femelles en lactation appartenant aux troupeaux du même élevage prélevé au niveau de la ferme, à raison d'un échantillon par élevage. Pour chaque échantillon, une quantité entre un demi-litre et un litre a été prélevé après homogénéisation dans des bouteilles en verre préalablement nettoyées et séchées. Les bouteilles étaient placées immédiatement dans une glacière contenant des blocs de réfrigération et transportés vers le laboratoire. Les durées de transport varient de 1 à 2 heures selon l'éloignement des lieux de prélèvement. Afin de tenir compte des conditions

réelles de terrain, aucun conservateur n'a été rajouté. Ensuite, chaque échantillon a été codé afin de faciliter la lecture des résultats.

### II.7. Dosage des métaux lourds

Les éléments dosés dans le lait sont: le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le chrome (Cr) et le cadmium (Cd).

La destruction de la matière organique par oxydation en présence d'acides concentrés permet la minéralisation des échantillons. Un volume de 10 mL d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) concentré à 68% de pureté est ajouté à 10 mL de lait. Puis le mélange est transféré dans une capsule en céramique placée une heure sur une plaque chauffante réglée à 370 °C puis dans un four à moufles pendant quatre heures à 500 °C. 10 mL d'eau distillée à 1% d'acide nitrique a été ajouté sur les cendres obtenus après la destruction totale de la matière organique, la solution contenue dans la coupelle devenue blanche.

Les solutions minéralisées sont ensuite analysées par spectrophotométrie d'absorption atomique, dans le laboratoire d'analyses industrielles et génie des matériaux (LAIGM) de l'université 8 Mai 1945, Guelma.

La lecture est effectuée contre un blanc (eau distillé à 2 % d'acide nitrique), et le taux de chaque métal est calculé à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ( $y = ax + b$ ) établie avec des concentrations précises de chaque métal comme standard de référence, dans les mêmes conditions que l'échantillon. Les résultats sont exprimés en (mg/L).

### II.8. L'estimation de l'apport journalier (EDI : *Estimated Daily Intake*)

L'apport journalier estimé (EDI : *Estimated Daily Intake*) des métaux dépend de la concentration des métaux dans le lait ainsi, de la consommation moyenne quotidienne du lait. L'EDI a été calculé par la méthode de **Islam et al. 2014** selon la formule suivante :

$$\text{EDI (mg/jour)} = \frac{\text{Ci x consommation journalière}}{\text{P}}$$

Cette formule a été adaptée dans le contexte Algérien selon la consommation moyenne annuelle par personne estimée à 100 Kg/personne/an (**Srairi et al., 2013**) soit l'équivalent de 273 (g/jour), **p** : c'est le poids moyen d'un consommateur adulte qui est de 60 kg, **Ci** : c'est la concentration moyenne des métaux dans le lait (mg/L).

## II.9. Traitement des données et analyses statistiques

Les données ont été analysées avec le logiciel SPSS® version 20. Les analyses statistiques ont été réalisées selon les étapes suivantes :

- Une analyse descriptive pour le calcul des moyennes, des écarts types, le coefficient de la variation, des maximum et minimum des paramètres étudiés.

- La normalité et l'homogénéité des variances ont été vérifiées à l'aide des tests Shapiro-Wilk et Levene.

- Les variables quantitatives exprimées en moyenne  $\pm$  écart type ont été comparées à l'aide d'un test non paramétrique de Kruskal-Wallis, et en cas de multiples, le test de Dunn a été utilisé. Une valeur de  $p < 0,05$  est considérée significative.

- Les variables quantitatives ayant des variances qui sont égales ( $p > 0,05$ ) entre elles ont été comparées à l'aide d'un test paramétrique ANOVA à un facteur, et en cas de multiples comparaisons, le test LSD a été utilisé. Une valeur de  $p < 0,05$  est considérée significative.

- Le test des rangs de Spearman a servi à la recherche de corrélations entre les différents métaux lourds étudiés dont le but de quantifier la liaison entre eux de manière à mettre en évidence le sens de liaison et son intensité.

### III.1. Échantillonnage des élevages étudiés

La présente étude a été réalisée dans 48 élevages laitiers répartis sur trois systèmes d'élevages différents : système extensif, intensif et périurbain. En effet, les élevages sélectionnés sont représentatifs des systèmes de production les plus répandus dans cette région d'étude. L'échantillon est caractérisé par une répartition presque équitable des élevages selon les trois systèmes d'élevages bovin laitier les plus répandus dans cette région d'étude (Tableau III.1).

**Tableau III.1 : Les différents types d'élevages échantillonnés**

	Modalité	Signe	Nombre	Pourcentage
<b>Type d'élevage</b>	élevage extensif	EE	17	35,41
	élevage intensif	EI	14	29,16
	élevage péri urbain	EPU	17	35,41

Les variables retenues pour décrire la structure et le fonctionnement des élevages enquêtés ont fait l'objet d'une analyse descriptive. Les résultats sont présentés dans le **Tableau III.2**.

**Tableau III.2 : Caractéristiques structurelles et fonctionnelles des élevages enquêtés**

	indicateur	EE	EI	EPU
<b>Structure</b>	ST (ha)	7,41	14,42	4,22
	SAU (ha)	5,64	11,57	2,61
	SF (ha)	1,23	1,29	0
	CE (tête)	31,70	22,21	17,83
<b>Fonctionnement</b>	E. VL (tête)	15,25	18,07	10,83
	E. VLM (tête)	4,76	9,85	6,72
	E. VLL (tête)	8,17	5,57	2,16
	E. VLC (tête)	2,29	1,14	1,77
	GTB 1 (%)	0	100	5
	GTB 2 (%)	50	0	25

	<b>GTB 3 (%)</b>	50	0	70
	<b>ERCL (%)</b>	52,94	78,57	33,33

*ST : surface totale ; SAU : surface agricole utile ; SF surface fourragère, CE : capacité d'étable ; E. VL : effectif vache laitière ; VLM : effectif vache laitière race moderne VLL : effectif vache laitière race locale ; VLC : effectif vache laitière race croisé; ERCL : existence d'un réseau de collecte de lait ; GTB : Gardiennage du troupeau bovin ; GTB 1 : gardés sur les terres de l'exploitation ; GTB2 : gardé hors exploitation ; GTB3 : pacage hors exploitation avec le retour chaque soir.*

### III.2. Situation des différents types d'élevages par rapport aux risques de pollution

L'enquête environnementale montre que l'environnement dans lequel évoluent les animaux est soumis à de multiples sources de pollution. L'utilisation des indicateurs permet de prendre en compte les risques dus aux plusieurs facteurs de pollution à savoir : la présence de déchets dans les zones de pâturages, la présence d'engins autour des zones de pâturages (voitures et autres), la proximité d'une route à circulation importante et la distance à une zone urbaine, industrielle et agricole. Le **tableau III. 3** et la **figure III. 1** présentent les valeurs moyennes des indicateurs pour chaque type d'élevage. L'indicateur PDZP est primordial dans l'analyse du risque de contamination. En effet, les élevages présentent un risque d'autant plus élevé, que les pâturages exploités par les vaches sont soumis à la présence de déchets. Cet indicateur enregistre la note la plus élevée dans les élevages périurbains avec une note moyenne de 1,294 point soit 43,13% du score théorique maximal. La proximité des élevages aux habitations a permis d'augmenter ce score. De ce fait, une différence significative ( $p < 0,05$ ) était signalée entre les types d'élevages. Les élevages périurbains ayant les moyennes les plus élevées en comparaison avec les autres type d'élevage (**Tableau III.3 et Figure III.1.A**).

L'analyse de la variance au seuil de 5% ne montre aucune différence significative entre les types d'élevages pour l'indicateur CEMP. Cependant, la moyenne la plus élevée a été enregistrée en élevage périurbain en comparaison avec les autres types où la majorité des éleveurs périurbain ne disposent pas de terre. Le cheptel bovin vit constamment sans gardiennage (cheptel errant). Les vaches appartiennent au système périurbain, qui pâturent dans la ville ou à la proximité des zones urbaines, et qui sont exposées aux seuils les plus élevés de pollution dus aux Pb et Cd provenant de la circulation automobile. Outre, le trafic routier est omniprésent dans l'espace périurbain.

La contamination des sols est majoritairement d'origine atmosphérique et les sources de pollution peuvent être les gaz d'échappement et les fumées d'usine. Dans la littérature, ce sont

surtout les facteurs liés à la proximité des routes, des aéroports et des usines polluantes qui ont été étudiées. Ainsi, les endroits situés près des autoroutes à fort trafic apparaissent plus pollués notamment par les métaux lourds comme le Pb, Zn, Cu, Cd (Omar et Al-Khashman, 2004). De ce fait, pour l'indicateur PRCI, la moyenne atteint 94,10% du score maximum théorique dans les élevages périurbain contre 85,57% et 88,20 dans les élevages extensifs et intensifs respectivement.

Néanmoins, il n'existe aucune différence significative ( $p>0,05$ ) entre les types d'élevages (Tableau III.1). Les activités industrielles menacent toutes les élevages dans chacun des systèmes où la moyenne de l'indicateur DUVEMP était très élevée pour les trois systèmes, mais certains élevages sont directement exposés à la pollution qui sont plus proches des usines.

La totalité des élevages intensifs enquêtés atteint la valeur maximale relative à l'indicateur DZA. Outre, les élevages extensifs ont obtenu une moyenne aussi élevée de l'ordre de 0,941 soit 94,10% du maximum théorique. Les écosystèmes agricoles sont de forts émetteurs de polluants, en particulier ceux en relation avec les apports d'intrants sur les parcelles cultivées (fertilisants et produits phytopharmaceutiques) (Stella et al., 2013).

Tableau III.3 : Les indicateurs de risque en fonction des différents types d'élevages

indicateur	EE	EI	EPU	P
<b>PDZP (3)*</b>				
N	17	14	17	
Min	0	1	0	<b>0,048</b>
Max	1	1	2	
$\mu \pm \sigma$	0,882±0,332	1±0,00	1,294±0,771	
Rang moyen	20,65 <sup>a</sup>	23,00 <sup>ab</sup>	29,59 <sup>b</sup>	
<b>CEMP (2)*</b>				
N	17	14	17	
Min	0	0	1	<b>0,3</b>
Max	1	1	1	
$\mu \pm \sigma$	0,882±0,332	0,857±0,363	1±0,00	
Rang moyen	23,68 <sup>a</sup>	23,07 <sup>a</sup>	26,50 <sup>a</sup>	
<b>PRCI (2)*</b>				
N	17	14	17	

<b>Min</b>	0	0	0	<b>0,109</b>
<b>Max</b>	1	1	1	
$\mu \pm \sigma$	0,647 $\pm$ 0,492	0,714 $\pm$ 0,468	0,941 $\pm$ 0,242	
<b>Rang moyen</b>	21,53 <sup>a</sup>	23,14 <sup>a</sup>	28,59 <sup>a</sup>	
<b>DUVEMP (3)*</b>				
<b>N</b>	17	14	17	
<b>Min</b>	1	1	2	
<b>Max</b>	3	3	3	<b>0,671</b>
$\mu \pm \sigma$	2,294 $\pm$ 0,771	2,50 $\pm$ 0,650	2,529 $\pm$ 0,514	
<b>Rang moyen</b>	22,32 <sup>a</sup>	25,75 <sup>a</sup>	25,65 <sup>a</sup>	
<b>DZA (1)*</b>				
<b>N</b>	17	14	17	
<b>Min</b>	0	1	0	<b>0,195</b>
<b>Max</b>	1	1	1	
$\mu \pm \sigma$	0,941 $\pm$ 0,242	1,00 $\pm$ 0,00	0,823 $\pm$ 0,393	
<b>Rang moyen</b>	25,09 <sup>a</sup>	26,50 <sup>a</sup>	22,26 <sup>a</sup>	

\* : Maximum théorique ; ;  $\mu \pm \sigma$  : Moyenne  $\pm$  écart-type ; PDZP : Présence de déchets dans la zone de pâture ; CEMP : Circulation d'engins motorisés dans les pâturages ; PRCI : Proximité d'une route à circulation importante ; DUVEMP : Distance usine, ville, exploitation minière ou pétrolière ; DZA : Distance à une zone agricole. Pour chaque indicateur, le seuil de signification  $p < 0,05$  test Kruskal-Wallis suivi par le test Post Hoc Dunn.

