



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques

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

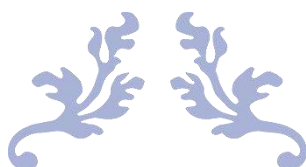
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologie

Spécialité : Biochimie appliquée

Présenté par : M^{elle} Bahri Nour El-Houda

M^{elle} Brek Selsabil



EVALUATION DU TAUX DE PLOMB DANS LE LAIT DE CHAMELLES



Soutenu le : 06/07/2021

Devant le jury :

Président	BOUAL Zakaria	Professeur	Univ. Ouargla
Encadreur	KERDOUN M ^{ed} Amine	MAHU	Univ. Ouargla
Co- Encadreur	BOUDJENAH Saliha	Professeur	Univ. Ouargla
Examineur	MOSBAH Said	MCB	Univ. Ouargla

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Nous rendons grâce à Allah, le Clément, le tout Miséricordieux, pour la chance qu'il nous a donné pour poursuivre nos études supérieures, et pour le courage qu'il nous a donné pour bien mener ce travail.

Dieu merci

*Nous exprimons toute notre gratitude et nos vifs remerciements à notre encadreur **Dr. KERDOUNE M^{ed} Amine** qui nous a honoré de diriger ce travail, pour ses encouragements, ses conseils, sa disponibilité et responsabilité. Partageant ses connaissances scientifiques et son savoir. Merci de nous avoir guidé avec patience et d'avoir consacré autant d'heures pour les corrections de ce manuscrit.*

*Merci aussi à **M^{me} BOUDJENAH Saliha** pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant d'encadré ce projet.*

Nos vifs remerciements à tous les membres du jury qui ont bien voulu consacrer du temps à la lecture de ce travail et l'enrichir par leurs remarques judicieuses et pour avoir accepté de juger ce travail.

Nous souhaiterions remercier toutes l'équipe qui se travaille dans le Plateau Technique en Analyses Physico-Chimiques d'Ouargla (PTAPC-Ouargla) merci pour votre réception et votre aidée.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

Au plus beau cadeau que le bon dieu nous a offert, ceux que je due à leurs faveurs tous ce que je suis maintenant, ceux qui m'ont aidé d'achever mon chemin d'affranchir la vie, ceux qui ont toujours été là pour moi ; à mes très chers parents.

A mon cher père, qui m'a été d'une aide précieuse et dont le sérieux et la discipline ont été et seront toujours pour moi un exemple à suivre.

*A ma chère mère, envers qui je ne pourrais jamais solder la dette indéfinie que je le suis due.
Que dieu la garde pour moi.*

A Mes chères Frères et Sœurs

Vous êtes toujours là pour moi. Avec toute mon affection, avec toute ma reconnaissance pour votre soutien morale et vos encouragements.

A mes amies.

A tous les maitres et les professeurs durant tout mon cursus d'étude du primaire au supérieur.

Nour El-Houda

Dédicaces

Je remercie le bon dieu de m'avoir donné le courage pour réaliser ce travail et la patience pour aller jusqu'au bout du parcours de mes études. Je dédie du plus profond de mon Cœur ce manuscrit :

À toi, toujours et encore, ma maman bien-aimée ...

Louange à Dieu qui a créé la mère avec sa perfection divine et sa douceur infinie ...

Merci à Dieu deux mots qui garde ma douce maman dans le vaste Eden.

À ma belle maman Fatima, qui n'a rien laissé dans ma vie ...

Je vous dédie, ce travail très humble, toutes les actions suivantes et toutes mes bonnes actions

" Jusqu' au Jour du jugement dernier "...

Ici pour moi ! Merci ! Merci père ! Merci papa d'être ici encore et encore.

Je dédie ce travail à toute ma famille,

Du sucre d'orge à mon frère bien-aimé qui m'a toujours aidé, moi et ma bien-aimée. Et sans oublier tous mes frères, et Les femmes de mes frères et toutes mes amies et à tous ceux qui me sont chers.

Selsabil

TABLE DE MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	

PARTIE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PLOMB

I. 1. Généralités	03
I. 2. Propriétés physicochimiques	03
I. 3. Sources d'exposition au plomb	05
I. 3. 1. Source naturelle	05
I. 3. 2. Sources anthropiques	05
I. 4. Toxicité de plomb	06
I. 4. 1. Sur la santé humaine	06
a. Voies d'exposition	06
b. Toxicocinétique de plomb	09
b. 1. Absorption	09
Voies respiratoires	09
Tractus gastro-intestinal	10
Dermique	10
b. 2. Distribution	10
b. 3. Métabolisme	11
b. 4. Elimination	11
C. Mécanisme d'action	12
C. 1. Action sur le système hématopoïétique (Hémato toxicité)	12
C. 1. 1. Interférence avec la synthèse de l'hème	12
C. 1. 2. Troubles de la formation des hématies (des précurseurs des GR dans la moelle osseuse)	13
C. 2. Action neurotoxique (neurotoxicité)	13
C. 3. Action néphrotoxique	13
C. 4. Génotoxicité et cancérogénicité	13

C. 5. Effets immunologiques	13
C. 6. Effets sur la reproduction	14
C. 7. Effets sur le développement	14
C. 8. Effets respiratoires	14
C. 9. Effets hépatiques	14
C. 10. Effets endocriniens	14
C. 11. Effets gastro-intestinaux	14
C. 12. Effets musculo-squelettiques	14
D. Toxicité	14
D. 1. Toxicité aigüe	15
D. 2. Toxicité chronique-le saturnisme	15
Syndrome abdominal	16
Encéphalopathie	17
Atteintes rénales	18
Hypertension artérielle	18
Hyper uricémie	19
I. 4. 2. Sur les végétaux	19
I. 5. Traitement	20
I. 6. Diagnostic	20
I. 6. 1. Surveillance biologique de l'exposition au plomb	20
I. 6. 1. a. Indicateurs de l'exposition de la dose interne ou de pool biologique actif	20
I. 6. 1. b. Indicateurs d'effets précoces	22
I. 7. Réglementation	24

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE DROMADAIRE

II. 1. Anatomie générale	27
II. 2. Taxonomie et origine des dromadaires	27
II. 3. Alimentation	29
II. 4. Différents systèmes d'élevage camelin	29
II. 5. Répartition géographique des dromadaires	30
II. 5. 1. Distribution dans le monde	30
II. 5. 2. Distribution en Algérie	30
II. 6. Races camelines en Algérie	32
II. 7. Production	33
II. 7. 1. Production de viande	33
II. 7. 2. Production laitière	33
II. 7. 3. Production de travail	34

CHAPITRE III : GENEALITES SUR LE LAIT

III. 1. Caractéristique du lait camelin	35
III. 1. 1. Caractéristique organoleptiques et physico-chimiques	35
III. 2. Composition chimique du lait camelin	36
III. 2. 1. Fraction azotée	36
III. 2. 2. Les caséines	37
III. 2. 3. Teneur en eau	37
III. 2. 4. Matière grasse	37
III. 2. 5. Vitamines	38
III. 2. 6. Lactose	39
III. 2. 7. Minéraux	39
III. 3. Propriétés nutritionnelles et thérapeutiques	40
III. 3. 1. Intolérant au lactose	41
III. 3. 2. Diarrhée	41
III. 3. 3. Allergie au lait	41
III. 3. 4. Autisme	42
III. 3. 5. Allergies alimentaires	42
III. 4. Consommation nationale du lait	42

CHAPITRE IV : LE PLOMB DANS LE LAIT

IV. 1. Pollution par les éléments trace métalliques	44
IV. 2. Pollution métallique du lait	44
IV. 3. Prévalence du plomb dans le lait	44

PARTIE 2 : EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

I. 1. Présentation de la zone d'étude	51
I. 2. Identification et localisation des sources de pollutions	53
I. 2. 1. Récolte des données	53
I. 2. 2. Traitement des données	53
I. 2. 3. Indicateurs de risques de pollution	54
I. 3. Collecte des échantillons	55
I. 3. 1. Echantillonnage du lait	55
I. 3. 2. Echantillonnage du sol	55
I. 3. 3. Echantillonnage de l'eau	55
I. 3. 4. Echantillonnage des plantes	55

I. 4. Codage des échantillons	55
I. 5. Analyse physicochimique des échantillons d'eau	56
I. 5. 1. Mesure du pH	57
I. 5. 2. Conductivités et salinité	57
I. 5. 3. Turbidité	57
I. 5. 4. Dosage des fluorures dans les échantillons d'eau	58
I. 5. 5. Dosage du mercure dans l'eau	58
I. 6. Dosage du plomb par spectroscopie d'absorption atomique dans les différentes matrices	59
I. 6. 1. Préparation des échantillons de SAA	59
A. Lait	59
B. Plantes	61
C. Sol	62
I. 6. 2. Dosage du plomb dans les différentes matrices	62
Préparation des gammes d'étalonnage	62
La méthode d'étalonnage direct	63
La méthode des ajouts dosés	63
I. 7. Critères de jugement et analyses statistiques	63

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

II. 1. Résultats	65
II. 1. 1. Cartographie de la région	65
II. 1. 2. Analyse physicochimique de l'eau	66
II. 1. 2. 1. pH	66
II. 1. 2. 2. Conductivités et salinité	67
II. 1. 2. 3. Turbidité	68
II. 1. 2. 4. Résultat de dosage du fluor dans l'eau	68
II. 1. 3. Résultat de dosage du mercure dans l'eau	69
II. 1. 4. Résultat de dosage du plomb dans l'eau	70
II. 1. 5. Teneurs du plomb dans le sol	71
II. 1. 6. Teneurs du plomb dans les plantes	72
II. 1. 7. Comparaison des concentrations de métaux avec l'analyse spatiale	72
II. 1. 7. 1. Teneur dans le sol	72
II. 1. 7. 2. Teneur du plomb dans l'eau	73
II. 1. 7. 3. Teneur du plomb dans les plantes	73
II. 1. 8. Interactions entre matrices environnementales	73
II. 1. 9. Plomb dans le lait	75
II. 2. Discussions	77
II. 2. 1. Analyses physicochimiques	77

II. 2. 1. 1. pH	77
II. 2. 2. 2. Dosage du fluor	77
II. 2. 2. 3. Dosage de mercure	77
II. 2. 2. Le plomb dans les matrices	78
II. 2. 2. 1. Plomb dans le sol	78
II. 2. 2. 2. Plomb dans l'eau	80
II. 2. 2. 3. Plomb dans les plantes	81
II. 2. 3. Corrélation entre les matrices	82
II. 2. 4. Les teneurs de métaux lourds dans le lait de chamelle	82
Limite de l'étude	85
Recommandation et perspective	86
Conclusion	87
Références	
Annexe	

Liste des abréviations

Unités de mesures :

% : Pourcentage

°C : Degré Celsius

°D : Degré Dornic

µg/g : microgramme par gramme

µg/L : microgramme par Litre

g : gramme

kcal/L : kilocalorie par Litre

Kg : kilogramme

Kg/jour : kilogramme par jour

m : mètre

mg : milligramme

mm : millimètre

mPa.s : milli Pascale second

nm : nanomètre

ppb : Partie par billion

ppm : Partie par million

tr/min : Tour par minute

µg/kg: microgramme par kilogramme

µm: micro mètre

Autres abréviation :

ADN : Acide Désoxyribonucléique

ALA : Acide delta aminolévulinique

ALAD : δ -aminolevulinate déshydratase

ALA-U : Acide delta aminolévulinique urinaire

ARN : Adénosine Ribonucléique

Cd : Cadmium

CMA : Allergie au lait de vache

Cr : Chrome

CV-AAS : Spectrométrie d'Absorption Atomique à Vapeur Froide

D.H.A : Dose hebdomadaire acceptable

DHPT : Dose hebdomadaire provisoire tolérable

EDTA : Ethylène Diamine Tétra-Acétate

EDXRF: Energy Dispersive X-Ray Fluorescence.

F⁻ : Fluor

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture « Food and Agriculture Organisation »

FAOSTAT : Statistique Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

GFAAS : Spectrométrie d'absorption atomique ou four graphite

GR : Globules Rouges

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène

Hb : Hémoglobine

HCl : Acide chlorhydrique

Hg : Mercure

HNO₃ : Acide nitrique

ICP-AES: Inductively Coupled argon Plasma–Atomic Emission Spectrometer

ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrophotometer

ICP-OES: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer,

INSP : Institut National de Santé Publique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Pb : Plomb

pH : Potentiel d'Hydrogène

PPE : Protoporphyrine érythrocytaire

PPZ : Protoporphyrine zinc

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique

SAAET : Spectrométrie d'absorption atomique par voie électrothermique

TM : Métaux lourds

TSA : Troubles du Spectre Autistique

UV : Ultra-violet

VA: Voltametric Analysis

α S2-CN : α 2- Caséine

α S1-CN : α 1- Caséine

β -CN : β -Caséine

κ -CN : κ -Caséine

λ : Lambda longueur d'onde

Liste des tableaux

N°	Titre	page
1	Propriétés physico-chimiques du plomb (Ait hamadouche, 2010).	04
2	Voie d'exposition au plomb chez l'Homme (Cecchi, 2008).	07
3	Dose hebdomadaire tolérable pour l'Homme (Ghislaine, 2018).	19
4	Valeurs limites réglementaires pour les concentrations du plomb dans différents milieux (Ministère des Solidarités et de la Santé Haut Conseil de la santé publique 2017).	25
5	Classification zoologique du dromadaire (Saidi, 2020).	28
6	Composition chimique globale (%) du lait camelin (selon différents auteurs) (Ghislaine, 2018).	38
7	Teneur en vitamines ($\mu\text{g}/\text{kg}$) du lait de chamelle (selon différents auteurs) (Ghislaine 2018).	39
8	Concentrations moyennes des minéraux dans le lait de dromadaire ($\text{mg}/100\text{g}$) (Saidi, 2020).	40
9	Analyse de l'évolution de la collecte de lait cru, production et consommation nationale en millions de litres de lait (Chemma, 2017).	43
10	Prévalence du plomb dans les échantillons de lait de divers pays entre 1992-2020.	45
11	Lieux et dates de collecte des échantillons.	56
12	Classification de la turbidité de l'eau.	58
13	Les pesées des échantillons de lait.	60
14	La programmation de minéralisation assistée par micro-onde pour le lait.	60
15	La programmation de minéralisation assistée par micro-onde pour les plantes.	61
16	La programmation de minéralisation assistée par micro-onde pour le sol.	62
17	Intensité de pollution en fonction de l'index de géoaccumulation	64
18	Indicateurs de la pollution des fermes étudiées.	65
19	Les résultats du pH des échantillons étudiés.	67

20	Les résultats des conductivités des échantillons	67
21	Mesure des turbidités des échantillons.	68
22	Résultat du dosage du fluor (les absorbances et la concentration).	69
23	Résultat du dosage du mercure dans l'eau d'abreuvement.	70
24	Résultat du dosage du plomb dans l'eau d'abreuvement.	71
25	Concentration en plomb dans le sol (mg/Kg) de la zone d'étude.	71
26	Indice de géoaccumulation.	72
27	Résultat du dosage du plomb dans les plantes.	72
28	Résultat du dosage du plomb dans le lait.	76

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Illustration de la manière dont les gens sont exposés aux produits chimiques dans l'environnement et de l'effet de ces produits chimiques sur la santé humaine (Wani et al., 2015).	08
2	Synthèse de l'hème. Le plomb inhibe l'ALA-déshydratase et à un moindre degré, la coproporphyrinogène-décarboxylase (Pelou, 2018).	24
3	Les deux espèces de <i>Camelidae</i> (a) : <i>Camelus bacterianus</i> , (b) : <i>Camelus dromedarius</i> .	28
4	Systèmes de production camelins répertoriés (Bedda et Adamou, 2019).	29
5	Carte de distribution géographique de dromadaire dans le monde (Rahli, 2015)	30
6	Aires de distribution du dromadaire en Algérie (Saidi, 2020).	31
7	Localisation des principales races de dromadaires en Algérie (Saidi, 2020).	33
8	Carte de l'Algérie avec notre zone d'étude.	52
9	Fermes se trouvant le long de la route nationale.	52
10	Système de minéralisation utilisant une bombe à téflon.	59
11	Echantillons de lait minéralisés.	60
12	Filtration du contenu des bombes à téflon dans des fioles de 50 ml.	61
13	Courbe d'étalonnage (concentrations du fluor en fonction de la densité optique à 618 nm).	69
14	Courbe d'étalonnage (concentration en plomb en fonction de l'absorbance).	70
15	Relation entre score de pollution et concentration du Pb dans le sol.	74
16	Relation entre concentration du Pb dans le sol et dans l'eau.	74
17	Relation entre concentration du Pb et du fluor dans l'eau.	75
18	Les valeurs de pH pour les sites étudiés.	77

INTRODUCTION

Introduction

Le dromadaire est une espèce laitière qui coexiste avec l'environnement désertique et qui fait face aux conditions difficiles du désert, lui permettant de produire du lait et de la viande (**Chehma, 2002 ; Oulad Belkhir et al., 2011**). Selon les statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, l'Algérie compte un cheptel de 379094 têtes (**F.A.O, 2018**). Le lait de dromadaire constitue une ressource alimentaire inestimable pour les habitants des régions arides et semi arides de notre pays. Il fournit une part significative des besoins quotidiens en divers nutriments, particulièrement comme en acides aminés et en vitamines (**Mehaia, 1994 ; Al Kanhal, 2010**).

Outre la valeur nutritionnelle, à l'heure actuelle, il est utilisé comme traitement conventionnel pour certaines maladies auto-immunes et diverses pathologies métaboliques (rôle catalyseur de certaines réactions biochimiques.) (**El Sayed et al., 1992 ; Agrawal et al., 2009 ; Shori, 2015**).

Le lait peut aussi être contaminé par des germes, issus des fèces et des téguments de l'animal (coliformes, Clostridium ...), du sol (Listeria, Streptomyces ...), de la litière et des aliments (flore banale variée), de l'air et l'eau, des équipements de traite et de stockage, des manipulateurs (Staphylococcus dans le cas de la traite manuelle) et de vecteurs divers (en particulier les insectes) (**Ghislaine, 2018**). Ou encore d'éléments traces métalliques comme le plomb. Cette contamination est favorisée par la pollution environnementale suites aux activités anthropiques (extraction minière, trafic routier, industrie du pétrole, agriculture, ...) (**Smet et al., 1974 ; Rychen et al., 2005 ; Duruibe et al., 2007**).

Plusieurs métaux peuvent être très dangereux sur la santé humaine et les êtres vivants (Pb, Cu, Hg, Cd ...), à cause l'accumulation au cours de la vie (**Meshref et al., 2014**). Des études menées en Iran, au Kazakhstan et en Egypte signalent des concentrations importantes d'éléments métalliques (Pb, Cd, Cu) dans le lait camelin (**Konuspayeva et al., 2011 ; Mostafidi et al., 2016 ; Damarany, 2016**).

D'autres chercheurs ont montré qu'il existe une relation entre les concentrations en éléments métalliques dans le lait et le pâturage dans les zones proches de sources de pollution. Ces taux étaient d'autant plus élevés lorsque le trafic routier était important (**Dey et al., 1996 ; Bhatia et Choudhri, 1996 ; Simsek et al., 2000**). Enfin, Gholizadeh et al. (**2016**) ont démontré une relation directe entre les niveaux de déposition atmosphérique et la distribution en éléments métalliques dans la chaîne sol - alimentation animale -lait (**Gholizadeh et al., 2016**).

Certaines études ont montré qu'une petite quantité en éléments métalliques toxiques [Plomb (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni)] peuvent induire des problèmes sanitaires sérieux pour l'homme (Diacono, 2007, Abdel-Rahman et al., 2019).

Après absorption par l'organisme, les métaux notamment les plus dangereux, comme le plomb et le cadmium, peuvent provoquer divers troubles qui vont des affections neurologiques, neurosensorielles, gastro-intestinales, néphrologiques et immunologiques jusqu'au risque carcinogène (Heikens et al., 2001 ; Duruibe et al., 2007 ; Morais et al., 2012 ; Jaishankar et al., 2014 ; Ziarati et al., 2018).

Pour cette raison, nous allons discuter de certains des échantillons de lait prélevés dans certaines régions de Ouargla, El-Oued et Touggourt par l'existence de nombreux complexes industriels d'extraction et de raffinerie, des usines et un trafic routier important notamment le long de la route nationale N 03. De là, nous pouvons connaître les dangers de la contamination minérale du lait dans cette région.

I. Objectifs

I. 1. Objectif principal

L'objectif principal de notre étude est d'évaluer la contamination du lait camelin par le plomb au niveau de la région El-Oued-Touggourt-Ouargla afin d'estimer les problèmes de santé possibles suite à la consommation de ce dernier.

I. 2. Objectifs secondaires

1. Etudier les variations des niveaux d'imprégnation au plomb à l'aide d'une comparaison avec les résultats des études antérieures à travers le monde.
2. Evaluer les niveaux de concentrations du plomb par spectrométrie d'absorption atomique au niveau de la chaîne alimentaire de l'animal jusqu'aux consommateurs (sol, plante, eau).
3. Faire une cartographie de risque de la région étudiée pour réduire le danger potentiel.

PARTIE 1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
PRESENTATION DU PLOMB

I. 1. Généralités

Le plomb (Pb) est un composé chimique de la famille des cristallogènes présent à l'état naturel dans toutes les sphères environnementales mais principalement dans l'écorce terrestre et le sol (Cuniasse et Glass, 2020).

Son usage est très ancien ; il a été utilisé dès la préhistoire par les Égyptiens, les Grecs et les Romains avant que ses usages ne se développent, notamment avec la révolution industrielle et de nouvelles utilisations massives dans l'agriculture, la construction, l'industrie et l'imprimerie (Glorennec et al., 2007).

Le plomb 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, il est toujours utilisé dans les batteries, les accumulateurs, les tuyaux et soudures, les vêtements de protections aux rayons X, les pesticides, les peintures... (Ghislaine, 2018).

Il peut se retrouver néanmoins aujourd'hui dans tous les milieux environnementaux (air, eau, sols et aliments). Les aliments les plus susceptibles de contenir des traces de ce dernier sont par ordre décroissant : les légumes et fruits, le lait et les produits laitiers, les abats et les produits carnés, le vin et les produits de la mer (Ghislaine, 2018).

L'usage généralisé de ce métal a entraîné une importante pollution de l'environnement et des problèmes de santé dans de nombreuses régions du monde (OMS, 2003). Après le cadmium, il est considéré comme le deuxième métal le plus toxique sur terre que ce soit pour les humains ou les autres êtres vivants (Usman et al., 2020). En effet, ce polluant ubiquitaire est un toxique cumulatif absorbé principalement par voies pulmonaires et digestive.

I. 2. Propriétés physicochimiques

Le plomb, du latin *plombum*, est un métal mou, gris, sans goût ni odeur caractéristique, se trouvant habituellement en petite quantité dans la croûte terrestre. Il appartient au groupe IVb de la classification périodique des éléments. Ses principales propriétés physico-chimiques sont présentées dans le Tableau 1 (Pourrut, 2008).

Sa configuration électronique $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^6 p^2$, il possède deux électrons non appariés sur sa couche électronique externes (Pourrut, 2008). Le Pb peut exister à l'état d'oxydation 0 dans le Pb métallique et dans les composés aux états d'oxydation +2 ou +4. Dans l'environnement, le Pb se trouve principalement à l'état +2 dans les composés inorganiques (Abadin et al., 2020).

Le cation Pb^{2+} est un acide au sens de Lewis, c'est-à-dire qu'il est susceptible d'accepter un doublet d'électrons venant d'une base, pour former une liaison covalente. C'est également une espèce chargée, susceptible d'interactions électrostatiques avec des ions de signes contraires pour former une liaison ionique (Pourrut, 2008).

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques du plomb (Ait hamadouche, 2010).

Numéro atomique	82
Masse atomique (g.mol ⁻¹)	207,2
Point de fusion	327 °C
Point d'ébullition	1740 °C
Densité	11,35
Valences	0, +2, +4
Electronégativité de Pauling	1,8
Masse volumique	11,34 g.cm ⁻³ à 20 °C
Rayon atomique	0,154 nm
Rayon ionique	0,132 nm (+2), 0,84 nm (+4)
Isotopes	20
Energie de première ionisation	715,4 Kj.mol ⁻¹
Energie de deuxième ionisation	1450,0 Kj.mol ⁻¹
Energie de troisième ionisation	3080,7 Kj.mol ⁻¹
Energie de quatrième ionisation	4082,3 Kj.mol ⁻¹
Energie de cinquième ionisation	6608 Kj.mol ⁻¹
Potentiel standard	-0.13 V (Pb ²⁺ /Pb), -1.5 V (Pb ⁴⁺ /Pb ²⁺)

Il existe 20 isotopes, dont 16 sont radioactifs et 4 naturels (Chanel et al., 1999). Dans le milieu naturel, le plomb peut être rencontré sous la forme de 4 isotopes stables : ²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb et ²⁰⁸Pb dont les pourcentages d'abondance sont respectivement 1,48 %, 23,6 %, 22,6 %, 52,3 % (Laperche et al., 2004).

I. 3. Sources d'exposition au plomb**I. 3. 1. Source naturelle**

Le plomb est naturellement présent à une teneur moyenne de 0,002% dans la croûte terrestre (36^{ème} élément de la croûte terrestre), généralement sous forme peu soluble. L'érosion des sols et des roches est la source principale dans la nature. Ces dérivés inorganiques sont présents dans les eaux, les sols, les sédiments, l'atmosphère et éventuellement en microtraces chez les organismes vivants (**Cecchi, 2008**).

La présence naturelle du plomb dans le sol est essentiellement due à sa mise en disponibilité par les processus d'altérations chimiques. En quantité plus faible, le plomb peut être libéré dans l'atmosphère lors de l'activité volcanique ou lors de feux de forêt, et être déposé sur les sols par des retombées atmosphériques. En l'absence de toute action anthropique, les teneurs naturelles moyennes des sols en plomb sont de 32 mg.kg⁻¹ (**Pourrut, 2008**).

I. 3. 2. Sources anthropiques

Le plomb (Pb) est un élément que l'on trouve dans les gisements de minerai de Pb concentrés et facilement accessibles qui sont largement répartis dans le monde. Une source majeure de plomb dans l'environnement a toujours été les émissions anthropiques dans l'atmosphère résultant de la combustion d'essence au plomb. En France la dégradation des peintures à base de plomb provenant de surfaces altérées (qui produisent des débris et des poussières de plomb hautement concentrés) dans les anciens logements (avant 1978) (**Abadin et al., 2020**).

La combinaison de tuyaux corrosifs d'eau et de Pb ou de joints soudés au Pb dans le réseau de distribution ou dans des maisons individuelles peut créer des zones localisées de fortes concentrations d'eau en Pb (**Hanna-Attisha et al., 2016**)

En effet, le plomb a été largement utilisé autrefois pour la fabrication de canalisations de faible diamètre (canalisations de branchements entre réseau public et compteur, canalisation du réseau intérieur de l'immeuble) (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

D'autres sources anthropiques de Pb comprennent l'extraction et la fusion du minerai ; la fabrication et l'utilisation de produits contenant du plomb (par exemple, peintures, pigments et glaçures à base de plomb ; blindage électrique ; plomberie ; batteries de stockage ; brasure et flux de soudage), la fabrication et l'application de pesticides contenant du plomb ; la combustion du charbon et du pétrole ; et l'incinération des déchets. Le plomb a également été trouvé dans une

variété d'autres produits, notamment la verrerie en cristal, des bijoux, des fusils et des munitions, des plombs de pêche de reliques, des jouets pour enfants importés, (Abadin et al., 2020).

Le Pb s'adsorbe fortement sur la plupart des sols, ce qui limite le taux de lessivage du Pb du sol. L'acidité du sol (pH) est le facteur le plus important affectant la solubilité, la mobilité et la phyto-disponibilité du Pb dans le sol (Abadin et al., 2020).

Étant donné que le Pb est transporté du sol très lentement, les sources historiques de dépôt de Pb dans le sol continuent de contribuer aux expositions actuelles, les principales autres sources d'exposition pourraient être importantes, comme la consommation d'alcool, d'eau et de nourriture (Abadin et al., 2020).

D'autres sources issues de l'utilisation de certains cosmétiques (khôl etc.) et remèdes traditionnels (argiles, herbes médicinales, tisanes, onguents, etc.) peut être une source d'exposition au plomb (Oleko et al., 2020).

I. 4. Toxicité de plomb

I. 4. 1. Sur la santé humaine

a. Voies d'exposition

Le Pb environnemental est particulièrement accessible aux enfants en raison de leur activité main-bouche (l'ingestion par voie orale) plus intensive et de la proximité de la zone respiratoire de l'enfant avec le Pb entraîné par les poussières de surface. Chez l'adulte, la voie de pénétration majoritaire est l'inhalation de particules. La consommation d'eau passant par des canalisations en plomb peut également être responsable de l'ingestion de plomb. Plus rarement, le plomb peut pénétrer par voie cutanée sous l'effet liposoluble, plomb organique notamment par contact de la peau avec des crèmes contenant du plomb (Cecchi, 2008).

Les différentes voies de pénétration du plomb sont résumées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Voie d'exposition au plomb chez l'Homme (Cecchi, 2008).

Alimentation	Ingestion	Plantes contaminées par des retombées atmosphériques et/ou accumulation depuis le sol Gibier, stockage des aliments
Poussières	Inhalation	Poussières fines Fumées de cigarettes Emissions automobiles
Peintures	Ingestion Inhalation	Ecailles de peintures anciennes Poussières de peinture lors des travaux de rénovation Ingestion de sol par les jeunes enfants (pica)
Activité professionnelle/ Loisirs	Inhalation	Métallurgie du plomb Fabrication d'accumulateurs et de batteries Récupération des métaux Soudure Décapage des vieilles peintures Manipulation de pigments Poussières Activité de poteries, imprimerie artisanale...

Pour les adultes, l'exposition à des niveaux de plomb est généralement associée à des expositions professionnelles (Abadin et al., 2020).

- En tant qu'élément, le Pb ne se dégrade pas. Cependant, les particules contaminées par le plomb peuvent se déplacer dans l'air, l'eau et le sol (Abadin et al., 2020).
- Les dépôts atmosphériques sont la plus grande source de plomb trouvée dans les sols. Le plomb est transféré en continu entre l'air, l'eau et le sol par des processus chimiques et physiques naturels tels que les intempéries, le ruissellement, les précipitations, les dépôts secs de poussière et l'écoulement des cours d'eau/rivières ; cependant, le sol et les sédiments semblent être des puits importants pour le Pb (Abadin et al., 2020). (Fig. 1)

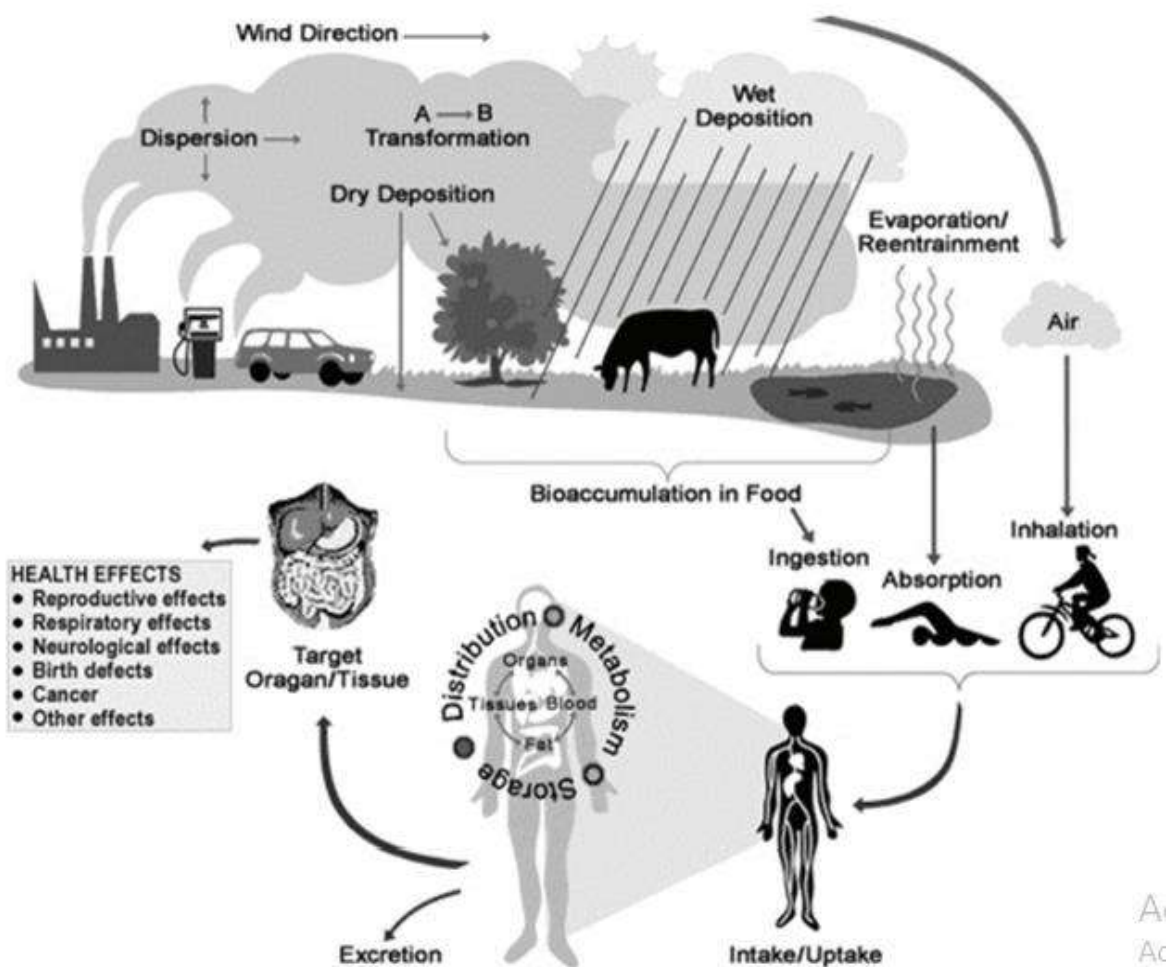


Figure 1 : Illustration de la manière dont les gens sont exposés aux produits chimiques dans l'environnement et de l'effet de ces produits chimiques sur la santé humaine (Wani et al., 2015).

Les matériaux contenant du plomb provenant de l'usage domestique et commercial peuvent être envoyés aux décharges municipales.