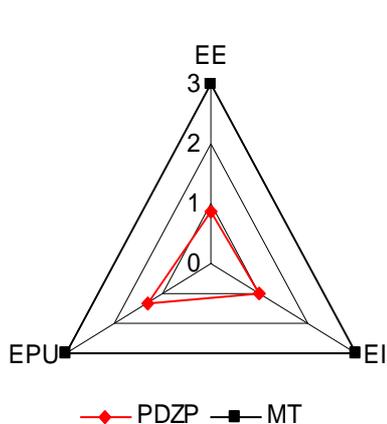


Figure III.1.A : Indicateur PDZP

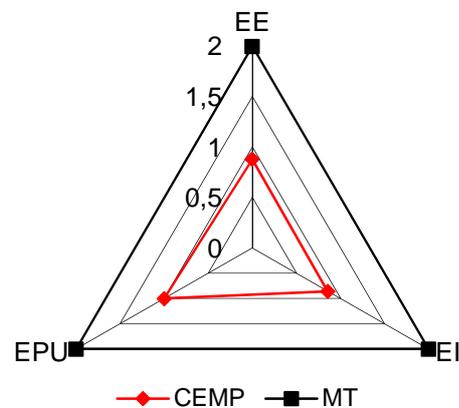
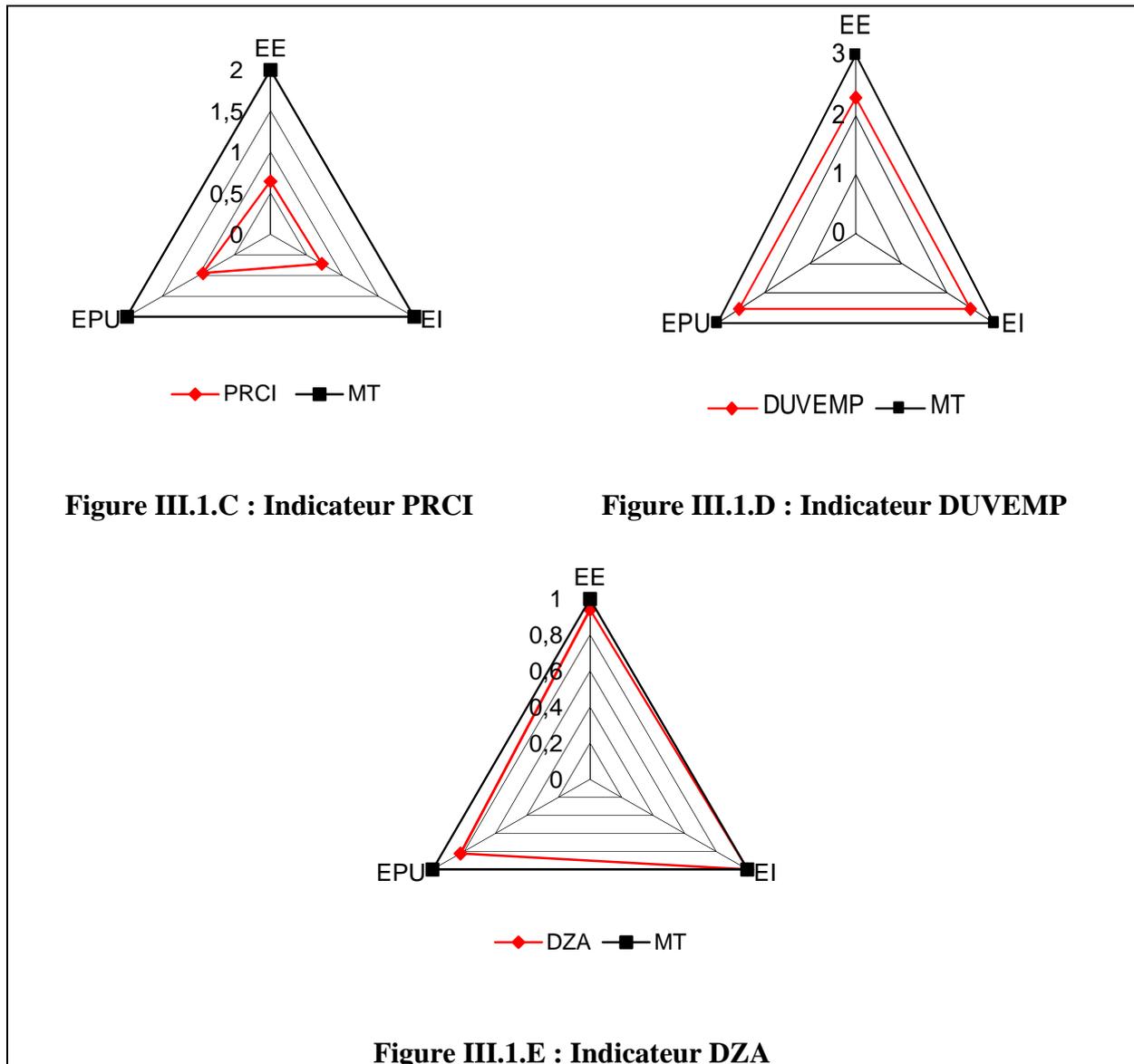


Figure III.1.B : Indicateur CEMP



**Figure III.1 : Scores des indicateurs de risque de la pollution selon les types d'élevage**

Au final, l'indice synthétique de pollution varie de 4 à 8 selon les élevages. Cet indice est sensé d'exprimer un gradient du risque de contamination des élevages sélectionnés. De plus, une différence significative ( $p < 0,05$ ) était très marquée entre les valeurs moyennes pour les élevages extensifs et des valeurs élevées pour les élevages périurbains (**Tableau III.4**). En effet, les vaches appartiennent au système périurbain sont plus exposées aux pollutions et peuvent donc être le vecteur de la contamination alimentaire à l'homme. Les territoires périurbains, zones de transition entre les zones urbaines et rurales, sont soumis à de nombreuses pollutions, à la fois gazeuses et particulaires. Ces pollutions proviennent de sources locales, comme les activités résidentielles, le trafic routier et les activités agricoles

(Lee et Fernando, 2013). Par contre, le système extensif était le type le moins affecté en comparaison avec les autres types d'élevage.

**Tableau III.4 : Indice synthétique du risque de pollution des élevages sélectionnés en fonction des types d'élevages**

	N	$\mu$	$\sigma$	Min	Max	%MT	S. de Levene	ANOVA
EE	17	5,647 <sup>b</sup>	0,996	4	7	51,33		
EI	14	6,071 <sup>ab</sup>	0,828	5	7	55,19	$p = 0,452$	$p = 0,01$
EPU	17	6,588 <sup>a</sup>	0,712	6	8	59,89		

$\mu \pm \sigma$  : Moyenne  $\pm$  écart-type; MT: Maximum théorique ; pour chaque paramètre ; S. de Levene : Test d'homogénéité des variances ; les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales. Test LSD.

### 3. Évaluation de la contamination des métaux lourds dans le lait cru

L'un des principaux problèmes avec les métaux est leur capacité à se bioaccumuler. Les résidus de métaux dans le lait posent un problème majeur dans la santé publique. Outre, le lait est un aliment de base largement consommé par les nourrissons, les enfants et les adultes (Tripathi et al., 1999).

La concentration en Fe, Cu, Zn, Cd et Cr dans des échantillons de lait provenant de cette zone d'étude sont illustrés dans le tableau III.5.

Tous les métaux recherchés sont présents dans les échantillons étudiés provenant des différents systèmes d'élevages à des concentrations très hétérogènes. L'ordre d'importance des teneurs métalliques est le suivant : Zn > Fe > Cu > Cd > Cr. Le niveau de Zn était le plus élevé dans les échantillons de lait analysé dans cette étude, avec une concentration qui varie de 3,488 à 11,00 mg /L soit une moyenne de 5,983 mg /L.

Le Fe était le deuxième élément le plus retrouvé dans l'ensemble des échantillons avec une moyenne de 1,432 mg /L suivi par le Cu qui a une concentration moyenne de 0,239 mg/L.

Parmi ces trois micros éléments à savoir le Zn, le Cu et le Fe qui sont des éléments qui se trouvent naturellement dans le lait, le Zn était l'élément le plus homogène, avec un coefficient de variation le plus faible, les teneurs enregistrées en Zn présentent une faible variabilité comparativement aux teneurs enregistrées en Fe et en Cu. Le chrome enregistre des concentrations très hétérogènes avec un coefficient de variation supérieur à 100% d'où un

intervalle de variation très étendu qui varient entre 0,013 à 0,582 mg/L avec une moyenne de 0,086 mg/L.

Pour le cadmium, les teneurs sont plus faibles soit une moyenne de 0,030 mg/L et moins variable avec un coefficient de variation de 43,80%. Le taux de Cd était compris entre un maximum de 0,067 mg/L et un minimum de 0,010 mg/L.

**Tableau III.5 : Caractéristiques descriptives des concentrations des métaux moyennes des échantillons du lait cru analysés (mg/L)**

Métaux (mg/L)	N	Min	$\mu \pm \sigma$	Max	CV (%)	Norme* $\mu\text{g/mL}$
Fe	48	0,467	1,432 $\pm$ 0,582	3,151	40,60	0,037
Cu	48	0,133	0,239 $\pm$ 0,166	1,275	69,40	0.01
Zn	48	3,488	5,983 $\pm$ 2,040	11,00	34,10	0.328
Cd	48	0,010	0,030 $\pm$ 0,013	0,067	43,80	0.0026
Cr	48	0,013	0,086 $\pm$ 0,114	0,582	132	/

$\mu \pm \sigma$ : Moyenne  $\pm$  écart-type; \*Niveau maximal selon la norme de la Fédération internationale des produits laitiers (IDF, 1979); (1 mg/L = 1  $\mu\text{g/mL}$  = 1ppm); % des échantillons qui présentent une teneur inférieure au critère légal, N : nombre d'échantillons analysés.