Il est important de noter que la terre est le dépôt ultime du Pb et que le Pb rejeté dans l'air et l'eau est finalement déposé dans le sol ou les sédiments. Par exemple, le plomb rejeté dans l'air par l'essence au plomb ou dans le gaz de cheminée des fonderies et des centrales électriques se déposera sur le sol, les sédiments, le feuillage ou d'autres surfaces. La contamination la plus importante se produit près de l'autoroute, dans le cas de l'essence au plomb, ou près de l'installation, dans le cas d'une centrale électrique ou d'une fonderie. La poussière de route contribue au Pb dans le sol (**Abadin et al., 2020**).

b. Toxicocinétique de plomb

Le métabolisme du plomb est important à connaître pour comprendre certains aspects de l'intoxication. Il est important d'évaluer les différentes phases de ce métabolisme de l'absorption à l'élimination en passant par les mécanismes de transfert dans les différents tissus et le stockage dans certains organes, pour tirer des réponses quant à l'évaluation des risques et la surveillance biologique des personnes exposées (**Chanel et al., 1999**).

b. 1. Absorption

L'absorption du plomb est respiratoire quand il est sous forme de vapeurs ou de poussières fines de diamètre aérodynamique (inférieur à 5 µm). Dans tous les autres cas (et en pratique, dans la plupart des situations d'exposition extra-professionnelles), elle est digestive. Chez l'adulte, l'absorption digestive du plomb est faible (5 à 10%). Elle est beaucoup plus importante chez le jeune enfant (40 à 55%) (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

L'absorption généralement déterminée par 3 voies :

- **Voies respiratoires**

L'absorption pulmonaire est importante pour les personnes exposées en milieu industriel dans l'environnement des entreprises polluantes, mais également pour toutes personnes vivant sous des rejets atmosphériques (**Ait hamadouche, 2010**).

L'absorption du Pb déposé est influencée par la taille et la solubilité des particules ainsi que par le schéma de dépôt régional dans les voies respiratoires. Les particules les plus grosses (> 2,5 µm) qui se déposent dans les voies respiratoires ciliées (régions nasopharyngée et trachéobronchique) peuvent être transférées par transport mucociliaire dans l'œsophage et avalées. Les déposées sur les voies aériennes ciliées et non absorbées sont généralement éliminées en 24 heures (**Chanel et al., 1999**).

Les particules plus petites (2,5 à <1 µm), qui peuvent être déposées dans la région alvéolaire, peuvent être absorbées après dissolution extracellulaire ou ingestion par les cellules phagocytaires (Abadin et al., 2020).

- **Tractus gastro-intestinal**

Les sources de plomb pouvant également être constituées par les aliments contaminés, le lait, les boissons et l'eau du robinet, de même que les écailles de peintures, les poussières domestique ou les sols (Chanel et al., 1999).

La fraction de Pb ingérée absorbée par le tractus gastro-intestinal dépend de nombreux facteurs, notamment l'âge, et les caractéristiques physiologiques du Pb dans le milieu ingéré (milieu à différentes pH). Elle est influencée aussi par le régime alimentaire, les régimes carencés en fer ou en calcium facilitent l'absorption digestive du plomb qui s'effectue par un mécanisme de transport actif et en compétition avec ces éléments. L'absorption digestive est aussi majorée par le jeun. Elle est augmentée par la vitamine D (Oliko et al., 2020).

- ✓ Les enfants peuvent absorber 40 à 50% d'une dose orale de plomb soluble dans l'eau, contre 3 à 10% pour les adultes.
- ✓ L'absorption gastro-intestinale du Pb inorganique se produit principalement dans le duodénum (Abadin et al., 2020).

- **Dermique**

Le plomb inorganique peut être absorbé après une exposition par inhalation, par voie orale et cutanée, mais cette dernière voie est beaucoup moins efficace que les deux premières, donc l'absorption cutanée est négligeable. L'exposition par voie cutanée n'est notable que pour les dérivés organiques du plomb. L'absorption du Pb par cette voie déposé est influencée par la surface de contact, la concentration, la solubilité et la durée d'exposition. Des études chez l'animal ont montré que le Pb organique (peut être présente dans les crèmes) est absorbé par la peau car il est liposoluble (Abadin et al., 2020).

b. 2. Distribution

Le plomb se diffuse rapidement vers les différents organes comme le cerveau, les dents, les os, par la circulation sanguine. La demi-vie du plomb dans les tissus mous et dans le sang est de 30 jours environ, mais elle passe de 1 à 10 ans dans les os (Cecchi, 2008).

En général, le plomb dans le corps humain à l'état d'équilibre se répartit comme suit :

- 1 à 2 % dans le sang ;
- 5 à 10 % dans les tissus mous (rein, foie, rate) ;
- Plus de 90 % est fixé sur les os (75 % chez l'enfant).

Le plomb lié à l'os compact ne produit pas d'effet toxique et ses mouvements sont très lents. Cependant, il peut être libéré massivement en cas de déminéralisation étendue (corticothérapie prolongée, ostéoporose, tumeur osseuse, immobilisation prolongée) ; de même, le pool de plomb biologiquement actif augmente pendant la grossesse et l'allaitement.

Le plomb franchit aisément la barrière placentaire ; à la naissance, les plombémies de la mère et de l'enfant sont peu différentes (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

La distribution du Pb dans le corps est indépendante de la voie, chez les adultes, environ 94% de la charge corporelle totale de Pb se trouve dans les os, contre environ 73% chez les enfants (**Abadin et al., 2020**).

- Le plomb dans le sang se trouve principalement dans les globules rouges. Des conditions telles que la grossesse, l'allaitement, la ménopause et l'ostéoporose augmentent la résorption osseuse et par conséquent, augmentent également le Pb dans le sang.

- Le plomb peut être transféré de la mère au fœtus et également de la mère aux nourrissons via le lait maternel (**Abadin et al., 2020**).

Dans le sang, la majeure partie du plomb est présent dans les érythrocytes (globules rouges), en raison de sa forte affinité pour l'acide δ -aminolévulinique déshydraté (ALAD) (**Oliko et al., 2020**).

b. 3. Métabolisme

Les composés organiques du Pb sont activement métabolisés dans le foie par dés-alkylation oxydative dont le cytochrome P-450 est le catalyseur (**Abadin et al., 2020**).

b. 4. Elimination

L'excrétion du plomb est principalement urinaire (> 75 %) et fécale (15-20 %) quelle que soit la voie d'exposition. Il existe aussi une faible excrétion lactée, salivaire et capillaire, et dans les cheveux, les ongles et le liquide séminal (**Oliko et al., 2020**).

Le plomb est éliminé de l'organisme de manière rapide, s'agissant du plomb non fixé ; ensuite une élimination plus lente intervient et correspond à la fraction de plomb faiblement liée ; enfin, une élimination encore plus lente peut intervenir plusieurs années plus tard correspondant au plomb fortement fixé notamment aux os (**Oliko et al., 2020**).

A l'arrêt de l'exposition, la décroissance de la plombémie est lente : la demi-vie d'élimination est d'abord de 30-40 jours ; après quelques mois, elle est supérieure à 10 ans. Elle est très augmentée en cas d'insuffisance rénale (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

C. Mécanisme d'action

La similarité des cations de plomb Pb^{2+} avec Ca^{2+} , Zn^{2+} et probablement le Mg^{2+} est la cause d'interférence avec de nombreux processus biochimiques :

- Interaction avec plusieurs protéines par l'intermédiaire de leur groupements thiols (SH)
= Action thioloprive.
- Inhibition de l'initiation de la synthèse protéique au niveau des ribosomes.
- Effet oxydant direct ou indirect par l'intermédiaire de l'accumulation de précurseurs de l'hème.
- Perturbation de l'homéostasie calcique (**Bensakhria, 2016**).

C. 1. Action sur le système hématopoïétique (héματο toxicité)

La concentration du plomb dans la moelle osseuse est d'environ 50 fois celle du sang circulant ce qui entraîne une altération de la maturation des globules rouges (**Bensakhria, 2016**).

C. 1. 1. Interférence avec la synthèse de l'hème

Dans les érythroblastes de la moelle osseuse, le plomb perturbe la synthèse par inhibition enzymatique de l'acide delta-aminolévulinique déshydratase qui permet la condensation de l'acide delta-aminolévulinique en porphobilinogène et l'inhibition enzymatique de la ferrochélatase (ou hème synthétase) qui permet l'incorporation du fer ferreux à la protoporphyrine pour former l'hème, à cause de l'affinité qu'il présente pour les groupements thiols (**Bensakhria, 2016**).

C. 1. 2. Troubles de la formation des hématies (des précurseurs des GR dans la moelle osseuse)

- Altération morphologique :

Présence d'hématies à granulation basophiles ou hématies ponctuées, qui sont des réticulocytes altérés. Ces ponctuations sont des amas d'acide ribonucléique qui pourraient résulter d'une inhibition de la pyrimidine-5-nucléotide (**Bensakhria, 2016**).

- Altération membranaire :

Le plomb inhibe une enzyme de la membrane des hématies, la Na/K ATPase (ATPase activée par le Na et le K), ce qui entraîne une hémolyse. L'intoxication par le plomb conduit ainsi à une anémie hypochrome à tendance hémolytique (**Bensakhria, 2016**).

C. 2. Action neurotoxique (neurotoxicité)

Le plomb exerce une action neurotoxique périphérique, polynévrite saturnine, au niveau du système nerveux central le plomb conduit à une encéphalopathie.

Il a été démontré que le plomb interfère avec la libération d'acétylcholine. Il inhiberait également l'adénylate cyclase du système nerveux central (**Bensakhria, 2016**).

C. 3. Action néphrotoxique

Les ions Pb^{2+} sont rapidement absorbés par les cellules des tubules proximaux où ils endommagent la mitochondrie. A long terme ils entraînent une néphropathie interstielle chronique (**Bensakhria, 2016**).

C. 4. Génotoxicité et cancérogénicité

- Systèmes de réparation de l'ADN ;
- Le maintien de la structure de l'ADN ;
- L'expression de certaines kinases régulant le contrôle du cycle cellulaire (**Bensakhria, 2016**).

C. 5. Effets immunologiques

Perturbation des systèmes immunitaires humoraux et à médiation cellulaire, diminution de la résistance aux maladies, sensibilisation, auto-immunité et inflammation (**Abadin et al., 2020**).

C. 6. Effets sur la reproduction

o Hommes : Effets sur le sperme, altérations de la qualité du sperme, diminution de la fertilité, lésions histopathologies des testicules et éventuelles modifications des concentrations sériques des hormones de la reproduction (Abadin et al., 2020).

o Femmes : Altérations possibles des concentrations sériques d'hormones reproductrices, diminution de la fertilité, avortement spontané, naissance prématurée et âge précoce au début de la ménopause (Abadin et al., 2020).

C. 7. Effets sur le développement

Diminution du poids et de la taille à la naissance, diminution des mesures anthropométriques chez les enfants et retard de la puberté chez les hommes et les femmes.

Les autres effets sur la santé associés à la Pb sont les suivants :

C. 8. Effets respiratoires

Diminution de la fonction pulmonaire, augmentation de l'hyperréactivité bronchique, augmentation du risque d'asthme et de maladie pulmonaire obstructive.

C. 9. Effets hépatiques

Augmentation possible des enzymes hépatiques plasmatiques et du cholestérol, hypertrophie du foie et augmentation de l'épaisseur de la paroi de la vésicule biliaire.

C. 10. Effets endocriniens

Altérations possibles du sérum des hormones thyroïdiennes, modification des réponses du cortisol, modification des facteurs de croissance sérique et diminution des taux sériques de vitamine D.

C. 11. Effets gastro-intestinaux

Douleurs abdominales/coliques, nausées, vomissements et diarrhée et/ou constipation.

C. 12. Effets musculo-squelettiques

Perte osseuse, ostéoporose, caries dentaires, perte de dents et parodontite.

D. Toxicité

Le plomb a de nombreux effets toxiques sur la santé, qui sont basés sur les niveaux de plomb dans le sang ou plombémie sanguine (Cecchi, 2008).

Il existe deux types d'intoxication soit aiguë ou chronique. L'intoxication aiguë par le plomb est rare. Elle est en effet secondaire à une ingestion massive ou l'administration parentérale d'un dérivé inorganique. Elle ne doit pas être confondue avec les manifestations aiguës de l'intoxication chronique (INSP, QUEBEC 2003).

D. 1. Toxicité aiguë

L'intoxication aiguë ne se rencontre plus que très rarement aussi bien dans l'industrie qu'en milieu non professionnelle, mais elle peut néanmoins se produire par inhalation ou par absorption dans des situations accidentelles. L'essentielle des données rapportées dans littérature concerne l'absorption de plomb ou ses dérivées par voie orale (Ait hamadouche, 2010). Elle s'observe lors d'ingestion accidentelle ou volontaire. Elle se manifeste de la façon suivante : œsophagite, gastrite, vomissement puis encéphalopathie convulsive et coma conduisent à la mort en 2-3 jours avec anémie hémolytique, atteinte rénale et hépatique (Laperche et al., 2004).

Dans l'organisme, la toxicité est aiguë à partir de 0.1 mg/L et il se concentre le long de la chaîne alimentaire. La dose létale pour l'être humain est de 0,5 g (Ghislaine, 2018).

L'intoxication aiguë évolue en deux phases. Deux à 48 heures après la prise surviennent des douleurs abdominales, des vomissements et parfois une diarrhée. Ces troubles digestifs sont habituellement modérés et de brève durée. Ils s'accompagnent d'une hémolyse (toujours discrète), d'une hépatite cytolytique (dose-dépendante, elle ne s'observe qu'en cas d'intoxication massive) et d'une atteinte tubulaire rénale. Plus rarement, des arthralgies et/ou des signes d'atteinte neurologique centrale (céphalées, agitation, délire, hallucinations) sont également notés. La plombémie initiale est toujours très élevée. Lorsqu'elle reste supérieure à 1000 µg/L le lendemain de la prise, c'est le signe d'une intoxication sévère : même si les manifestations cliniques et biologiques initiales sont bénignes, un traitement chélateur est nécessaire ; s'il n'est pas rapidement effectué, l'évolution de l'intoxication se fait vers l'apparition progressive des signes cliniques et biologiques du saturnisme chronique (MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006).

D. 2. Toxicité chronique-le saturnisme

L'exposition par ingestion prédomine dans la population générale tandis que l'inhalation prédomine en milieu professionnel, ces deux voies sont le plus souvent indiscernable l'une de l'autre (Ait hamadouche, 2010).

Le saturnisme est une intoxication chronique, professionnelle ou domestique, par le plomb, ces vapeurs ou ces sels, qui pénètrent dans l'organisme par voie digestive ou respiratoires (**Laperche et al., 2004**).

Cette maladie est connue depuis l'Antiquité mais elle reste d'actualité. C'est dans les années 1980 (en France) que plusieurs cas de saturnisme infantile, dont certains mortels, ont mis en évidence l'implication de l'habitat comme facteur majeur de risque d'intoxication par le plomb chez l'enfant référence (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

L'absorption du plomb est largement supérieure chez les jeunes organismes, ce qui augmente les effets toxiques. À cause de ses caractéristiques chimiques, il passe facilement dans le placenta et le lait (**Ghislaine, 2018**). Il peut provoquer une grande fatigue, des troubles du comportement, de la mémoire, du sommeil, des systèmes immunitaires et reproducteurs, mais ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. En bloquant plusieurs enzymes nécessaires à la synthèse de l'hémoglobine, il entraîne une diminution du nombre de globules rouges et une anémie (**Cecchi, 2008**).

La dose hebdomadaire acceptable (DHA) est recommandée par la FAO/OMS et le comité d'expert évaluée à DHPT = 3,0 mg/semaine par personne adulte. Par convention, la D.H.A pour le plomb a été fixé à 350 µg/L de sang, un apport alimentaire qui contient à peu près 100 µg/L, contribue à augmenter la plombémie de 10 µg/L, alors que 1 µg/m³ d'air pouvait l'augmenter de 2 à 3 µg/L (**Ghislaine, 2018**).

- **Syndrome abdominal**

Dans sa forme typique, c'est la colique saturnine : douleurs abdominales intenses associées à une constipation opiniâtre et, parfois, à des vomissements, sans fièvre, sans contracture abdominale, sans chute tensionnelle, sans signe radiographique de pneumopéritoine ou d'occlusion ; dans la forme typique, la pression artérielle est modérément élevée et on constate une bradycardie, la compression de l'abdomen, au-dessus de l'ombilic calme la douleur. Aujourd'hui, il est exceptionnel d'observer ces coliques saturnines, qui ne sont fréquentes que lorsque la plombémie dépasse 1000 µg/L : les intoxiqués dont la plombémie dépasse 500 µg/L ne se plaignent souvent que de vagues douleurs abdominales et d'une constipation (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

- **Encéphalopathie**

C'est une complication de l'intoxication saturnine plus fréquente chez l'enfant. Que chez l'adulte, la forme typique de l'encéphalopathie aiguë nécessite une plombémie supérieure à 2000 µg/L. Chez l'enfant, elle est généralement contemporaine d'une plombémie supérieure à 1000 µg/L et n'a jamais été observée quand la concentration sanguine de plomb était inférieure à 700 µg/L.

Elle se manifeste diversement : délire, syndrome déficitaire focalisé, coma, convulsions, etc. Chez l'enfant, le tableau observé est, typiquement, celui d'une hypertension intracrânienne avec : apathie, céphalées, vomissements, diplopie, puis confusion, somnolence, troubles de l'équilibre, parfois accès amaurotiques, enfin coma et convulsions. Ces intoxications graves sont mortelles en quelques heures, si un traitement adapté n'est pas rapidement effectué. Chez les survivants, les séquelles invalidantes (retard psychomoteur, épilepsie, cécité, hémiparésie...) sont fréquentes.

Chez l'enfant, lorsque la plombémie est comprise entre 500 et 700 µg/L, on peut observer une forme subaiguë de l'encéphalopathie avec diminution de l'activité motrice, irritabilité, troubles du sommeil, apathie, stagnation du développement intellectuel ; ces manifestations doivent faire craindre la survenue d'une encéphalopathie aiguë ; elles commandent une évaluation de l'intoxication saturnine et un traitement chélateur (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

* Le plomb est responsable de troubles mentaux organiques :

Céphalées, asthénie, irritabilité, difficultés mnésiques et de concentration, diminution de la libido, troubles du sommeil, altérations de la dextérité et de la coordination ; les tests psychométriques et les potentiels évoqués (visuels, somesthésies et moteurs) permettent d'objectiver et d'évaluer l'atteinte neurologique centrale (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

* Les troubles mentaux organiques induits par le plomb sont très durables :

Des études récentes montrent que les individus intoxiqués pendant leur petite enfance conservent un déficit cognitif quelques années plus tard et encore pendant l'adolescence et à l'âge adulte (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

* Neuropathies périphériques :

La forme typique de la neuropathie saturnine est une paralysie anti brachiale pseudo-radiale (la force du long supinateur est conservée). Sa première manifestation clinique est l'impossibilité d'extension du médus et de l'annulaire (le malade fait les cornes). La paralysie s'étend ensuite

aux autres doigts et aux extenseurs du poignet. L'atteinte sensitive est cliniquement inconstante et toujours discrète. D'autres territoires peuvent être touchés : petits muscles des mains, péroniers, nerfs crâniens. Les neuropathies périphériques sont rares, chez l'enfant. Chez l'adulte, aujourd'hui, elles sont presque toujours latentes cliniquement ; en revanche, on note fréquemment un ralentissement des vitesses de conduction sensibles et motrices des membres ; au niveau de groupes, ces anomalies électro physiologiques sont décelables dès que la plombémie atteint 200 µg/L ; au niveau individuel, des altérations sont détectables à partir de 400 µg/L (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

* Autres atteintes neurologiques :

Quelques cas d'atteinte de la corne antérieure réalisant un tableau proche de celui de la sclérose latérale amyotrophique sont publiés. Des neuropathies optiques ont également été décrites. Chez l'enfant, on a mis en évidence une perte de l'acuité auditive parallèle à l'élévation de la plombémie ; c'est encore un effet sans seuil (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

- **Atteintes rénales**

Une tubulopathie proximale qui s'observe en cas de contamination importante, correspondant à une plombémie dépassant généralement 700 µg/L ; elle se traduit par une fuite de protéines de faibles poids moléculaires (b-2- micro globuline, retinol-binding protéine, a-1-microglobuline, etc.) ; chez l'enfant, se trouve parfois réalisé un véritable syndrome de Toni-Debré-Fanconi avec outre la protéinurie, une aminoacidurie, une glycosurie, une hyper calciurie et une hyper phosphaturie ; l'atteinte tubulaire guérit à l'arrêt de l'exposition ; des travaux récents ont mis en évidence des dysfonctionnements tubulaires (élévation de la N-acétylglucosaminidase), chez les travailleurs exposés dont la plombémie était comprise entre 400 et 700 µg/L.

Une atteinte rénale tardive, qui s'observe après 10 à 30 ans d'exposition, à des niveaux d'imprégnation correspondant à une plombémie supérieure à 600 µg/L ; c'est une insuffisance rénale modérée due à des lésions glomérulaires et tubulo-interstitielles sans caractère spécifique ; elle est définitive (**MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006**).

- **Hypertension artérielle**

La colique de plomb s'accompagne généralement d'une élévation modérée de la pression artérielle. A un stade tardif de l'intoxication saturnine, la constatation d'une hypertension artérielle est habituelle. Dans la population générale, il existe une corrélation positive entre

plombémie et pression artérielle. La physiopathologie de cette élévation tensionnelle est discutée (MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006).

- **Hyper uricémie**

Le plomb diminue l'élimination urinaire de l'acide urique. L'uricémie est fréquemment élevée chez les individus intoxiqués par le plomb. A un niveau individuel, il existe une corrélation positive entre plombémie et uricémie ; en revanche, la constatation d'authentiques crises de goutte chez les intoxiqués, classique jusqu'au début de ce siècle, est aujourd'hui exceptionnelle (MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006).

Tableau 3 : Dose hebdomadaire tolérable pour l'Homme (Ghislaine, 2018).

Métal lourd	Dose hebdomadaire tolérable
Plomb	25 µg/kg de poids corporel

I. 4. 2. Sur les végétaux

Le Pb était classé comme le premier métal lourd sur terre. Il est généralement toxique pour la plupart des plantes à une concentration dans le sol supérieure à 30 mg/kg (Usman *et al.*, 2020).

Les plantes peuvent absorber du plomb à partir des racines, mais également à partir des organes aériens, ou bien par l'intermédiaire des deux. Les quantités de métal absorbées par les racines dépendent de la concentration et de la spéciation du métal dans la solution du sol, mais également de ses capacités de migration du sol vers la surface des racines.

Ensuite, la quantité de plomb présente dans les divers organes d'une plante dépend du transport de l'extérieur des racines vers l'intérieur, puis de sa translocation des racines vers les feuilles (Cecchi, 2008).

L'accumulation du plomb dans les végétaux est variable en fonction de l'espèce et au sein d'une même espèce, selon la variété considérée. De plus pour une plante donnée, la teneur en plomb n'est pas homogène. Elle varie d'un organe à l'autre. Elle peut être différente dans les racines, les tiges ou les feuilles (Ait hamadouche, 2010).

L'absorption du plomb par les plantes est influencée par de nombreux facteurs liés au sol tels que la composition, la granulométrie, mais également des facteurs liés à la plante comme la production d'exsudats racinaires (Shahid, 2010).

I. 5. Traitement

Le traitement se fait par fixation du plomb sous forme non toxique et élimination contrôlée de celui-ci. Le traitement chélateur procède à une élimination par voie rénale, du plomb circulant dans le sang et se compose de dimercaprol et de succimère (**Laperche et al., 2004**).

Le saturnisme est généralement traité en utilisant un sel chélatant de l'édentate de calcium disodique, qui est le calcium du sel disodique de l'acide éthylène-diamine-tétracétique (EDTA). De tels agents chélatants ont une grande affinité pour l'agent d'élimination. L'agent chélatant pour le plomb a une plus grande affinité pour le plomb que le calcium et ainsi le plomb est formé par échange (**Wani et al., 2015**).

I. 6. Diagnostic

Afin de prévenir le saturnisme et la toxicité, un diagnostic approprié est une question primordiale et assez importante. Afin de poser un bon diagnostic, une enquête sur les voies possibles d'exposition est indispensable. L'enquête doit inclure les antécédents médicaux et la détermination des signes cliniques. La participation du personnel approprié, c'est-à-dire des toxicologues cliniques et des médecins spécialistes, peut aider à établir un diagnostic et un traitement appropriés (**Wani et al., 2015**).

I. 6. 1. Surveillance biologique de l'exposition au plomb

Certains tests sont le témoin de l'exposition : plombémie, plomburie spontanée ou provoquée et plomb osseux. D'autres sont les témoins des répercussions sur l'organisme : acide delta aminolévulinique urinaire (ALA U), protoporphyrines intraérythrocytaires (PPE) en particulier sous forme de protoporphyrines zinc (PPZ), mais aussi de protoporphyrines libres (coproporphyrinurie...) (**BIOTOX, 2020**).

I. 6. 1. a. Indicateurs de l'exposition de la dose interne ou de pool biologique actif

- La plombémie (sur sang total) :

La concentration de plomb dans le sang total est l'indicateur privilégié de l'exposition humaine du fait de sa standardisation et correspond à une évaluation directe du risque.

La mesure du plomb dans le sang total (plombémie) est donc l'indicateur de référence pour évaluer une imprégnation par le plomb et ses effets sur la santé. En effet :

- elle représente la fraction biologiquement active du plomb dans l'organisme et donc son potentiel toxique ;

- elle reflète une exposition au plomb à la fois récente (exogène) et passée (endogène), lorsque la distribution du plomb dans les différents compartiments de l'organisme est équilibrée ;
- elle est l'indicateur le plus facilement accessible (contrairement aux mesures du plomb dans le squelette) et interprétable (contrairement aux mesures dans les urines et les cheveux) puisqu'il existe des valeurs de référence et des seuils réglementaires de prise en charge individuelle (**Oleko et al., 2020**).

Techniquement le dosage de la plombémie est délicat, surtout en milieu susceptible d'être contaminé par du plomb. Le prélèvement doit être réalisé de façon rigoureuse pour éviter toute contamination de l'échantillon.

Chez l'adulte, il est toujours possible de recourir au volontariat, mais avec comme inconvénient un biais statistique de représentativité. Par contre, la nécessité d'une campagne de dépistage du saturnisme, par plombémie chez l'enfant, doit dûment motivée.

La plombémie constitue, malgré ses inconvénients, un indicateur de référence assez standardisé (**Ait hamadouche, 2010**).

- La plomburie spontanée :

Est un médiocre indicateur de l'exposition au plomb et de sa dose interne. Les prélèvements d'urine comportent, en outre, un risque majeur de contamination externe (**BIOTOX, 2020**).

- La plomburie provoquée :

Par l'EDTA calcicodisodique est un bon indicateur de la dose interne de plomb. Elle en reflète le pool biologiquement actif. Elle permet d'identifier les individus qui peuvent bénéficier d'un traitement chélateur.

L'épreuve de plomburie provoquée n'est, toutefois, pas sans danger, parce qu'elle entraîne une rapide redistribution du plomb qui pourrait aggraver ou faire apparaître des complications neurologiques et rénales de l'intoxication, si un traitement chélateur ne faisait pas immédiatement suite au test. Cet examen complémentaire ne pouvant être effectué que dans des centres médicaux spécialisés, il convient d'en limiter les indications (**BIOTOX, 2020**).

- La concentration osseuse du plomb :

Mesurée, in vivo, par fluorescence X est un excellent indicateur de la dose interne de plomb. Mesurée dans l'os spongieux (calcanéum, par exemple), elle reflète le pool biologiquement actif ; mesurée dans l'os compact (zone médiane du tibia, par exemple), c'est un indicateur de la charge

corporelle totale de plomb. Les mesurages entraînent une irradiation inférieure à celle d'un examen radiographique classique. Cependant, cette technique appartient encore au domaine de la recherche (BIOTOX, 2020).

I. 6. 1. b. Indicateurs d'effets précoces

Le plomb inhibe plusieurs des enzymes intervenant dans la synthèse de l'hème, en particulier la déshydratase de l'acide delta-aminolévulinique (ALA), l'hème synthétase et à un moindre degré, la coproporphyrinogène décarboxylase, entraînant une élévation de la concentration urinaire de l'ALA et de la coproporphyrine et de la concentration érythrocytaire de protoporphyrine et de son chélate de zinc, la protoporphyrine-zinc (ZPP) (BIOTOX, 2020). (Fig. 2)

- La protoporphyrine érythrocytaire (PPE) ou sa fraction liée au zinc (PPZ) :

Sont des indicateurs de l'exposition des mois précédents (95 % des protoporphyrines sont liées au zinc). La PPZ est l'indicateur à utiliser de préférence à la PPE, car il est plus facile et moins coûteux à mesurer. La PPZ est fortement corrélée à la plombémie lorsque celle-ci est comprise entre 350 et 800 $\mu\text{g/L}$; pour des plombémies de l'ordre de 500 $\mu\text{g/L}$, la PPZ avoisine 20 $\mu\text{g/g}$. Hb (pour certains 7 $\mu\text{g/g}$. Hb). En cas d'exposition stable et prolongée, la PPZ est un bon indicateur du pool de plomb biologiquement actif. La PPZ s'élève plus tardivement que l'ALA urinaire, de 2 à 3 semaines après le début de l'exposition, mais dès que la plombémie atteint 200 $\mu\text{g/L}$ et n'augmente plus au-delà d'une plombémie de 900 $\mu\text{g/L}$; les concentrations diminuent lentement (en 2 à 4 mois après l'arrêt de l'exposition, voire 1 année). Les résultats devront toujours être exprimés en $\mu\text{g/g}$. Hb chez les individus qui ne sont pas exposés au plomb, la PPZ est inférieure à 3 $\mu\text{g/g}$. d'hémoglobine. Le principal inconvénient pratique de cet indicateur est l'interférence avec la carence martiale qui augmente la PPZ.

Le déficit en fer est rare dans la population d'adultes masculins qui constitue l'essentiel de la population de travailleurs exposés au plomb (BIOTOX, 2020).

- L'ALA urinaire :

Est le témoin des effets sur l'organisme après une exposition récente : c'est un bon test en milieu professionnel en cas de forte exposition brève ou accidentelle. La porphyrie aiguë intermittente, la tyrosinémie héréditaire et, à un moindre degré, les maladies hépatiques et le stress, quelle qu'en soit la cause, peuvent aussi augmenter l'ALA U. En cas d'exposition intense, il s'élève précocement dès la deuxième semaine et est bien corrélé à la plombémie quand celle-ci atteint 600 $\mu\text{g/L}$. Sa sensibilité est médiocre : l'ALA commence à s'élever que lorsque la plombémie atteint 350 $\mu\text{g/L}$ et se normalise rapidement (dans les 15 jours) à l'arrêt de l'exposition. En

pratique, ce n'est plus un indicateur assez sensible pour être utile à la surveillance des travailleurs exposés au plomb quand leur plombémie est inférieure aux valeurs limites réglementaires **(BIOTOX, 2020)**.

- L'ALA-déshydratase (ALAD) :

Catalyse la condensation de deux molécules d'ALA, aboutissant à la production de porphobilinogène. La plombémie n'entraînant pas d'inhibition de l'ALAD est inférieure à 100 µg/L. Le blocage de l'enzyme est complet lorsque la plombémie est au moins égale à 900 µg/L. La corrélation avec la plombémie n'est acceptable qu'en dessous de 400 à 600 µg/L (selon la méthode de dosage de l'ALAD). D'autres métaux que le plomb inhibent cette enzyme et la conservation des prélèvements est difficile. Tous ces inconvénients expliquent que cet indicateur ne soit plus aujourd'hui recommandable, au moins pour un dépistage, un diagnostic ou un suivi individuel et de routine **(BIOTOX, 2020)**.

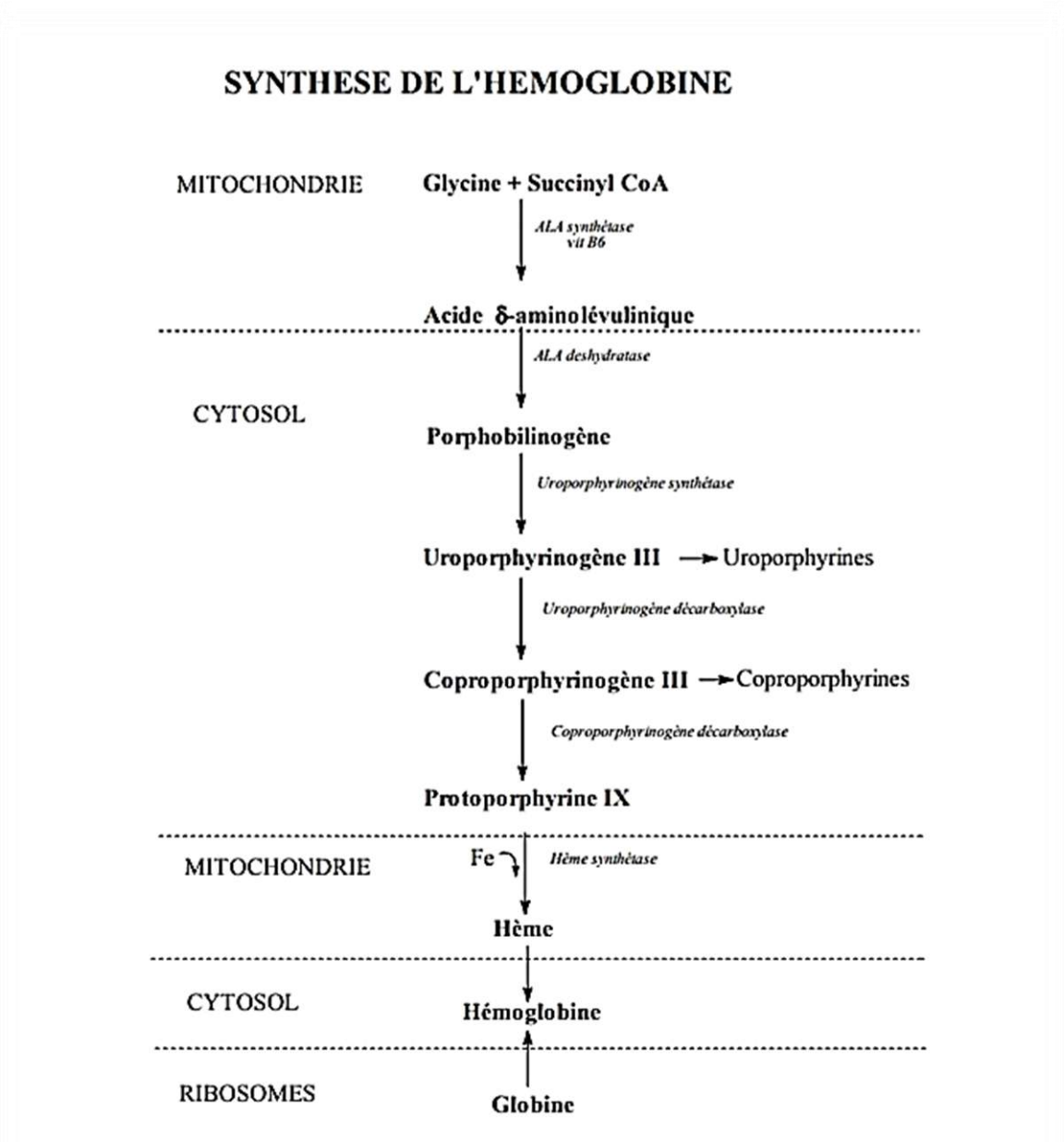


Figure 2 : Synthèse de l'hème. Le plomb inhibe l'ALA-déshydratase et à un moindre degré, la coproporphyrinogène-décarboxylase (Pelou, 2018).

I. 7. Réglementation

Dans tous les pays industrialisés, des normes environnementales régissent l'exposition au plomb. En plus de déterminer des concentrations de contaminants à ne pas dépasser dans l'environnement.

Au tableau 4 sont présentés les recommandations ou règlements québécois régissant la contamination par le plomb de l'eau potable, de terre et l'aliment etc. (INSP, QUEBEC 2003).

Tableau 4 : Valeurs limites réglementaires pour les concentrations du plomb dans différents milieux (Baunot et al. 2017).

Milieux	Grandeur mesurée	Valeur limite réglementaire	Origine des valeurs
Peintures et autres revêtements	Concentration surfacique	1 mg/cm ²	France
	Concentration massique en plomb acido-soluble	1,5 mg/g	France
	Concentration massique en plomb total	5 mg/g	USA
Terre (sol nu sur lequel joue l'enfant)	Concentration massique en plomb total	400 mg/kg	USA
Eau potable	Concentration	10 µg/L	France
Vaisselle et ustensiles culinaires :	Tests de relargage		
Vaisselle, objets non remplissables	Quantité relarguée par unité de surface	0,8 mg/dm ²	France
Vaisselle, objets remplissables	Concentration dans la solution d'extraction	4,0 mg/L	France
Ustensiles de cuisson et récipients de stockage	Concentration dans la solution d'extraction	1,5 mg/L	France
Jouets	Tests de relargage : Quantité relarguée par masse de matériau-jouet	90 mg/kg	France
Aliments : Lait, jus de fruits	Concentration à l'état frais (plomb total)	0,02 à 0,05 mg/kg	Communauté européenne

Viande, chair de poisson		0,1 à 0,2 mg/kg	Communauté européenne
Abats, crustacés, mollusques		0,5 à 1,0 mg/kg	Communauté européenne
Légumes, fruits, céréales, Légumineuses		0,1 à 0,3 mg/kg	Communauté européenne

CHAPITRE II
GENERALITES SUR LE
DROMADAIRE

Le dromadaire occupe une place de choix dans les zones arides et semi arides, en raison de son excellente adaptation aux mauvaises conditions de vie, tels que le manque d'eau et de pâturage et parvient à produire lait et viande de bonne qualité (**Mahboub et al., 2012**).

Les dromadaires (*Camelus dromedarius*) présentant un intérêt particulier dans les régions arides et désertiques. Leur adaptabilité unique rend cette espèce idéale pour l'exploitation face aux défis du réchauffement climatique et de parfaits alliés pour la sécurité alimentaire dans un climat changeant (**Fguiri et al., 2021**).

Ce chapitre aura comme objectif principal de décrire les principales caractéristiques du dromadaire.

II. 1. Anatomie générale

Le dromadaire possède un puissant ligament cervical, soutenant une tête lourde sur un cou très long. Le palais dur est étroit ce qui permet une extériorisation du voile du palais chez le mâle lors du rut (doula). La peau est peu mobile, la queue est courte ce qui le défavorise dans la lutte contre les insectes. Les poches stomacales sont au nombre de trois chez le dromadaire et le premier compartiment contient les glandes sécrétoires (**Caroline et al., 1986**).

II. 2. Taxonomie et origine des dromadaires

Le nom dromadaire dérive du grec ancien "dromados", génitif de dromas, qui signifie "qui court", pour leur utilisation dans le transport (**Saidi, 2020**).

Le dromadaire appartient au genre *Camelus* et à la famille des *Camélidae*. La famille des *Camélidae* ne comprend que deux genres : *Camelus* et *Lama*. Le genre *Camelus* occupe les régions désertiques de l'Ancien Monde (Afrique, Asie et Europe), a donné naissance à deux espèces distinctes (*camelus bactrianus*, *camelus dromedarius*) (**Fig. 3a ; Fig. 3b**). Alors que le genre *Lama* est spécifique des déserts d'altitude du Nouveau Monde (les Amériques) où il a donné naissance à quatre espèces distinctes (*lama glama*, *guanacoe*, *pacos*, *vicugna*) (**Mjidou, 2018**).

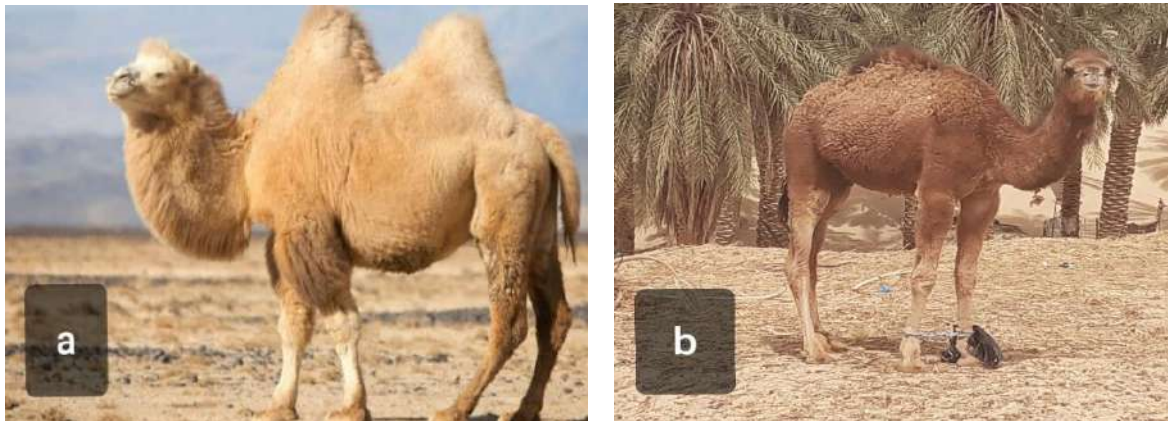


Figure 3 : Les deux espèces de *Camelidae*, (a) : *Camelus bactrianus*, (b) : *Camelus dromedarius*.

Les dromadaires d’Algérie appartiennent à la famille des *Camelidae*, qui sont des mammifères artiodactyles d'origine nord-américaine, mais qui ont disparu de ce continent alors qu'ils se répandaient en Amérique du Sud, en Asie, puis en Afrique, continents où ils ont survécu pour donner naissance aux espèces modernes (Saidi, 2020).

Tableau 5 : Classification zoologique du dromadaire (Saidi, 2020).

Taxonomie	
Règne	Animal
Embranchement	Vertébrés
Classe	Mammifères
Sous classe	Placentaires
Ordre	Artiodactyles
Sous ordre	Tylopodes
Famille	<i>Camelidae</i>
Genre	<i>Camelus</i>
Espèce	<i>Camelus dromedarius</i>

II. 3. Alimentation

Le dromadaire est habitué à la végétation des zones sèches, il utilise les ressources ligneuses qui peuvent être plus abondantes que les ressources herbacées aux marges du désert. Dans les systèmes plus intensifiés, le dromadaire peut avoir aisément accès à d'autres ressources issues de l'agriculture (brisure ou son de riz ou de blé, orge, drèches de brasserie, sous-produits d'huilerie...) ou à des compléments du commerce (Caroline et al., 1986).

II. 4. Différents systèmes d'élevage camelin

Les élevages sont la plupart du temps de type extensif traditionnel, mais l'élevage intensif est pratiqué aussi dans certaines régions du monde, notamment dans le golfe persique.

Selon Adamou (2008), l'élevage du dromadaire en Algérie est conduit selon trois principaux systèmes d'élevage qui sont le sédentaire, le nomade, le semi-nomade (Slimani, 2015).

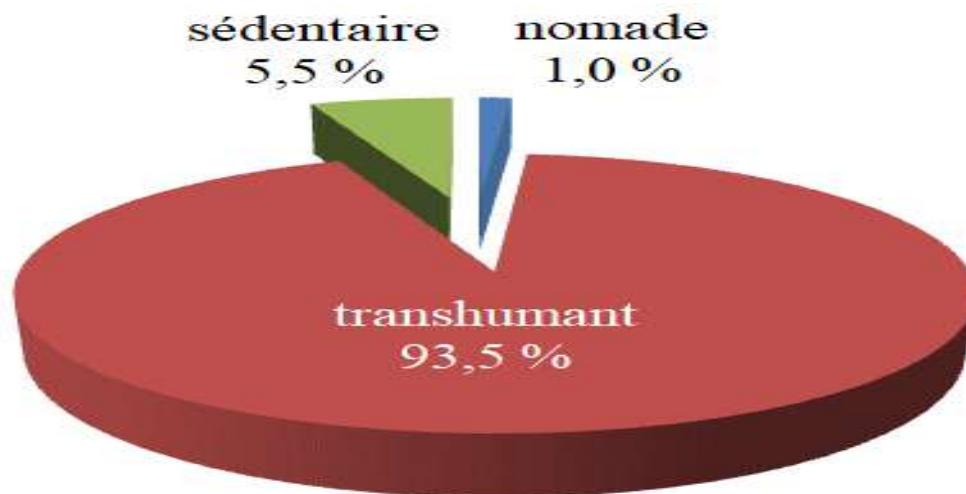


Figure 4 : Systèmes de production camelines répertoriés (Bedda et Adamou, 2019).

II. 5. Répartition géographique des dromadaires

II. 5. 1. Distribution dans le monde

L'élevage camelin occupe une place importante dans le monde. Un total de 25,89 millions de chameaux a été estimé dans le monde par la FAO où 89 % de cette population sont représentés par les dromadaires à une seule bosse alors que le reste est représenté par les chameaux à deux bosses (Saidi, 2020). (Fig. 5)



Figure 5 : Carte de distribution géographique de dromadaire dans le monde (Rahli, 2015).

(Zones vertes *Camelus dromedarius* et zones roses *Camelus bactrianus*).

II. 5. 2. Distribution en Algérie

Le dromadaire est présent dans 17 Wilayas (8 sahariennes et 9 steppiques). L'effectif camelin algérien a été estimé par la FAOSTAT à 379 094 têtes en 2016. Ce chiffre situe tout de même l'Algérie au 14^{ème} rang mondial et au 6^{ème} rang du monde arabe. Le cheptel camelin est réparti sur trois principales zones d'élevage (Fig. 6) : le sud-est, le sud-ouest et l'extrême sud avec respectivement 52 %, 18 % et 30 % de l'effectif total (Saidi, 2020).

En effet, le territoire joue un rôle important dans la localisation et la distribution de ces effectifs qui se traduit principalement par les conditions bioclimatiques (Meguellati-Kanoun et al., 2018).

Cet élevage suscite une activité socio-économique intéressante vu qu'il représente un atout incontestable dans la sécurisation alimentaire des régions désertiques et arides (Meguellati-Kanoun et al., 2018).

L'élevage du dromadaire dans le monde est orienté vers son utilisation pour le transport, la production de viande, de peau et surtout de lait. En Algérie, l'élevage du dromadaire est surtout orienté vers la production laitière. Le lait produit est généralement consommé à l'état cru ou fermenté, ou sert pour sevrer les jeunes chamelons (Saidi, 2020).

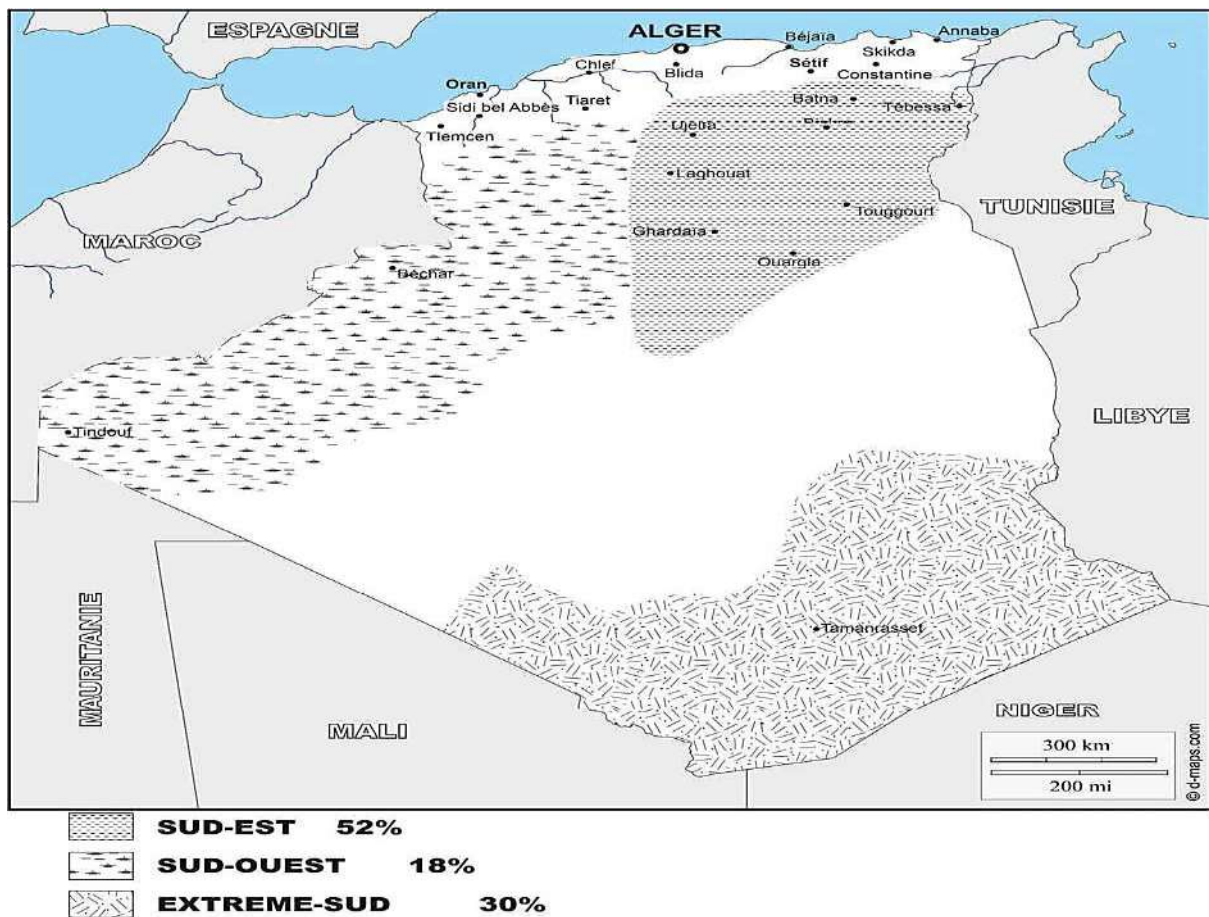


Figure 6 : Aires de distribution du dromadaire en Algérie (Saidi, 2020).

II. 6. Races camelines en Algérie

Les différentes races camelines rencontrées en Algérie se retrouvent dans les trois pays d'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie) ; ce sont des races de selle, de bât et de traite, leur répartition est indiquée dans la **figure 7**.

Il s'agit des races suivantes :

La race Chaambi : Animal médialigne, musclé, fortement croisée avec du sang de dromadaire arabe et qui est très bon pour le transport. Sa répartition va du grand erg occidental au grand ERG Oriental. On le retrouve aussi dans le Metlili des Chaambas (**Rahli, 2015**).

La race Ouled Sidi Cheikh : C'est un dromadaire adapté aussi bien au sol caillouteux qu'au sol sableux. C'est un animal de selle ou de bât. Il est assez grand et de taille variante entre 1,80 m et 1,83 m. On le trouve dans les hauts plateaux du grand erg occidental (**Saidi, 2020**).

La race Sahraoui : C'est un dromadaire issu du croisement de Chaambi et Ouled Sidi Cheikh. Dur et résistant, c'est un excellent Méhari de troupe ; son territoire va du grand erg occidental au centre du Sahara (**Saidi, 2020**).

La race Ait Khebbach : C'est un dromadaire bréviligne de taille moyenne. C'est un animal de bât puissant et robuste. Il est présent dans l'aire sud-ouest (**Saidi, 2020**).

Le dromadaire de la Steppe : C'est un dromadaire commun, petit bréviligne. Il est utilisé pour le nomadisme rapproché. On le trouve aux limites Sud de la steppe (**Saidi, 2020**).

La race Targui : Ou race des Touaregs du Nord. Les dromadaires Targuis sont des animaux habitués aussi bien aux escarpements arides du Tassili et du Massif central du Hoggar, qu'aux sables. Leur taille dépasse généralement 2 m. C'est un excellent Méhari, animal de selle par excellence souvent recherché au Sahara comme reproducteur. Réparti dans le Hoggar et le Sahara Central et aussi on le retrouve dans d'autres pays tels que le Niger et le Mali (**Saidi, 2020**).

La race Berberi : Dromadaire de forme fine, avec une arrière main bien musclée, rencontré surtout saharienne et tellienne. Il est très proche du Chaambi et de l'Ouled Sidi Cheikh (**Rahli, 2015**).

La race Ajjer : Animal bréviligne de petite taille. Bon marcheur et porteur. Se trouve dans le Tassili d'Ajjer (**Rahli, 2015**).

La race Reguibi : Se trouve dans l’ouest saharien. C'est un animal d'assez grande taille, bien adapté à la course (Saidi, 2020).

La race Aftouth : Il est utilisé comme un dromadaire de trait et de bât. On le trouve dans la région de Tindouf et Bechar. Le terme Aftouth est un terme générique qui regroupe plusieurs types de dromadaires de la région du Sahara occidental et se caractérise par une grande variété de la couleur de robe allant de jaune clair à presque noir (Saidi, 2020).

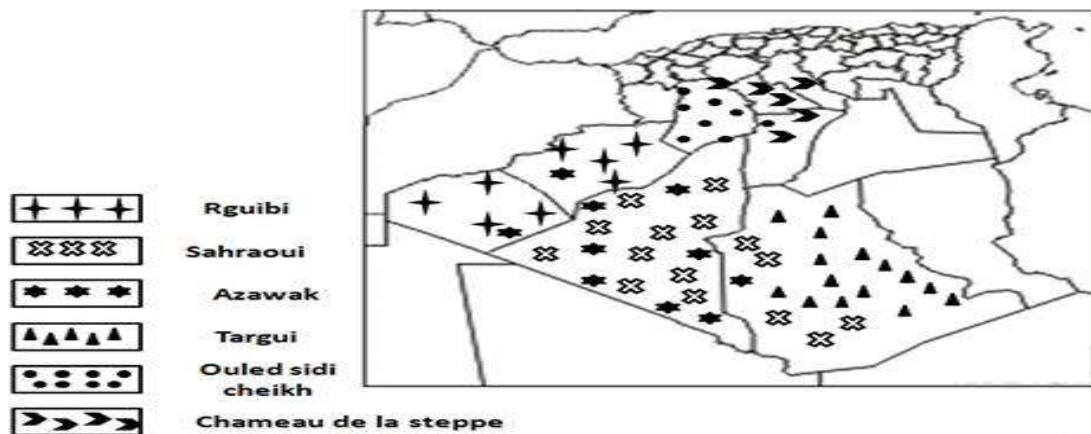


Figure 7 : Localisation des principales races de dromadaires en Algérie (Saidi, 2020).

II. 7. Production

II. 7. 1. Production de viande

En Algérie, on abat en moyenne 7.284 têtes chaque année. Soit 4,2% de l'effectif estimé (150.000). On estime la production de viande cameline à 1.320 tonnes en moyenne chaque année. Ce tonnage ne représente en fait que 50% des viandes camelines réellement consommées (Ben Aissa, 1989).

II. 7. 2. Production laitière

La production laitière est difficile à déterminer dans les conditions pastorales à cause des nombreux déplacements et de l'irrégularité de la traite. La traite est variable selon les régions et n'est faite généralement que quand les conditions alimentaires le permettent. Dans les conditions difficiles le lait est entièrement réservé aux chamelons (Caroline et al., 1986).

En Algérie, et en général, les caméliens ne sont pas considérés comme producteurs de lait. La production de lait entre pour la majeure partie dans l'alimentation des bergers isolés dans les parcours et des nomades. La production laitière des chamelles varie d'une région à l'autre, en

fonction de la race, de l'individu, de l'alimentation, etc. Les estimations faites par quelques auteurs, nous donnent des valeurs allant de 0,5 à 10 kg/jour avec des durées de lactation de 12 à 18 mois (**Chehma, 2003**) ou de 6 à 9 litres la production journalière d'une chamelle. Au cours des derniers mois d'allaitement elle peut donner 2 à 3 litres (**Ben Aissa, 1989**).

II. 7. 3. Production de travail

En plus de ses capacités à produire du lait et de la viande le dromadaire sert également, et même avant tout, de moyen de transport (selle et/ou bât) ou d'animal de trait (**Ben Aissa, 1989**).

CHAPITRE III
GENERALITES SUR LE LAIT
CAMELIN

Le lait est un aliment indispensable pour la vie. Il constitue un produit de base dans le modèle de consommation algérienne. Depuis longtemps, le lait camelin constitue la principale ressource alimentaire pour les peuplades nomades qui le consomment habituellement à l'état cru ou fermenté (Siboukeur, 2012).

Il y a eu un intérêt croissant pour le lait de chamelle comme alternative au lait bovin et aux produits nutraceutiques en raison de sa haute valeur nutritionnelle et de ses effets thérapeutiques (Sumaira et al., 2020).

III. 1. Caractéristiques du lait camelin

III. 1. 1. Caractéristiques organoleptiques et physico-chimiques

Le lait de chameau est un liquide blanc mat, légèrement visqueux, avec un arôme et des sels comme la saveur (Sumaira et al., 2020). La composition et les caractéristiques physico-chimiques varient sensiblement selon les espèces animales, et même selon les races. Ces caractéristiques varient également au cours de la période de lactation, de la traite ou de l'allaitement (Ghislaine, 2018).

En outre, en raison des graisses homogénéisées dans le lait, la couleur du lait de chamelle est blanche, tandis que les différences de saveur dépendent de la forme d'aliment ou de la plante présente dans la zone de pâturage et de l'eau de boisson (Sumaira et al., 2020).

Comparé au lait de vache, le lait de chamelle s'acidifie très peu. Il peut être conservé longtemps sans réfrigération (3 jours à 30°C et 2 semaines à 7°C) (Ghislaine, 2018).

La viscosité du lait de dromadaire à 20 °C est de 1,72 mPa.s, tandis que la viscosité du lait de vache sous les mêmes conditions est de 2,04 mPa.s.

La valeur du pH du lait camelin se situe autour de $6,68 \pm 0,12$. Le lait de dromadaire a une acidité Dornic plus faible que celle des autres espèces qui est de l'ordre de 15° Dornic.

La densité moyenne de lait de dromadaire est $1,028 \pm 0,002 \text{ g.cm}^{-3}$ et son point de congélation varie entre - 0,57 °C à - 0,61 °C, il est inférieur à celui du lait de vache qui se situe entre - 0,51 °C et - 0,56 °C. Le lait de dromadaire présente une concentration de sel plus grande par rapport au lait de vache (Saidi, 2020).

Comme la vache, la chamelle a une mamelle à quatre quartiers. La période de lactation varie de 9 à 18 mois, et les rendements laitiers calculés varient de 735 à 1675 kg par 305 jours, en fonction de l'individu, la race, le stade de lactation, et l'alimentation. La valeur calorique du lait de chamelle (665 kcal/L) est presque similaire à celle du lait de vache (701 kcal/L) (**Saidi, 2020**).

III. 2. Composition chimique du lait camelin

Les données de la littérature ont montré une large gamme de variations dans la composition du lait de dromadaire en raison de divers facteurs saisonniers et environnementaux ainsi que du stade de lactation, de race, de l'âge et du nombre de vêlages, avec néanmoins des teneurs importantes et équilibrées en nutriments de base que sont les protéines, la matière grasse et le lactose, avec des proportions plus ou moins similaires au lait de vache (**Saidi, 2020**).

La composition en éléments essentiels du lait de dromadaire (en g/100 mL) selon *Zibae et al. (2015)* la quantité moyenne de composants du lait de chamelle est de 3,1% de protéines ; matière grasse 3,5% ; lactose 4,4% ; cendres 0,79% et solides totaux 11,9%. Le facteur le plus important dans le lait de chamelle est la teneur en eau. La teneur totale en solides est similaire à celle du lait maternel.

Le lait de chamelle est pauvre en cholestérol, en sucre et en protéines mais riche en minéraux (sodium, potassium, fer, cuivre, zinc et magnésium) (**Abu-rabia, 2018**).

Plusieurs études ont montré que le lait de chamelle contient diverses vitamines hydrosolubles et liposolubles, telles que les vitamines des groupes A, C, D, E et B avec une teneur globale en vitamines d'environ 3,7 g/L (**Lajnaf, 2020**).

III. 2. 1. Fraction azotée

La fraction azotée du lait de chamelle, comme celle du lait de vache, est répartie en deux sous fractions : l'azote protéique et l'azote non protéique.

La première fraction azotée protéique représente 90 à 95% de l'azote total du lait de chamelle (contre 94 à 95% pour le lait bovin). La deuxième fraction azotée non protéique, qui représente 5 à 10%, est environ deux fois plus élevée que celle généralement retrouvée dans le lait de vache, cette dernière fraction est caractérisée par une haute valeur biologique qui est due à sa richesse en acides aminés libres, en nucléotides et en certains précurseurs de vitamines ainsi que des peptides, de l'acide urique, de l'urée, de la créatine, etc. (**Ghislaine, 2018**).

III. 2. 2. Les caséines

Principale protéine du lait de dromadaire, représentant environ 52 à 87 % des protéines totales. La caséine n'est pas une seule protéine homogène, mais un ensemble de protéines différentes formant un agrégat de fractions de caséine, au nombre de quatre fractions principales appelées : α S1-CN, α S2-CN, β -CN et κ -CN. La β -CN est la principale caséine du lait de dromadaire (65 %), suivie par la α S1-CN (21 %). Seuls 3,47 % de la caséine totale est représentée par la κ -CN dans le lait de dromadaire comparativement à 13 % dans le lait de vache (**Saidi, 2020**).

III. 2. 3. Teneur en eau

Le lait de chameau comprend une grande proportion d'eau qui varie de 84% à 91%. Le rapport de l'eau dans le lait de chameau peut varier en fonction des circonstances entourant les chameaux (comme l'alimentation et la température). Boire de l'eau pendant l'hiver, le veau et la mère ont été autorisés à boire une seule fois par semaine pendant une heure du printemps jusqu'à la fin de l'été. La teneur en eau du lait était de 86% lorsque l'eau était limitée, la teneur en eau du lait augmentait à 91% lorsque l'eau était limitée. Par conséquent, il semble que la chamelle en lactation à l'époque sacrifie de l'eau au lait au moment de la sécheresse, perçue comme une capacité commune à fournir non seulement des nutriments mais aussi un fluide crucial au veau épuisé (**Sumaira et al., 2020**).

III. 2. 4. Matière grasse

Le lait de chamelle est en moyenne plus faible en matière grasse que le lait de vache. Cependant, les globules gras du lait de chamelle sont de très petites tailles (1,2 à 4,2 μ de diamètre) et restent donc en suspension même après 24 heures de repos, contrairement au lait de vache dans lequel ces globules constituent une couche grasse en surface au bout de quelques heures.

Par ailleurs, la matière grasse du lait de chamelle apparaît liée aux protéines, tout ceci explique la difficulté à baratter le lait de chamelle pour en extraire le beurre. Comparée au lait de vache, la matière grasse du lait de chamelle contient moins d'acides gras à courtes chaînes. Cependant sa teneur en acide gras volatils et en acides gras non saturés est importante (**Ghislaine, 2018**).

Le tableau suivant résume les résultats de la composition chimique du lait de dromadaire et de différentes études menées à travers le monde :

Tableau 6 : Composition chimique globale (%) du lait camelin (selon différents auteurs) (Ghislaine, 2018).

Origine du lait	Constituants					Références
	Eau	MST	Lactose	MG	Protéines	
Lait de chamelle	90,2	9,8	4,2	3,2	2,7	Desal et <i>al.</i> , 1982
	88,1	11,9	4,4	3,6	2,9	Sawaya et <i>al.</i> , 1984
	87,4	13,4	4,8	3,2	4,0	Abdel-Rahim ,1987
	89,1	10,9	3,9	3,5	3,4	Hassan et <i>al.</i> , 1987
	87,8	12,2	5,2	3,2	3,1	Farah, 1993
	86,6	13,4	5,3	3,5	3,5	Bayoumi, 1990
	88,3	10,9	4,1	3,1	2,8	Elamin et Wilcox ,1992
	87,8	12,1	4,9	3,2	3,2	Abu-Lehia et <i>al.</i> , 1989
	87,3	12,6	4,5	3,4	3,3	Kamoun, 1994
	90,0	10,0	2,5	3,3	3,3	Gorban et Izzeldin, 1997

MST = matière sèche totale – MG = matière grasse.

III. 2. 5. Vitamines

Le lait de dromadaire contient plusieurs vitamines, telles que la vitamine C, A, E, D et celle du groupe B (Saidi, 2020).

Le lait de chamelle se distingue par sa teneur élevée en vitamines B3 (niacine) ainsi qu'en vitamine C dont la teneur est cinq fois supérieure à celle du lait de vache (24-52 mg/L) (Lajnaf, 2020). Ces teneurs élevées améliorent la valeur nutritionnelle du produit surtout que les sources en cette vitamine dans les régions arides demeurent insuffisantes (Ghislaine, 2018).

Le tableau suivant résume les teneurs en vitamines du lait de chamelle :

Tableau 7 : Teneur en vitamines (µg/kg) du lait de chamelle (selon différents auteurs) (Ghislaine, 2018).

Nature des vitamines	Lait de chamelle		
	Sawaya et al. (1984)	Farah et al. (1992)	Kappeler (1998)
A (rétinol)	150	100	150
B1 (thiamine)	330	-	600
B 2 (riboflavine)	416	570	800
B3 (niacine)	4610	-	4600
B5 (acide pantothénique)	880	-	880
B6 (pyridoxine)	523	-	520
B12 (cobalamine)	1,3	-	2
B9 (acide folique)	4,1	560	530
E (tocophérol)	-	560	530
C (acide ascorbique)*	24	37	24-36

(-) : non déterminé ; (*) : en mg/Kg.

III. 2. 6. Lactose

Le lactose est l’hydrate de carbone le plus important dans le lait. Sa teneur dans le lait camelin varie de 3,4 à 5,6% (Ghislaine, 2018). Les différences de teneur en lactose parce que les chameaux mangent normalement de l’herbe sur une vaste gamme dans le désert, des herbes arides disponibles et des buissons salés (Sumaira et al., 2020).

III. 2. 7. Minéraux

Les minéraux sont le principal composant du lait ; en général les minéraux disponibles dans le lait tels que : chlorure, phosphore, calcium, sodium, magnésium, potassium et fer. Parmi eux, le calcium et le phosphore sont les principaux composants du lait, qui sont importants pour le développement osseux et la santé normale de l'accouchement (Sumaira et al., 2020).

Cependant en cas d’intoxication, des éléments traces tels que le plomb, le nickel ou le chrome peuvent être retrouvés dans le lait (Ghislaine, 2018).

Tableau 8 : Concentrations moyennes des minéraux dans le lait de dromadaire (mg/100g)
(Saidi, 2020).

Minéraux	Concentrations moyennes
Ca	114
Mg	11
Na	59
K	156
P	55
Zn	0,59
Mn	0,005
Fe	0,29

III. 3. Propriétés nutritionnelles et thérapeutiques

Le lait de chamelle est utilisé comme médicament depuis des siècles par les nomades pastoraux en raison de sa richesse en vitamines, minéraux et fer. Le lait de chamelle est également un bon substitut au lait maternel. Il est faible en cholestérol, en sucre et en protéines et contient une forte concentration d'insuline. Le lait de chamelle est utilisé comme antioxydant et comme dépresseur de croissance tumorale ; pour traiter la prostate, le cancer du sein et d'autres cancers, y compris la leucémie, et peut être utilisé pour atténuer les effets secondaires de la chimiothérapie et de la radiothérapie en plus d'être une source de nourriture et de boisson (Abu-rabia, 2018).

Le lait de chamelle est largement utilisé dans une variété de populations pour ses propriétés curatives et ses mécanismes de prévention des maladies proposés. Certaines des indications les plus courantes associées à son utilisation comprennent le diabète, les allergies. Il est également préconisé comme une alternative au lait de vache pour ceux qui sont allergiques ou intolérants aux protéines du lait de vache (Mihic et al., 2016).

En effet, le lait de chamelle frais et fermenté serait un traitement potentiel pour plusieurs maladies telles que l'hydropisie, la tuberculose, l'asthme, la jaunisse et la leishmaniose. Il est également recommandé pour la diarrhée, la constipation et les plaies. Il peut même être utilisé pour améliorer l'ovulation chez la femme. Le lait de chamelle se distingue par sa capacité à renforcer le système immunitaire. Par conséquent, il est bénéfique pour les problèmes immunitaires tels que la sclérose et les infections de Crohn. De plus, des études récentes ont montré que le lait de

chamelle améliore également les lésions hépatiques alcooliques grâce à ses propriétés anti-inflammatoires, anti-apoptotiques et anti oxydantes. Le lait de chamelle est également un traitement idéal pour traiter les enfants atteints de troubles du spectre autistique (TSA). En effet, l'état de santé des enfants autistes après la consommation de lait de chamelle s'est grandement amélioré (Lajnaf, 2020).

III. 3. 1. Intolérant au lactose

Le lait de chamelle contient moins de lactose que le lait de vache. Une seule étude a indiqué si le lait de chamelle peut être consommé par des patients intolérants au lactose sans réactions indésirables ; chez 25 patients, il a été observé que le lait de chamelle peut être considéré comme une option pour un individu intolérant au lactose, qui présente des symptômes lors de l'ingestion de lait de vache (Zibae et al., 2015).

III. 3. 2. Diarrhée

Le lait de chamelle est un remède contre les virus causant la diarrhée (comme le virus Rota). Deux études ont examiné les effets du lait de chamelle sur la diarrhée. Une étude animale en 2010 a indiqué que le lait de chamelle fermenté avait une teneur plus élevée en sodium et en potassium et a arrêté la diarrhée chez les rats modèles. On peut conclure que le lait de chamelle fermenté peut être considéré comme un bon aliment pour des applications hautement nutritives et thérapeutiques (Zibae et al., 2015).

III. 3. 3. Allergie au lait

L'incidence des allergies au lait chez les nourrissons et les jeunes enfants est très élevée. Il était donc nécessaire de trouver du lait adapté aux mères alternatives ou des laits bovins chez les enfants. Le lait de chamelle peut être utilisé en toute sécurité comme alternative. Les résultats d'une étude de cohorte prospective, réalisée dans les services de pédiatrie entre avril 2007 et février 2010 sur 35 enfants âgés de 612 mois avec une allergie au lait de vache (CMA), ont indiqué que 80% des enfants atteints de CMA étaient capables de consommer du lait de chamelle en toute sécurité sans développer aucune réaction allergique indésirable (Zibae et al., 2015).

III. 3. 4. Autisme

Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) est un trouble grave du développement neurologique caractérisé par des troubles de l'orientation sociale, de la communication et des comportements répétitifs.