Les concentrations du Fe, Cu, Zn et Cd dépassent largement le maximum recommandé par la fédération internationale des produits laitiers qui est de 0,037  $\mu\text{g/mL}$ , 0,01  $\mu\text{g/mL}$ , 0,328  $\mu\text{g/mL}$  et 0,0026  $\mu\text{g/mL}$ , respectivement (IDF Standard, 1979). Les concentrations en métaux lourds se caractérisent par une hiérarchie des concentrations ; les plus élevées étant celles du Zn suivies par le Fe et le Cu. Ce constat a été trouvé par (Chafaa et al., 2015) qui déclarent que pour la même concentration dans le milieu, le Zn s'accumule plus rapidement que d'autres métaux lourds.

La concentration en Zn était plus élevée que celles rapportées par Farag et al. (2012), et Arafa et al. (2014), en Egypte. Pour le Fe, la teneur trouvée dans le lait cru des vaches dans cette région d'étude était nettement inférieure aux valeurs indiquées par Farag et al. (2012), soit 16,38 ppm en Egypte et par Abdul et al. (2012), au Palestine qui ont trouvé une teneur

moyenne de 8,23 mg/L. Cependant, la teneur en Fe était largement supérieure à la valeur indiquée par **Khalil et Seliem (2013)** en Arabie Saoudite qui est de 1,13 mg/L.

Le Fe peut constituer un problème dans les produits laitiers lors de la transformation du lait en raison de son effet catalytique sur l'oxydation des lipides avec le développement des odeurs désagréables, affectant les protéines et les lipoprotéines membranaires du globule gras du lait (**Lant et al., 2006**).

La concentration moyenne du Cu était nettement inférieure aux valeurs indiquées par plusieurs auteurs dans diverses régions du monde, comme celle trouvée par **Ali et al. (2011)**, au Nigéria (0,59 mg/L) ; **Abdul et al. (2012)**, au Palestine (0,66 mg/L) et par **Farag et al. (2012)**, en Egypte (2,836 mg/L), et presque égale par rapport à celle enregistrée en Ethiopie (0,206 mg/L) par **Alem et al. (2015)**.

D'après **Mitchell (1981)**, l'alimentation animale et plus particulièrement l'eau d'abreuvement constitue le facteur le plus important de la contamination du lait en Cu.

En comparaison avec le Fe, Cu et le Zn considérés comme des micros éléments non toxique à des faibles doses, les métaux lourds les plus toxiques sont le Cd et le Cr (**Nies, 1999**).

La valeur moyenne de la contamination cadmique montre une moyenne de 0,030 mg/L. Ces résultats étaient en désaccord avec **Lant et al. (2006)**, qui ont constaté que le Cd était absent dans les échantillons de lait analysés. Ainsi, le taux de ce polluant trouvé dans cette région d'étude était relativement moins important que ceux relevés par d'autres études où les teneurs en cadmium enregistrées par **Mohammed et al. (2013)**, au Pakistan et **Farag et al. (2012)**, en Egypte était de 0,97 mg/L et 0,288 mg/L respectivement. Le cadmium n'est pas un métal indispensable, il affecte directement la santé humaine et animale et peut s'accumuler dans le corps, en particulier dans le rein, le foie et, dans une moindre mesure, dans les muscles (**Schwarz et al, 1991 ; Koh et al., 1998**), mais des travaux récents ont suggéré que les bovins laitiers peuvent être plus sensibles à l'accumulation de Cd par rapport aux bovins de boucherie (**Alonso et al., 2003**).

Pour le Chrome, la teneur trouvée était nettement inférieure aux valeurs indiquées par **Islam et al. (2015)**, au Bangladesh (1,6 mg/L) et par contre, elle dépasse légèrement celle trouvée par **Alem et al. (2015)** en Ethiopie (0,064 mg/L). La législation européenne n'a pas encore fixé de réglementation sur le chrome dans le lait et les produits laitiers.

En plus de Zn et de Cu, les métaux lourds tels que le Cr, et le Cd sont généralement considérés comme des contaminants des aliments laitiers qui sont importés dans la ration involontairement, généralement par des concentrés et des compléments contenant des

phosphates (McBride *et al.*, 2001). L'application de métaux lourds aux sols sous forme de fumier peut être absorbée par les cultures fourragères, ce qui peut exacerber l'exposition des métaux lourds aux vaches laitières à long terme. Cependant, le Cr est de nature omniprésente, se produit dans l'air, l'eau, le sol et les matériaux biologiques, et la complémentation n'est pas essentielle. Des réponses favorables à la complémentation en Cr ont été rapportées dans la production de porc, mais pas chez les bovins laitiers, bien que les études soient limitées (European Commission, 2003).

L'étude comparative montre une grande variabilité dans les valeurs observées dans cette région d'étude et les valeurs relevées dans la littérature. Cette variabilité n'est pas le seul fait des niveaux de contamination. En effet, pour les différentes espèces animales, la biodisponibilité, l'absorption, la mobilité, l'accumulation et l'excrétion d'un élément ne sont pas comparables, et même si la quantité ingérée est comparable, la composition du lait ne le sera pas. Parfois, chez les animaux de même espèce, le métabolisme des éléments est différent au niveau génétique (Coni *et al.*, 1996).

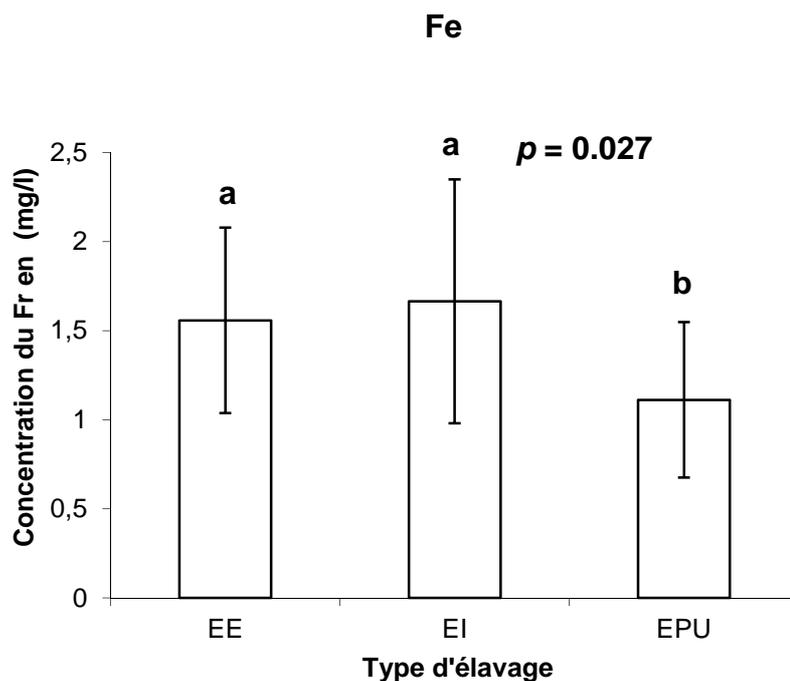
### III.4. Analyse comparative de la concentration du lait cru en métaux lourds en fonction des types d'élevages

Les données sur la teneur en métaux lourds dans le lait en fonction des trois systèmes d'élevages sont rapportées dans le **tableau III.6**.

En comparaison aux seuils de toxicité pour les différents métaux étudiés recommandés par la fédération internationale des produits laitiers (IDF Standard, 1979) (Tableau III.5) aucun type d'élevage n'a répondu aux recommandations où ils ont montré des teneurs moyens au-dessus de seuil limite de tolérance.

La teneur moyenne la plus élevée en Fe s'observe dans les élevages intensifs par rapport aux autres types d'élevage ( $p = 0,027$ ) (Figure III.2). Donc le lait produit dans les élevages intensifs a montré des teneurs plus élevées en Fe.

Les fluctuations de concentrations pourraient être liées aux pratiques d'alimentation où les élevages intensifs sont basés sur la complémentation en aliment concentré. De plus, la concentration en Fe était corrélée positivement avec l'indicateur DZA ( $r = 0,299$ ,  $p = 0,039$ ), ceci montre l'effet de l'élevage intensif très marqué par la fertilisation, la complémentation et l'usage des médicaments vétérinaires. Le lait et les produits laitiers peuvent être également contaminés et avoir des effets nocifs quand ils sont consommés en grande quantité. Dey *et Swarup*, (1996) ont montré des relations entre les teneurs en métaux lourds dans le lait du bétail et dans leur alimentation.



*Pour chaque indicateur, le seuil de signification  $p < 0,05$  test Kruskal-Wallis suivi par le test Post Hoc Dunn. Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les figures) qui leurs correspondent sont différentes.*

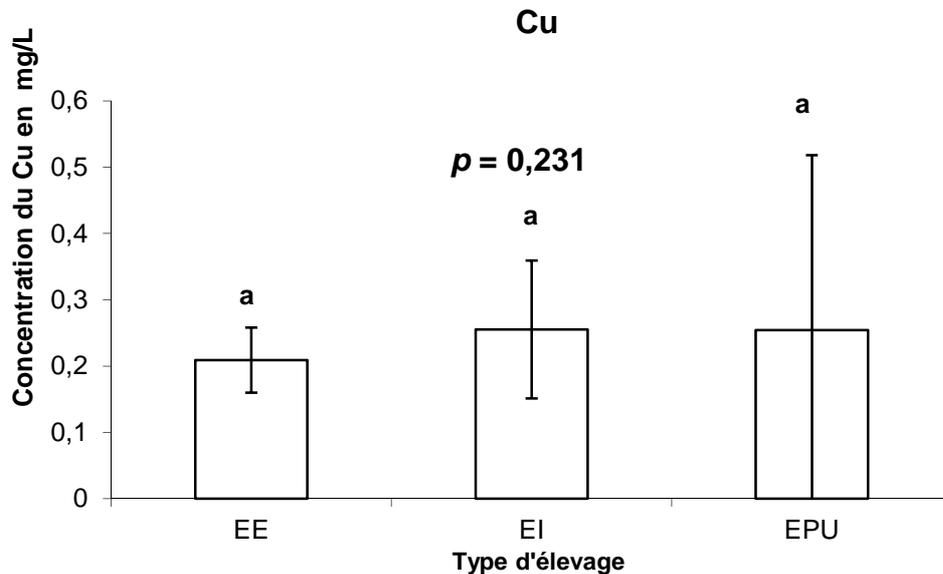
**Figure III.2 : Variation du taux moyen du Fe en fonction du type d'élevage**

Le Cu est un élément naturellement présent dans le lait, dont les teneurs normales pour le lait de vache sont comprises entre 0,1 et 0,4 ppm (FAO, 1998). Mais, pour l'Union Européen la limite maximale admissible pour le Cu est 0,05 ppm.

Les échantillons de lait des élevages intensifs, les plus riches en Cu (0,255 mg/L) présentent une teneur moyenne légèrement plus élevée, par rapport aux autres élevages.

Cependant, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les trois systèmes d'élevages ( $p = 0,231$ ) (figure III.3). Selon Simsek et al. (2000), le niveau de la contamination du lait en cuivre dépend de la zone d'élevage. Les mêmes auteurs, ont travaillé sur des échantillons du lait de vache dans 3 zones différentes ayant des caractéristiques de pollution de l'environnement différentes : zones industrielle, routière et rurale. Les laits issus de ces 3 zones contenaient respectivement 0,96 ppm, 0,58 ppm et 0,39 ppm de Cu en moyenne, le lait de zone industrielle étant significativement plus riche en Cu que celui de zone routière ( $p < 0,01$ ) lui-même significativement plus riche que celui de zone rurale ( $p < 0,01$ ). Ces résultats mettent en évidence l'impact des activités humaines sur les teneurs en

cuivre dans le lait de vache, qui dans un environnement industriel et routier deviennent supérieures aux teneurs normales.

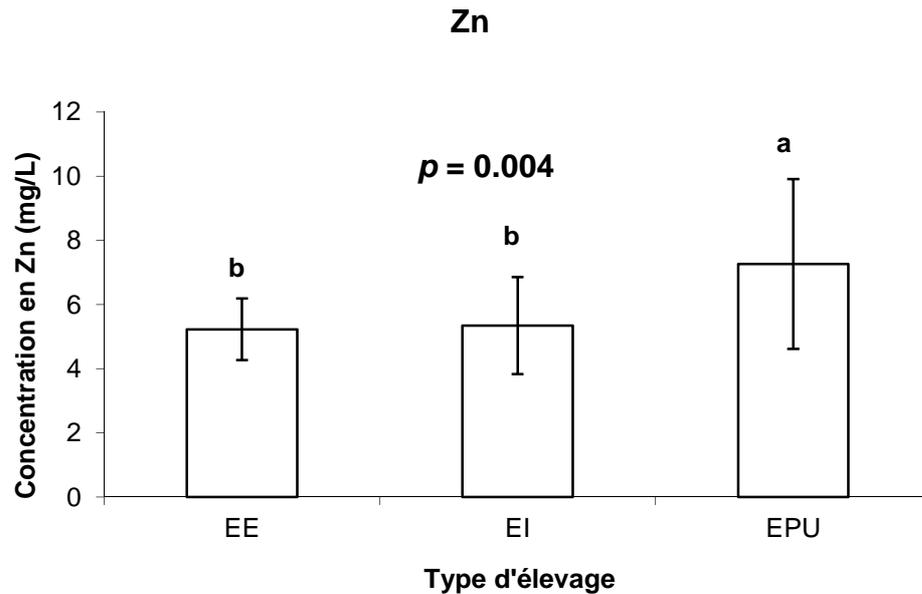


Pour chaque indicateur, le seuil de signification  $p < 0,05$  test Kruskal-Wallis suivi par le test Post Hoc Dunn. Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les figures) qui leurs correspondent sont différentes.

**Figure III.3 : Variation du taux moyen du Cu en fonction du type d'élevage**

La concentration moyenne la plus faible en Zn était enregistrée dans les élevages extensifs. Cette concentration est en dessous de la moyenne de l'échantillon global. Par contre, la concentration moyenne obtenue dans les élevages périurbains était significativement plus élevée ( $p < 0,05$ ) (**Figure III.4**), avec une moyenne de 7,262 mg/L. Cette teneur était élevée par rapport à la moyenne de l'échantillon global et aux autres résultats de la littérature.

La présence du zinc dans le lait est normale et fait partie de la composition naturelle du lait. Néanmoins, il devient gênant lorsqu'il est en excès. Ainsi, la FAO a déterminé que la teneur normale en zinc dans le lait de vache était de 3 à 6 mg/L (**FAO, 1998**). En effet, le lait produit par les différents systèmes d'élevages contient une concentration importante en Zn. Néanmoins, certains auteurs ont mesuré des teneurs en zinc dans le lait de vache de zones industrielles, routières et rurales respectivement de : 5,01 ppm, 4,49 ppm et 3,77 ppm (**Simsek et al., 2000**), ou encore de 3,177 ppm (**Tripathi et al., 1999**) et de 2,016 ppm (**Licata et al., 2003**).



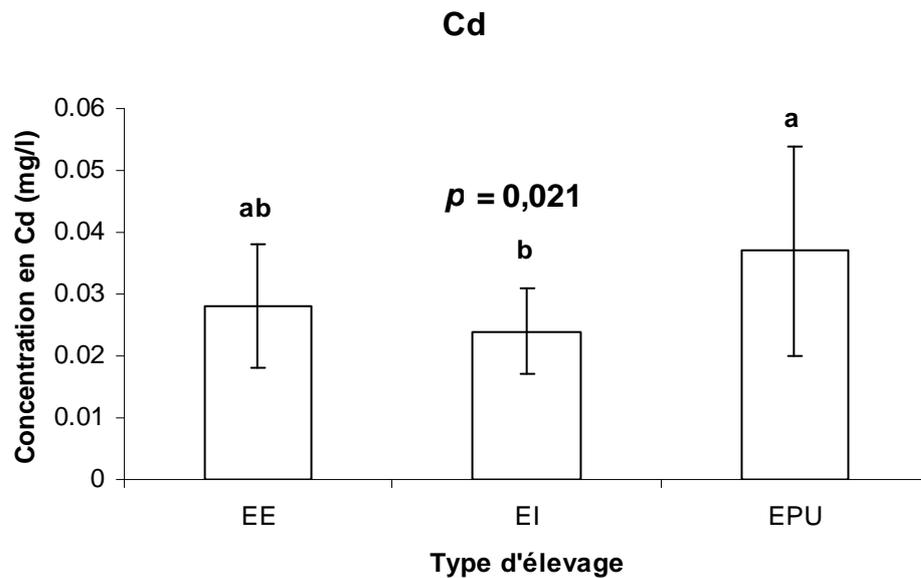
Pour chaque indicateur, le seuil de signification  $p < 0,05$  test Kruskal-Wallis suivi par le test Post Hoc Dunn. Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les figures) qui leurs correspondent sont différentes.

**Figure III.4 : Variation du taux moyen du Zn en fonction du type d'élevage**

La concentration moyenne la plus élevée en Cd a été enregistrée dans les élevages périurbains avec une concentration qui varie de 0,01 à 0,04 mg/L, soit une moyenne de 0,024 mg/L, cette moyenne est significativement plus élevée ( $p < 0,05$ ) par rapport à celles enregistrée en élevage intensif et extensif. Les élevages périurbains sont réputés pour l'intensité de son trafic routier. En revanche, l'indicateur PRCI était corrélé significativement avec la concentration en Cd ( $r = 0,32, p < 0,05$ ). Ceci est en accord avec les résultats rapportés par (Simsek et al., 2000 ; Bhatia et Choudhri, 1996 ; Farmer et Farmer, 2000 ; Cai et al., 2009), et qui ont trouvé que le lait produit par des vaches pâturant le long d'un axe routier ont montré des teneurs en éléments traces élevées, d'autant plus lorsque le trafic routier était important. Dans une autre étude réalisée au Pakistan, les concentration moyennes du Cd dans le sol ont été déterminées près des routes principales, secondaires et tertiaires (Khan et al., 2011). La teneur moyenne était de 6,0 ppm, mais il y avait une variation significative ( $p < 0,01$ ) dans les concentrations selon le type de route (principale, secondaire et tertiaire) qui se distinguaient par la densité du trafic (Khan et al., 2011). D'après Olsson et al. (2001), le risque de transfert du Cd du sol vers le lait est élevé, et surtout avec une forte accumulation dans le sol. Les mêmes auteurs ont trouvé une différence de contamination en Cd des tissus animaux qu'il pourrait il y avoir entre des vaches laitières biologiques et conventionnelles.

Les résultats de cette étude montrent des taux de Cd dans les reins, le foie, et les tissus mammaires des vaches biologiques significativement inférieurs à ceux des vaches conventionnelles (Olsson *et al.*, 2001).

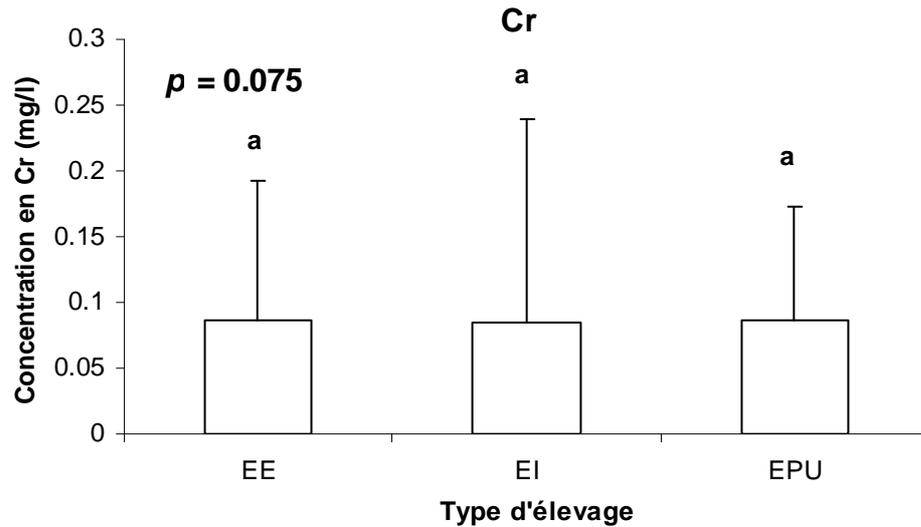
Le sol peut passer dans l'organisme animal avec les plantes sous forme des petites particules de terre et par l'air sous forme de poussières. Le sol peut ainsi devenir la principale source de contamination par les métaux lourds pour les animaux (Healy *et al.*, 1970; Hargreaves *et al.*, 2011), d'autant que certains herbivores ingèrent une part importante de sol dans leur ration lors de leur séjour au pâturage.



*Pour chaque indicateur, le seuil de signification  $p < 0,05$  test Kruskal-Wallis suivi par le test Post Hoc Dunn. Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les figures) qui leurs correspondent sont différentes.*

**Figure III.5 : Variation du taux moyen en Cd en fonction du type d'élevage**

Le taux moyen en Cr était presque le même dans les trois types d'élevages d'où l'absence d'une différence significative ( $p = 0,075$ ) entre les types d'élevages (Figure III. 6). Cette stabilité pourrait être expliquée par les faibles concentrations trouvées dans les élevages.



Pour chaque indicateur, le seuil de signification  $p < 0,05$  test Kruskal-Wallis suivi par le test Post Hoc Dunn. Les différences sont significatives lorsque toutes les lettres (indiquées sur les figures) qui leurs correspondent sont différentes.