Une étude publiée dans le 2005 a observé les effets de la consommation de lait de chamelle, au lieu du lait de vache, sur plusieurs cas d'enfants et d'adultes autistes. Les chercheurs ont découvert que, lorsqu'une participante de 4 ans a consommé du lait de chamelle pendant 40 jours, un garçon de 15 ans a consommé du lait de chamelle pendant 30 jours et plusieurs autistes de 21 ans ont consommé du lait de chamelle pendant deux semaines, les symptômes de l'autisme ont disparu. On a également observé que les patients étaient plus calmes et moins autodestructeurs. Les auteurs ont rapporté dans une autre étude que la consommation de lait de chamelle chez les enfants de moins de 15 ans a été efficace pour contrôler certains des symptômes, en particulier dans le groupe de moins de 10 ans (**Zibae et al., 2015**).

III. 3. 5. Allergies alimentaires

Le lait de chamelle a prouvé son effet potentiel dans le traitement des allergies alimentaires. Une étude a étudié l'effet du lait de chamelle sur les enfants allergiques au lait de vache. Huit enfants souffrant d'allergies alimentaires à différents degrés ont participé à l'étude. Ils n'ont reçu que du lait de chamelle à boire. Il est apparu que le lait de chamelle a un effet positif chez les enfants souffrant d'allergies alimentaires sévères. Les réactions sont rapides et durables.

Une étude d'El-Agamy a révélé que, lors de l'application d'antisérums spécifiques aux protéines du lait de chamelle dans l'analyse par immunoempreinte, il n'y avait pas de réactivité immunologique croisée entre les protéines du lait de chamelle et de vache. Cette étude est un travail de laboratoire pour obtenir une meilleure compréhension de la compétence du grand lait de chamelle de vache pour les allergies alimentaires chez les enfants (**Zibae et al., 2015**).

III. 4. Consommation nationale du lait

Le phénomène de la dépendance laitière en Algérie remonte au début des années soixante-dix et accéléré durant les deux décennies suivantes.

La consommation moyenne de 130 litres de lait/hab./an, estimée à 150 litres en 2015, l'Algérie est le plus important consommateur de lait dans le Maghreb. La consommation nationale a atteint

6 milliards de litres de lait en 2015, la production nationale étant limitée à 3,4 milliards de litres, dont 900 millions de lait cru (**Chemma, 2017**).

Tableau 9 : Analyse de l'évolution de la collecte de lait cru, production et consommation nationale en millions de litres de lait (**Chemma, 2017**).

Années	1969	1987	1990	1995	2000	2006	2010	2012	2013	2015
Industrie de transformation	40	810	1179	1188	1000	2240	3000	3100	3292	3500
Production locale (lait cru)	29	750	1100	1057	1650	2200	2630	2920	3000	3400
Collecte du lait cru dans l'industrie	26,2	81	37	119	101	221	393	700	800	900
Taux d'intégration %	65,5	10	3,13	10,01	10,1	9,86	13,1	22,58	24,30	25,7
Consommation	710	1889	2177	2638	3108	3623	4262	4617	4901	6060
Population en millions d'habitants	14,29	24,23	26,24	29,32	31,72	34,51	37,06	38,48	39,21	40,4

CHAPITRE IV
LE PLOMB DANS LE LAIT

IV. 1. Pollution par les éléments trace métalliques

Les métaux lourds (Pb, Cd, Hg, ...) peuvent contaminer la chaîne alimentaire et provoquer des effets mutagènes et cancérigènes. Ils interfèrent également avec un grand nombre de minéraux chez les animaux et les humains (Assylbekov *et al.*, 2016), et provoquent une toxicité directe et indirecte pour les êtres humains (Ranathunga et Esakkimuthu, 2017).

Le chrome (Cr), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et le mercure (Hg) ont été priorisés dans différentes études car sont très préoccupants. Ces métaux ont tendance à s'accumuler à travers les chaînes alimentaires et les réseaux trophiques dans les tissus humains et animaux (Ranathunga et Esakkimuthu, 2017).

IV. 2. Pollution métallique du lait

Le lait et les autres produits laitiers ont joué un rôle important dans l'exposition des humains aux éléments trace métalliques, car ils sont largement consommés à l'heure actuelle (Ranathunga et Esakkimuthu, 2017).

Les métaux peuvent contaminer le lait animal par le biais d'instruments utilisés dans le traitement et la distribution du lait. Pour cette raison, le lait transformé aurait des concentrations plus élevées que le lait cru. Les métaux lourds peuvent également entrer dans le lait par le biais d'aliments contaminés, par les voies d'irrigation avec des canaux pollués ou des eaux usées, par l'application de pesticides et par la présence d'industries à proximité des zones d'alimentation (Ismail *et al.*, 2017).

IV. 3. Prévalence du plomb dans le lait

Le plomb est un polluant environnemental omniprésent et est signalé dans des échantillons alimentaires de nombreuses régions à travers le monde. La prévalence du plomb dans les échantillons de lait de divers pays est présentée dans le tableau 10.

Le plomb s'est avéré être le métal lourd le plus répandu dans le lait (Ismail *et al.*, 2017).

La prévalence du plomb dans les pays en développement est plus importante et est principalement due à une industrialisation rapide et incontrôlée. Le niveau élevé de plomb dans les échantillons de lait des pays en développement peut également être lié à l'augmentation du taux de cas d'insuffisance rénale dans ces pays (Ismail *et al.*, 2017).

Tableau 10 : Prévalence du plomb dans les échantillons de lait de divers pays entre 1992-2020.

Type de lait	Pays	Méthode	Résultats	Références
Chameau	Iran	(ICP-OES)	La teneur moyenne du plomb était de $0,445 \pm 0,4653$ ppm. La quantité de plomb dans les échantillons de lait de chamelle de la région étudiée était à un niveau acceptable par rapport aux normes internationales.	Mostafidi et al., 2016.
Chameau, vache, chèvre et mouton	Nigeria	(AAS) (AES)	Les métaux toxiques comme Pb, Ni et Co n'ont pas été détectés dans les échantillons.	Nnadozie et al., 2014.
Chameau	Arabie Saoudite	(AAS)	La concentration de plomb dans cette étude 18mg/g.	Journal of Dairy Science Vol. 75, n ° 11, 1992.
Vache	Iran	(AAS)	La moyenne \pm dans le lait était de $47,0 \pm 3,9$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ pour le Pb. Pour le plomb la plupart des échantillons de lait (82,2%) étaient au-dessus des limites admissibles.	Norouzirad et al., 2018.
Chameau	Kazakhstan	(ICP-AES)	Dans le présent article, seuls quelques échantillons de lait présentaient une concentration de plomb élevée (> 500 ppb).	Konuspayea et al., 2011.

<p>Bovins, ovine, caprins, buffles et chameau</p>	<p>Iran</p>	<p>(AAS)</p>	<p>Les teneurs moyennes en Pb obtenues à partir de 1100 échantillons $11,73 \pm 1,09$ ppb (intervalle : 0,12 à 33,62 ppb). Le lait de chamelle cru contenait les plus faibles concentrations de métaux lourds.</p>	<p>Parsaei et al., 2019.</p>
<p>Lait de vache et lait cru</p>	<p>USA</p>	<p>(AAS) (ICP-MS)</p>	<p>Le niveau moyen de Pb dans les échantillons de lait de différents pays a été trouvé dans l'intervalle de 0,002 à 3,152 mg/mL. Des échantillons de lait provenant de pays en développement tels que l'Égypte, la Serbie et la Pologne ont montré une contamination de 100% avec du plomb au-delà de la limite standard.</p>	<p>Ismail et al., 2017.</p>
<p>Chèvre Buffalo Vache</p>	<p>Pakistan</p>	<p>(AAS)</p>	<p>Les concentrations moyennes de Pb étaient de 0,014 mg/kg. Les résultats ont montré que le plomb dans le lait des zones étudiées peut nuire aux consommateurs et dépasser le codex standard.</p>	<p>Ismail et al., 2015.</p>

Vache	Iran	(AAS)	La moyenne la plus élevée a été déterminé dans la région ouest (57,1µg/kg). L'analyse statistique a révélé une différence significative dans les concentrations de plomb entre les régions de l'ouest et du sud par rapport à l'est et au nord de la province d'Ilam.	Karimi et al., 2020.
Chameau et mouton	Arabie Saoudite	(AAS)	La concentration moyenne (ppm) de Pb dans les échantillons de lait de chamelle de Riyad et Qassim 0,54 et 0,59 et les échantillons de lait de brebis était respectivement de 0,68 et 0,88.	Soltan et al., 2017.
Vache, chèvre, âne et des substituts de lait à base de plantes	Italie	(ICP-MS)	Les résultats de plomb pour tous les types de laits et substituts de lait d'origine végétale étaient inférieurs à la teneur maximale ($p < 0.05$).	Astolfi et al., 2020.
Vache	Iran	(AAS) (ICP-OES) (GFAAS)	Les concentrations regroupées de Pb ont été estimées à $13,95 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$, ce qui était inférieur aux limites standard de l'OMS/FAO et nationales.	Abedi et al., 2020.

Vache	Algérie	(AAS) (ICP-MS) (ICP-AES) (ICP-OES) (EDXRF)	Les données ont montré que les niveaux les plus élevés de Pb (60 mg/L) ont été observés dans le lait cru de vache recueilli dans la zone se compose de granites.	Boudebbouz et al., 2020.
Chameau	Egypte	(AAS)	La teneur en plomb était égale dans les pâturages et dans le lait de ferme ($1,54 \pm 1,1$ et $1,58 \pm 0,45$ mg/L, respectivement).	Damarany, 2016.
Vache	Inde	(ICP-MS)	Dans les échantillons de lait, les niveaux les plus élevés de Pb étaient de $0,37 \text{ mg/L}^{-1}$, ce qui était supérieur aux niveaux internationaux admissibles.	Yasotha et al., 2020.
Vache, buffle et chèvre	Pakistan	(AAS)	Les échantillons de lait de cette étude se sont avérés avoir des concentrations de Pb comprises entre 0,007 et 0,041 $\mu\text{g/g}$ avec une concentration moyenne de 0,021 $\mu\text{g/g}$.	Ismail et al., 2017.
Chameaux, bovins, buffles, moutons et chèvres	Pakistan	(AAS)	Le plomb était présent sous la limite de détection dans les échantillons de lait de tous les animaux étudiés. La valeur du plomb dans le lait est de 3,46 mg/kg.	Ahmed et al., 2017.

Chameau et vache	Kazakhstan	(AAS)	La concentration de plomb dans cette étude est (0.08-0.25). La présence de plomb dans le lait de vache est devenue moins comparative, tandis que le chameau sa teneur était un peu plus élevée (0,1-0,3).	Assylbekov et al., 2016.
Vache	Slovaquie	(AAS) (AES)	La teneur en plomb dans le lait dans cette étude 0.010 mg/kg.	Pšenková et al., 2020.
Chameau	Emirats Arabes Unis	(ICP-MS)	La teneur de plomb dans cet article est (1.5 µg/100 ml).	Seboussi et Askar, 2008.
Chameau	Kazakhstan	(ICP-MS)	Dans le lait de chamelle la teneur moyenne en Pb 0,025 ± 0,02 ppm.	Diacono et al., 2008.
Différents produits laitiers	Egypte	(AAS)	Les concentrations de Pb dans le lait et les produits laitiers variaient de 0.044–0.751 ppm.	Meshref et al., 2014.
Chameau	Arabie Saoudite	(ICP-MS)	Dans ce travail, la concentration de plomb dans le lait de chamelle a été enregistrée à 1,0 ng/g, ce qui était dans les limites fixées pour le plomb.	Ahamad et al., 2016.
Chameau	Libye	(AES)	Les résultats obtenus ont révélé un niveau moyen de 0,03 pour le plomb.	Abushaala et al., 2016.

ICP-OES: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, **AAS:** Atomic Absorption Spectrometry, **AES:** Atomic Emission Spectroscopy, **ICP-AES:** Inductively Coupled argon Plasma–Atomic Emission Spectrometer, **ICP-MS:** Inductively Coupled Plasma

Mass Spectrophotometer, **GFAAS**: Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry, **VA**: Voltametric Analysis, **EDXRF**: Energy Dispersive X-Ray Fluorescence.

PARTIE 2
EXPERIMENTALE

CHAPITRE I
MATERIEL ET METHODES

Il est attendu que ce travail donne une idée préliminaire de l'impact de la pollution environnementale sur la qualité du lait camelin vendu le long de l'axe routier reliant la ville de Oued Souf vers Ouargla à partir des contaminations relevées dans différentes matrices (eau, sol, plantes et lait). Les étapes de ce travail seront exposées successivement dans le présent document en passant de la géographie de l'analyse chimique des différentes matrices et des critères de jugement.

Notre étude est descriptive avec une visée analytique. Elle a concerné huit fermes d'élevage camelin vendant le lait le long de la route de la zone d'étude et a été réalisée au niveau du Plateau Technique en Analyses Physico-Chimiques de Ouargla (PTAPC-Ouargla).

Cette partie sera présentée en fonction des différents objectifs affichés dans l'introduction, à savoir :

1. La mise en œuvre d'un système d'information géographique pour localiser, identifier et évaluer semi-quantitativement les sources de pollution situées près des fermes échantillonnées ;
2. Les méthodes de détermination du plomb dans les différentes matrices environnementales et dans le lait.

I. 1. Présentation de la zone d'étude

La zone de notre étude s'étend au niveau du Sahara septentrional algérien où la concentration cameline est importante et où le risque de contamination métallique est patent. Huit fermes ont été incluses dans notre étude, contenant différentes races de dromadaires élevés selon un système d'élevage extensif.

Les fermes participant à cette étude se situent au long de la route nationale entre la ville de Oued Souf et celle de Ouargla en passant par la ville de Touggourt.



Figure 8 : Carte de l'Algérie avec notre zone d'étude.

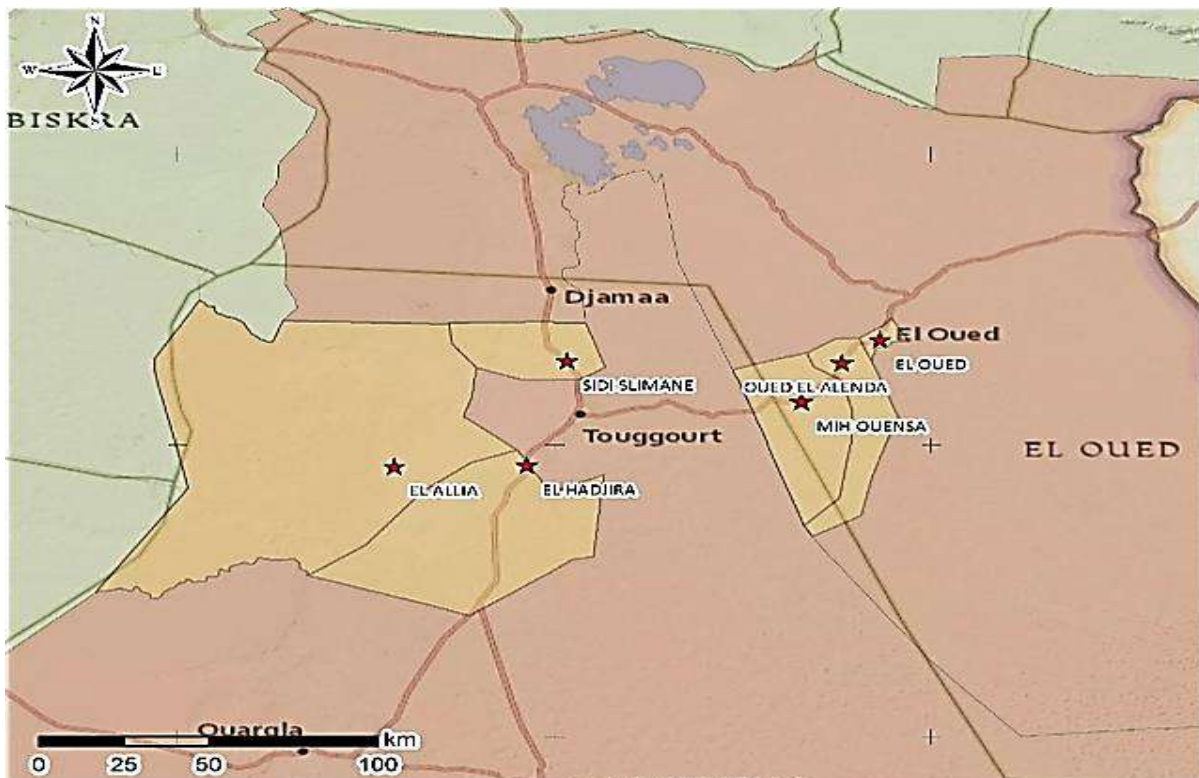


Figure 9 : Fermes se trouvant le long de la route nationale.

I. 2. Identification et localisation des sources de pollutions

Dans les études environnementales, le diagnostic spatial consiste à mener une étude sur un territoire donné afin d'avoir une connaissance des causes de pollution sur ce territoire.

La cartographie est un outil intéressant pour établir ce diagnostic. Elle est utile pour analyser les impacts environnementaux des actions humaines. Elle permet le suivi temporel et l'enregistrement des changements au sein d'un territoire ou d'un écosystème.

L'analyse spatiale du territoire d'étude est une aide pour définir les niveaux d'exposition. Pour établir le niveau de risque encouru par chacune des fermes, l'utilisation d'indicateur de pression est intéressante. Ils rendent compte de la pression exercée par les activités polluantes sur la cible étudiée.

I. 2. 1. Récolte des données

Pour effectuer l'étude spatiale, les points GPS de chaque site d'échantillonnage et de chaque source de pollution identifiée ont été notés afin de relever les informations suivantes :

- Végétation (les espèces de plantes dominantes consommées par les dromadaires)
- Hydrologie (source et qualité d'eau consommées par les dromadaires)
- Occupation des sols (agriculture, industrie, routes...)

Les sources de pollutions recherchées ont été :

- Trafic routier
- Site industriel
- Activités agricoles
- Stations d'essence
- Villes.

I. 2. 2. Traitement des données

Les coordonnées GPS ont été prises en utilisant l'application Google Maps. Les cartes ont permis de représenter l'évaluation des risques de pollution des différentes exploitations en fonction des sources de pollution.

I. 2. 3. 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 fermes.

Les valeurs des différents indicateurs ont ensuite été agrégées afin d'obtenir un indicateur synthétique représentant le risque pour chaque ferme. En fonction de la source de pollution identifiée et des données les indices suivants ont été retenus :

- Présence de déchets dans les zones de pâturage : Les déchets qui restent sur les prairies se décomposent et déposent des toxiques très peu solubles qui peuvent être ingérées par les animaux au pâturage dans ces zones.
 - 0 : absence de déchets
 - 1 : déchets personnels de la ferme
 - 2 : décharge
- Circulation véhicules motorisés dans les pâturages : Responsables de dépôts de Pb dans le sol.
 - 0 : absence
 - 1 : présence
- Proximité d'une route à circulation importante : La retombée du Pb le long des routes à trafic important (axe routier principal) a été retenue pour une distance de 500 m.
 - 0 : route éloignée de plus de 500 m
 - 1 : route à moins de 500m
- Distance d'usines, de villes, de champ minier ou de pétrole : 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.
 - 0 : usine à plus de 400km
 - 1 : usine entre 20 km et 400 km
 - 2 : entre 5 et 20 km
 - 3 : usine à moins de 5 km
- Distance aux terres agricoles : La pollution se produit si des animaux broutent sur des champs précédemment cultivés, chose qui n'a pas été observée dans les exploitations étudiées.

I. 3. Collecte des échantillons

Les échantillons de lait (mélanges de lait prélevé à partir de plusieurs femelles), d'eau d'abreuvement et de plantes consommées par les dromadaires ont été prélevés pour chacun des sites durant la période allant de Janvier au Mars 2021. Des échantillons de sols ont également été prélevés à proximité des routes et des fermes.

I. 3. 1. Echantillonnage du lait

Les échantillons de lait ont été récoltés à partir de chaque site dans des boites stériles en plastique. Ils ont ensuite été acheminé au niveau du PTAPC Ouargla et congelés jusqu'au temps d'analyse.

I. 3. 2. Echantillonnage du sol

Des quantités de sol ont été prélevées dans chaque site dans des sachets en papier kraft puis conservés à température ambiante jusqu'au temps d'analyse.

I. 3. 3. Echantillonnage de l'eau

L'eau a été prélevée dans chaque site dans une bouteille (en plastique), au point d'abreuvement des dromadaires puis a été conservée à température ambiante jusqu'au temps d'analyse.

I. 3. 4. Echantillonnage des plantes

Les espèces végétales ont été collectées dans des endroits où des dromadaires sont présents. Seule la portion consommée par l'animal a été prélevée (c'est-à-dire avant les racines pour obtenir une tige, une feuille ou un fruit s'il en a). Les plantes ont été collectées par espèces, en essayant de sélectionner uniquement celles consommées par les dromadaires. Les compléments alimentaires donnés par les éleveurs aux dromadaires n'ont pas été prélevés.

Au niveau du laboratoire, l'espèce, le genre et la famille de chaque plante ont été déterminés, dans la mesure du possible. Les échantillons ont été séchés, broyés puis stockés en attendant l'analyse.

I. 4. Codage des échantillons

Chaque échantillon de chaque matrice a été codé afin de faciliter la lecture des résultats.

Les deux premières lettres font référence à la région où a été prélevé l'échantillon :

- **AL** pour AAYDET LFASSE ;
- **BA** pour BLDET AAMOR ;

- **BL** pour BENT LMKOUCHER (échantillon 1 : **BL1**, échantillon 2 : **BL2**) ;
- **SS** pour SIDI SLIMANE ;
- **LA** pour LAACHACHE ;
- **HA** pour HACHANA ;
- **AE** pour AIN ELBAIDA.

La lettre suivante correspond au type d'échantillon :

- **W.** pour l'eau ;
- **P.** pour les plantes ;
- **S.** pour le sol ;
- **L.** pour le lait de chamelle.

La dernière lettre informe sur le numéro de site d'une région précise.

Les informations concernant la zone, la date et les coordonnées de collecte sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Lieux et dates de collecte des échantillons.

Zone de collecte	Site de collecte	Date de collecte	Coordonnées
Touggourt	BA	21/01/2021	32°55' 56.7" N 5° 55' 37.5"E
	SS	21/01/2021	33°17' 31.6" N 6° 02' 01.6"E
	HA	10/02/2021	32°.92' 87.5" N 5°.57'47.8"E
Oued Souf	BL1	20/03/2021	33°9' 0.2344" N 6° 39' 20.785" E
	BL2	28/01/2021	33°09'06.7"N 6°39'26.2"E
	AL	20/03/2021	33°17'02.8"N 06°45'48.08" E
	LA	28/01/2021	33°21'51.5"N 6°51'50.2"E
Ouargla	AE	31/03/2021	31°55'45.8"N 5°27'50.7"E

I. 5. Analyse physicochimique des échantillons d'eau

Différentes analyses physico-chimiques ont été réalisées sur l'eau prélevée des différents sites étudiés.

I. 5. 1. Mesure du pH

Le pH est un indicateur qui permet de détecter la nature de l'eau. Il est mesuré directement en utilisant un pH-mètre de la marque OHAUS (STARTER5000) préalablement étalonné, en plongeant l'électrode dans l'eau (IBGE, 2005).

Le mode opératoire est simple et consiste à :

- Etalonner le pH-mètre avec les solutions d'étalonnage ;
- Remplir le tube à moitié avec l'échantillon à analyser ;
- Introduire la sonde de pH-mètre dans l'échantillon d'eau et mesurer le pH ;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée après chaque lecture d'échantillon.

I. 5. 2. Conductivités et salinité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle correspond à la masse de sels contenue dans l'eau analysée. Dans notre étude, elle est mesurée par le conductimètre OHAUS (STARTER300C) (IBGE, 2005).

Le mode opératoire consiste à :

- Verser l'échantillon d'eau à tester dans un bécher ;
- Prolonger l'électrode dans l'échantillon d'eau et lire la conductivité lorsque la valeur est stable ;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée après chaque lecture.

I. 5. 3. Turbidité

La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organiques, micro-organismes...) et est exprimée en unités correspondant à une mesure optique du passage de lumière. La mesure permet de préciser les informations visuelles sur l'eau (Tableau 12).

Pour notre étude, elle a été réalisée à l'aide d'un turbidimètre de la marque HACH (TL2360) à cellule photo-électrique, par la méthode néphélométrique.

Tableau 12 : Classification de la turbidité de l'eau.

NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

I. 5. 4. Dosage des fluorures dans les échantillons d'eau

En raison de sa grande réactivité, le fluor ne se présente pas à l'état élémentaire dans la nature mais plutôt sous forme de sels que l'on regroupe sous le terme générique de fluorures. Les ions fluorures apparaissent dans presque toutes les eaux souterraines et superficielles. Leur concentration dépend essentiellement des conditions hydrogéologiques.

La particularité des fluorures tient au fait qu'il existe, pour cette substance, une norme et une concentration optimale. La première sert à protéger la population contre les risques des fluorures (1,5 mg/l) alors que la seconde assure une teneur en fluorures qui permet de profiter de ses effets bénéfiques (prévention de la carie dentaire) (0,7 mg/l).

La technique utilisée pour le dosage des fluorures dans l'eau dans notre étude est colorimétrique et a pour principe la réaction de l'Alizarine complexone, le nitrate de lanthane donne une coloration rouge en milieu aqueux. En présence d'ion fluor, il se forme un complexe bleu soluble dans l'acétone dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration en fluor (annexe N°2).

I. 5. 5. Dosage du mercure dans l'eau

Le mercure est un polluant environnemental toxique qui est parmi la plupart des métaux traces très bio concentrés dans la chaîne humaine. Dans ce contexte, le dosage est essentiel.

L'objectif de cette partie est de valider la méthode de spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide (CV-AAS) pour la détermination du mercure dans les échantillons d'eaux pour effectuer un dosage dans les échantillons d'eaux secondairement.

Un spectromètre d'absorption atomique de type analytikjena mercure équipé par une lampe deutérium qui corrige le bruit de fond a été utilisé. Les mesures de mercure sont effectuées en triplicata à la longueur d'onde 253,9 nm. L'échantillon est aspiré et mélangé avec du chlorure stanneux dans un séparateur gaz-liquide. Les vapeurs froides de mercure générées sont quantifiées par le détecteur à fluorescence X.

I. 6. Dosage du plomb par spectroscopie d'absorption atomique dans les différentes matrices

I. 6. 1. Préparation des échantillons de SAA

La préparation des échantillons a été réalisée au niveau du plateau technique d'analyses physico-chimiques de Ouargla.

A. Lait

Cette partie décrit la méthode utilisée pour le dosage du plomb dans le lait, le principe consiste à minéraliser les échantillons par voie humide assisté au four à micro-onde, à l'aide d'acide nitrique concentré (HNO_3) et de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) puis de les analyser par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

❖ Minéralisation

La minéralisation par voie humide a été effectuée par four à microonde de type analytikjena (TOPWAVE) et représente une méthode de référence pour la digestion de matériels biologiques, géologiques, environnementaux qui remplace les méthodes classiques.

La minéralisation est plus rapide et efficace et utilise des mélanges d'acides ou des mélanges d'agents à la fois acides et oxydants. L'acide nitrique est le plus communément utilisé dans les mélanges d'attaque.

L'addition d'eau oxygénée aux mélanges d'attaques est particulièrement recommandée pour l'oxydation d'échantillons de nature organique. La minéralisation est effectuée sous pression, ce qui permet d'éviter les pertes d'éléments minéraux volatils selon un programme thermique préétabli.

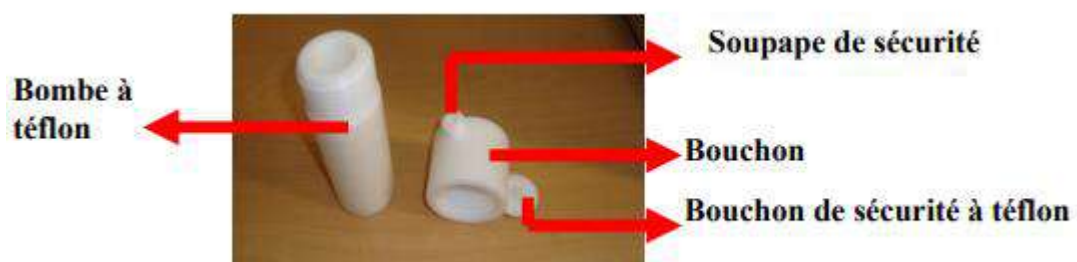


Figure 10 : Système de minéralisation utilisant une bombe à téflon.

Le protocole de minéralisation est décrit ci-dessous :

- Décongélation des échantillons de lait et pesé d'environ 5 g pour chaque échantillon ;
- Pour chaque bombe à téflon, ajout d'environ 5 g de lait étudié avec 8 ml de l'acide nitrique et 2 ml l'eau oxygéné ;

Le tableau suivant décrit les pesées effectuées pour chaque échantillon :

Tableau 13 : Les pesées des échantillons de lait.

Lait	AE	BL1	BL2	BA	SS	AL	HA	LA
Masse (g)	5.0385	5.0506	5.1726	5.1061	5.3212	5.1040	5.0865	5.2116

- Démarrer la minéralisation assistée par micro-ondes en utilisant le programme suivant :

Tableau 14 : La programmation de minéralisation assistée par micro-onde pour le lait.

Etapes	Rampe (min)	Temps (min)	Température (°C)	Puissance (%)	Pression (bar)
1	5	10	165	70	30
2	5	20	190	90	30
3	1	10	50	00	30

- A la fin du programme les bombes à téflon subissent un refroidissement à température ambiante puis sont ouvertes dans une chambre d'aspiration pour éviter l'inspiration de gaz toxiques.
- Nous déversons le contenu des bombes à téflon dans des boîtes en plastique de 50 ml (figure 11).



Figure 11 : Echantillons de lait minéralisés.

B. Plantes

Les échantillons sont soumis au prétraitement suivant :

- Un séchage à l'étuve à 70 °C, pendant 48 heures ;
- Un broyage des plantes séchées par un broyeur en vitesse 800 tr/min, 23°C pendant 15min ;
- Un tamisage par le tamiseur en vitesse 1.48 mm/g en utilisant des tamis de 1 mm, 800 µm, 400 µm, 315 µm successivement pendant 5 min pour chaque échantillon.
- Dans notre étude c'est la minéralisation privilégiée par voie humide en utilisant un acide fort (HNO₃ concentré) en plus d'un agent oxydant comme l'eau oxygénée pure : 0,1 g du matériel végétal broyé et bien sec a été mélangé avec 5 ml d'acide nitrique (degré de pureté 65 %) et 2 ml d'eau oxygénée (H₂O₂) à 32 % puis placé dans des réacteurs en téflon. Les godets en téflon sont délicatement placés dans le four à micro-ondes selon le programme thermique illustré dans (le Tableau 15).

Tableau 15 : La programmation de minéralisation assistée par micro-onde pour les plantes.

Etapes	Rampe (min)	Temps (min)	Température (°C)	Puissance (%)	Pression (bar)
1	5	10	170	70	30
2	1	15	200	90	30
3	1	10	75	00	30
4	1	10	75		
5	1	1	75		

Le minéralisât est filtré et récupéré dans des flacons en plastique de 50 ml (Figure 12).



Figure 12 : Filtration du contenu des bombes à téflon dans des fioles de 50 ml.

C. Sol

Les échantillons sont soumis au prétraitement suivant :

- Un broyage des sols séchés par un broyeur en vitesse 800 tr/min, 23°C pendant 15min ;
- Un tamisage par le tamiseur en vitesse 1.48 mm/g en utilisant des tamis de 1 mm, 800 µm, 400 µm, 315 µm à successivement pendant 10 min pour chaque échantillon.
- Une minéralisation privilégiée par voie humide en utilisant un acide fort (HNO₃ concentré) : 1 g du sol broyé et bien sec a été mélangé avec 9 ml d'acide nitrique (degré de pureté 65 %) et 3 ml d'acide chlorhydrique puis placé dans des réacteurs en téflon. Les godets en téflon sont délicatement placés dans le four à micro-ondes selon le programme thermique illustré dans (le Tableau 16).

Tableau 16 : La programmation de minéralisation assistée par micro-onde pour le sol.

Étapes	Rampe (min)	Temps (min)	Température (°C)	Puissance (%)	Pression (bar)
1	5	5	175	100	30
2	1	15	50	00	30

I. 6. 2. Dosage du plomb dans les différentes matrices

Les dosages sont effectués en réalisant un étalonnage qui respecte les conditions du milieu analysé : matrice, acidité.

Les calculs sont effectués par interpolation par rapport à la gamme d'étalonnage. La validation des résultats analytiques repose sur l'analyse d'échantillons de référence internes, dont la teneur en éléments minéraux est connue.

Préparation des gammes d'étalonnage

Dans la pratique, On réalise une courbe d'étalonnage avec une gamme selon la méthode d'étalonnage direct ou celle des ajouts dosés. L'absorbance est proportionnelle à la concentration selon la loi de Beer Lambert.

- La méthode d'étalonnage direct

S'applique à des milieux relativement simples pour déterminer la concentration de la solution inconnue est alors directement déduite en rapportant sa valeur d'absorbance sur une droite d'étalonnage préalablement établie.

- La méthode des ajouts dosés

Elle utilisée si la matrice est inconnue ou trop variable dans la série d'échantillons analysés. Dite des ajouts dosés, elle consiste à mesurer l'absorbance de l'échantillon inconnu puis de ce même échantillon après avoir ajouté des volumes connus d'un étalon.

I. 7. Critères de jugement et analyses statistiques

Les statistiques descriptives ont été réalisées (moyenne et écart-type) pour chaque métal. Une analyse de variance simple a été réalisée pour évaluer l'effet de la région. Les corrélations entre les valeurs dans le lait été évaluées par le test de corrélation de Pearson quand il a été justifié. Dans une deuxième étape, les concentrations obtenues ont été comparées.

Pour la détermination quantitative de la pollution du sol, l'indice de géoaccumulation Igeo a été utilisé. Cet indice se détermine à partir du niveau de base de la teneur en métaux dans le sédiment selon la formule suivante : $I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$.

Avec : C_n (Concentration dans le sédiment pour l'élément n), B_n (Bruit de fond géochimique pour l'élément n) et 1,5 (Constante prenant en compte les fluctuations naturelles de la teneur d'une substance donnée dans un environnement et les faibles influences anthropiques).

Le tableau suivant montre l'intensité de pollution du sol en fonction de l'indice de géoaccumulation Igeo :

Tableau 17 : Intensité de pollution en fonction de l'indice de géoaccumulation.

Classe	Valeur	Intensité de pollution
0	$I_{geo} \leq 0$	Non pollué
1	$0 < I_{geo} < 1$	Non pollué à modérément pollué
2	$1 < I_{geo} < 2$	Modérément pollué
3	$2 < I_{geo} < 3$	Modérément pollué à sévèrement pollué
4	$3 < I_{geo} < 4$	Sévèrement pollué
5	$4 < I_{geo} < 5$	Sévèrement pollué à très sévèrement pollué
6	$5 < I_{geo}$	Très sévèrement pollué

CHAPITRE II
RESULTATS ET DISSCUSION

II. 1. Résultats

II. 1. 1. Cartographie de la région

Les fermes étudiées et enquêtées sont situées au niveau de l’axe routier qui se situe entre Oued-Souf et Ouargla parce qu’il s’agit de zones d’élevage des grands camélidés, d’autre part, parce que ce sont des zones de contamination potentielle par des polluants à cause de la proximité de la route et des unités industrielles etc.