Figure III.6 : Variation du taux moyen en Cr en fonction du type d'élevage

Tableau III.6 : Concentration moyenne des métaux lourds en mg/L en fonction des différents types d'élevages

Métal	EE	EI	EPU
<b>Fe</b>			
N	17	14	17
Min	1,04	1,01	0,47
Max	3,15	3,10	1,84
$\mu \pm \sigma$	1,558 $\pm$ 0,521	1,665 $\pm$ 0,684	1,112 $\pm$ 0,436
<b>Cu</b>			
N	17	14	17
Min	0,15	0,17	0,13
Max	0,33	0,54	1,27
$\mu \pm \sigma$	0,209 $\pm$ 0,049	0,255 $\pm$ 0,104	0,254 $\pm$ 0,264
<b>Cd</b>			
N	17	14	17
Min	0,01	0,01	0,01
Max	0,05	0,04	0,07

<b><math>\mu \pm \sigma</math></b>	0,028±0,01	0,024±0,007	0,037± 0,017
<b>Cr</b>			
<b>N</b>	17	14	17
<b>Min</b>	0,02	0,01	0,03
<b>Max</b>	0,45	0,58	0,35
<b><math>\mu \pm \sigma</math></b>	0,086±0,106	0,085±0,155	0,086±0,087
<b>Zn</b>			
<b>N</b>	17	14	17
<b>Min</b>	4,20	3,57	3,49
<b>Max</b>	8,23	9,31	11,00
<b><math>\mu \pm \sigma</math></b>	5,230±0,961	5,342±1,512	7,262±2,645

*Moyenne ± écart-type ; N : nombre d'échantillons analysés ; Max : maximum ; Min : minimum*

Le Coefficient de corrélation de Spearman au seuil de 5% ne montre aucune corrélation significative entre le Cd et l'indice synthétique de la pollution ( $r = 0,098$ ,  $p = 0,508$ ). Le même résultat a été trouvé entre le Cr et l'indice synthétique de pollution ( $r = 0,209$ ,  $p = 0,154$ ). Seule une tendance peut être observée (**Figure III. 7**), où il y a une tendance à l'augmentation du Cd et Cr en fonction de l'indice de pollution, il semble qu'il y ait une augmentation des concentrations en métaux lourds (Cr et Cd) avec des indices de 6 à 8.

Les liens entre la contamination et sources potentielles de pollution ont été étudiées par exemple en Italie par **Ronchi et al. (2008)**, mais sans utiliser un index synthétique. Un tel index peut être utile dans la mesure où les différents critères qui le composent s'avèrent pertinents au regard de la contamination étudiée. Toutefois, sa limite réside dans le fait qu'on attribue le même poids à chacun des critères retenus : ainsi la distance à la source de pollution est de même poids que la force des vents dominants. Au regard de nos résultats, cet index s'avère intéressant pour évaluer les risques de pollution dans les sols, mais peu pour le lait.

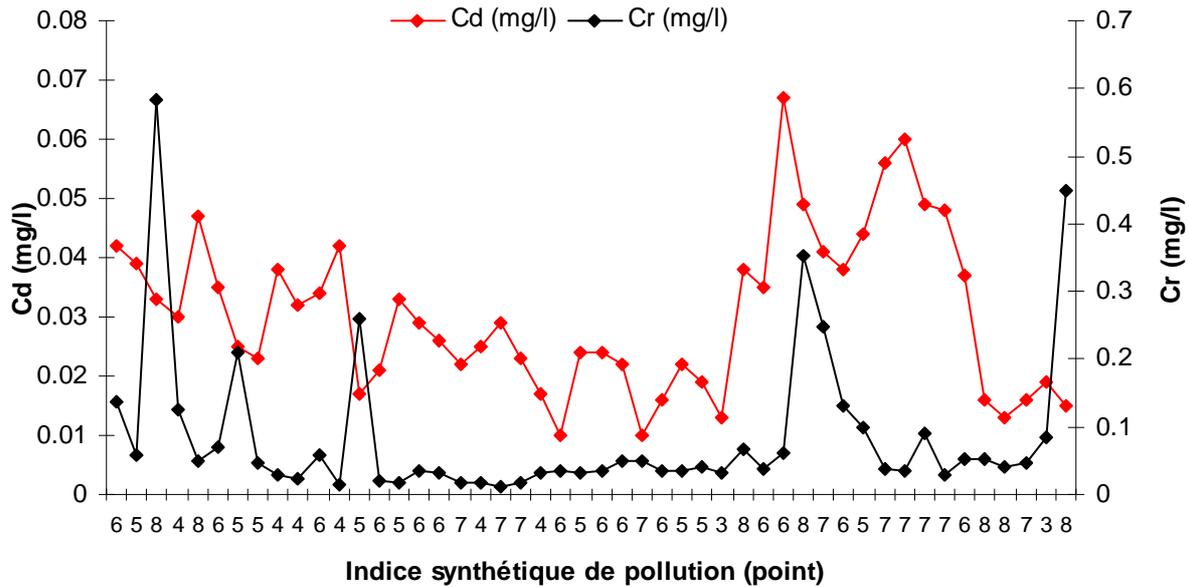


Figure III.7 : Liens entre le teneur en Cd et Cr dans le lait et l’indicateur de pollution

III.5. Relation entre les différents métaux lourds étudiés

Pour chercher des éventuelles relations entre les différents métaux lourds étudiés du lait cru de vache, le coefficient de corrélation de Spearman nous montre que le Fe présente une corrélation négative, très hautement significative avec le Cd ( $r = -0.436, p = 0,002$ ).

De même, le Fe était également corrélé négativement avec le Zn ( $r = - 0.322, p = 0,026$ ), et le Zn était également corrélé négativement avec le Cu. Outre, aucune corrélation n a été constaté entre les métaux les plus toxiques à savoir le Cr et le Cd ( $r = 0.163, p = 0,268$ ) (Tableau III. 7).

Tableau III.7 : Coefficient de corrélation de Spearman entre les différents métaux lourds dosés dans le lait cru

	Éléments	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Cd (mg/l)	Cr (mg/l)	Zn (mg/l)
Total	Fe (mg/l)	1				
	Cu (mg/l)	0,187	1			
	Cd (mg/l)	<b>-0,436**</b>	-0,031	1		
	Cr (mg/l)	0,165	-0,148	0,163	1	
	Zn (mg/l)	<b>-0,322*</b>	<b>-0,310*</b>	0,095	0,009	1
	Fe (mg/l)	1				

EE	Cu (mg/l)	0,307	<b>1</b>			
	Cd (mg/l)	<b>-0.824***</b>	-0.212	<b>1</b>		
	Cr (mg/l)	0.088	-0.053	-0.278	<b>1</b>	
	Zn (mg/l)	-0.169	0.274	0.176	0,00	<b>1</b>
EI	Fe (mg/l)	<b>1</b>				
	Cu (mg/l)	-0.026	<b>1</b>			
	Cd (mg/l)	0.185	-0.002	<b>1</b>		
	Cr (mg/l)	-0.275	0.069	-0.018	<b>1</b>	
	Zn (mg/l)	0.399	-0.156	-0.152	-0.472	<b>1</b>
EPU	Fe (mg/l)	<b>1</b>				
	Cu (mg/l)	-0.117	<b>1</b>			
	Cd (mg/l)	0.287	0.042	<b>1</b>		
	Cr (mg/l)	0.140	-0.136	<b>-0.541**</b>	<b>1</b>	
	Zn (mg/l)	0.033	<b>-0.504*</b>	0.105	-0.027	<b>1</b>

Pour chaque couple de variable, les résultats indiquent le coefficient de Spearman estimé. \*, valeurs significatives au seuil alpha = 0,05 \*\*, valeurs significatives au seuil alpha = 0,01 ; \*\*\*, valeurs significatives au seuil alpha = 0,001 ; Le signe de la corrélation nous indique le sens de la relation (le signe -, ceci indique que les deux variables varient en sens inverse). Total : échantillon global.

L'étude de la corrélation entre les différents métaux lourds montre l'absence totale des corrélations positives entre les différents éléments. Cependant, toutes les corrélations significatives étaient négatives comme le Fe avec Cd et le Zn et le Cu avec Zn. Ceci montre leur évolution en antagonisme. La relation entre le Cu et le Zn était similaire avec celle trouvé par **Sikrić et al. (2003)**, au République de Tchèque ( $r = - 0.377$ ).

L'absence de corrélation entre les métaux lourds dans cette étude serait due aux différentes sources de pollution. En d'autres termes, la présence d'un élément n'a pas significativement affecté le niveau d'un autre élément. L'interaction du Fe et du Cd, le Fe et le Zn et le Cu et le Zn peuvent être liée à la source de ces métaux dans les zones étudiées.

Les corrélations entre les éléments du lait ont été rarement analysées (**Rodríguez Rodríguez et al., 1999**). La littérature disponible décrit souvent les relations entre différents éléments, principalement dans le foie, les reins et les muscles des animaux (**López Alonso et**

*al.*, 2002; Blanco-Penedo *et al.*, 2006), et aussi dans le sang ou sérum (López Alonso *et al.*, 2002).

### III.6. Évaluation des risques pour la santé humaine liés à la consommation du lait produit par les différents systèmes d'élevages

L'apport journalier estimé (EDI) des métaux dans le lait des vaches, destiné à la consommation humaine a fait l'objet d'une comparaison avec les valeurs admissibles publiées par plusieurs auteurs ou organismes (**Tableau III. 8**).

Les données EDI pour différents métaux lourds étaient dans l'ordre suivant : Zn > Fe > Cu > Cr > Cd. L'apport quotidien le plus élevé a été calculé pour le Zn (27,22 mg/jour), tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée pour le cadmium (0,136 mg/jour). L'EDI calculé pour le Fe était de l'ordre de 6,515 mg/jour, ce qui correspond à 16,28% de la valeur maximale.

En comparaison avec la valeur maximale admissible pour les différents métaux lourds, le Cd présente le métal le plus éloigné par rapport à la recommandation soit 295,65% de la valeur maximale admissible. Ce pourcentage atteint 365,21 % soit un EDI de 0,168 mg/jour dans les élevages périurbains qui dépasse la valeur rapportée par **Salah *et al.* (2013)**, qui était de l'ordre de 0,158 mg/jour pour un consommateur adulte.

L'EDI du Cr pour le lait de vache était de 0,391 mg/jour et qui dépasse la valeur autorisée (0,2 mg/jour), et qui possède le pourcentage des concentrations parmi les plus élevés à la valeur admissible soit 195,5%. De même, pour le Zn, qui a un EDI nettement supérieure à la valeur admissible soit 27,22 mg/jour.

Tenant compte de la demande accrue du lait et produits laitiers et selon les concentrations enregistrées pour les métaux lourds et les valeurs admissibles (VA) pour certains métaux lourds, l'évaluation du danger encouru par les consommateurs est une nécessité. Les concentrations moyennes en Fe et Cu ne sont pas toxiques pour l'homme du moment que les EDI de Fe et Cu ont été trouvés en dessous des limites autorisées et qui ont été également approuvés avec des travaux antérieurs (**Islam *et al.*, 2015 ; Ademola 2014 ; Salah *et al.* ; 2012, Anita *et al.* ; 2010**), alors que le Cd, le Cr et le Zn enregistrent des concentrations assez importantes comparées à des valeurs admissibles et dépassent de loin les limites inférieures. Sur la base de ces données, on peut conclure que le Cd, le Cr le Zn étaient les principales composantes contribuant au risque potentiel encouru par les consommateurs du lait cru collectés dans cette régions d'étude.

D'après **Aubert et al. (1982)**, l'homme peut tolérer de fortes concentrations de ces métaux, cela peut être lié à leur rôle d'oligo-éléments essentiels dans la vie. Toutefois, comme l'indiquent ces mêmes auteurs, la plupart des métaux lourds, essentiels ou non, sont potentiellement toxiques pour la vie.

Ce constat ne diminue en rien le risque potentiel encouru par le consommateur à moyen et à long termes si des contrôles fiables de la salubrité du lait ne sont pas exigés avant et pendant leur commercialisation ou transformation, tenant compte des concentrations en chrome enregistrées dans le lait qui demeurent alarmantes pour la santé humaine.

Tableau III.8 : Apport journalier estimé et valeur admissible pour les consommateurs adultes

Eléments	Valeur admissible (PV) (mg/jour)	Références	Total		EE		EI		EPU	
			EDI (mg/jour)	Contribution en PV (%)						
<b>Fe</b>	40	(FAO/WHO 2002)	6,515	16,28	7,088	17,72	7,575	18,93	5,059	12,64
<b>Cu</b>	30	(JECFA 2003)	1,087	3,62	0,950	3,16	1,160	3,86	1,155	3,85
<b>Zn</b>	15	(FAO/WHO 2002)	27,22	181,46	23,796	158,64	24,306	162,04	33,042	220,28
<b>Cd</b>	0,046	(JECFA 2003)	0,136	295,65	0,127	276,08	0,109	236,95	0,168	365,21
<b>Cr</b>	0,2	(Oliver 1997)	0,391	195,5	0,391	195,5	0,386	193	0,391	195,5

*PV : valeur admissibles ; EDI : L'apport journalier estimé (EDI : Estimated Daily Intake) ; Total : échantillon global*



### Conclusion

Ce travail est structuré de trois parties complémentaires :

- Une évaluation environnementale des risques de pollution dans différents systèmes d'élevages ;
- Une évaluation de la contamination des métaux lourds dans le lait cru avec une analyse comparative entre les différents systèmes d'élevages ;
- Une évaluation des risques pour la santé humaine liés à la consommation du lait produit par les différents systèmes d'élevages.

Concernant, la première partie, cette étude a permis de faire une première analyse environnementale des risques de pollution autour des d'élevage bovins appartenant aux trois systèmes d'élevages bovins laitiers dans la région de Guelma.

L'indice synthétique de pollution qui a été calculé par l'agrégation de plusieurs indicateurs du risque de pollution montre que le système d'élevage extensif était le moins affecté par les différentes sources de pollutions en comparaison avec les autres types d'élevage. Par contre, le lait produit dans le système périurbain était plus exposé aux pollutions et peut donc être un vecteur de contamination. L'enquête environnementale réalisée dans cette première partie s'est heurtée aux limites de la méthode utilisées. Si plusieurs indicateurs se révèlent pertinents, beaucoup d'autres semblent totalement inadaptés au contexte de l'élevage algérien, ils semblent surestimer ou sous-estimer les barèmes de notation ou manquer de précision dans leurs modalités de détermination. Pour être complète, cette méthode pourrait intégrer d'autres facteurs qui reflètent le contexte local Algérien. De ce fait, la relation entre l'indice synthétique de pollution et les concentrations des différents éléments ont été difficiles à établir. Toutefois, malgré les limites de cette méthode, cette dernière reste certainement valable pour faire un premier regard sur les risques de pollution.

Dans la seconde partie de ce travail, l'analyse des métaux lourds dans le lait cru produit dans cette région d'étude a exhibé des teneurs élevées pour le fer, le zinc, le cuivre, le chrome, et le cadmium par rapport à la norme de la fédération internationale des produits laitiers. La présente étude a révélé que le lait produit dans les élevages périurbains sont pollués par les métaux lourds surtout le cadmium, et le zinc. Il ressort de cette étude que les teneurs en métaux traces dans le lait produit dans cette région d'étude, restent importantes, ce qui reflète le degré de pollution de l'environnement de l'élevage surtout dans la zone périurbaine.

Dans la dernière partie de ce travail, la plupart des niveaux de métaux lourds dans le lait étaient supérieurs à la limite maximale autorisée, à l'exception du fer et de cuivre. Ce constat a été trouvé dans tous les types d'élevage sans exception, avec un degré de risque plus élevé en élevage périurbain. Une attention particulière devrait être accordée aux métaux lourds puisqu'ils sont présents dans des concentrations supérieures par rapport à l'apport quotidien acceptable, il peut être difficile de les réduire à un niveau acceptable pendant le processus de transformation. De ce fait, il est nécessaire de surveiller l'alimentation et l'environnement des femelles laitières. Les contaminations qui ont lieu avant la traite sont plus difficiles à éviter que celles, qui se produisent au stade industriel.

L'expérience acquise au cours de ce travail de Master devrait permettre d'améliorer de futurs essais sur ce même sujet.

## Références bibliographiques

### A

**Abdul, K.A., 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.

**Ademola., A.K. 2014.** Assessments of Natural Radioactivity and Heavy Metals in Commonly Consumed Milk in Oke-Ogun Area, Nigeria and Estimation of Health Risk Hazard to the Population. *J Environ Anal Toxicol*, (4): 253.

**AFSSA. 2006.** Fiche 4 et 13 : Evaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la limite de qualité du cuivre et du plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine, saisine n°2004-SA-0064.

**Ahmad, N., Rahimb, M., Mas, H. 2011.** Toxicological Impact Assesment of heavy metals in human blood and milk samples collected in district Shangla. Pakistan: *SciInt (Lahore)*..

**Aitken, M.N. 1997.** Short Term Leaf Surface Adhesion of Heavy Metals Following Application of Sewage Sludge to Grassland. *Grass and Forage Sci*, 52: 73.

**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.

**Ali, J.A., Bukar, D.E., Jimoh, N., Hauwa, N.T., 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):156–60.

**Alonso,M.L., Montana, F. P., Miranda, M., Castillo, C., Hernandez, J., and Benedito, J. L. 2003.** Cadmium and lead accumulation in cattle in NW Spain. *Vet. Hum. Toxicol*, 45: 128–130.

**Anastasio, A., Caggiano, R., Macciato M., Paolo, C., Ragosta, M., Paino, S. and Cortesi, M. L. 2006.** Heavy metal concentrations in dairy products from sheep milk collected in two regions of southern Italy, *Acta Veterinaria Scandinavica*., 47: 69-74.

**Anita, S., Rajesh, K.S., Madhoolika, A., Fiona. M.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.

**Arafa, M., Meshref, S., Walaa, A., Moselhy, N.H., Hassan, Y. 2014.** Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products, *Food Measure*, 8: 381. doi:10.1007/s11694-014-9203-6.

**Aslam, B., Javed, I., Hussain, K.F., Ur-Rahman, Z. 2011.** Uptake of Heavy Metal Residues from Sewerage Sludge in the Milk of Goat and Cattle during Summer Season. *Pak Vet J*, 31(1): 75–7.

**Aubert, M., Revilion, P., Breittmyer, J. P., Gauthier, M., Aubert, J., Flatan, G. 1982.** Métaux lourds en Méditerranée. *Rev. Inter. Océanogr. Méd.*, Nice, 3 : 118-121.

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

## **B**

**Bakircioglu, D., Bakircioglu-Kurtulus, Y. and Ucar, G. 2011.** Determination of some traces metal levels in cheese samples packaged in plastic and tin containers by ICP-OES after dry, wet and microwave digestion. *Food and Chemistry Toxicology.*, 49 (1): 202-207.

**BEACH, J., HENNING, S. 1988.** The distribution of Pb in milk and the fate of milk lead in the gastrointestinal tract of suckling rats. *Pediatric research*, 23 : 1-5.

**Bhatia, I., Choudri, G.N. 1996.** Lead poisoning of milk – The basic need for the foundation of human civilization. *Indian J. Public health*, 40 (1): 24-26.

**Blanco-Penedo, I., Cruz, J. M., López-Alonso, M., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., et al. 2006.** Influence of copper status on the accumulation of toxic and essential metals in cattle. *Environment International*, 32(7): 901– 906.

**Bocquier, F. et Caja, G. 2001.** Production et composition du lait de brebis: effets de l'alimentation. *INRA Productions Animales*, 14:129-140.

**Brown, G. E., and G. A. Parks. 2001.** Sorption of trace elements on mineral surfaces: Modern perspectives from spectroscopic studies, and comments on sorption in the marine environment. *Int. Geol. Rev.*, 43: 963–1073.

**Buldini, P.L, Cavalli, S. and Sharana, J.L. 2002.** Matrix removal for the ion chromatographic determination of some trace elements in milk. *Micro chemical Journal.*, 72: 277-284.

**Bushra, I., Saatea, A., Samina, S., Riaz, K. 2014.** Assessment of Toxic Metals in Dairy Milk and Animal Feed in Peshawar, Pakistan. *British BiotechnolJ*, 4(8): 883–893.

## 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: 3078–3082.

**Chafaa, M., Maatoug, M., Roman, T., Ait Hammou, M. 2015.** bio-surveillance des métaux lourds (pb, zn, cu) a la sortie de la station d'épuration de tiaret (algerie) au moyen des végétaux aquatiques: plante lemna minor, algue spirogyra link sp et bryophyte fontinalis antipyretica *European Scientific Journal* 11(3) : 155-174.

**Coni, E., Bocca, A., Coppolelli, P., Caroli, S., Cavallucci, C., Trabalza, M., 1996.** Minor and trace element content in sheep and goat milk and dairy products. *Food Chemistry*, 57 (2): 253-260.

**CRDP Amiens. 2001.** Centre régional de documentation pédagogique.

## D

**De matos A. T., Fontes M. P. F., Da costa, L. M., Martinez M. A. 2001.** Mobility of Heavy Metals As Related to Soil Chemical and Mineralogical Characteristics of Brazilian Soils. *Environm Pollut*, 111(3) : 429-435.

**Degnon, R.G., Dahouenon-Ahoussi, E., Adjou, E.S, Soumanou, M.M., Dolganova, N.V., Sohounhloue, D.C.K. 2012.** Heavy metal contamination of the Nokoué Lake (southern Benin) and the dynamic of their distribution in organs of some fish's species (*Mugilcephalus L.* and *Tilapia guineensis*). *J Anim Sci Adv*, 2(7): 589–595.

**Dey, S., Swarup, D. 1996.** Lead concentration in bovine milk in India. *Arch. Environ. Health*, 51(6): 478-479.

**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.

Different Regions of Iran by Flameless Atomic Absorption Spectrometry. Am-

**Dobrzański, 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 J Environ Stud*, 14(5):685–9.

## *E*

**Enb, A., AbouDonia, 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 Eurasian J Toxicol Sci, 4(1): 9-16.

**European Commission. 2003.** Opinion of the scientific committee on animal nutrition on undesirable substances in feed. European Commission, Health and Consumer Protection Directorate, Brussels, Belgium.