En s’appuyant sur un système d’information géographique, des cartes d’indice de pollution ont été construites pour chaque ferme échantillonnée dans chacune des régions d’étude.

Le tableau suivant montre les résultats des indicateurs de pollution pour chaque ferme étudiée.

Tableau 18 : Indicateurs de la pollution des fermes étudiées.

Sites de collecte	Déchets dans les zones de pâturage	Véhicules motorisés dans les pâturages	Route à circulation importante	Distance d’usines, de villes	Score de pollution
Hachana	1	0	0	3	4
Sidi Slimane	1	1	1	2	5
Bldet Aamor	1	1	1	2	5
Ain El-Baida	1	0	1	3	5
Aaydet Lfasse	1	0	0	2	3
Bent Lmkoucher 1	1	0	0	2	3
Bent Lmkoucher 2	1	0	0	2	3
Laachache	1	0	1	1	3

Au final, l’indice synthétique de pollution a varié de 3 à 5 selon les fermes. Cet indice est sensé exprimer un gradient du risque de contamination des fermes sélectionnées.

Les activités industrielles menacent toutes les fermes dans chacune des régions, mais certaines fermes sont directement exposées à la pollution qui sont plus proches des usines ou des exploitations. Les fermes Sidi Slimane et Bldet Aamor sont situées dans le proche périmètre des

usines de la ville de Touggourt. Les fermes d'Ain El-Baida peuvent également recevoir les retombées de pollution de la ville de Ouargla.

Les chamelles des fermes Sidi Slimane et Bldet Aamor, sont exposées à de hauts niveaux de pollution dues aux Pb et Cd provenant de la circulation automobile.

La cartographie permet de représenter les risques liés à la pollution de l'air et des sols. L'évaluation des risques de pollution de l'eau nécessite de connaître exactement la circulation et la conformation du réseau hydrographique. Notamment, il serait nécessaire de connaître l'origine des nappes souterraines ainsi que les tracés exacts des cours d'eau. Mais les données n'étaient pas disponibles pour la présente étude. Tout comme le rejet d'éléments toxiques par les usines.

L'enquête environnementale montre que l'environnement dans lequel évoluent les dromadaires est soumis à de multiples pollutions. Les différents éléments étudiés sont donc susceptibles d'être contaminés que ce soit par le Pb avec les gaz automobiles, les rejets industriels (usine, pétrole, industrie métallurgique) ou l'agriculture. La représentation cartographique permet de visualiser les différentes pollutions qui menacent les fermes.

Les animaux au pâturage sont la cible potentielle de nombreuses pollutions et peuvent donc être le vecteur de la contamination alimentaire à l'Homme.

II. 1. 2. Analyse physicochimique de l'eau

L'appréciation de la qualité des eaux d'abreuvement se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques (pH, conductivités, salinité, turbidité) le dosage du plomb et d'autres éléments tel que le fluor et le mercure.

L'analyse de l'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution de l'eau.

II. 1. 2. 1. pH

Le pH est une mesure de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C.

Les résultats des eaux de fermes sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Les résultats du pH des échantillons étudiés.

Echantillons	pH	Températures (°C)
ALW	7.01	22.9 °C
BAW	7.63	23.4 °C
BL1W	7.58	23.3 °C
SSW	7.72	23.5 °C
LHW	6.81	22.0 °C
AEW	8.63	22.7 °C

Le pH des échantillons d’eaux des différentes fermes échantillonnées est compris entre 6.81 et 8.63.

II. 1. 2. 2. Conductivités et salinité

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d’une solution à conduire le courant électrique. La conductivité électrique standard s’exprime généralement en milli siemens par centimètre (mS/cm²) à 25 °C.

Le tableau suivant résume les relations entre la salinité et la conductivité :

Tableau 20 : Les résultats des conductivités des échantillons.

Echantillons	Conductivité mS/cm ²	TDS	Températures (°C)	Salinité (psu)
ALW	2,66	1385 mg/L	24.5 °C	1,38
BAW	6,38	3,31 g/L	24.6 °C	3,47
BL1W	4,20	2,18 g/L	23.7 °C	2,23
SSW	8,14	4,23 g/L	25.3 °C	4,51
LHW	4,29	2,23 g/L	24.5 °C	2,28
AEW	7,88	4,10 g/L	24,1 °C	4,36

II. 1. 2. 3. Turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne. La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre, généralement égale à 1^{NTU} .

Tableau 21 : Mesure des turbidités des échantillons.

Echantillons	Turbidité (NTU)
ALW	0.493
BAW	0.513
BL1W	0.140
SSW	1.32
LHW	0.203
AEW	6.57

II. 1. 2. 4. Résultat de dosage du fluor dans l'eau

Le fluor (F^-) peut être mesuré par technique spectrophotométrique. Une forte teneur en fluor peut indiquer une pollution par des eaux usées ou par certaines eaux usées industrielles.

Pour l'analyse de cet élément, il y'a nécessité d'un spectrophotomètre réglé a une longueur d'onde de 618 nm et d'une calibration avec une courbe d'étalonnage constitué de 6 points : 0 mg/l, 0.2 mg/l, 0.4 mg/l, 0.6mg/l, 0.8 mg/l, 1 mg/l.

La figure ci-dessus montre la courbe d'étalonnage utilisée :

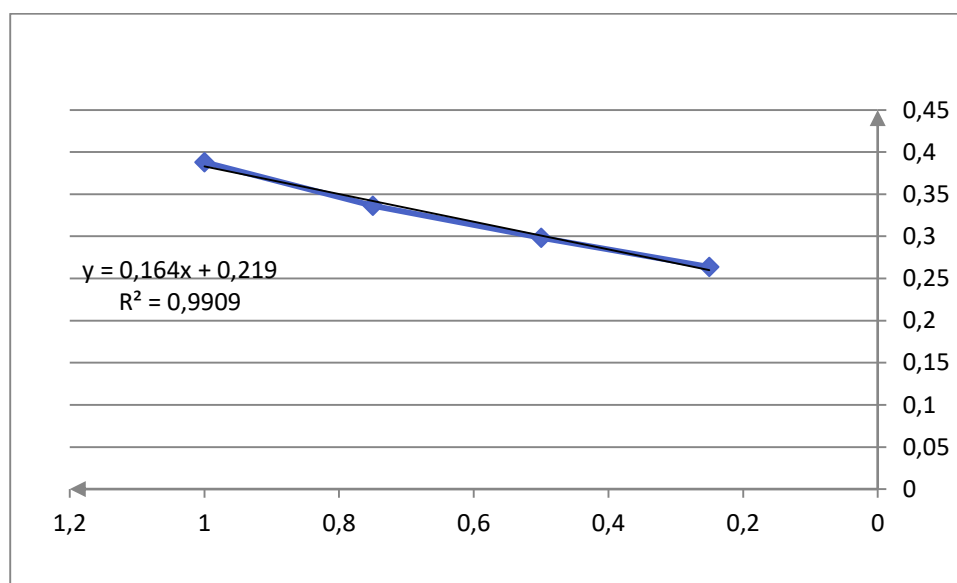


Figure 13 : Courbe d'étalonnage (concentrations du fluor en fonction de la densité optique à 618 nm).

Les résultats des différents échantillons d'eau sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Résultat du dosage du fluor (les absorbances et la concentration).

Solution	BA	BL1	SS	AE	HA	AL
Absorbance	0.3790	0.3142	0.4295	0.2495	0.3407	0.3057
Concentration de F- (mg/L)	0.97	0.58	1.28	0.18	0.74	0.52
Moyenne	0.71 +/- 0.38 mg/l					

BA : Bldete Aamor ; **BL :** Bent Lmkoucher ; **SS :** Sidi Slimane ; **AE :** Ain EL-Baida ; **HA :** Hachana ; **AL :** Aydet Lfasse.

II. 1. 3. Résultat de dosage du mercure dans l'eau

Le mercure est un élément très toxique responsable de néphrotoxicité et de neurotoxicité.

La concentration en mercure (Hg) dans l'eau est analysée par un SAA-VF équipé d'une lampe spécifique de Hg, d'une longueur d'onde 253,9 nm. Avant d'analyser les échantillons, une courbe

d'étalonnage a été effectué en utilisant 5 points d'étalonnage : 0 µg/l, 0.2 µg/l, 0.4 µg/l, 0.6 µg/l, 0,8 µg/l et 1 µg/l.

Les résultats de mercure sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Résultat du dosage du mercure dans l'eau d'abreuvement.

Solution	BA	BL1	SS	AE	HA	AL
Concentration de Hg (µg/L)	0.90	0.15	1.50	0.15	2.72	0.15
Moyenne	0.92 +/- 1.03 µg/l					

BA : Bldete Aamor ; **BL** : Bent Lmkoucher ; **SS** : Sidi Slimane ; **AE** : Ain EL-Baida ; **HA** : Hachana ; **AL** : Aydet Lfasse.

II. 1. 4. Résultat du dosage du plomb dans l'eau

La concentration en plomb (Pb) dans l'eau est analysée par un SAA-FG équipé d'une lampe en xénon, d'une longueur d'onde 282.0 nm. Avant d'analyser les échantillons, une courbe d'étalonnage a été effectuée en utilisant 5 points d'étalonnage : 0 µg/l, 5 µg/l, 10 µg/l, 25 µg/l, 30 µg/l et 50µg/l.

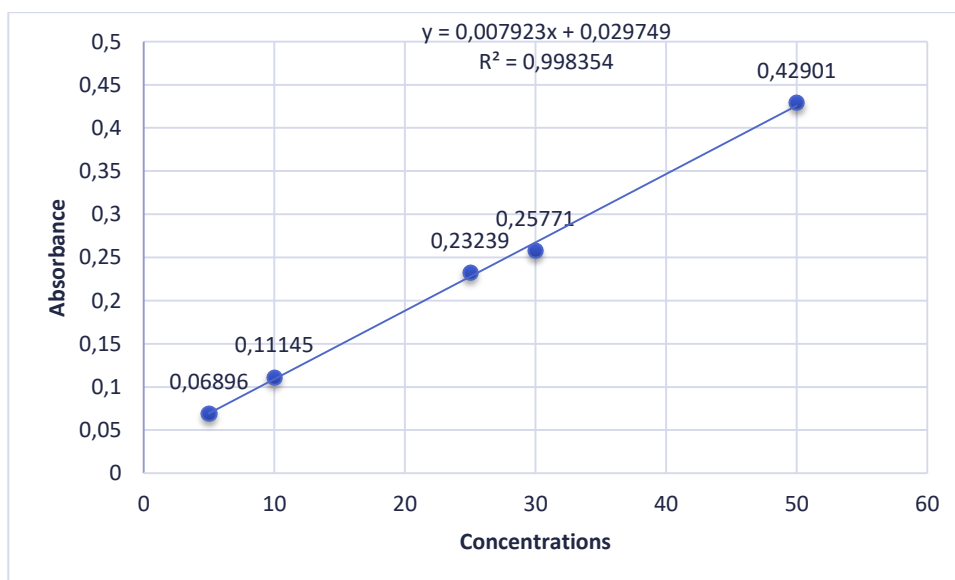


Figure 14 : Courbe d'étalonnage (concentration en plomb en fonction de l'absorbance).

Les résultats de plomb sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau 24 : Résultat du dosage du plomb dans l'eau d'abreuvement.

Solution	BA	BL1	SS	AE	HA	AL
Concentration de Pb (µg/L)	16.30	4.90	20.50	14.59	8.92	15.08
Moyenne	13.38 +/- 5.57 µg/l					

BA : Bldete Aamor ; **BL** : Bent Lmkoucher ; **SS** : Sidi Slimane ; **AE** : Ain EL-Baida ; **HA** : Hachana ; **AL** : Aydet Lfasse.

II. 1. 5. Teneurs du plomb dans le sol

Le taux de Pb dans les échantillons de sols des différentes fermes échantillonnées est compris entre 27.27 et 60.89 mg/Kg.

Tableau 25 : Concentration en plomb dans le sol (mg/Kg) de la zone d'étude.

Zones de collecte	Sites de collecte	Cordonnées GPS	Concentrations de plomb dans les fermes (mg/kg)
Touggourt	Hachana	32°.92' 87.5" N 5°.57'47.8"E	27.274
	Sidi Slimane	33°17' 31.6" N 6° 02'01.6"E	60.891
	Bldet Aamor	32°55' 56.7" N 5° 55' 37.5"E	50.463
Ouargla	Ain El-Baida	31°55'45.8"N 5°27'50.7"E	27.834
Oued Souf	Aaydet Lfasse	33°17'02.8"N 06°45'48.08" E	41.760
	Bent Lmkoucher 1	33°9' 0.2344" N 6 39'20.785"E	33.056

Secondairement, le calcul de l'indice de geoaccumulation a été calculé et est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 26 : Indice de géoaccumulation.

Zones de collecte	Sites de collecte	Igeo	Interprétation
Touggourt	Hachana	1,552	Modérément pollué
	Sidi Slimane	2,711	Modérément pollué à sévèrement pollué
	Bldet Aamor	2,440	Modérément pollué à sévèrement pollué
Ouargla	Ain EL-Baida	1,582	Modérément pollué
Oued Souf	Aaydet Lfasse	2,167	Modérément pollué à sévèrement pollué
	Bent Lmkoucher 1	1,830	Modérément pollué

II. 1. 6. Teneurs du plomb dans les plantes

Le taux de Pb dans les échantillons de plantes est compris entre 0,50 et 2,30 µg/kg.

Tableau 27 : Résultat du dosage du plomb dans les plantes.

Solution	BA	BL1	SS	AE	HA	AL
Concentration de Pb (µg/Kg)	1.06	0.50	2.30	0.75	0.56	0.67
Moyenne	0.97+/-0.67 µg/Kg					

BA : Bldete Aamor ; **BL :** Bent Lmkoucher ; **SS :** Sidi Slimane ; **AE :** Ain EL-Baida ; **HA :** Hachana ; **AL :** Aydet Lfasse.

II. 1. 7. Comparaison des concentrations de métaux avec l’analyse spatiale

II. 1. 7. 1. Teneur dans le sol

Les valeurs de concentration en métaux lourds obtenues sont contenues dans une échelle de valeurs très large. La ferme Sidi Slimane présente la plus forte concentration en Pb ce qui peut être dû à la présence de l’autoroute. La ferme Bldet Aamor qui présente une pollution plus importante après la première se trouve aussi près à la circulation automobile et d’une station d’essence.

La ferme de Aaydet Lfasse ne semble pas être fortement touchée par la pollution (score de 3). Mais, la teneur en Pb y est plus haute relativement aux autres fermes.

Les prélèvements effectués dans la ferme de Ain El-Baida contrastent par rapport aux autres prélèvements et est représenté par l'une des valeurs les plus basses malgré la présence de plusieurs sources de pollution potentielles.

II. 1. 7. 2. Teneur du plomb dans l'eau

La valeur moyenne du plomb dans l'eau est de 13 µg/l ; cette valeur est supérieure à la limite recommandée par l'état algérien concernant l'eau potable. 4 échantillons sur 6 ont une valeur supérieure à la limite et ne sont donc pas indiqué pour une consommation humaine.

L'eau de la ferme Bent Lmkoucher est la moins contaminée par rapport aux autres fermes. Les fermes les plus contaminées dans la région sont celle de Sidi Slimane et Bldet Aamor et qui se trouvent près de stations d'essence. Le niveau de la contamination de la ferme Ain El-Baida est également élevé, ce qui peut être dû à la présence des activités de l'aéroport et de la route secondaire près du pâturage.

II. 1. 7. 3. Teneur du plomb dans les plantes

Les prélèvements effectués à proximité des fermes soumises à de fortes pollutions (SS, BA) sont dans le niveau moyen de pollution des autres matrices prélevées (eau et sol). On pourrait dire que la distance des stations d'essence a une influence sur la teneur du Pb avec une route a trafic important.

La pollution peut être due aux dépôts par les vents qui transportent les molécules sur de longues distances ou à la circulation d'engins motorisés sur les pâturages.

II. 1. 8. Interactions entre matrices environnementales

La figure suivante montre la relation qui existe entre l'indice de pollution et les résultats du plomb dans le sol.

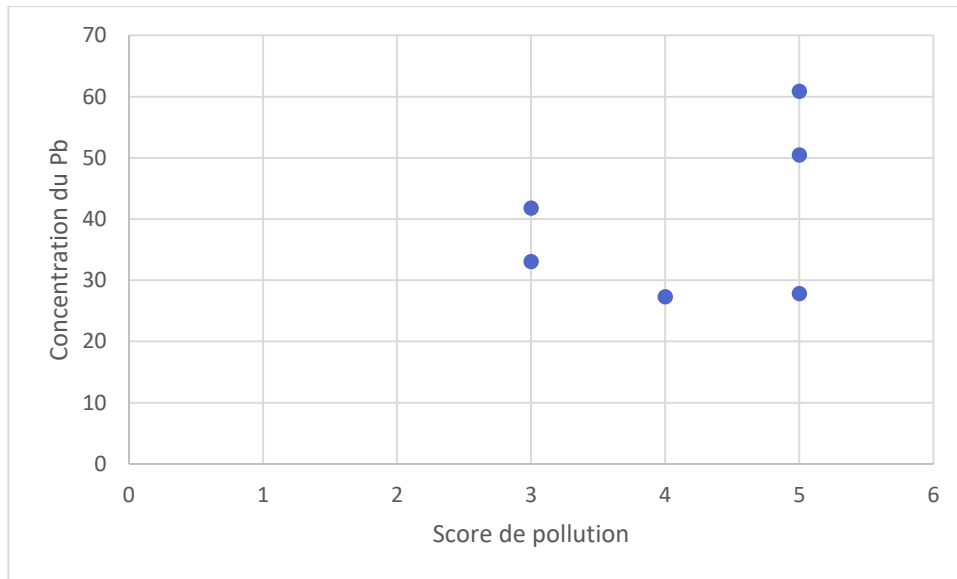


Figure 15 : Relation entre score de pollution et concentration du Pb dans le sol.

On observe un lien entre l'indice de pollution et les teneurs en métaux lourds (Pb) dans les sols montrant l'impact de la proximité et de la nature des sources de polluants sur la contamination des sols (coefficient de Pearson R : 0.35).

On observe également une corrélation étroite entre la teneur en Pb dans le sol et un lien semblable dans l'eau (figure16) (coefficient de Pearson R : 0.75).

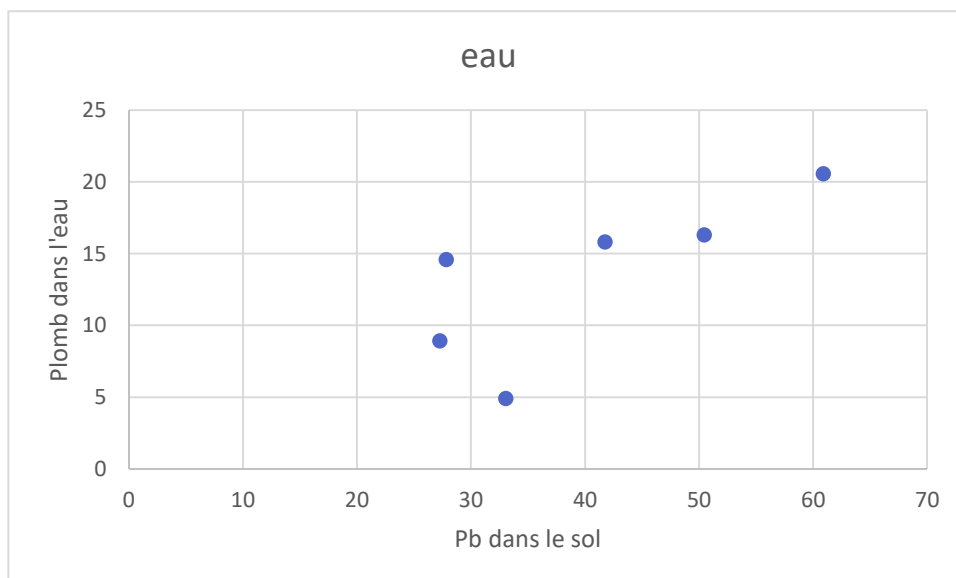


Figure 16 : Relation entre concentration du Pb dans le sol et dans l'eau.

Une corrélation positive existe aussi entre les concentrations du plomb dans l'eau et celle du fluor (coefficient de Pearson R : 0.85).

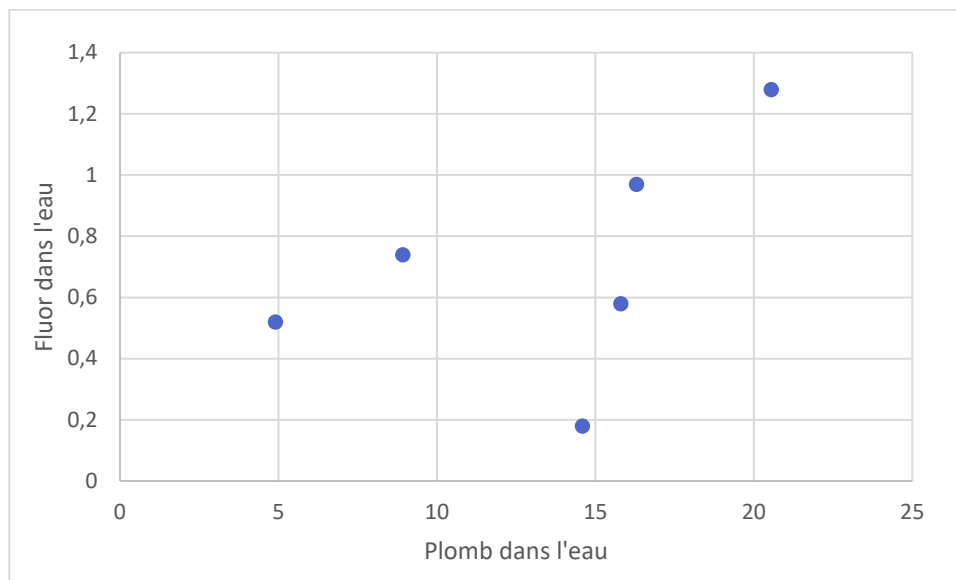


Figure 17 : Relation entre concentration du Pb et du fluor dans l'eau.

Cependant, les teneurs du plomb et du mercure dans l'eau sont indépendants (coefficient de Pearson R : - 0.08).

Les relations des variables deux à deux ont été étudiées pour les différentes matrices (eau, sol, plante). Les corrélations positives ont été observés dans chacune des matrices, tout particulièrement dans les l'eau et le sol, indiquant une relation globale de la pollution.

II. 1. 9. Plomb dans le lait

Les données sur le teneur en plomb dans le lait sont rapportées sur le tableau suivant pour chaque ferme.

Tableau 28 : Résultat du dosage du plomb dans le lait.

Solution	BA	BL1	SS	AE	HA	AL
Concentration de Pb ($\mu\text{g/L}$)	15.30	9.81	19.25	7.35	6.92	14.08
Moyenne	12.11 +/- 4.89 $\mu\text{g/l}$					

BA : Bldete Aamor ; **BL** : Bent Lmkoucher ; **SS** : Sidi Slimane ; **AE** : Ain EL-Baida ; **HA** : Hachana ; **AL** : Aydet Lfasse.

Dans le lait, les teneurs en Pb sont toutes inférieures de la limite maximale autorisée par l'UE (20 $\mu\text{g/l}$), à l'exception de la ferme de la région Sidi Slimane très proche de la valeur limite, et ceci probablement dû à l'intensité de son trafic routier et la proximité de la station d'essence.

II. 2. Discussions

II. 2. 1. Analyses physicochimiques de l'eau

II. 2. 1. 1. pH

La réglementation algérienne indique un pH normal de l'eau dans l'intervalle de 6.5 à 8.5.

Selon l'analyse de ce graphique les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin dans tous les sites étudiés. Le pH varié entre 6.81 et 8.63 donc ne dépasse pas la norme Algérienne (pH = 6.5- 8.5), sauf la région de Ain El-Baida présente un pH légèrement alcalin signe de la présence des carbonates.

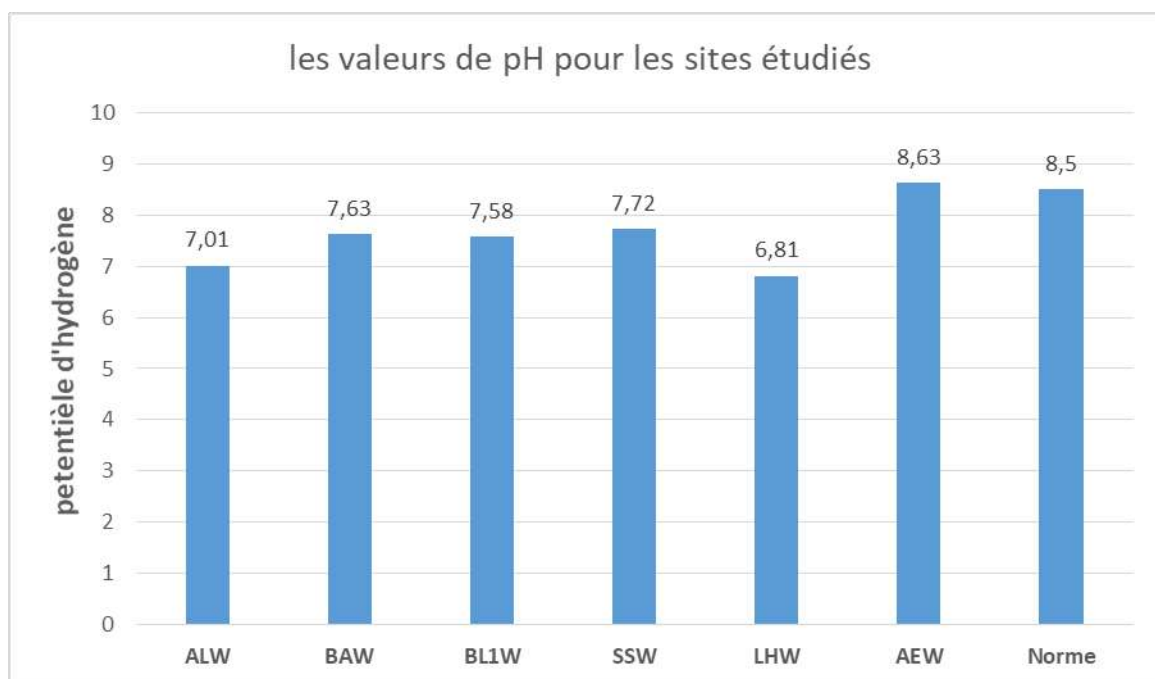


Figure 18 : Les valeurs de pH pour les sites étudiés.

II. 2. 2. 2. Dosage du fluor

La concentration des fluorures (F^-) sont inférieures à la norme recommandée de 1.5 mg/l sauf pour la ferme SS. Les concentrations en fluorures sont faibles malgré les activités agricoles et industrielles assez intensive dans certaines zones.

II. 2. 2. 3. Dosage de mercure

Les concentrations de mercure sont inférieures à la norme recommandée de 3 $\mu\text{g/l}$ selon l'OMS sauf pour la ferme HA ce qui peut être dû à la présence des travaux de forage de puits d'eau. Les concentrations en mercure sont faibles malgré les activités agricoles et industrielles assez intensive dans certaines zones.

II. 2. 2. Le plomb dans les matrices

II. 2. 2. 1. Plomb dans le sol

Le Pb a été détecté dans le sol de différents pays, par exemple en Irlande à raison de 0,5-138 ppm (**Dickson et Stevens, 1983**), aux USA <1-135 (**Holmgren et al., 1993**), en Pologne 4,5-286,5 (**Kabata-Pendias et Dudka, 1991**), à Bangkok, Thaïlande 12,1-269,3 (**Markus et al., 2001**). En Norvège, des teneurs en Pb dans le sol naturel ont été évalués à 111,3 ppm (**Steinnes et al., 1997**).

Dans les fermes de notre étude, la teneur en Pb dans le sol était de 20-60 ppm, respectivement. Il existe donc une forte variabilité, celle-ci étant due à une multitude de facteurs, dont la pollution, mais aussi probablement la précision analytique.

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 (**Hargreaves et al., 2011**), d'autant que certains herbivores ingèrent une part importante de sol dans leur ration lors de leur séjour au pâturage, ainsi un dromadaire peut ingérer jusqu'à 3000 g de sol par jour.

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 donc 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**).

- **Le rôle du trafic routier**

Plusieurs travaux ont souligné que c'est l'intensité du trafic qui pouvait expliquer un taux élevé de plomb dans le lait des animaux paissant à proximité des routes (**Bhatia et Choudhri, 1996**). Cependant, les effets sont notables lorsque le trafic dépasse 3000 à 15000 véhicules par jour (**Diacono, 2007**).

Ainsi, la teneur maximale de Pb observée dans la ferme Sidi Slimane (Touggourt), (60 ppm) correspond à une ferme située à 50 m de la route où le trafic est moyennement important.

Dans une étude réalisée en Iran par Samani-Madj et *al.* (2006), il a été montré que les concentrations moyennes du Pb et du Cd dans le sol ont été pour les sites avec un volume de trafic élevé, de 183 et 2,57 ppm et pour les sites avec le volume de trafic faible, de 70,64 et 2,25 ppm, respectivement. De plus, la teneur en Pb diminuait en fonction de la distance à l'autoroute.

Dans une autre étude réalisée au Pakistan, les concentrations moyennes du Pb et Cd dans le sol ont été déterminées près des routes principales, secondaires et tertiaires (Khan et *al.*, 2011). La teneur moyenne y était de 53,9 ppm pour le Pb et 6,0 ppm pour le Cd, respectivement 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).

- **Le rôle des industries polluantes**

La proximité d'industries polluantes peut être un puissant facteur de contamination des sols, comme l'attestent de très nombreuses références bibliographiques et nos propres résultats.

La ferme SS, la plus contaminée de notre échantillon, se trouve près de station d'essence proche de la route.

Si, la quantité du sol qu'on trouve dans l'estomac des herbivores a été rapporté comme potentiellement considérable (Jurjanz, 2008), une concentration de 60 ppm de Pb dans le sol peut avoir une conséquence importante. En effet, la concentration maximale admissible de plomb dans le sol est de 32 ppm.

Dans l'échantillon du sol de la ferme SS la quantité du Pb est donc 2 fois plus élevée.

Une autre source potentielle de pollution est l'épandage des boues d'épuration et les sols de décharge. Par exemple, en Norvège, la concentration du Cd dans le sol de surface dans les zones de décharge du sud du pays a été en moyenne de 1-3 ppm. Ce qui correspond à la concentration maximale acceptable dans les sols agricoles traités par les boues d'épuration au sein de l'UE (Flaten et Steinnes, 1999). Les échantillons du sol de décharge fermée à Thessaloniki, (Nord de la Grèce) ont été testés pour la quantité de métaux lourds. Les teneurs étaient de 0,5 -19 ppm pour le Cd et 2,5 – 92,5 ppm pour le Pb (Kasassi et *al.*, 2008).

L'activité minière est aussi une source potentielle de contamination des sols en métaux lourds. Dans la région minière Bibiani (Ouest région du Ghana), la teneur du Cd y est comprise entre

0,7-4,15 ppm dans le sol (Quarshie et al., 2011). Près des résidus miniers au sud-est de l'Espagne, des teneurs très élevées en Pb (5000–8000 ppm) et zinc (7600–12 300 ppm) dans le sol ont été détectées (Cones et al., 2006).

- **Autres facteurs de variations**

La teneur en métaux dans le sol peut être également sous l'influence de facteurs propres aux sols tels que le pH ou la structure du sol.

Le pH du sol en effet, joue un rôle important dans l'absorption des métaux par le sol. A pH 6,1-7,0, des teneurs plus élevées en Cd (2,5 ppm) et Pb (80 ppm) ont été obtenues par rapport à des sols avec un pH plus acide (Teofilova et al., 2010).

La taille des particules des fractions du sol a une influence sur la distribution des métaux dans la matrice terrestre et leur disponibilité pour les plantes. La boue constituée des particules les plus fines (2–50 µm) notamment est la fraction majeure dans le sol qui concentre la part la plus importante des métaux lourds (Qian et al., 1996). La biodisponibilité dépend aussi du pH et de la concentration du métal dans le sol (Millis et al., 2004, Tudoreanu et Phillips, 2004, Kirkham, 2006).

Finalement, les teneurs obtenues dans notre étude paraissent plutôt moyennes pour le Pb par rapport aux valeurs observées dans les zones industrielles polluantes, mais les comparaisons demeurent délicates compte-tenu de la variabilité des procédures analytiques et des conditions de l'environnement pédologique. L'index de géoaccumulation montre que nos fermes sont des zones moyennement à fortement polluée.

II. 2. 2. 2. Plomb dans l'eau

Les eaux souterraines sont contaminées par des polluants à cause des facteurs anthropiques. Par exemple, en Turquie, 3 échantillons d'eau ont été prélevés dans des mares situées dans des roches stériles. Leur teneur en Pb y était entre 6,4 et 113 ppm (Gemici et Tarcan, 2007). Dans l'oasis d'Al-Ahssa (Arabie Saoudite), les concentrations maximales (en ppm) en Pb et Cd observées ont été 0,008 et 0,013 ppm dans les échantillons d'eau souterraine et 0,091 dans les eaux résiduaires respectivement (Assubaie, 2011).

Dans notre étude, les teneurs maximales de Pb ont été obtenues dans les échantillons d'eau de la région de Touggourt. Le taux plus élevé du Pb dans l'eau peut être dû aux activités industrielles et agricoles.

En général, les teneurs du Pb dans nos échantillons d'eau étaient comprises entre 4,9 – 20.50 ppm. Les concentrations maximales recommandées dans l'eau sont (ppm) de 10,0 pour le Pb. En comparaison avec ces données dans nos échantillons étudiés, les teneurs moyennes sont donc 1.5 fois plus élevées pour le Pb.

Les teneurs de plomb dans les échantillons d'eau sont légèrement élevées si l'on se base sur les normes. On ne peut écarter cependant, l'idée d'une légère contamination visible dans l'eau destinée à l'abreuvement des animaux.

II. 2. 2. 3. Plomb dans les plantes

En ce qui concerne les teneurs observées dans les plantes, les valeurs apparaissent faibles. La teneur moyenne en plomb des fourrages ($0.75 \pm 0,5$ ppm) semble proche de celle obtenue par Caggiano et *al.* (2005) (1,2 ppm) en Italie. Parkpian et *al.* (2003) a détecté de 0,76 à 6,63 ppm dans le fourrage en Thaïlande. Rashed (1994) a montré que la teneur du Pb dans le fourrage autour de fermes en Egypte était en moyenne entre 7,70-16,0 ppm.

Il existe de fortes variations temporelles difficiles à expliciter en l'absence d'une réelle procédure d'échantillonnage basée sur des prélèvements chronologiques rigoureux (même saison, même type de plante, même zone de pâturage).