## *F*

**FAO. 1998.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Série FAO: Alimentation et nutrition -28. FAO, Département économique et social.

**FAO. 1998.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Série FAO: Alimentation et nutrition -28. FAO, Département économique et social.

**Farag, M., Mohammed, H., Ayman, S., Abd, EF. 2012.** Contamination of Cows Milk by Heavy Metal in Egypt. Bull Environ Contam Toxicol, 88: 611–3.

**Farid, S., Baloch, M.K. 2012.** Heavy metal ions in milk samples collected from animals feed with city effluent irrigated fodder. Greener J Physical Sciences, 2(2):36–43.

**Farmer, A.A., Farmer, A.M. 2000.** Concentrations of cadmium, lead and zinc in livestock feed and organs around a metal production centre in eastern Kazakhstan. The Science of the Total Environment, 257: 53-60.

**Faye, B., et Bengoumi, M. 1994.** Trace-elements status in camels: a review. Biol. Trace Element Res., 41: 1-11.

**Faye, B., et Sinyavskiy, Y. 2008.** Impact of Pollution on Animal Products. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, NATO, Springer Publ., Dordrecht (The Netherland), p: 205.

## *G*

**GNBCA (Gouvernement du Nouveau-Brunswick, Canada). 2000.** Guide d'alimentation des vaches en lactation et des vaches tarées.

## *H*

**HAGHIRI, F. 1973.** Cd uptake by plants. In J. Environm. Qual. roč. 2, s. 93–96.

**Hargreaves A.L., Whiteside D. P., Gilchrist G. 2011.** Concentrations of 17 elements, including mercury, in the tissues, food and abiotic environment of Arctic shorebirds. *Science of the Total Environment*, 409 : 3757–3770.

**Haryanto, B., Suksmasari, T., Wintergerst, E., Maggini, S. 2015.** Multivitamin supplementation supports immune function and ameliorates conditions triggered by reduced air quality. *Vitam Miner*, 4:128. DOI: 10.4172/2376-1318.1000128.

**Healy, W.B., McCabe, W.J., and G.F. Wilson. 1970.** Ingested soil as a source of micro-elements for grazing animals, *New Zealand J. of Agric. Res*, 13: 505-521.

**Herawati, N., Susuki, S., Hayashi, K., Rivai, I.F. and Koyama, H. 2000.** *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.*, 64: 33-39.

**Hussain, Z., Nazir, A., Shafique, U., Salman, M. 2010.** Comparative study for the determination of metals in milk samples using Flame- AAS and EDTA complexometric titration. *J Sci Res*, 1: 55–76.

## ***I***

**IDF Standard. 1979.** Metal contamination in milk and milk products. *International Dairy Federation Bulletin*. Document no. A. Doe37.

Infant formula from USA, UK and Nigeria by microwave digestion and ICPOES. *Food Chem*, 77(4): 439–47.

**Institut de l'élevage. 2010.** L'épandage des boues d'épuration sur prairies en élevage laitier guide pratique collection synthèse.

**Institut Technique de l'Agriculture Biologique. 2010.** Amélioration de la qualité des laits biologiques : caractérisation des micropolluants.

**Islam, M.S., Kawser, M.A., Habibullah, M.A.M., Shigeki, M. 2015.** Assessment of trace metals in foodstuffs grown around the vicinity of industries in Bangladesh. *J Food Compos Anal*, 42: 8–15.

*Journal of Animal Science*, 48(11): 481–486.

## ***J***

**JECFA. 2003.** Summary and conclusions of the 61st meeting of the joint FAO/ WHO Expert committee on food additives (JECFA). Rome, Italy: JECFA/61/SC.

## **K**

**Kammerer, M., Le bizec, B. 2009.** Les dangers chimiques liés aux denrées alimentaires, photocopié d'enseignement ENVN, UV, 75 : 4-50.

**Keichinger, O. 2006.** Construction des indicateurs de la méthode INDIGO pour les cultures légumières de pleins champs, Document INRA Colmar, p. 52.

**Khalil, H.M., Seliem, A.F. 2013.** Determination of Heavy Metals (Pb, Cd) and some Trace Elements in Milk and Milk Products Collected from Najran Region in K.S.A. Life Sci J, 10(2): 648–52.

**Khan, S., Khan, M.A., Rehman, S. 2011.** Lead and Cadmium Contamination of Different Roadside Soils and Plants in Peshawar City. Pakistan. Pedosphere, 21 (3) : 351–357.

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

**Koh, T. S., Bansemer, P. C., and Frensham, A. B. 1998.** A survey of the cadmium concentration in kidney, liver and muscle of South Australian cattle. Aust. J. Exp. Agric, 38: 535–540.

**Konuspayeva, G., Faye, B., De Pauw, E., Focant, J.-F. 2011.** Levels and trends of PCDD/Fs and PCBs in camel milk (*Camelus bactrianus* and *Camelus dromedarius*) from Kazakhstan, Chemosphere 85: 351–360.

## **L**

**Lant, A., Lomolino, G., Cagnin, M., Spettoli, P. 2006.** Content and characterization of minerals in milk and in Crescenza and Squacquerone Italian fresh cheese by ICP-AES. Food Control, 17: 229–233.

**Lee, S.M., Fernando, H.J.S. 2013.** Dispersion of an urban photochemical plume in Phoenix metropolitan area. Atmospheric Environment, 80: 152-160.

**Li, Y., McCrory, D.F., Powel, J. M. Saam, H, and Jackson Smith, D. 2005.** A survey of selected heavy metal concentrations in Wisconsin Dairy Feeds. Journal Dairy Science, 88: 2911-2922.

**Licata, P., Trombetta, D., Cristani, M., Giofre, F., Martino, D., Calo, M., Naccari, F. 2003.** Levels of «toxic» and «essential»metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy, Environment International, 30: 1-6.

**López Alonso, M., Benedito, J. L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., & Shore, R. F. 2002.** Interactions between toxic and essential trace metals in cattle from a region with low levels of pollution. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 42(2): 165–172.

**Lopez-Mosquera, M.E., Moiron, C., Carral, E. 2000.** Use of dairyindustry sludge as fertiliser for grasslands in northwest Spain: heavy metal levels in the soil and plants. *Resour Conserv Recy*, 30: 95–109.

### **M**

**Malhat, F., Hagag, M., Saber, A., Fayz, A.E. 2012.** Contamination of cow's milk by heavy metal in Egypt. *Bull Environ Contam Toxicol*, 88(4) :611–3.

**Martin, M.H., Coughtrey, P.J. 1982.** *Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution.* Applied Science Publishers, London.

**McBride, M.B., and Spiers, G. 2001.** Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 32: 139–156.

*Milk Products. Global Veterinaria.* 3(3): 268–275.

**Miquel, G. 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport d'information n° 261 fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques Sénat: Assemblée Nationale, Paris (France), 261 :100-261.

**Mitchell, E. 1981.** Trace metal level in Queensland dairy products. *Aust J Dairy Technol*, 6: 70–73.

**Mohammed, A.G.A., Abubakar Musa, K.E., Waleed Aboshora, W.Z. 2013.** Evaluation of some physicochemical parameters of three commercial milk products. *Pak J Food Sci*, 23(2): 62–65.

### **N**

**Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C., and Chambers, B. J. 2003.** An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci. Total Environment.*, 311: 205–219.

**Nicholson, F., Chambers, B., Alloway, B., Hirda., Smith, S., Carlton-smith, C. 1998.** An Inventory of Heavy Metal Inputs to Agricultural Soils in England and Wales. In *Proc. of the 16th World Congress of Soil Science.* Montpellier, France.

**Nies, D.H. 1999.** Microbial Japan heavy metal resistance. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 51: 730–750.

**Nwankwoala, A., Oduyungbo, S., Nyavor, K., Egiebor, N. 2002.** Levels of 26 elements in infant formula from USA, UK and Nigeria by microwave digestion and ICPOES. *Food Chem*, 77(4): 439–47.

## **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.

**Omar, A., Al-Khashman. 2004.** Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Pollution*, 38 : 6803–6812.

**OMS. 1973.** Trace elements in human nutrition; a report of a WHO Expert Committee. WHO Technical Report Series 532, Genève. P : 70.

## **Q**

**Qin, L. Q., Wang, X. P., Li, W., Tong, X. and Tong, W. J. 2009.** The minerals and heavy metals in cow's milk from China and. *Journal Health Science.*, 55(2): 300-305.

## **R**

**Rao, A.N. 2005.** Trace element estimation: methods and clinical context. Online. *J Health Allied Sci*, 4(1):1–9.

**Reeves, R.D. and Baker, A.J.M. 2000.** Metal accumulation plants. In: *Phytoremediation of toxic metals: Using plant to clean up the environment.* (Ed: I. Raskin and B.D. Ensely). John Wiley and Sons, Inc. Toronto, Canada, 193-229.

**Rodríguez Rodríguez, E. M., Sanz Alaejos, M., Díaz Romero, C. 1999.** Chemometric studies of several minerals in milks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (4): 1520–1524.

**Ronchi, B., Danieli, P.P., Faye, B., Sinyvaski, Y. 2008.** Contamination by persistent chemical pesticides in livestock production systems. *Impact of pollution on animal products*, 2 :147-162. DOI: 10.1007/978-1-4020-8359-4\_16.

## S

**Salah, F., Ahmed, AEA. 2012.** Assessment of Toxic Heavy Metals in Some Dairy Products and the Effect of Storage on its Distribution. *J Ameri Sci*, 8(8):665–70.

**Salah, F.A., Esmat, I.A., Mohamed, A.B. 2013.** Heavy metals residues and trace elements in milk powder marketed in Dakahlia governorate. *Int Food Res J.* 20:1807-1812.

**Schwarz, T., Busch, A., and Lenk, R. 1991.** First studies on lead, cadmium and arsenic contents of feed, cattle and food of animal origin coming from different farms in Saxonia. *Dtsch. Tierarztl. Wochenschr.* 98: 369–372.

**Seyed, M.D., Ebrahim, R. 2012.** Determination of Lead Residue in Raw Cow Milk from

**Sikirić, M., Brajenović, N., Pavlović, I., Havranek, J. L., & Plavljanić, N. 2003.** Determination of metals in cow's milk by flame atomic absorption spectrophotometry. *Czech*

**Simsek, O., Gultekin, R., Oksuz, O., Kurultay, S. 2000.** The effect of environmental pollution on heavy metal content of raw milk. *Nahrung*, 44: 360-363.

**Singh, M.R. 2007.** Impurities-heavy metals: IR perspective.. Disponible sur: <http://www.usp.org/pdf/EN/meetings/asMeetingIndia/2008Session4track1.pdf> [consulté le 6 juin 2017] .

**Smith, C.J., Hopmans, P. and Cook, F.J. 1996.** Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia., *Environmental Pollution*, 94: 317-323.