En Europe, l'utilisation d'essence sans plomb a permis de diminuer considérablement le risque de contamination des zones de pâturage près des réseaux routiers. La part du trafic routier dans le total des émissions de plomb dans l'atmosphère est ainsi passée de 93 à 4% entre 1990 et 2000.

La végétation récupère les éléments trace surtout du sol, mais parfois de dépôts sur les feuilles. Les plantes absorbent les métaux sous différentes formes disponibles.

Cette disponibilité des métaux est influencée par des facteurs comme le pH, le contenu de la matière organique, la conductivité électrique, etc. (Flaten et Steinnes, 1999). Ces paramètres ne sont pas toujours constants dans l'environnement.

Il existe aussi des variations saisonnières : une diminution des concentrations a ainsi été observée entre le printemps et l'été pour le Cd (- 47%). Les données individuelles variaient entre 7 et 2700 ppb (**Brekken et Steinnes, 2004**). En Angleterre, des résultats similaires ont été obtenus avec une diminution en printemps, et une augmentation vers l'automne et jusqu'à une concentration maximale en fin d'hiver (**Matthews et Thornton, 1982**).

La teneur moyenne du Pb (0.75 ppm) dans notre étude semble similaire aux teneurs rapportées dans la littérature pour les zones pas très contaminées. Cette teneur est inférieure à la norme admise pour le fourrage en Chine (8 ppm) ou en Allemagne (10 ppm) (**Cai, 2009**). Cependant, même si, les concentrations dans les plantes n'apparaissent pas très élevées, du fait de l'ingestion pendant une longue période par les animaux, il peut y avoir une influence sur la qualité des produits animaux (**Luilo et Othman, 2003**).

II. 2. 3. Corrélation entre les matrices

Les mécanismes de fixation du plomb dans les sols ainsi que le prélèvement et l'incorporation dans le métabolisme végétal sont liés. Ceci est corroboré par les corrélations positives significatives observées dans notre étude entre les teneurs en Pb dans les différentes matrices environnementales.

Le Pb est un des seuls métaux qui s'accumule dans les plantes et dont la concentration dans les plantes peut être corrélée à celle de sol (**Zhang et al., 2010, Pichtel et al., 2000**). La relation entre le Pb dans le sol et les plantes (l'orge et le tubercule de pomme) y était linéaire avec une inclinaison très basse (0,0001–0,0003) (**Zhang et al., 2010**). Cela n'a pas été confirmé dans notre étude.

II. 2. 4. Les teneurs de métaux lourds dans le lait de chamelle

Les échantillons de lait de chamelle des régions étudiées contenaient en moyenne (ppm) moins de 20 de Pb.

Les taux du Pb ont été plus élevés dans les échantillons de la ferme SS et BA de la région de Touggourt.

Il semble difficile d'établir un lien entre teneurs en métaux lourds dans le sol, l'eau, les fourrages et celle retrouvées dans le lait. Toutefois, la teneur en Pb dans le lait apparait plus élevée dans la ferme où une teneur plus importante dans le sol a été détectée.

Quelques études ont été menées sur la composition minérale du lait de chamelle et les résultats obtenus sont variables.

Concernant le plomb, les références sont nombreuses sur le lait de vache. La littérature montre clairement l'effet de la contamination de l'environnement par les activités anthropiques telles que les industries ou les infrastructures routières, libérant du plomb dans le milieu environnant, contaminant alors les plantes et le lait des animaux consommant ces plantes.

Pourtant, aucun auteur ne donne les teneurs en Pb des aliments consommés par les animaux sur lesquels ils prélèvent le lait pour les analyses.

Néanmoins, Bhatia et Choudhry (1996), Dey et Swarup (1996) et Simsek et al. (2000) s'accordent sur le fait que le lait produit par des animaux vivant auprès des usines, des routes, est significativement plus riche en Pb, que le lait produit en zone rurale ou en zone non polluée. Néanmoins, dans ces études, les résultats sont extrêmement variables avec des teneurs maximales en Pb pouvant aller de 0,032 ppm (Simsek et al., 2000) à 7,20 ppm (Bhatia et Choudhri, 1996). Pourtant ces deux teneurs reflètent la contamination du lait des animaux pâturant auprès des routes avec un trafic intensif (Simsek et al., 2000), et un trafic correspondant à 15000 voitures par jour (Bhatia et Choudhri, 1996).

Les résultats de notre étude laissent supposer que ces animaux doivent être exposés à une source de plomb via leur alimentation, liée à la présence d'une industrie ou d'une route sur leur zone de parcours.

Le transfert du Pb par le biais des fourrages semble avoir le même impact sur le lait de vache que sur le lait de chamelle.

La technologie de la production des produits laitiers semble avoir une influence sur la quantité de métaux lourds. Les quantités semblent plus importantes dans le yaourt que dans le lait frais (Cd 0,63 ; Pb 0,06 et 1,01 ; 0,11 ppm, respectivement) (Güler, 2007). Dans une autre étude, les teneurs en Pb dans le fromage ont été en moyenne de 1,5 à 10,7 µg/g, soient des valeurs plus élevées que dans le lait. Cependant, dans un cas, il peut y avoir un apport extérieur en Pb par rapport à ce qui était déjà présent dans le lait, ce qui augmente la teneur en Pb dans les produits transformés comme le shubat (par exemple par l'utilisation d'ustensiles contenant du plomb).

Les seules normes disponibles sont celles de la teneur de plomb maximale tolérée dans le lait qui de plus est variable en fonction des pays (0,02 ppm en Turquie, 0,05 ppm en Allemagne et Hollande, 0,1 ppm au Kazakhstan, absente en Algérie). La teneur maximale admissible du Pb dans le lait selon le Codex Alimentarius (2007) est de 0,02 ppm (Ataro et al., 2008).

Limite de l'étude

Il existe un certain nombre de limites à cette étude, des limites dans les zones d'étude, et dans l'échantillonnage. Tout d'abord étant donné le faible nombre d'échantillons et l'étendue de la zone d'échantillonnage, les résultats ne sont statistiquement pas interprétables. Ainsi, pour étudier rigoureusement les teneurs en plomb dans la chaîne alimentaire, il aurait été préférable d'étudier quelques fermes d'une seule région et réaliser une dizaine de prélèvements pour chaque matrice de l'environnement (sol, eau, plantes) à différents endroits, et ce, dans chaque ferme.

Un seul échantillon de chaque matrice environnementale n'est pas représentatif de l'ensemble du territoire pâturé par les chameaux, les résultats ne représentent donc pas toutes les variabilités possibles en termes de concentration. En effet, les fourrages échantillonnés ont été prélevés à un seul endroit dans chaque ferme, ils ne sont donc pas caractéristiques de l'ensemble de l'alimentation des chameaux, espèce qui se déplace sur de longues distances pour se nourrir. Pour les prélèvements de sol, d'eau et de plantes une méthode d'échantillonnage scientifique doit être utilisée, par exemple la méthode des transects.

Par ailleurs, les systèmes d'élevage étant différents d'une ferme à l'autre (intensif ou extensif), les animaux ne consomment pas les mêmes végétaux, ce qui peut être un facteur non négligeable de variabilité dans l'exposition des animaux aux pesticides. En outre, il faudrait connaître avec précision les sources de pollution aux pesticides dans les environs de chaque ferme et analyser une ferme non contaminée (sol, eau, plantes) afin d'observer les différences.

Recommandations et perspectives

Le lait de chamelle peut apporter une variété de nutriments, tels que des vitamines, des minéraux et des acides aminés essentiels. Mais comme le milieu de vie des chameaux peut-être est pollué, le lait peut contenir du plomb, ce qui rend sa consommation inquiétante et pour éviter tout problème de santé. Doit être pris en considération :

- Limiter la consommation du lait des chameaux à proximité des routes et proches des sites de pollution industrielle comme les stations d'essence et les usines etc.
- Révision et création de normes pour réduire niveaux admissibles de plomb dans les autres produits de consommation (les aliments, l'eau, les produits cosmétiques etc.).

Il faut faire des études sur les teneurs en lait d'autres métaux lourds ayant des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine.

De plus, l'état doit mettre la norme de plomb dans le lait et renforcer le suivi de la qualité du lait de chamelle vendu sur les routes et doit être soumis à des analyses toxicologiques et partager les résultats avec la population, qui doit rester maître de ses choix éclairés.

CONCLUSION

Conclusion

Cette étude a permis de faire une première analyse environnementale des risques de pollution autour des d'élevage camelin situées au niveau de la route reliant Oued Souf à Ouargla. Et ceci a permis dans une certaine mesure le suivi de l'étude des impacts environnementaux sur la qualité du lait.

Au terme de nos travaux de recherche, une étude physicochimique d'eau, et un dosage du plomb dans le lait, les plantes et les sols a été effectuée aux différentes stations de prélèvements.

La contamination du lait, de l'eau, du sol et des plantes a varié selon les fermes. Cependant les relations entre les concentrations en polluants dans le lait et les concentrations dans les différents éléments de l'environnement ont été difficiles à établir.

La zone d'étude étant considérable, les sources de pollution étant multiples, les interactions entre matrices environnementales ont pu être mal élucidées du fait d'effets dilution et d'une rigueur insuffisante dans le plan d'échantillonnage.

Au final, le travail réalisé s'est heurté aux limites de l'échantillonnage, le dépôt majoritairement atmosphérique des polluants n'étant fort probablement pas homogène dans un milieu donné.

Toutefois, il a été possible d'obtenir un premier regard sur les risques de contamination du lait de chamelle dans des zones potentiellement polluées.

Il sera donc nécessaire ultérieurement de développer des protocoles de recherche se focalisant sur le métabolisme des polluants dans l'organisme animal.

Au final, si ce travail de thèse n'a pas toujours répondu précisément aux questions qui s'étaient posées au début de la mise en place des enquêtes et expérimentations, il ouvre de nombreuses perspectives en cours de concrétisation par la mise en place de nouveaux travaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Abadin, H., Ashizawa, A., Stevens, Y.-W., Lladós, F., Diamond, G., Sage, G., Citra, M., Quinones, A., Bosch, S. J., & Swarts, S. G. (2020). *Toxicological profile for lead*. 582. <http://arxiv.org/abs/1011.1669><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24049859><https://stacks.cdc.gov/view/cdc/95222>

Abdel-Rahman, G. N., Ahmed, M. B., Sabry, B. A., Ali, S. S. (2019). Heavy metals content in some non-alcoholic beverages (carbonated drinks, flavored yogurt drinks, and juice drinks) of the Egyptian markets. *Toxicology reports*, 6: 210-214.

Abedi, A. S., Nasser, E., Esfarjani, F., Mohammadi-Nasrabadi, F., Hashemi Moosavi, M., & Hoseini, H. (2020). A systematic review and meta-analysis of lead and cadmium concentrations in cow milk in Iran and human health risk assessment. *Environmental science and pollution research international*, 27(10), 10147–10159. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07989-w>

Abu-rabia, A. (2018). Camel milk and complementary and alternative medicine. Volume-7. Issue-1. ISSN No 2277 – 8179. IF: 4.176. IC Value: 93.98

Abushaala, F. A., Bayoumi, M. A. (2016). Camel milk metal's status, a mini survey on Libyan camel milk. In *8th International Toxicology Symposium in Africa*. p.4.

Adamou, A. (2008). L'élevage camelin en Algérie : quel type pour quel avenir ? Sécheresse vol. 19, n° 4 : 253-60.

Agrawal, R. P., Dogra, R., Mohta, N., Tiwari, R., Singhal, S., Sultania, S. (2009). Beneficial effect of camel milk in diabetic nephropathy. *Acta Biomed*, 80: 131-4.

Ahamad, S. R., Raish, M., Ahmad, A., & Shakeel, F. (2017). Potential health benefits and metabolomics of camel milk by GC-MS and ICP-MS. *Biological trace element research*, 175(2), 322-330.

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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ait hamadouche, N. (2010). *Effets de l'exposition chronique au plomb sur le système reproducteur et l'axe hypothalamo-hypophysaire chez la rate mâle wistar.* Thèse de doctorat en biochimie appliquée, université Oran 1-Ahmed Ben Bella. Algérie. p. 9-37.

Al Kanhal, H. A. (2010). Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal*, 20: 811-821.

Assylbekov BZ, Tenlibayeva AS, Konysova SS, Bozhbanov BZ, Yermekbaeva RZ, (2016) Environmental Quality Assessment of Dairy Products Manufactured in the Area of Kazakhstan Aral Sea Region. *J Material Sci Eng* 5: 290. Doi:10.4172/2169-0022.1000290

Astolfi, M.L., Marconi, E., Protano, C., Canepari, S. (2020). Comparative elemental analysis of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Food Control*. 116. 107327. 10.1016/j.foodcont.2020.107327.

Ataro, A., McCrindl, R.I., Botna, B.M., McCrindle, C.M.E., Ndibewu, P.P. (2008). Quantification of trace elements in raw cow's milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry*, 111(1), p. 243-248.

Base de données Biotox, (2020). Plomb et composés. Nature du dosage : Plombémie - Plomb sanguin. Sur le site web de l'INRS : https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox/dosage.html?refINRS=Dosage_52#item_0

Baunot, N., Cheymol, J., Domsic, S., Dreyer, M., Garnier, R., Glorennec, P., Grousset, J., Jacquet, J., Laporte, R., Merle, C., Ramgolam, K., Ronzière, V., Squinazi, F., Vernouillet, G., Verrier, A., Wannepain, E., Yazbeck, C., Ythier, H. (2017). *Mise à jour du guide pratique de dépistage et de prise en charge des expositions au plomb chez l'enfant mineur et la femme enceinte.* Ministère des Solidarités et de la Santé Haut Conseil de la santé publique. 62p.

Bedda, H., Adamou, A., Bouammar, B., Babelhadj, B.(2019).Le déclin des systèmes de production camelins dans le Sahara septentrional algérien - cas de la cuvette de Ouargla, le M'zab et le Ziban, Université Kasdi Merbah, Ouargla Laboratoire Bio Ressources Sahariennes, Préservation et Valorisation Université Kasdi Merbah- Ouargla

Ben Aissa, A. (1989). Le dromadaire en Algérie Options Méditerranéennes-Série Séminaires – N°2 – 1989 : 19-28p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Benhaddya, M. L., Hadjel, M. (2014).** Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in surface soils of Hassi Messaoud, Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 71: 1473-1486.
- Bensakhria, A. (2016).** Toxicité du Plomb. Récupéré de <https://www.analyticaltoxicology.com/toxicite-plomb/>
- Bhatia, I. et Choudri G.N. (1996).** Lead poisoning of milk – The basic need for the foundation of human civilization. *Indian J. Public health*. 40 (1): p. 24-26.
- Boudebouz, A., Boudalia, S., Bousbia, A., Habila, S., Boussadia, M. I., & Gueroui, Y. (2021).** Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. *The Science of the total environment*, 751, 141830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141830>
- Boudjeneh, S. (2012).** Aptitudes à la transformation du lait de chamelle en produits dérivés : effet des enzymes coagulantes extraites de caillettes de dromadaires, p.419.
- Brekken, A. et Steinnes, E. (2004).** Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals. *Science of the Total Environment* 326, p. 181–195.
- Caggiano, R., Sabia, S., D’Emilio, M., Macchiato, M., Anastasio, A., Ragosta, M., Paino, S. (2005).** Metal levels in fodder, milk, dairy products, and tissues sampled in ovine farms of southern Italy. *Environmental Research*. 99: p. 48-57.
- Caroline, Arlette, Ghislaine DRIOT(2009).** Etude épidémiologique et histopathologique de la gale sarcoptique et de la teigne chez le dromadaire dans le sud marocain.p.88.
- Cecchi, M. (2008).** DEVENIR DU PLOMB DANS LE SYSTEME SOL-PLANTE : Cas d’un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate). Thèse de doctorat en Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement. Institut National Polytechnique de Toulouse. France. p. 14-40.
- Chanel, O., Dollfus, C., Haguenoer, J., Hartemann, P., Huel, G., Larroque, B.,(1999).** Plomb dans l’environnement : quels risques pour la santé ?. [Rapport de recherche] Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). 451 p., graphiques, références bibliographiques disséminées. hal-01571950

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chehema, A. (2002). Le développement de l'élevage camelin en Algérie : Problème et perspectives. *Revue Synthèse*. Université Badji Mokhtar, Annaba, 11: 94-99.

Chehema, A. (2003). Lait de chamelle pour l'Algérie, Université d'Ouargla. Faculté des sciences. Département d'agronomie saharienne, p. 43-50.

Chemma, N. (2017). La dependance laitiere : où en est l'Algerie ?. *Revue D'Etudes en Management et Finance D'Organisation*, p.1-19.

Codex Alimentarius Commission. (2007). Joint FAO/WHO food standards programme. Codex committee on methods of analysis and sampling, twenty-eighth session, Budapest, Hungary, 5–9 March 2007.

Cones, H.M., Faz, Á., Arnaldos, R. (2006). Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena–La Unión mining district (SE Spain) *Science of The Total Environment*, 366 (1), p. 1–11.

Cuniasse, B., et Glass, T. (2020). *Métaux lourds*. Format Secten (Ed.), Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques : Bilan des émissions en France de 1990 à 2018 (168-203). France: Citepa.

Damarany, A. I. (2016). Concentrations of Sodium, Potassium, Copper, Zinc and Heavy Metals in Camel Milk Reared Under Pasture and Farm Conditions in South Egypt. *Journal of Animal and Poultry Production*, 7: 275-278.

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

Diacono, E., Faye, B., Meldebekova, A., & Konuspayeva, G. (2008). Plant, water and milk pollution in Kazakhstan. In *Impact of Pollution on Animal Products*. Springer, Dordrecht. p. 107-116.

Dickson, E.L. et Stevens, R.J. (1983). Extractable copper, lead, zinc and cadmium in Northern Ireland Soils. *J Sci Food Agric.*, 34: p. 1197–1205.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M., Egwurugwu, J. (2007).** Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of physical sciences*, 2: 112-118.
- El Sayed, I., Ruppanner, R., Ismail, A., Champagne, C. P., Assaf, R. (1992).** Antibacterial and antiviral activity of camel milk protective proteins. *Journal of Dairy Research*, 59: 169-175.
- Elamin, F. M., & Wilcox, C. J. (1992).** Milk composition of Majaheim camels. *Journal of dairy science*, 75(11), 3155-3157.
- F.A.O. (2018).** www.faostat.fao.org. Consulté le 21/10/2020.
- Faye, B., Seboussi, R., Askar, M. (2008).** Trace Elements and Heavy Metals Status in Arabian Camel. 10.1007/978-1-4020-8359-4_10.
- Fguiri, I., Atigui, M., Sboui, A., Samira, A., Marzougui, C., Dbara, M., Hammadi, M. & Khorchani, T. (2021).** "Camel Milk-Clotting Using Plant Extracts as a Substitute to Commercial Rennet", *Journal of Chemistry*, vol. Article ID 6680246, 8 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6680246>
- Flaten, T.P. et Steinnes, E. (1999).** Soil and fresh waters. In: Ballantyne B, Marrs TC, Syversen T, editors. General and applied toxicology. London: Macmillan, 1999. p.1365 –1389.
- Gemici, U. et Tarcan, G.I. (2007).** PI Assessment of the Pollutants in Farming Soils and Waters Around Untreated Abandoned Tu`rko`nu` Mercury Mine (Turkey). *Bull Environ Contam Toxicol.*, 79 : p. 20–24.
- Ghislaine, A.D. (2018).** Caractérisation physicochimique, microbiologique et immunochimique des laits camelin et bovin d'Algérie. Activités antioxydante et antitoxique de la fermente. Thèse de doctorat en Sciences biologiques, université Djillali Liabes-Sidi Bel-Abbes. Algérie.p.157.
- Gholizadeh, E., Ziarati, P. (2016).** Remediation of Contaminated Rice Farmlands Soil and Oryza sativa Rice Product by Apple Pomace as Adsorbent. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13: 22-45.
- Glorennec, P., Bemrah, N., Tard, A., Robin, A., Le Bot, B., & Bard, D. (2007).** Probabilistic modeling of young children's overall lead exposure in France: Integrated approach for various exposure media. *Environment International*, 33(7), 937-945.
- Güler, Z. (2007).** Levels of 24 minerals in local goat milk, its strained yoghurt and salted yoghurt (tuzlu yoğurt) // Small Ruminant Research. - 2007. - V. 71. – p. 130-137.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Hanna-Attisha, M., Lachance, J., Sadler, R., Schnepf, A. (2016). Elevated Blood Lead Levels in Children Associated With the Flint Drinking Water Crisis: A Spatial Analysis of Risk and Public Health Response. *American Journal of Public Health*. 106. e1-e8. 10.2105/AJPH.2015.303003.

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, p. 3757–3770.

Heikens, A., Peijnenburg, W., Hendriks, A. (2001). Bioaccumulation of heavy metals in terrestrial invertebrates. *Environmental Pollution*, 113: 385-393.

Holmgren, G.G.S., Meyer, M.W., Chaney, R.L., Daniels, R.B. (1993). Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J Environ Qual*, 22 : p. 335– 48.

INCPQ. (2003), Définition nosologique d'une maladie à déclaration obligatoire ou d'une intoxication et d'une exposition significative : plomb, p18.

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (2005). Qualité physico-chimique des eaux de surface : cadre générale.

Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Goodwill, J.E., Sun, J. (2017): Heavy metals in milk: global prevalence and health risk assessment, *Toxin Reviews*, DOI: 10.1080/15569543.2017.1399276

Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Ismail, T., Ahmad, Z., Hashmi, S.M. (2015): Estimated daily intake and health risk of heavy metals by consumption of milk, *Food Additives & Contaminants: Part B: Surveillance*, DOI: 10.1080/19393210.2015.1081989

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7: 60-72.

Jurjanz, S. (2008). Dairy livestock exposure to persistent organic pollutants and their transfer to milk: a review, in *Impact of pollution on animal products*, ed. Springer NATO, p. 63-84.

Kabata-Pendias, A. et Dudka, S. (1991). Baseline data for cadmium and lead in soils and some cereals of Poland. *Water, Air, Soil Pollut.*, 57– 58, p. 723– 31.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Karimi, E., Yari, M., Ghaneialvar, H., Kazemi, HR., Asadzadeh, R., Aidy, A. (2020).** Effects of dust phenomenon on heavy metals in raw milk in western Iran. *Foods and Raw Materials*, 8(2):241–249. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-241-249>.
- Kasassi, A., Rakimbei, P., Karagiannidis, A., Zabaniotou, A., Tsiouvaras, K., Nastis, A., Tzafeiropoulou, K. (2008).** Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill. *Bioresource Technology*, 99 (18), p. 8578–8584.
- 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), p. 351–357.
- Kirkham, M.B. (2006).** Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma*, 137 (1–2), p. 19–32.
- Konuspayeva, G., Jurjanz, S., Loiseau, G., Barci, V., Akhmetsadykova, S., Meldebekova A., Faye, B. (2011).** Contamination of camel milk (heavy metals, organic pollutants and radionuclides) in Kazakhstan. *Journal of Environmental Protection*, 2 (1): p. 90-96. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.21010>
- Lajnaf, R. (2020).** Camel Milk: Nutritional Composition, Functionality and Health Benefits-A Mini Review. *Curr Tr Biotech & Microbio* 2(2), CTBM.MS.ID.000132. DOI: 10.32474/CTBM.2020.02.000132.
- Laperche V., Dictor M.C., Clozel-Leloup B. et Baranger Ph. (2004)** – Guide méthodologique du plomb, appliqué à la gestion des sites et sols pollués. BRGM/RP-52881-FR, 136p., 40ill.
- Luilo, G.B. et Othman, C. (2003).** Heavy metal levels of pasture grasses in metropolitan area. *Journal Phys. IV France*, 107, p. 797-800.
- Mahboub, N., Telli A., Sibouker O., Boudjenah S., Slimani N. et Mati A. (2010).** Contribution à l'amélioration de l'aptitude fromagère du lait camelin : étude des conditions de conser..., Université Kasdi Merbah Ouargla, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Volum.2, N° 1, p.79.
- Markus, J. et McBratney, A.B. (2001).** A review of the contamination of soil with lead II. Spatial distribution and risk assessment of soil lead. *Environment International*, 27, p. 399– 411.
- Matthews, H. et Thornton, I. (1982).** Seasonal and species variation in the content of cadmium and associated metals in pasture plants at Shipham. *Plant Soil*, 66: p. 181 – 193.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Meguellati-Kanoun, A., Saadaoui, M., Kalli, S., Kanoun, M., Huguenin, J., Benidir, M., Benmebarek, A. (2018).** Location and spatiotemporal distribution of camel populations in Algeria. *Livestock Research for Rural Development*. 30.
- Mehaia, M. A., (1994).** Vitamin C and riboflavin content in camels milk: effects of heat treatments. *Food chemistry*. 50 (2): 153-15.
- Meshref, A., Moselhy, W., Hassan, N. (2014).** Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 8. 381-388. 10.1007/s11694-014-9203-6.
- Mihic, T., Rainkie, D., Wilby, K. J., & Pawluk, S. A. (2016).** The Therapeutic Effects of Camel Milk: A Systematic Review of Animal and Human Trials. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 21(4), NP110–NP126. <https://doi.org/10.1177/2156587216658846>
- Millis, P., Ramsey, M.H., John, E.A. (2004).** Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainty in plant uptake and its implications for human health riskassessment. *Sci Total Environ*, 326 : p. 49–53.
- Ministère de la santé et des solidarités. (2006),** L'intoxication par le plomb de l'enfant et de la femme enceinte, N° 66223, p.31.
- Mjidou, R. (2018).** Etude des changements dans les modes de production du dromadaire, p. 118.
- Morais, S., Costa, F. G., Pereira, M. D. L. (2012).** Heavy metals and human health. *Environmental health—emerging issues and practice*, 10: 227-246.
- Mostafidi, M., Moslehishad, M., Piravivanak, Z., & Pouretdal, Z. (2016).** Evaluation of mineral content and heavy metals of dromedary camel milk in Iran. *Food Science and Technology*, 36(4), 717-723.
- Nnadozie, C., Birnin-Yauri, U., Muhammad, C., Umar, A. (2014).** Assessment of some Dairy Products Sold in Sokoto.
- Norouzirad, R., González-Montaña, J. R., Martínez-Pastor, F., Hosseini, H., Shahrouzian, A., Khabazkhoob, M., Ali Malayeri, F., Moallem Bandani, H., Paknejad, M., Foroughi-Nia, B., & Fooladi Moghaddam, A. (2018).** Lead and cadmium levels in raw bovine milk and dietary risk assessment in areas near petroleum extraction industries. *The Science of the total environment*, 635, 308–314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.138>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Oleko A, Fillol C, Balicco A, Bidondo ML, Gane J, Saoudi A, Zeghnoun A. (2020).** Imprégnation de la population française par le plomb. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Saint-Maurice : Santé publique France. 53p. Disponible à partir de l'URL : <https://www.santepubliquefrance.fr>
- Omar, A. et Al-Khashman. (2004).** Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Pollution*, 38, p. 6803–6812.
- Organisation Mondiale de la Santé, (2003).** Programme international sur la sécurité des substances chimiques : plomb. https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/lead/fr/#
- Oulad Belkhir, A., Hadjadj, A., Bouziane, A., Chehma, A., Faye, B. (2011).** Caractérisation des populations camelines du Sahara septentrional algérien. Ouargla, Algérie.
- Parkpian, P., Shing, T.L., Laortanakul, P., Thunthaisong, N. (2003).** Regional monitoring of lead and cadmium contamination in a tropical grazing land site, Thailand. *Environ.Monit.Assess.*, 85, p. 153-173.
- Parsaei, P., Rahimi, E., Shakerian, A. (2019).** Concentrations of Cadmium, Lead and Mercury in Raw Bovine, Ovine, Caprine, Buffalo and Camel Milk. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(6), 4311-4318. <https://doi.org/10.15244/pjoes/94809>
- Pelou, C. (2018).** Étude d'un cas clinique : saturnisme chronique suite à un traumatisme balistique. *Médecine humaine et pathologie*. ffdumas-02062414
- Pichtel, J., Kuroiwa, K., Sawyerr, H.T. (2000).** Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated site. *Environmental Pollution*, 110 (1), p.171–178.
- Pourrut, B. (2008).** Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba* (Doctoral dissertation). Institut National Polytechnique de Toulouse. France. p.58-60.
- Pšenková, M., Toman, R., & Tančin, V. (2020).** Concentrations of toxic metals and essential elements in raw cow milk from areas with potentially undisturbed and highly disturbed environment in Slovakia. *Environmental science and pollution research international*, 27(21), 26763–26772. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09093-5>
- Qian, J., Shan, X.-q., Wang, Z., Tu Q. (1996).** Distribution and plant availability of heavy metals in different particle-size fractions of soil. *Science of The Total Environment*, 187 (2), p.131–141.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Quarshie, E., Nyarko, B.J.B., Serfor-Armah, Y. (2011).** Studies of the Levels of Some Toxic Elements in Soil and Tailings from Bibiani Mining Area of Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(5): p. 512-520.
- Ranathunga, L.N. et Esakkimuthu, M. (2017).** A review on toxicity of heavy metals due to intake of contaminated bovine milk. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2(3): 244-246.
- Rashed, M.N. (1994).** Trace elements in camel's milk from Aswan sity and desert (Egypt). In : Dromedaires et chameaux, animaux laitiers. Actes du colloque, 24-26 octobre 1994.
- Rychen, G., Ducoulombier-Crépineau, C., Grova, N., Jurjanz, S. (2005).** Modalités et risques de transfert des polluants organiques persistants vers le lait. *Productions animales*, 18: 355-366.
- Senoussi, A. (2012).** L'élevage camelin en Algérie : mythe ou réalité ? Camel breeding in Algeria : myth or reality ?. Université Kasdi Merbah Ouargla, Laboratoire de Bio Ressources Sahariennes : Préservation et Valorisation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, Ouargla 30 000 Algérie.p308.
- Shori, A. B. (2015).** Camel milk as a potential therapy for controlling diabetes and its complications: A review of in vivo studies. *Journal of food and drug analysis*, 23: 609-68.
- Simsek, O., Gültekin, R., Öksüz, O., Kurultay, S. (2000).** The effect of environmental pollution on the heavy metal content of raw milk. *Food/Nahrung*, 4: 360-363.
- Slimani, N. (2015).** Impact du comportement alimentaire du dromadaire sur la préservation des parcours du Sahara septentrional algérien. Cas de la région d'Ouargla et Ghardaïa, 109p.
- Smet, S., Duvigneaud, P. (1974).** Accumulation de métaux lourds toxiques dans divers écosystèmes terrestres pollués par des retombées d'origine industrielle. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique/Bulletin van de Koninklijke Belgische Botanische Vereniging*: 147-156.
- Soltan, M., Al-ayed, A.S., Ismail, M., & Shadeed, M. (2017).** Effect of the environmental factors on some element contents in camel and sheep milks: A comparative study between Qassim and Riyadh regions, KSA.
- Steinnes, E., Allen, R.O., Petersen, H.M., Ranbaek, J.P., Varskog, P. (1997).** Evidence of large scale heavy-metal contamination of natural surface soils in Norway from long- range atmospheric transport. *Sci. Total Environ.* 205: p. 255-266.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Sumaira, Shah, A.M., Solangi, G.A., Anwar, I., Kalwar, Q., (2020).** Composition and beneficial impact of camel milk on human health. *Punjab Univ. J. Zool.*, 35(2): 179-189. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pujz/2020.35.2.179.189>
- Teofilova, T., Kodzhabashev, N., Gerasimov, S., Markova,E. (2010).** Comparative characterization of the heavy metal contents in samples from two regions in Bulgaria with different anthropogenic load. *Natura Montenegrina, Podgorica*, 9 (3): p. 897-912.
- Tudoreanu, L. et Phillips, C.J.C (2004).** Modeling Cadmium Uptake and Accumulation in Plants. *Advances in Agronomy*, 84, p. 121–157
- Usman, K., Abu-Dieyeh, M., Zouari, N., Al-Ghouti, M. (2020).** Lead (Pb) bioaccumulation and antioxidative responses in *Tetraena qataranse*. *Scientific Reports*. 10. [10.1038/s41598-020-73621-z](https://doi.org/10.1038/s41598-020-73621-z).
- Wani, A. L., Ara, A., & Usmani, J. A. (2015).** Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary toxicology*, 8(2), 55–64. <https://doi.org/10.1515/intox-2015-0009>.
- Yasotha, A., Dabadé, D. S., Singh, V. P., & Sivakumar, T. (2020).** Risk assessment of heavy metals in milk from cows reared around industrial areas in India. *Environmental geochemistry and health*, 10.1007/s10653-020-00758-1. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00758-1>
- Zhang, H., Cui, B., Xiao, R., Zhao, H. (2010).** Heavy metals in water, soils and plants in riparian wetlands in the Pearl River Estuary, South China. *International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS)*. *Procedia Environmental Sciences*, 2, p. 1344–1354.
- Ziarati, P., Shirkhan, F., Mostafidi, M., & Zahedi, MT (2018).** Un aperçu de la contamination par les métaux lourds dans le lait et les produits laitiers. *Acta sciences pharmaceutiques scientifiques*, 2 (7), 1-14.
- Zibae, S., Hosseini, S., Yousefi, M., Taghipour, A., Kiani, M.A., Noras, M. (2015).** Nutritional and Therapeutic Characteristics of Camel Milk in Children: A Systematic Review. *Electronic physician*. 7. 1523-1528. [10.19082/1523](https://doi.org/10.19082/1523).

Annexe 1 : Spectroscopie d'absorption atomique.

I. Dosage par spectroscopie d'absorption atomique :

I. 1. Spectroscopie d'absorption atomique :

Les méthodes spectrales sont les plus utilisées pour le dosage multiéléments chimique (métaux et non-métaux, Même à l'état de trace (Figure 1) fondée sur l'absorption des radiations atomiques en phase vapeur, soit en émission. Et permet l'analyse des métaux dans de nombreux types de matrices de nature liquide ou solide.

Absorption atomique (AAS), émission atomique à plasma (plasma AES), fluorescence atomique (AFS), et spectrométrie de masse à plasma (plasma).

1	H																	18	
	Li	Be												B	C	N	O	F	Ne
	Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
	Fr	Ra	A																
	Lanthanoids		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
	Actinoids		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Cu	Elements determined by FAAS using an air-acetylene flame
V	Elements determined by FAAS using a dinitrogen oxide-acetylene flame
S	Elements determined by plasma-AES using an inert gas atmosphere or a vacuum in the optics of the instrument
H	Elements which cannot be determined by direct atomic absorption or plasma atomic emission methods

Figure 1 : Eléments qui peuvent être déterminées par absorption atomique (AAS) et émission atomique à plasma (AES).

I. 1. 1. Principe de base :

Lorsqu'un atome à l'état libre est porté à haute température (flamme, four, plasma,...) et/ou irradié par une source lumineuse proche du domaine UV/visible, ses électrons périphériques passent de l'état fondamental (E_1) vers une orbitale externe d'un niveau énergétique supérieur ($E_2 > E_1$).

Ce transfert électronique s'opère avec une absorption d'énergie. Inversement, lorsque l'électron retourne sur une orbitale interne, il réémet cette énergie sous forme d'un rayonnement possédant une longueur d'onde très précise, soit une raie lumineuse.

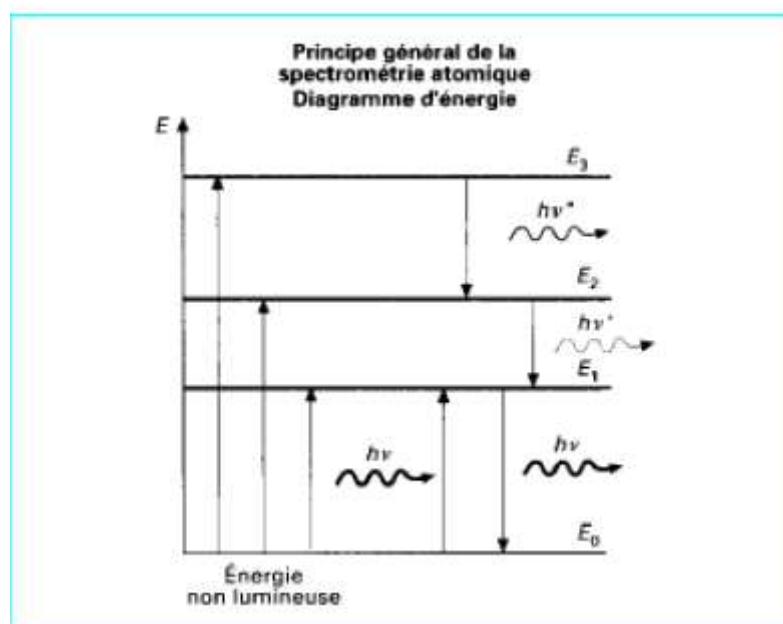


Figure 2 : Schéma simplifié des niveaux d'énergie et des transitions électroniques possibles.

I. 1. 2. Loi de distribution de Maxwell-Boltzmane :

Lorsqu'un échantillon est atomisé par une flamme, permet de excitée une petite partie seulement des atomes. On présence la relation entre le nombre d'atomes à l'état fondamentales N_0 et le nombre d'atome à l'état excitée N_j , il est présenté par la loi de Boltzmane.

$$\frac{N_j}{N_0} = \frac{g_j}{g_0} e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

N_0, N_j = nombre d'atomes occupant les niveaux énergétiques E_0 et E_j

ΔE = différence énergétique entre les orbitales, soit $E_j - E_0$ (potentiel d'excitation),

$E_0 = 0$ niveau fondamental pris comme niveau de référence

g = poids statistiques de l'état excité et de l'état fondamental, nombre entier dépendant des nombres quantiques du moment angulaire électronique de l'élément $g = 2J + 1$.

k = constante de Boltzmann ($1,380\ 658\ 10^{-23}\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$).

T = température absolue en Kelvins.

Habituellement la température d'une flamme est comprise entre 2000 et 4000 K. Comme observé les raies de résonance entre le premier état excité et l'état fondamental sont comprises entre 200 et 900 nm.

Donc, dans ces conditions, on peut égard que le nombre d'atomes à l'état fondamental égal au nombre d'atomes formés dans la flamme.

Dans AAS la température de nébulisation se trouve généralement en dessous de 3000 K et les longueurs d'ondes utilisées sont en général inférieures à 600 nm, la quantité d'atomes excités est la plus faible et peut être négligée.

I. 1. 3. Le principe :

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est la technique la plus utilisée actuellement. Elle est très bien adaptée à toutes les matrices environnementales et biologiques, où l'absorption d'un rayonnement électromagnétique par les atomes fournit un puissant instrument analytique, pour l'analyse quantitative surtout. Avec le même principe de base. C'est l'analyse effectuée par l'absorption de radiations d'une certaine longueur d'ondes (UV-Vis). Son principe est basé sur la mesure des concentrations en plomb à partir de l'absorbance du spectre du plomb émis par une lampe par des atomes de plomb vaporisés dans le faisceau lumineux de la lampe. La vaporisation peut être obtenue dans une flamme (SAAF), dans ces techniques le rendement d'atomisation est faible. Elles ne sont donc adéquates que pour des concentrations relativement élevées, de l'ordre du mg/l. La vaporisation peut aussi être obtenue à l'aide de méthodes sans flamme : il s'agit des méthodes électrothermiques (ET-SAA) qui utilisent le chauffage électrique d'un four en graphite. Cette technique est parfaitement adaptée aux faibles concentrations en plomb.

La limite de détection peut être augmentée en utilisant des plates-formes de l'UV et la correction du bruit de fond par effet Zeeman. On peut ainsi atteindre des limites inférieures à 1 g/l dans le produit à analyser.

Les deux techniques d'atomisation dans une flamme (SAAF) ou dans un four par voie électrothermique (SAAET) qui aboutissent à des limites de détection très différentes, la SAAET étant au moins 100 fois plus sensible que la SAAF. La SAAF, est une méthode applicable au dosage du calcium, du magnésium, du lithium, du zinc, du cuivre et du fer dans les milieux biologiques. Les autres oligo-éléments se trouvant à des teneurs trop faibles comme le plomb dans ce cas ne sont pas accessibles à l'analyse. Alors que la SAAET offre des possibilités beaucoup plus intéressantes puisque la grande majorité des éléments devient accessible à l'analyse.

I. 1. 4. Caractéristiques principales :

- Gamme spectrale 180-900nm.
- 4 lampes multiéléments.
- Band passante 0.12nm-2nm.
- Fonction EDL (Electrodeless discharge lamp)
- Passure automatique d'échantillons.

I. 1. 5. Domaines des applications de spectroscopie d'absorption atomique :

Ce sont tous les domaines où se pratiquent des dosages des métaux, ce qui est très vaste.

Les domaines plus particulièrement retenir :

- Analyses biologiques : Exemple dosage du calcium et de magnésium.
- Analyse des eaux : Eaux de boisson, d'infiltration, de rivière, de mer, industrielles ou usées sont couramment analysées par absorption atomique dans le cadre de contrôles divers. Ainsi on peut détecter des pollutions.
- Industries agro- alimentaires : Le dosage des traces de métaux dans les produits alimentaires est important, tant sur le plan nutritionnel que toxicologique.
- Agriculture : Les éléments peuvent être dosés dans des extraits de sol, de plante, dans les engrais...
- Autres industries.
- Détermination des traces métalliques/imparité dans les huiles des plants, l'eau.
- Analyse des éléments dans les fluides, l'eau, le sol, les aliments, le sérum et bien d'autres encore.

- Analyse métallurgique, archéologique, pharmaceutique et atmosphériques.

Elle couvre donc une vaste éventail d'application. Dans le domaine pharmaceutique on peut citer :

- Dosage du zinc dans les préparations d'insuline ou d'oxyde de zinc.
- Dosage du cobalt dans la Vit B12.
- Dosage du mercure dans les antiseptiques organo-mercuriels..
- Dosage de Mg dans les suppléments nutritionnels.
- Dosage du Ca dans les préparations à base de Ca.
- La recherche de Cd, Zn dans les préparations injectables (adjuvants plastiques).
- Recherche d'impuretés.
- Analyse des boissons.
- Analyse des tissus végétaux et animaux, des liquides biologiques.
- Dosage du Ca, Sr, Zn dans les os.

I. 2. Méthode et appareillage :

I. 2. 1. Les éléments constitutifs des spectrophotomètres d'absorption atomique :

L'instrumentation est presque identique pour toutes les méthodes atomiques (figure 3ci dessus) à savoir :

- Une source de lumière (source primaire) qui produit une radiation caractéristique de l'élément à doser à la longueur d'onde spécifique.
- Un système pour moduler le rayonnement provenant de la source.
- Un atomiseur dont le rôle est de produire un nuage d'atomes à l'état fondamental.
- Un monochromateur à réseau isole ensuite la raie de résonance à partir du rayonnement en général complexe qui lui parvient de la vapeur atomique ou qui sert à éliminer toutes les radiations autres que celle à la longueur d'onde.
- Un récepteur photométrique transforme le flux non absorbé par la vapeur atomique en un signal électrique traité électroniquement afin d'afficher l'absorbance ou ont appelé un détecteur couplé à un système électronique pour enregistrer et traiter les signaux

À côté de ces éléments essentiels, nous trouvons l'un ou l'autre complément suivant le degré de perfectionnement de l'appareil. Il peut s'agir :

- D'un diviseur de faisceau lumineux dans les appareils à double faisceau (utilisé pour le dosage de minéralisant)

- D'un correcteur d'absorptions non spécifiques.
- D'un système permettant la visualisation des signaux spécifiques et non spécifiques.

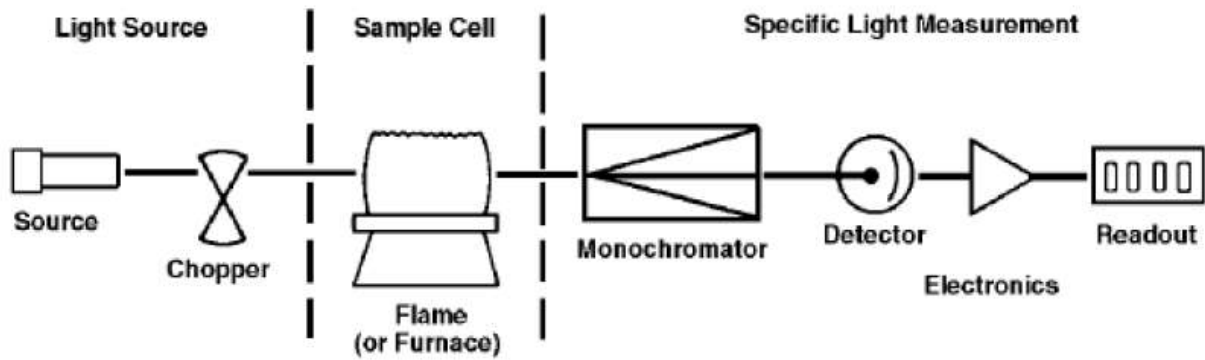


Figure 3 : Les composants d'un spectromètre à absorption atomique

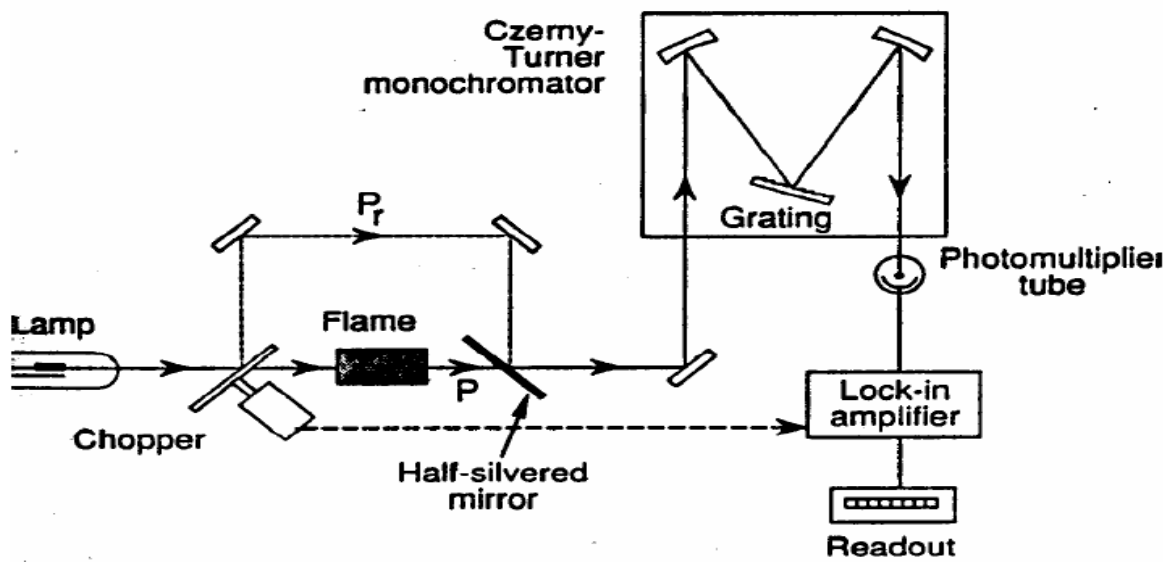


Figure 4 : Schéma du spectromètre à deux faisceaux.

Description :

Ici, le miroir à secteur permet de séparer le faisceau primaire en un faisceau de référence F_0 et un faisceau F . Ensuite est absorbé dans la flamme. Ceux-ci sont ensuite se revenir en regroupées par un miroir semi-transparent après la flamme. L'amplificateur étant synchronisé avec le moteur du miroir à secteurs, on mesure en tout temps le rapport F/F_0 . Ainsi, toute différence de l'intensité de la source n'affecte pas cette valeur. Généralement, ce système est plus stable par rapport à simple faisceau mais parfois, il est affecté par la flamme qui prévaut. Toutefois l'utilité d'un tel système est de plus en plus questionnable car aujourd'hui les sources sont de plus en plus stables. Les atomiseurs en eux-mêmes ont une capacité d'absorption (background absorbance ou scattering). Celle-ci est plus importante dans le four en graphite que dans l'atomiseur de flamme car la quantité plus petite d'échantillon utilisée rend la phase gazeuse qui interfère, dominante. Ainsi, les correcteurs d'absorption d'arrière-plan (background absorption) sont souvent utilisés pour les longueurs d'onde au-dessous de 220 nm.

L'appareil se compose :

- D'une lampe ;
- D'un modulateur ;
- La nébulisation dans une flamme ;
- D'un monochromateur ;
- D'une fente ;
- D'un photomultiplicateur suivi d'un amplificateur, et d'un enregistreur.

I. 2. 1. 1. Source lamier :

Son rôle est de produire une radiation lumineuse à la longueur d'onde caractéristique de l'élément à dose.

Les plus répandues de ces sources sont représentées par les lampes à cathode creuse. Il est important que la source de radiation émette des raies plus étroites que la raie d'absorption. Ainsi, autre type de lampe répondent bien à cette exigence : la lampe à cathode creuse et la lampe à décharge sans électrode.

a) La lampe à cathode creuse :

La cathode est constituée du métal à analyser (plomb, zinc,...) et conditionnée sous pression (1-5 torr) dans une atmosphère inerte (Ne ou Ar). L'anode est généralement constituée de zirconium ou de tungstène, et la différence de potentiel appliquée est de l'ordre de 300 V.

La fenêtre de la lampe est en verre de silice ou en pyrex. Lorsque la différence de potentiel est appliquée, le gaz de remplissage est ionisé (Ne^+ , Ar^+), provoque un courant de 5-10 mA. Ces ions frappent la cathode et provoquent la sublimation (passage de l'état solide à l'état gazeux) des atomes de la cathode qui, lorsqu'ils retournent à l'état fondamental ($M \rightarrow M^*$), émettent un rayonnement d'une longueur d'onde qui leur est propre.

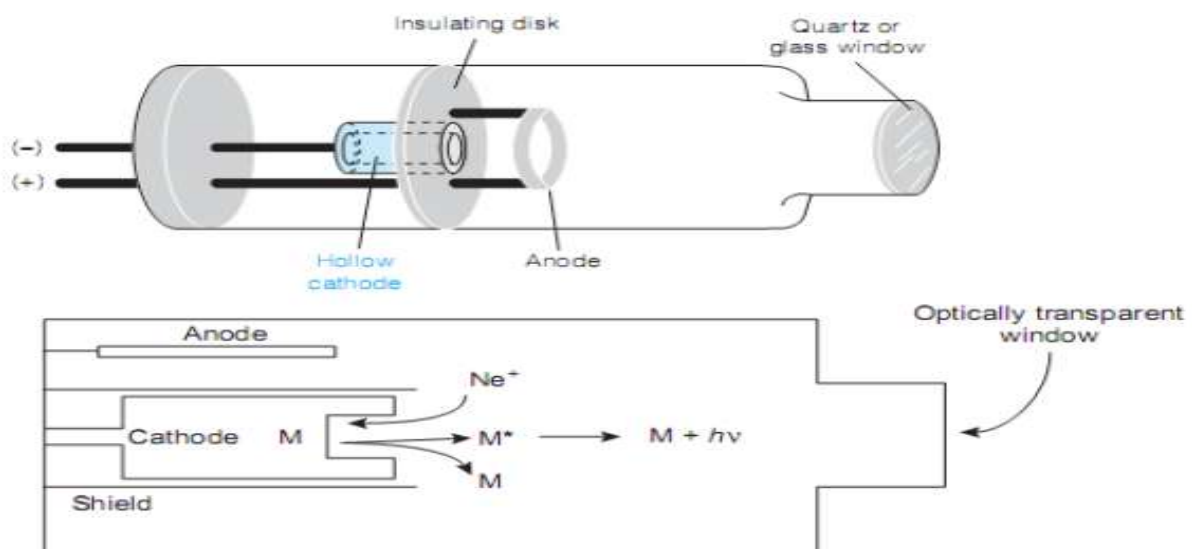
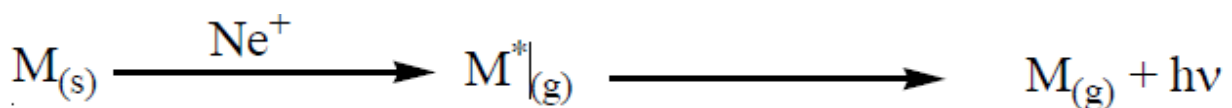


Figure 5 : Schéma d'une lampe à cathode creuse

b) La lampe à décharge sans électrode :

Elle est constituée d'un tube en quartz scellé contenant un gaz inerte et une petite quantité d'une espèce métallique, ou d'un de ses sels, cette genèse leur toute sous une pression.

L'énergie est fournie par un champ électrostatique condensé. Le gaz inerte s'ionise et les ions sont accélérés jusqu'à une énergie nécessaire pour démolir et exciter les atomes métalliques.

Des lampes EDL ce n'est que les courants et les pressions et, par conséquent, les températures sont beaucoup plus faibles et émission des raies caractéristique accompagne le retour à l'état fondamental.

Les lampes à décharge produisent un faisceau lumineux plus intense que les lampes à cathode creuse, elles sont plus stables et ont une durée de vie bien supérieure. Elles présentent donc des avantages indéniables pour l'analyse. En revanche, elles produisent un faisceau de section bien supérieure ; on ne peut donc tirer bénéfice de leur avantage qu'avec des appareils spécialement conçus.

Les lampes HCL et EDL sont parfaitement complémentaires, les premières donnant d'excellents résultats pour les métaux non volatils, les secondes s'adressant particulièrement bien à l'étude des métaux volatils.

On trouve des lampes à décharge pour les éléments suivant : Sn, As, Bi, Cd, Cs, Ge, Pb, Hg, P, k Rb, Se, Te, Th, Zn, Tl, Zn.

c) Super lampes et ultra-lampes

Lors d'une accroître de courant, non seulement la lampe s'échauffe trop, mais un phénomène de renversement de raie apparaît. On ne peut donc pas infiniment augmenter ce courant dans le but d'augmenter l'intensité lumineuse. Ceci considéré un des inconvénients des lampes à cathode.

Dans ce type de lampe, on provoque, grâce à une alimentation électrique séparée, une décharge dans le nuage atomique juste devant la cathode creuse. Cette décharge excite les atomes à l'état fondamental, qui émettent ensuite les photons caractéristiques.

Ces photons fort nombreux s'ajoutent à ceux déjà produits dans la cathode, augmentant ainsi l'intensité lumineuse d'un facteur allant de 3 à 5 avec, pour conséquences directes, une diminution importante de la limite de détection, une légère amélioration de la sensibilité et une plus grande zone de linéarité. Ces lampes n'apportent cependant aucun gain à l'analyse des éléments à bas potentiel d'excitation (alcalins et Al), ni à celle des réfractaires (W, V, Ta, Zr).

d) Lampes à vapeur de mercure :

Pour le dosage du mercure nous trouvons certains appareils d'absorption atomique sont spécifiques. Ils utilisent un type de lampe à décharge de vapeur de mercure. Ces lampes émettent des raies assez larges et il faut les alimenter par un très faible courant, ce qui peut entraîner un manque de stabilité.

I. 2. 1. 2. Modulation de rayonnement émis par la source :

Le faisceau lumineux issu d'une lampe à cathode creuse doit être modulé de manière à réaliser une amplification sélective du signal : il ne faut pas amplifier les signaux qui ne proviendraient pas de la lampe.

Ceci peut être fait de manière mécanique à l'aide d'un disque ajouré animé d'un mouvement de rotation qui hache avec une grande régularité le rayonnement émis entre la source et la vapeur atomique. Ou de manière électronique en modulant le courant alimentant la lampe (par une alimentation électrique intermittente de la source).

I. 2. 1. 3. Le dispositif thermique :

Pour casser les liaisons (ioniques ou covalentes) engagées en solution par l'élément à doser et mesure d'absorbance sur les atomes à l'état libre et non ionisés des éléments choisis, nécessite hautes températures d'une flamme ou d'un four au moins 2000°C afin de rompre toutes les liaisons chimiques. Sauf certains éléments peuvent exister à l'état atomique sous forme de vapeur froide : c'est le cas du mercure.

a) Atomisation :

Le rôle de l'atomiseur est processus de rupture de l'analyte en atomes gazeux, mais ceux-ci doivent se trouver à l'état fondamental pour pouvoir absorber les photons provenant de la source. Pour y arriver l'échantillon contenant l'analyte est atomisé dans une flamme ou dans un four ou bien encore avec un dispositif hydrure.

1) Nébuliseur et brûleur :

C'est un constitué de flamme, Le nébuliseur assure la nébulisation de la solution contenant l'élément à doser, sous l'action de gaz comburant : Air, oxygène ou diazote oxyde (N₂O). Il doit fournir un nébulisant fin homogène et régulier. Les plus fines gouttelettes restent en suspension et sont mélangées au gaz combustible avant d'atteindre le brûleur (figure 6).

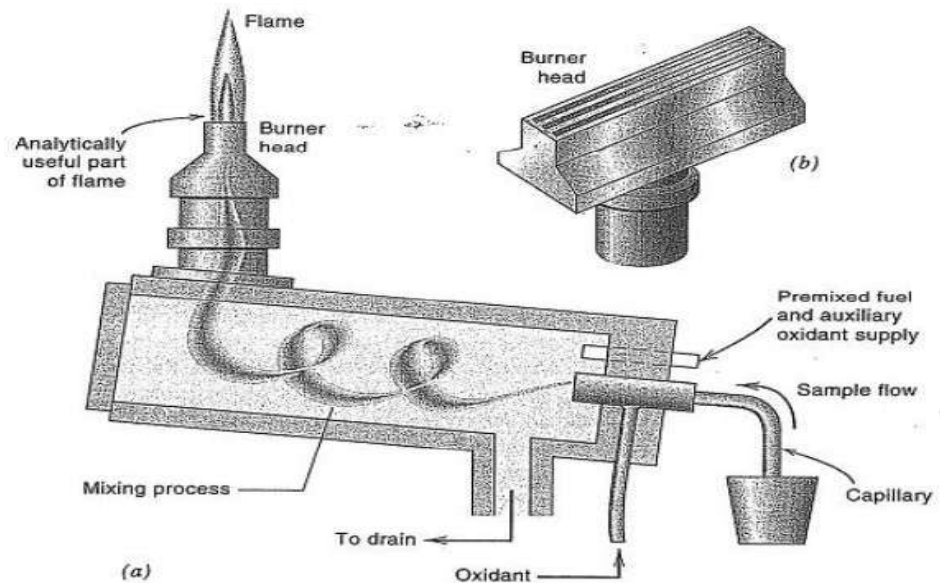


Figure 6 : Ensemble nébuliseur-brûleur(a) nébuliseur, Chambre et brûleur. (b) la tête du brûleur.

Le brûleur est très allongé de 10 à 15 cm (figure 6) et assez étroit. Cette flamme laminaire permet d'augmenter la longueur du trajet du rayonnement issu de la source va à la vapeur atomique.

2) Atomiseur de flamme :

-L'élément à analyser est mis en solution aqueuse. La solution (1-2 mL) est ensuite aspirée, et poussée à débit constant sous la pression d'un gaz comburant au sein d'une flamme.

-L'échantillon forme alors un aérosol constitué de fines gouttelettes ($\phi = 1-10 \mu\text{m}$) dispersées dans le gaz qui lui sert de comburant puis mélangé au gaz combustible. Les gouttelettes les plus fines arrivent avec le combustible et le comburant dans un brûleur à fente qui donne large une flamme de 5-10 cm composés quatre zones comme installé sur la figure ci-contre.

-Le solvant est éliminé dans la zone de combustion primaire. Les particules solides résultantes sont amenées dans la région interzonale de la flamme où les atomes et les ions monoatomiques sont amenés à l'état gazeux. C'est dans cette zone qu'ont lieu l'excitation et l'émission.

Ensuite, dans la zone de combustion secondaire les atomes et les ions peuvent être oxydés avant d'être dispersés (figure7).

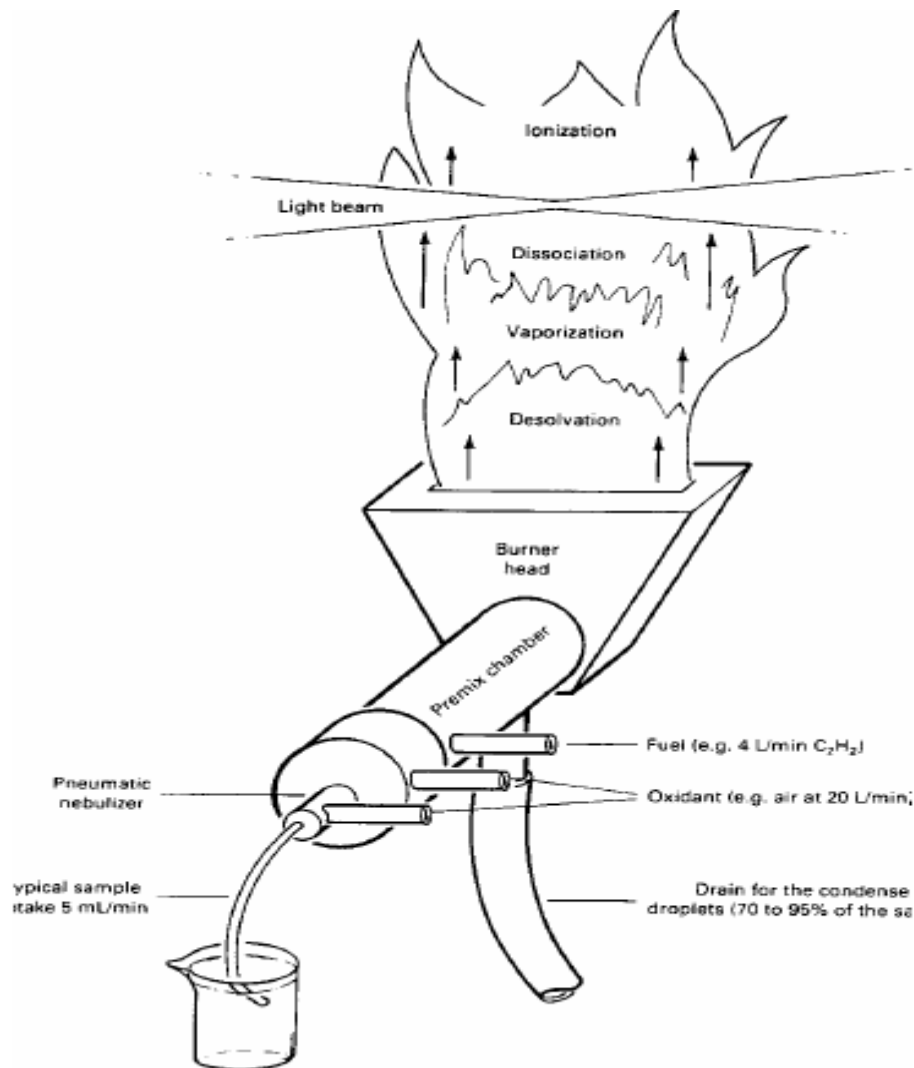


Figure 7 : Atomiseur de flamme.

Selon le mélange gazeux (tableau 1), les flammes peuvent atteindre différentes plages de température. Lorsque l'air sert de comburant, la flamme est moins chaude.

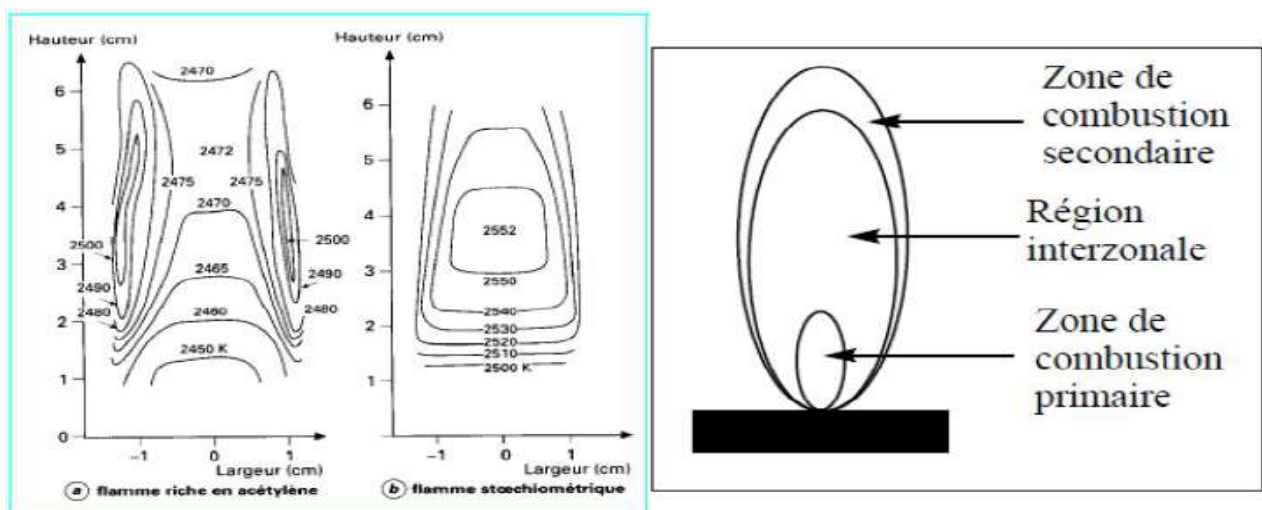
En absorption atomique à flamme, c'est généralement l'acétylène qu'est utilisé comme combustible. Le gaz comburant est soit l'air (2300 K), soit l'oxygène (3200 K) soit le diazote (3200 K également). Dans la flamme se produit l'évaporation du solvant (avec éventuellement combustion), la fusion puis l'évaporation des composés métalliques, et en fin une dissociation moléculaire libérant les atomes qui peuvent alors absorber.

Ensuite, avant d'éteindre la flamme, il faut nettoyer le brûleur en aspirant de l'eau distillée pendant quelques minutes.

Tableau 1 : Flammes utilisées en spectroscopie atomique et température maximale de flamme.

Combustible-comburant	Température (° C)
Gaz-air	1700-1900
Gaz-O ₂ (Gaz-oxygen)	2700-2800
H ₂ -air (Hydrogen-air)	2000-2100
H ₂ -O ₂ (Hydrogen-oxygen)	2550-2700
C ₂ H ₂ -air (Acetylene Air)	2100-2400
C ₂ H ₂ -O ₂ (Acetylene Oxygen)	3050-3150
C ₂ H ₂ -N ₂ O ₂ (Acetylene Nitrous oxide)	2600-2800
HCN (cyanogen)	4 800 k

La flamme comporte deux zones principales, **le dard** et **le panache**. Le dard, zone d'émission lumineuse intense, est aussi une zone relativement froide. C'est là que la combustion des gaz démarre. Le panache apparaît juste au-dessus. La zone la plus chaude de la flamme se situe environ 3 à 4 cm au-dessus du brûleur (figure 8), et c'est à cette hauteur que passe le faisceau lumineux provenant de la source primaire et qu'a lieu l'absorption des photons. Étant donné la vitesse des gaz, qui est d'environ 10 m.s⁻¹, nous disposons de 3 ms pour passer du nébulisât à l'état d'atome. Le temps nécessaire pour passer d'une goutte de solution à un atome en phase vapeur dépend de la taille de la goutte et de la température de la flamme. Lorsque l'aérosol liquide-gaz arrive dans la flamme, l'évaporation de l'eau a lieu, et il se forme un aérosol solide-gaz.

**Figure 8** : profile de température dans une flamme air-acétylène.

Remarque :

Les caractéristiques de la flamme-réactivité chimique et température- sont des paramètres importants de l'analyse. La flamme peut être plus ou moins oxydante suivant le rapport combustible/comburant. la température est donnée par la nature des gaz utilisés.

3) Atomiseur électrothermique (four en graphite) :

L'appareil est constitué par un petit cylindre creux en graphite de quelques centimètres de longueur et d'environ 1 cm de diamètre interne. Il est chauffé par effet joule et traversé par le rayonnement issu de la source. L'atomiseur électrothermique commercial le plus approprié en SAA est le four en graphite, où l'atomisation se produit dans un four en graphite cylindrique, ouvert aux deux extrémités et qui contient un trou au centre pour la présentation des échantillons. Deux courants de gaz inertes (argon) sont utilisés. Le courant externe empêche l'air de rentrer dans le foyer et le courant interne garantit que les vapeurs générées dans la matrice de l'échantillon sont rapidement éloignées du four.

L'atomisation y est réalisée par réduction des oxydes métalliques par le carbone à haute température, comme la montre la figure 9.

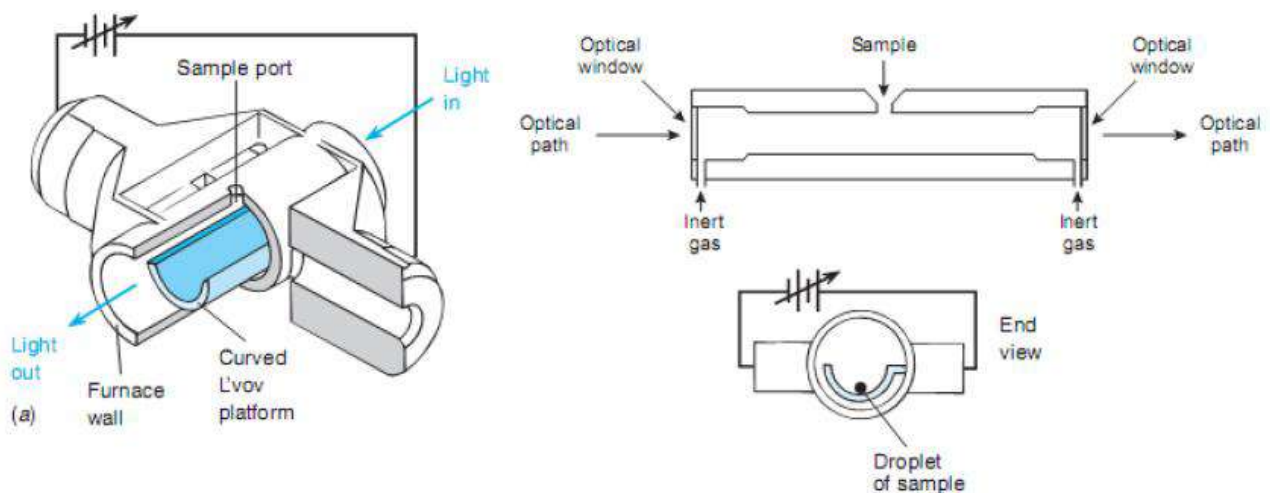


Figure 9 : Schéma du four en graphite.