**Sorrentino, C. 1979.** The effect of heavy metals on phytoplankton – a review. *Phykos.*, 18: 149–161.

**Sraïri, M.T., Benyoucef, M.T. and Kraiem, k. 2013.** The dairy chains in North Africa (Algeria, Morocco and Tunisia): from self sufficiency options to food dependency?. *Springer Plus*, 2: 162. DOI:10.1186/2193-1801-2-162.

**Stella, P., Personne, E., Lamaud, E., et al. 2013.** Assessment of the total, stomatal, cuticular, and soil 2 year ozone budgets of an agricultural field with winter wheat and maize crops, *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences*, 118: 1-13.

## T

**TALEB, M. Z., BOUTIBA, Z. 2007.** la moule *Mytilus galloprovincialis* : bioindicateur de pollution marine – cas du port d'Oran *Sciences & Technologie C – N°25* : 59-64.

**Tibebu, K, Berhan, T. 2015.** Assessment of Dairy Feeds for Heavy Metals., *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS).*, 11(1): 20-31.

**Tripathi, R.M., Raghunath, R., Sastry, V.N., Krishnamoorthy, T.M. 1999.** Daily intake of heavy metals by infants through milk and milk products. *The science of The Total Environment*, 227: 229-235.

## V

**Vegarud, G.E., Landsrud, T., Svaning, C. 2000.** Mineral-binding milk proteins and peptides; occurrence, biochemical and technological characteristics. *Br J Nutr*, 84: 91–8.

## W

**Weast, R.C. 1984.** *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 64th ed. Boca Raton, FL: CRC Press.

**Wilkinson, J. M., Hill, J., Phillips, C. J. C. 2003.** The Accumulation of Potentially-Toxic Metals by Grazing Ruminants, *Proc. the Nutr. Soc.*, 62: 267-277.

**Wood, J.M. 1974.** Biological cycles for toxic elements in the environment. *Science.*, 183: 1049–1052.

## Y

**Yabrir, B., Chenouf, A., Chenouf, N.S., Bouzidi, A., Gaucheron, F., and Mati, A. 2016.** Heavy metals in small ruminant's milk from Algerian area steppe. *International Food Research Journal*, 23(3): 1012-1016.

**Yahaya, M.I., Ezo, G.C., Musa, Y.F., Muhamad, S.Y. 2010.** Analysis of heavy metals concentration in roadside soils in Yauri, Nigeria. *Afr J Pure Appl Chem*, 4(3):022–30.

**Yuzbas,I., Sezgin, N.E., Yldrm, Z., Yldrm, M. 2009.** Changes In Pb, Cd, Fe, Cu and Zn Levels during the Production of Kasar Cheese. *J Food Qual*, 32:73–83.

## Z

**Zantopoulos, N., Antoniou, V., Nikolaidis, E. 1999.** Copper, zinc, cadmium, and lead in sheep grazing in North Greece. *Bull Environ Contamin Toxicol.*, 62: 691-699.

**Zarcinas, B.A., Chefauziah, I., Mclaughlin, M.J., Cozens, G. 2004.** Heavy Metals in Soils and Crops in Southeast Asia. 1. Peninsular Malaysia. *Environ. Geochem.Hlth.*, 26 :343.

**Questionnaire**  
**Enquête environnementale et technique**

Numéro du questionnaire :

Date d'enquête :  /  /

**I- Identification de l'exploitation (troupeau participant à l'étude) :**

Wilaya :.....	Superficie irriguée : <input type="text"/> Ha
Commune: .....	Eloignement du centre de collecte : <input type="text"/> Km
Superficie totale : <input type="text"/> Ha	Eloignement de la laiterie : <input type="text"/> Km
Surface agricole utile : <input type="text"/> Ha	Eloignement des Industries <input type="text"/> Km
	Eloignement des habitas <input type="text"/> Km
	Eloignement des gisements et des zones d'exploitation minière <input type="text"/> Km
	Eloignement des fuites des eaux usées <input type="text"/> Km
	Eloignement des déchets ménagers <input type="text"/> Km
	Eloignement au trafic routier <input type="text"/> Km

**II- Situation des fermes par rapport aux risques de pollution**  
**: Identification et localisation des sources de pollution**

Afin d'agréger les renseignements environnementaux et d'exploiter plus facilement les données, les différentes informations sont présentées sous forme d'indicateurs. La mise en place d'indicateurs permet de comparer les niveaux de risque de pollution selon les fermes.

Les valeurs des différents indicateurs ont ensuite été agrégées afin d'obtenir un indicateur final représentant le risque pour chaque ferme. Ces indicateurs sont déterminés à partir de la bibliographie, mais les valeurs attribuées sont indicatives et permettent seulement de comparer les données disponibles pour cette étude.

Cette enquête a permis de faire une étude environnementale des risques de pollution autour des élevages (préurbains ou extensifs selon le cas d'étude).

Selon les sources de pollutions identifiées et les données disponibles, nous avons retenu les indicateurs suivants:

**- Présence de déchets dans la zone de pâture :**

Les déchets laissés au pâturage se dégradent et déposent des éléments toxiques ou des métaux lourds. Ceux-ci étant très peu solubles, ils sont rarement lessivés et se fixent dans les sols (**Goerg-Günthardt, 2004**). Les animaux pâturant à proximité de déchets peuvent alors ingérer ces substances.

- 0 : absence de déchets
- 1 : déchets personnels de la ferme
- 2 : décharge

- **Circulation d'engins motorisés dans les pâturages** : responsables de dépôts de Cd et Pb.

- 0 : absence
- 1 : présence

- **Proximité d'une route à circulation importante** : La retombée du Pb et du Cd le long des routes à trafic important (axe routier principal) a été retenue pour une distance de 500 m. Au-delà, on a considéré que les particules sont dispersées par les vents sur tout le territoire (**Miquel, 2001**).

- 0 : route éloignée de plus de 500 m
- 1 : route à moins de 500m

- **Distance usine, ville, exploitation minière ou pétrolière** :

La dispersion des polluants émis par les usines se fait principalement par les rejets dans l'atmosphère (également par rejet dans l'eau, mais difficile à évaluer). On a retenu un rayon de 5 km pour les retombées proches des particules les plus lourdes. Il est reconnu que les sols les plus pollués sont ceux à proximité d'usine (**Miquel, 2001 ; Farmer et Farmer, 2000 ; Cai et al., 2009**). Une zone périphérique s'étalant entre 5 et 20 km correspond à la zone de diffusion locale des rejets qui dépend des conditions météorologiques, de l'occupation des sols et du relief de la zone.

La dispersion par le vent à l'échelle régionale est considérée à partir de 20 km jusqu'à 400 km environ (CRDP Amiens).

- 0 : usine à plus de 400 km
- 1 : usine entre 20km et 400 km
- 2 : entre 5 et 20 km
- 3 : usine à moins de 5km

- **Distance à une zone agricole** : La contamination peut avoir lieu si les animaux pâturent sur un champ ayant été mis en culture précédemment. Sinon elle peut être due à la dispersion des produits appliqués dans les champs lors de l'épandage. Si l'épandage est réalisé alors que le vent est faible, la dérive des produits ne s'étend pas sur de grandes distances, et on estime la dispersion des gouttelettes à quelques dizaines de mètres (**Keichniger, 2006**). Le risque de pollution concerne surtout les cours d'eau à proximité de la zone d'épandage (une enquête plus approfondie serait nécessaire pour évaluer les risques liés à l'eau). Une zone de risque de 1 km a été considérée pour prendre en compte la contamination possible des cours d'eau autour des zones agricoles et la dispersion par le vent.

- 0 : pas de zones de cultures
- 1 : zone de culture à moins de 1 km

**Remarque** : Notez toutes sources de pollution aux alentours des unités de production

.....  
.....  
.....  
.....

### III- Identification de la main d'œuvre :

<p><b>1 – L'exploitant :</b>          Nom et prénom .....          Sexe : Male <input type="checkbox"/> Femelle <input type="checkbox"/>          Age : <input type="text"/>          Depuis quand exercez vous l'élevage bovin ?          .....ans.          Niveau d'instruction  <input type="checkbox"/> Sans  <input type="checkbox"/> Primaire  <input type="checkbox"/> moyen  <input type="checkbox"/> Secondaire  <input type="checkbox"/> Universitaire          Formation Agricole:  <input type="checkbox"/> Oui  <input type="checkbox"/> Non          Si Oui : Type de formation : .....          Niveau :.....</p>	<p><b>Le vacher :</b>          Sexe : Male <input type="checkbox"/> Femelle <input type="checkbox"/>          Age : <input type="text"/>          Niveau d'instruction  <input type="checkbox"/> Sans  <input type="checkbox"/> Primaire  <input type="checkbox"/> moyen  <input type="checkbox"/> Secondaire  <input type="checkbox"/> Universitaire          Formation Agricole:  <input type="checkbox"/> Oui  <input type="checkbox"/> Non          Si Oui : Type de formation : .....          Niveau :.....</p>
---	---

### IV- Structure du cheptel :

Espèce	Effectif
Bovin	
bovins engraisés	
Ovin	
Caprin	
Asines	
Equidés	

Nombres de vaches : En lactation  Têtes                      En tarissement  Têtes

### Numéro et stade de lactation des vaches laitières :

Race dominante	Effectifs	Stade physiologique		Numéro de lactation			
		Taries	Stade de Lactation	1 <sup>ere</sup>	2 <sup>eme</sup>	3 <sup>eme</sup>	4 <sup>eme</sup>
Montbéliarde							
Holstein							
Brune des Alpes							
Local							
Croisée							
Autres							

**V- Type de bâtiment :**

Capacité de l'étable :  tête

Bâtiment :  Entravé

Libre

Autres

Aire de couchage :  Sol

Sol paillé

Béton

Béton paillé

Bois

**VI- Alimentation des vaches laitières :**

	Superficie (Ha) ou stock (Kg)	Mode de présentation	Fréquence de distribution/jour	Quantité par Kg/jour
<b>Cultures fourragères :</b>				
Luzerne verte				
Bersim				
Sorgho				
Orge fourrager				
Betterave fourragère				
Ensilage de maïs				
Ensilage d'herbe				
<b>Fourrage grossier</b>				
Foin				
Paille				
<b>Résidus de récolte</b>				
Chaumes				
<b>Concentrés</b>				
Son de céréales				
Grains orge				
Grains de maïs				
La mélasse				
L'urée				
CMV				
Présence d'additifs				
Autres				

**Pourcentage du concentré dans la ration Total (%C) :**

La ration alimentaires est elle la même pour toutes les vaches ?  Oui  Non

Si non pourquoi ? .....

**VII-Calendarier fourrager :**

FOURRAGES	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC

**Chronologie des opérations d'alimentation, de traite et d'abreuvement :**

Traite :        Matin |  |        Midi |  |        Soir |  |  
Alimentation :        Matin |  |        Midi |  |        Soir |  |  
Abreuvement : à volonté |  |        Oui |  |        Non |  |  
  
S'agit-il : D'eau potable |  |        d'eau de rivière |  |        d'eau de puits |  |        d'eau de marécage |  |