Le cycle de température : Lors d'une analyse, l'opérateur programme un gradient de température. A titre d'exemple voici le gradient généralement utilisé lors du dosage. Des échantillons de 5 à 50 μl sont injectés dans le tube de graphite à travers un trou de petit diamètre situé à l'extrémité supérieure du tube sont introduits dans le four qui est chauffé selon un cycle programmable. Il y a successivement :

-Dé solvation (séchage) : C'est-à-dire évaporation de la phase liquide (jusqu'à une température de 100°C environ si la solution est aqueuse). Cette étape doit être effectuée lentement mais ne prend que 20 à 40 secondes environ.

- Minéralisation par formation d'oxydes : Qui est appelée la calcination à une température dépendant de la nature des métaux présents environs 350- 1200 ° C. A ces températures, toute matière organique dans l'échantillon est converti en CO₂ et H₂O, Et des matériaux inorganiques volatils sont vaporisés. Ces gaz sont éliminés par le courant de gaz inerte. (20 à 40 secondes environ).

- Production de la vapeur atomique par réduction des oxydes (atomisation) : A une température comprise entre 200 et 2600°C (quelques secondes). Il faut veiller à ne pas dépasser une température au-delà de laquelle une ionisation excessive des atomes diminuerait le nombre de ceux qui peuvent absorber.

- Purge du système : Par un courant d'argon à une température supérieure à 2000°C (maximum 3000°C).

- Refroidissement : Par circulation d'eau autour du four.

Le rôle de l'argon : Si l'on ne prenait pas de précautions, le graphite du four brûlerait à de telles températures. Il faut éviter tout contact entre le graphite chauffé et l'oxygène (et donc l'air). Pour cela, le four est parcouru par un courant d'argon lors de la montée en température. Ce courant gazeux emporte les vapeurs de solvant. Les éventuelles fumées et les éléments volatilisés avant que la température d'atomisation de l'élément à doser soit atteinte. On arrête cependant le courant d'argon juste avant d'atteindre la température d'atomisation de l'élément à doser.

L'atomisation se produit donc dans une enceinte remplie d'argon, ce qui permet d'atteindre des concentrations atomiques élevées.

Le courant d'argon reprend lors de la purge. L'absorbance dans le four évolue au cours du temps (figure 10). Les éventuelles fumées produites lors de la minéralisation donnent une absorbance mesurable. L'atomisation se fait ensuite à une température choisie en fonction de l'élément à doser et donne un pic que l'on espère isoler et spécifique, dont on utilise la hauteur H, ou plutôt l'aire A, pour l'analyse quantitative. La purge peut aussi donner lieu à une forte absorbance.

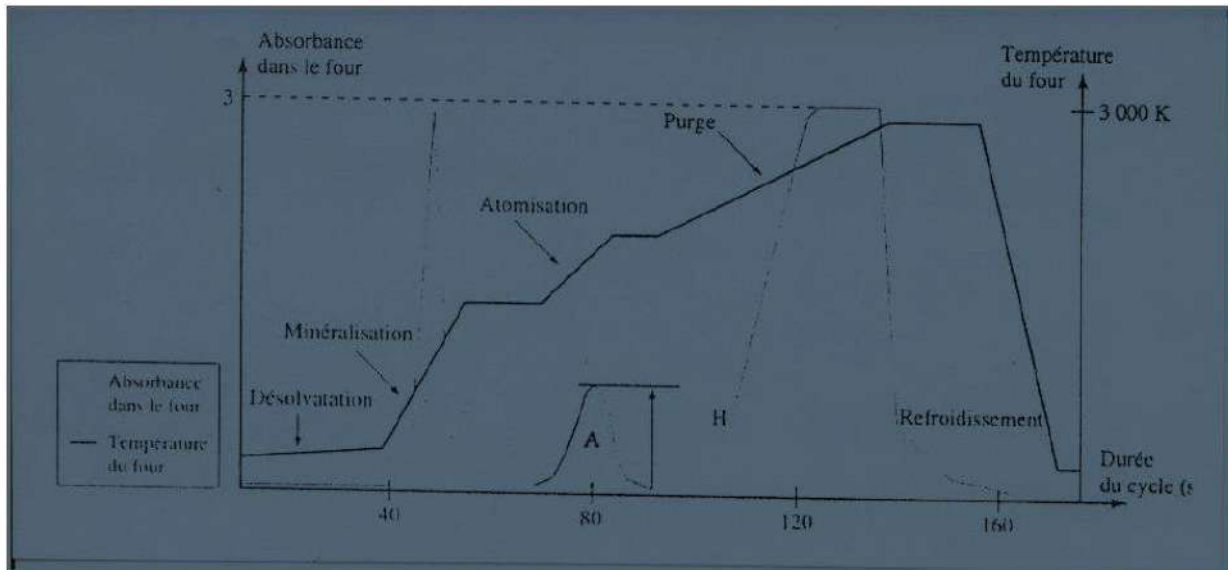


Figure10 : Evolution de l'absorbance dans un four en graphite au cours d'un cycle et variation de la température.

I. 2. 1. 4. Le monochromateur (sélecteur de longueur d'onde) :

Un monochromateur situé après la flamme est indispensable pour sélectionner une très étroite plage de longueurs d'onde. Il est constitué de miroir et d'un réseau.

Le faisceau issu de la flamme ou du four traverse une fente d'entrée puis réfléchi par un miroir sur le réseau. A ce niveau-là, il y a dispersion de la longueur d'onde : l'angle d'émergence de réseau dépend de la longueur d'onde. En général, il n'est pas nécessaire d'utiliser un monochromateur de haute précision car la largeur de raie de la source est une première sélection. Après un second miroir, la fente de sortie ne laisse sortir du monochromateur que le rayonnement compris dans la bande étroite choisie. Le rôle du monochromateur consiste à éliminer toute la lumière, quelle que soit son origine, ayant une longueur d'onde différente de celle à laquelle on travaille. Les plus utilisés sont les monochromateurs de type Ebert et Czerny-Turner.

Le monochromateur est constitué de trois éléments essentiels :

- une fente d'entrée chargée de définir un pinceau de lumière polychromatique ;
- un système dispersif de la lumière, généralement assuré par un réseau de diffraction ;
- une fente de sortie chargée de sélectionner la longueur d'onde et de définir la bande passante.

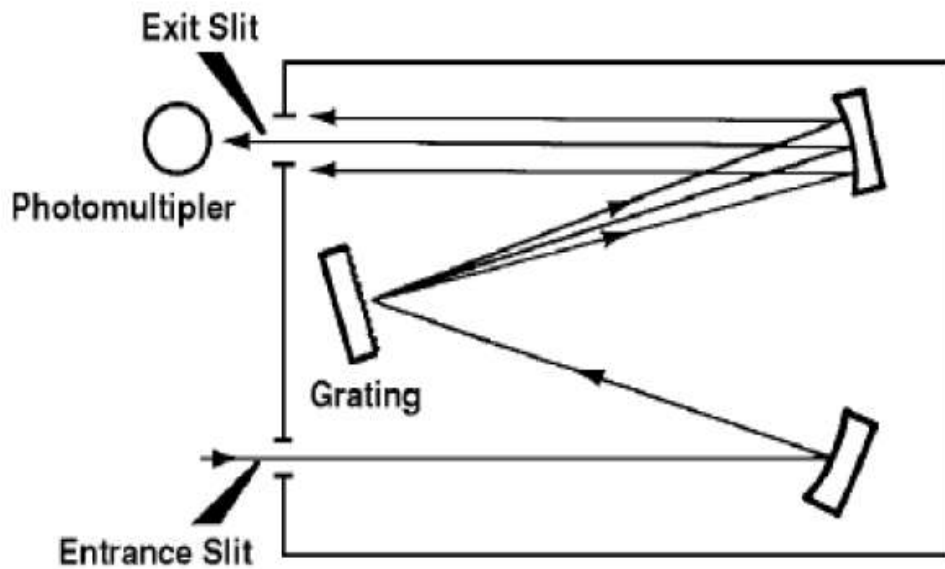


Figure 11 : Schéma le monochromateur d'absorption atomique.

I. 2. 1. 5. Détecteur :

Le détecteur est situé à la sortie du monochromateur. Dans le domaine de longueurs d'onde considéré ici, on utilise généralement un tube photomultiplicateur dont le principe est présenté sur la figure el est constitué d'une photocathode et de dynodes portées à des potentiels électrique négatif, décroissant en valeur absolue, le tout dans une enceinte en sous vide.

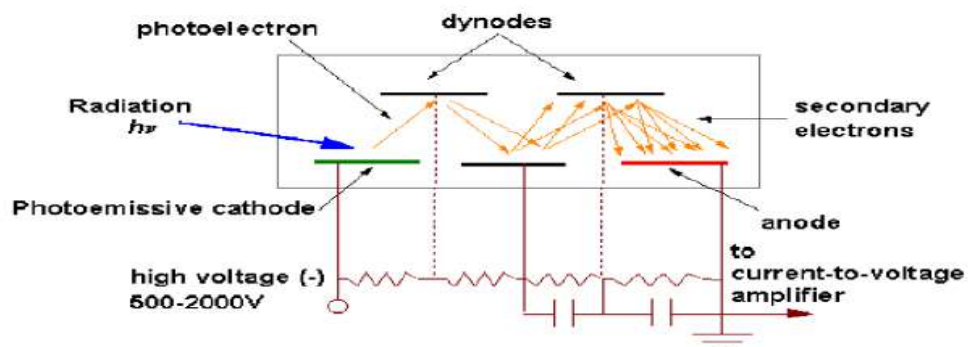


Figure 12 : Principe de tube multiplicateur.

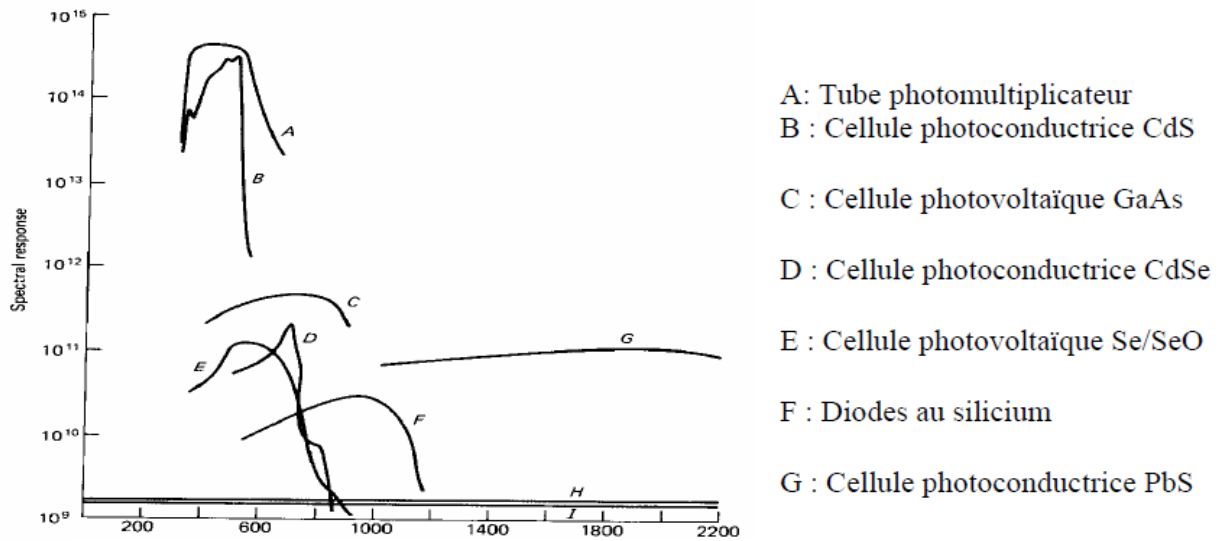


Figure 13 : Courbes des réponses en fréquence de quelques détecteurs couramment utilisés.

I. 3. Les modificateurs de matrice :

La température nécessaire pour carboniser la matrice de l'échantillon (le milieu contenant l'analyte) peut aussi vaporiser analyte. L'utilisation de modificateurs de matrice peut retarder l'évaporation de l'analyte jusqu'à ce que la matrice soit de loin carbonisée. Si non, un agent modificateur de matrice pourrait augmenter l'évaporation de la matrice et réduire ainsi les interférences par la matrice au cours de l'atomisation. Par exemple, le nitrate d'ammonium modificateur de matrice ajouté à l'eau de mer réduit l'interférence par NaCl.

Exemples de modificateurs de matrice utilisés pour la détermination de certains éléments :

<i>Analyte element</i>	<i>Matrix modifier</i>
Al	Mg(NO ₃) ₂
As	Ni(NO ₃) ₂
Be	Mg(NO ₃) ₂
Cd	(NH ₄) ₂ HPO ₄ , NH ₄ F, EDTA, ascorbic acid, tartaric acid, HNO ₃
Co	Mg(NO ₃) ₂
Cr	Mg(NO ₃) ₂
Ga	HClO ₄
Hg	(NH ₄) ₂ S, K ₂ Cr ₂ O ₇ , KMnO ₄
Mn	Mg(NO ₃) ₂
Ni	Mg(NO ₃) ₂
P	La(NO ₃) ₃
Pb	(NH ₄) ₂ HPO ₄
Sb	Pd(NO ₃) ₂ , Mo(NO ₃) ₃ , Ni(NO ₃) ₂
Se	Ni(NO ₃) ₂
Sn	HNO ₃
Ta	H ₂ SO ₄
Te	Ni(NO ₃) ₂ , AgNO ₃
Tl	H ₂ SO ₄

I. 4. Corection de bruit de fonde :

Avec des appareils de brûleur le bruit de fonde est généralement peu important car on nébulise des solutions aqueuses diluées.

Avec un four graphite la situation est tout autre, une atomisation incomplète due à la matrice peut engendrer une absorption parasite, c'est notamment le cas des échantillons contenant des particules en suspension, des ions difficilement réductibles ou des molécules organiques non brûlées par manque d'oxygène. Tous ces éléments présentent des bandes d'absorption plutôt que des raies fines. Il apparaît alors un fond d'absorption constant dans la bande définie par le monochromateur.

I. 4. 1. Par une lampe au deutérium :

Consiste à ajouter une seconde source lumineuse : une lampe au deutérium dont le spectre d'émission est continu et large. On effectue des mesures alternativement avec la lampe à cathode creuse (ou décharge) et avec la lampe au deutérium.

Avec la lampe à cathode creuse, on évalue à la fois le bruit de fond et l'absorption par l'élément à analyser. En retranchant les deux absorbances, on obtient un résultat propre à l'analyte.

I. 4. 2. Par effet Zeeman :

On place un électroaimant au niveau de l'atomiseur ainsi qu'un polariseur sur le trajet optique. Le champ magnétique provoque une perturbation des états d'énergie des électrons. Ce phénomène modifie l'aspect du spectre de l'élément correspondant, du moins si la valeur du champ atteint au minimum 1 tesla. Tous les éléments ne se comportent pas de la même manière.

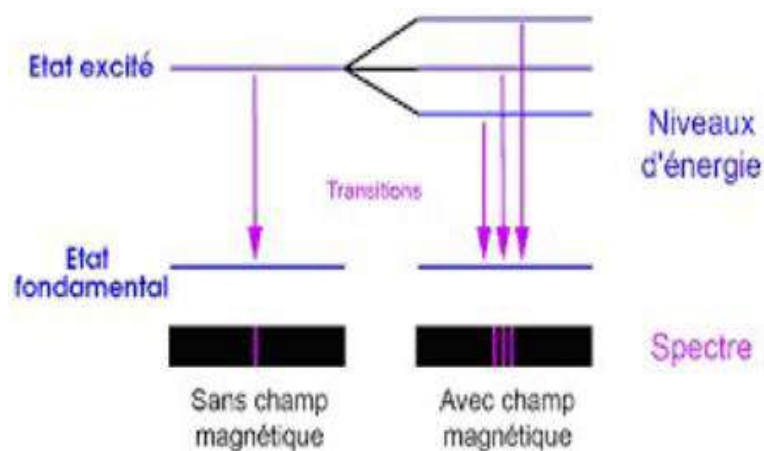


Figure 14 : Effet Zeeman.

Dans le cas le plus simple, on observe que la raie d'absorption observée sans champ, conduit à trois nouvelles raies polarisées (voir figure 14), dont l'une, appelée composante p, conserve la position initiale tandis que les deux autres, appelées composantes satellites s, sont décalées symétriquement de part et d'autre de la composante p. Les directions de polarisation des raies p et s sont perpendiculaires. En interposant sur le trajet optique un polariseur orienté convenablement, on pourra effacer ou non la composante p d'absorption due à l'élément alors que contrairement aux atomes de l'élément, les particules et fumées en suspension ne seront pas affectées par cet effet.

I. 4. 3. Par la méthode Smith Hieftje :

On utilise une lampe pulsée qui passe alternativement d'un régime normal (10 mA) à un régime forcé (500 mA). En régime normal, on mesure globalement la somme du fond d'absorption et de l'absorption de l'élément, alors qu'en régime forcé, on mesure le fond d'absorption, puisque la lampe n'émet pratiquement plus à la longueur d'onde choisie. La différence entre ces deux mesures d'absorbance, faites de manière répétitive, permet donc de calculer l'absorption du seul élément dosé.

I. 5. Interférences en absorption atomique

Puisque la spectrométrie d'absorption atomique est une méthode relative pour les mesures quantitatives, tout comportement de l'échantillon qui est différent de la référence crée une interférence. Par ailleurs, les interférences ne pouvant être spécifiées parce que leur cause est inconnue ou de nature complexe, sont appelées effets. Par exemple, les effets de matrice sont un ensemble d'interférences dues aux composants de l'échantillon autres que l'élément à analyser. L'interférence peut être corrigée en neutralisant la source d'interférence ou par l'élaboration des normes qui présentent la même interférence.

I. 5. 1. Types d'interférences :

Il existe trois types d'interférences, les interférences spectrales, les interférences chimiques et interférences d'ionisation.

a) Les interférences spectrales ou physiques :

Analyser généralement liées aux propriétés physiques des solutions étudiées (ex. changement de viscosité entre les étalons et les échantillons). Ces interférences affectent la mesure spectrale. Les interférences spectrales s'observent lorsque des éléments différents absorbent à une longueur d'onde très proche ou le signal de l'analyte chevauche les signaux provenant d'autres espèces de la flamme du four. L'interférence de la flamme est soustraite par une correction de background.

Le meilleur moyen de faire face à un chevauchement entre les lignes des différents éléments de l'échantillon est de choisir une autre longueur d'onde pour l'analyse.

b) Les interférences chimiques ou non spectrale :

Il existe des types d'interférences non-spectrales sont catégorisées :

- Interférences de transport : Ce sont tous les processus qui affectent l'efficacité du transport de l'échantillon dans l'atomiseur.
- Interférences de phase-condensée : Tous les processus de formation de composés durant l'évaporation du solvant, lors de la réaction de réarrangement moléculaire.
- Interférences de phase-vapeur : Ceci arrive lorsque l'élément de l'analyte n'est pas complètement dissocié en atomes à l'état fondamental, ce qui se produit lorsque l'élément en question forme un composé avec un autre élément de l'échantillon et n'est pas dissocié au même degré que la solution de référence.
- Interférences de distribution spatiale : On observe ce type d'interférences lorsque différents phénomènes viennent modifier le débit de l'analyte dans la flamme.

c) Interférences d'ionisation :

Se produisent lorsque l'énergie thermique de la flamme ou électrothermique de l'atomiseur est suffisante pour ioniser l'analyte. L'interférence d'ionisation est un problème dans les analyses des métaux alcalins, qui ont les plus faibles potentiels d'ionisation.

A 2450K et une pression de 0,1 Pa, Na est ionisé de 5%. Grâce à son potentiel d'ionisation faible, K est ionisé de 33% dans les mêmes conditions. Les atomes ionisés ont des niveaux d'énergie différents de ceux des atomes neutres, Ainsi, le signal attendue est diminuée. Pour éliminer une interférence d'ionisation on peut utiliser un suppresseur d'ionisation. Un suppresseur d'ionisation est un élément ajouté à un échantillon afin de diminuer l'ionisation de l'analyte. Par exemple, 1 mg/ml de CsCl est ajouté à l'échantillon pour l'analyse du potassium, car le césium est beaucoup plus facilement ionisé que le potassium. En produisant une forte concentration d'électrons dans la flamme, la réaction d'ionisation inverse du Cs est diminuée par un facteur variant de 2-20 pour le potassium. Cette inversion est un exemple explicite du principe de le Châtelier.

I. 6. Propriétés de la méthode :

I. 6. 1. La sensibilité :

En spectrométrie d'absorption atomique, la sensibilité ou concentration caractéristique est la concentration exprimée en mg/L qui conduit à une absorption de 1% c'est-à-dire une absorbance égale à 0,0044 (Galez, 2008).

Sensibilité (mg/L) = Concentration étalon (mg/L) \times 0,0044 / absorbance mesurée.

I. 6. 2. Limite détection :

C'est la plus faible concentration CL d'analyte pouvant être détectée mais non quantifiée comme une valeur exacte. Comme la sensibilité, elle est exprimée en mg/dm³ (SAAF) ou en mg/dm³ (SAAE), et est généralement définie comme la valeur du blanc plus trois fois son écart-type.

En général, la valeur du blanc est basée sur la moyenne d'une dizaine de mesures successives.

La limite de détection est étroitement liée à la sensibilité, mais également à la stabilité du système (rapport signal/bruit) et reflète donc aussi la répétabilité des mesures.

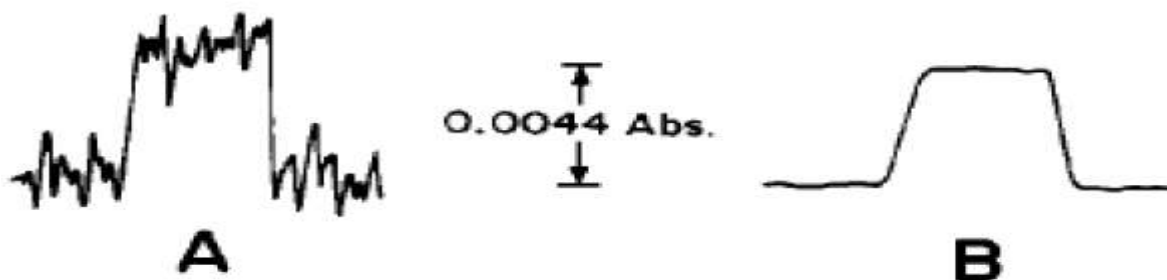


Figure 15 : Deux situations différentes avec la même sensibilité et des limites de détection différente. Il est clair que dans le cas B, on distingue de plus petites variations d'absorbance que dans le cas A, où le signal est plus bruité.

Tableau 2 : Sensibilité et limite de détection moyennes de quelques éléments.

Elements	Longueur d'onde (nm)	SAAF		SAAE	
		Limits de detection ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	Concentration caractéristique ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	Limits de detection ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	Masse mo (pg)
Ag	328.1	2	30	1	1.4
Al	309.3	30	800	6	9
As	193.7	300	500	10	20
Ba	553.6	20	200	18	6,5
Be	234.9	1	15	0,4	1,2
Cd	228.8	2	10	0.4	0,3
Co	240.7	5	50	8	8
Cu	324.7	3	30	5	8
Cr	357.9	6	50	1.6	3.5
Mn	279.5	2	20	1.8	2.2
Ni	232.0	10	70	16	9
Pb	217.0	10	100	3	11
Se	196.0	500	000	14	30
Tl	276.8	20	200	8	10
V	318.5	100	700	6	10
Zn	213.9	1	8	6	0.5

I. 6. 3. Linéarité :

La linéarité d'une méthode, à l'intérieur d'un certain domaine, est la capacité de fournir des résultats directement proportionnels à la concentration en analyte à doser.

La linéarité a été évaluée sur trois jours différents en utilisant des courbes standard comprenant 5 points d'étalonnage allant de 0, à 0,06 mg/L pour le plomb. Ainsi, les courbes d'étalonnage de la gamme présentent une bonne linéarité ($r^2 > 0,99$), montrant qu'on suit toujours les exigences de la limite de linéarité

I. 6. 4. Précision :

Elle désigne dans quelle mesure la valeur observée peut être reproduite. Elle exprime l'étroitesse de l'accord (degré de dispersion) entre une série de mesures provenant de multiples prises d'un même échantillon homogène dans des conditions prescrites. La précision est généralement exprimée par l'écart-type σ :

$$\sigma = \sum \left[\frac{(X_i - X_m)^2}{(N - 1)} \right]^{1/2}$$

Avec :

X_i : valeur individuelle,

X_M : moyenne des résultants

N : nombre de mesures,

Ou, plus souvent, par le coefficient de variation CV :

$$CV (\% \text{ RSD}) = \left(\frac{\sigma}{X_m} \right) \cdot 100$$

Avec : RSD Relative Standard Déviation. En SAAF, les coefficients de variation se situent généralement au- dessous du pour cent ; en SAAE entre 1 et 5 %.

Tableau 3 : Comparaison des différentes entre deux méthodes d'analyse atomiques

	Flamme absorption	Furnace absorption
Detection limits (ng/g)	10–1000	0.01–1
Linear range	102	102
Precision	0.1–1%	0.5–5%
Short term (5–10 min)	1–10%	1–10%
Long term (hours)	Very few	Very few
Interferences	Many	Very many
Spectral	—	—
Chemical	10–15	3–4 min/element
Mass	s/element	>20% slurries and
Sample throughput	0.5–5%	solids
Dissolved solid	Large	Very small
Sample volume	1	2

I. 7. Avantages et limitations :

La SAA est une méthode quantitative simple, rapide, sensible, très sélective et relative (il faut donc faire une courbe d'étalonnage). Elle nécessite une faible quantité d'échantillon. Les solutions étalons sont faciles à préparer. Cependant, on peut noter un certain nombre de limites :

- Pour des raisons technologiques, certains éléments ne peuvent être analysés.
- L'existence parfois d'interférences chimiques sévères.
- L'aspect non qualitatif de la technique impose la connaissance des éléments à doser afin de choisir la source adaptée.
- Ne permet pas l'analyse simultanée d'éléments.
- Nécessité d'avoir des concentrations assez faibles (afin de respecter le domaine de linéarité de la loi de Beer-Lambert).

Annexe 2 : Dosage du fluor dans l'eau par méthode de BELCHER WEST (à l'ALIZARINE COMPLEXON)

Les réactifs :

1. Solution d'alizarine complexon
2. Solution d'alizarine proprement dit
3. Solution de nitrate de lanthane (**La NO₂**)
4. Fluorure de sodium (**Na F**) à 1g/l.

Le matériel utilisé :

- 2 Fiole de 250ml
- Fiole de 200ml
- Fiole de 50ml
- Entonnoir
- Micropipette
- Tubes
- Portoir
- Balance
- Spectrophotomètre.

Protocole : La méthode de BELCHER WEST (à l'ALIZARINE COMPLEXON) :

La préparation des réactifs :

1. Solution d'alizarine complexon :

Solution tampon :

Acide acétique (**CH₃COOH**) = 8.5ml

Acétate de sodium tri hydraté (**CH₃COO Na, 3H₂O**) = 7.8g

L'eau distillée (**H₂O**) = Q.S.P 250ml

Solution d'alizarine complexon proprement dit :

Alizarine complexon = 0.0962g

L'eau distillée (**H₂O**) = un peu d'eau + 2 ou 3 pastilles de **NaOH**

Solution tampon = Q.S.P 250ml

2. Solution de nitrate de lanthane :

Nitrate de lanthane (**La NO₂**) = 0.2165g

Acétate de sodium tri hydraté (**CH₃COO Na, 3H₂O**) = 42.5g

Acide acétique (CH_3COOH) = 55.5ml

HCl = 12.5ml

L'eau distillée (H_2O) = Q.S.P 250ml

3. Solution de Na F à 1g/l :

Na F = 0.446g

L'eau distillée (H_2O) = 200ml.

Préparation de solution fille de fluor :

La solution mère étant à 1000mg/L on prépare une solution fille de 10mg/L on dilue à 1/100^{ème} en prélevant 0.5ml de solution mère et on complète à 50ml avec de l'eau distillée.

Les solutions filles doivent être respectivement à : 0 ; 0.25 ; 0.5 ; 0.75 et 1mg/L.

Préparation de gamme d'étalonnages :

Tableau 1 : Préparation de gamme d'étalonnages à partir des solutions filles.

Solution	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5
C mg/L	0	0.25	0.5	0.75	1
V fille	0	0.125	0.250	0.375	0.5
Ve	5	4.875	4.750	4.625	4.5
SAZ	1	1	1	1	1
NLN	1	1	1	1	1
Acétone	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
H ₂ O D	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

C mg/L : concentration par milligramme par litre. SF : solution fille. Ve : volume d'eau distillée. SAZ : Solution d'alizarine. NLN : nitrate de lanthane. H₂O D : L'eau distillée.

Remarque :

Les mêmes étapes avec les solutions d'eau à doser.

Le lecteur des solutions dans le spectrophotomètre après 5 à 10 min à 618 nm, le tube 0 était le blanc.

Les résultats de l'absorbances :

La courbe et un droit de forme : $y = ax + b$.

$$A = 0.16411C + 0.2895$$

$$C = \frac{A - 0.2895}{0.16411}$$

Tableau 2 : Concentration de fluor en fonction de l'absorbance.

Solution	BA	BL	SS	AE	AE	AL
Absorbance	0.3790	0.3142	0.4295	0.2495	0.3407	0.3057
Concentration de F- (mg/L)	0.97	0.58	1.28	0.19	0.74	0.53

BA : Bldete Aamor ; **BL** : Bent Lmkoucher ; **SS** : Sidi Slimane ; **AE** : Ain El-Baida ; **HA** : Hachana ; **AL** : Aaydet Lfasse.

Annexe 3 : Appareillages



Figure 1 : pH-mètre OHAUS (STARTER5000).



Figure 2 : Conductimètre OHAUS (STARTER300C).



Figure 3 : Turbidimètre de la marque HACH (TL2360).

Résumé

Le lait de dromadaire constitue une ressource alimentaire inestimable pour les habitants des régions arides et semi arides de notre pays. Ce produit est consommé à l'état frais ou bien sous forme fermentée. Le lait est également considéré comme l'un des produits les plus importants riches en nutriment essentiels. Il comprend d'un système protecteur naturel qui lui permet de se conserver relativement mieux par rapport aux laits des autres espèces laitières.

Afin de contribuer à une meilleure connaissance de la qualité sanitaire du lait camelin, nous avons dosé le plomb dans le lait ainsi que le sol, l'eau et les plantes de huit fermes se trouvant au niveau de la route reliant Ouargla a Oued Souf.

Pour évaluer la qualité de lait chamelle dans huit sites d'élevages camelin entre la région Ouargla –Oued Souf. On a étudié plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau de pâturage et le taux de pollution de sol et plante par le Pb qui peut influencer la qualité du lait.

Les analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau sont des résultats acceptables, alors que la valeur moyenne du plomb dans l'eau est de 13 μ g/L, la valeur est supérieure à la norme algérienne pour l'eau potable.

Nos résultats révèlent une diminution des teneurs en plomb dans le lait, avec une teneur moyenne en plomb de 12,11 μ g/L, ce qui est conforme aux normes de l'OMS, et une augmentation de ses teneurs dans le sol et les plantes par rapport aux normes fixées par l'OMS, ce qui peut affecter la santé du consommateur .

Enfin, la présente étude confirme l'intérêt de mettre en place de normes règlementaire des métaux dans le lait afin d'obtenir un lait de bonne qualité.

Mots clé : lait camelin, l'eau de pâturage, paramètre physico-chimique, Pb, pollution de lait.

ملخص

يعتبر حليب الإبل موردا غذائيا لا يقدر بثمن للسكان في المناطق القاحلة وشبه القاحلة في بلدنا. ويستهلك هذا المنتج طازجا أو في شكل مخمر. كما يعتبر الحليب من أهم المنتجات الغنية بالمغذيات الأساسية. وهو يشمل نظاما طبيعيا للحماية يسمح بحفظه بشكل أفضل نسبيا مقارنة بالأنواع الأخرى من الالبان. لذلك، وللمساهمة في فهم أفضل للنوعية الصحية لحليب الإبل، قمنا بقياس الرصاص في الحليب وكذلك التربة والمياه والنباتات في ثماني مزارع على مستوى الطريق الرابط بين ورقلة و وادي سوف.

لتقييم جودة حليب الإبل في ثمانية مواقع لتكاثر الإبل بين منطقة ورقلة -وادي سوف، تمت دراسة العديد من العوامل الفيزيوكيميائية لمياه الرعي، ومعدل تلوث التربة والنبات بالرصاص، والتي يمكن أن تؤثر على جودة الحليب.

تظهر التحليلات الفيزيوكيميائية التي أجريت على المياه نتائج مقبولة، بينما متوسط قيمة الرصاص في الماء هو 13 ميكروغرام/لتر، القيمة أعلى من المعيار الجزائري لمياه الشرب.

تكشف نتائجنا عن انخفاض في مستويات الرصاص في الحليب حيث قدر متوسط قيمة الرصاص ب 12.11 ميكروغرام/لتر وهذا يتوافق مع معايير منظمة الصحة العالمية، وزيادة مستوياته في التربة والنبات مقارنة بالمعايير التي حددتها منظمة الصحة العالمية والتي بإمكانها أن تؤثر على صحة المستهلك.

أخيراً، تؤكد هذه الدراسة قيمة وضع معايير تنظيمية للمعادن في الحليب من أجل الحصول على حليب جيد النوعية.

الكلمات الأساسية: حليب الناقة، مياه الرعي، العوامل الفيزيوكيميائية، الرصاص، تلوث الحليب.

Abstract

Camel milk is an invaluable food resource for the population in the arid and semi-arid regions of our country. This product is consumed fresh or in fermented form. Milk is also one of the most important products rich in essential nutrients. It includes a natural system of protection that allows it to be preserved relatively better compared to other types.

Therefore, to contribute a better understanding of the good quality of camel's milk, we measured the lead in the milk, soil, water and plants in eight farms at the road level linking Ouargla and Oud-Souf.

To assess the quality of camel's milk in eight camel breeding sites between Ouargla – Oud Souf, several physical and chemical factors of grazing water, and the rate of soil and plant contamination with lead, which can affect the quality of milk, were studied.

The physical and chemical analyzes carried out on the water are acceptable results, while the average value of lead in water is 13 $\mu\text{g/L}$, the value is higher than the Algerian standard for drinking water.

Our results reveal a decrease in lead levels in milk with an average lead value of 12.11 $\mu\text{g/L}$, which is consistent with the standards of the WHO, and an increase in its levels in soil and plants compared to the standards set by the WHO, which can affect the health of the consumer.

Finally, this study confirms the value of establishing regulatory standards for minerals in milk in order to obtain good quality milk.

Key words: camel milk, pasture water, physico-chemical parameter, lead, milk pollution.