

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE VETERINAIRE – ALGER
المدرسة الوطنية العليا للبيطرة - الجزائر

Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme de

Magistère en Sciences Vétérinaires

Option : Elevage, pathologie et industrie des animaux de basse-cour

Contribution à l'évaluation de la contamination de l'aliment pour poulet de chair, par le plomb et le cadmium, dans des élevages de la wilaya d'Alger

Présenté par :

Dr. AMARA MADI Fatma Zohra

Le jury :

Mr. KHELLEF D	Maître de Conférences A	ENSV, Alger	Président
Mr. BENOUDAH A	Maître de Conférences A	Université de BBA	Promoteur
Mr. HAMDI T.M	Maître de Conférences A	ENSV, Alger	Examineur
Mr. MOHAMMEDI D	Maître Assistant A	ENSV, Alger	Examineur
Mme. GOUAS Y	Maître Assistante A	ENSV, Alger	Examineur

Année universitaire : 2010/2011

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents

À mes sœurs Imen et Meryem

À mes frères Tahar et Rafik

À toute ma famille

Remerciements

Contrairement à ce que je croyais, cette partie n'est pas la plus simple à rédiger, puisqu'il ne faut pas oublier personne..je vais donc tenter de remercier toutes celles et tous ceux, et ils sont nombreux, sans qui ce travail, n'aurait pu être mené à son terme, si par mégarde, il m'arrivait d'oublier quelqu'un, et qu'il ou elle se reconnaisse je m'excuse par avance.

En premier lieu, je désire adresser des remerciements sincères et respects à mon prometteur, Monsieur A. BENOUA DAH, pour sa confiance, ses conseils avisés et de si grandes valeurs, qui m'ont permis de mener de bien cette recherche. Je lui suis infiniment reconnaissante de tout ce qu'il a fait.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude a tous les membres du jury «jury prestigieux » qui ont accepté de juger ce travail, je suis très touchée par l'honneur qu'ont fait ;

-Dr D.KHELLEF, en étant président de mon jury .Hommage respectueux.

- Dr. Y.GOUAS, en acceptant d'examiner ce modeste travail. Je la remerciée également pour ces conseils pertinents et son soutien moral.

- Dr. M.HAMDI, je ne saurai vous remercier assez pour votre aide, vos encouragements et votre générosité. Je vous remercie également d'avoir accepté d'examiner cet ouvrage .Hommage respectueux.

- Dr. D. MOHAMMEDI. Je le remercie très sincèrement, et apprécie l'attention et le temps qu'il a consacré à l'évaluation de ce travail.

Ce travail n'aurait pas vue le jour sans le concours de bien d'autres personnes et je tiens à souligner l'ensemble des moyens considérables et la confiance qui m'ont été accordées. Pour cela je suis reconnaissante au

-Directeur du Laboratoire Central de l'Intendance (LCI) Mr L.DJEBAIRIA, pour m'avoir accueilli dans sa structure, pour ces conseils. Hommage respectueux.

-Directeur de la poste graduation de l'Ecole Militaire Polytechnique (l'EMP) Mr A.YOUSNADJ, pour m'avoir accueilli au sein de sa structure.et aussi pour son encouragement a la recherche scientifique. Hommage respectueux.

J'adresse mes remerciement particuliers, à Mr LAAMOURI (Professeur a l'EMP),Mr KHIMECH ,Mr BLEKHIRI ,Mm TAZIBT, pour m'avoir permis d'effectuer toutes les analyses et m'avoir toujours bien accueilli .Hommages respectueux.

J'exprime toute ma reconnaissance à Mr YOUNESS, pour son aide a la réalisation de ce travail .Sincère remerciement.

Je tiens à remercier chaleureusement Mm YAMNA. Ce fut une expérience très enrichissante pour moi de travailler avec toi aussi bien sur le plan professionnel qu'humain. Merci .

Remerciements

A toute la dynamique et sympathique des chimistes du LCI, Mr MEHEMED, je le remercie pour ces précieuses conseils et aides, a Mr BELKABIR SI MOUHAMED (mon chef), merci pour toute l'aide qu'il a pu m'apporter, sans oublier MILOUD AKBAL, aussi pour vos différents caractères et qualités qui ont contribué à la bonne ambiance générale du laboratoire. Hommages respectueux.

Toute ma sympathie et mes sincères remerciements vont, a Mr ZIDOUR, GHALI, et FOUZIA (merci pour l'oxydabilité) HAMIDA, HAKIMA, SAMIRA, SOUAD, ASSIA AMALOU, ASSIA BOUTABOUCH, pour leurs aides et conseils.

Je tiens à remercier ZINEB ; pour son aide et magnifique conseil. merci

J'adresse également mes remerciements au Dr AZIZE, Dr AMIINE, pour leurs collaborations notamment dans la collecte des prélèvements au niveau des élevages. Hommages respectueux

J'exprime toute ma reconnaissance au Dr BOUHAMED RADIA pour son aide précieuse et pour son soutien moral. Merci beaucoup.

Mes pensées les plus amicales vont aux permanents de la bibliothèque de l'ENSV, BENABAEDAIM MERIEM, DERAMI HAMID, TCHIKOU FETHI, BELHOUL DJAMILA. Ainsi qu'à BOUDJELAL LOUIZA ingénieur de laboratoire d'HIDAOA et SAADI AHMED ingénieur de laboratoire de parasitologie Sincères remerciements.

J'adresse mes remerciements à mes amis de l'ENSV, Dr BELEBESS RAFIK, Dr MESSAI CHAFIK, Dr HANEBA, Dr RACHID, Dr ABDELI MOUNI, Dr LAKHEL FAIZZA, Dr SALHI OMAR.

Je tiens à remercier vivement Madame ZENIA SAFIA, pour m'avoir aidé dans le traitement statistique des données. Hommages respectueux.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants de l'ENSV notamment, Dr GOUCEM, Dr BOUABDALAH, Dr BENMOUHEND, Dr ZAIDI, Dr ZAOUANI.

Egalement, un grand remerciement à la DGSN, pour m'avoir donné cette opportunité de continuer mes études, sans oublier mes collègues de travail Dr KESKES FELLA, Dr BENMKKI SOUHILA, Dr ARKOUB, notre chef de service BENATIA LAMINE, HAKIB HICHAM, FERTES, AHMED, HAKIM, Hommages respectueux.

Enfin, Je ne saurais oublier de remercier vivement toute l'équipe vétérinaire du LCI (Dr soraya, Dr hassane, Dr toufik, Dr Moussa).

Résumé

La contamination par les métaux lourds est considérée comme un problème sérieux compte tenu de leur toxicité et de leur pouvoir cumulatif dans la chaîne trophique. Dans notre étude, l'évaluation de la pollution par les métaux lourds dans l'alimentation de volaille a été réalisée à partir de 25 élevages de poulet de chair situés dans 14 zones de la willaya d'Alger. Un total de 50 échantillons d'aliments composés et d'eau de boisson, ont subi une analyse chimique. Le plomb et le cadmium ont été analysés en utilisant la spectrométrie d'absorption atomique. Les résultats indiquent que la majorité des teneurs du cadmium et du plomb détectés dans les échantillons, sont relativement faibles et inférieures aux limites imposées par la réglementation Européenne. L'analyse physico-chimique révèle que toutes les eaux sont dures, avec un pH qui tend vers l'alcalinité.

Mots clés : pollution, plomb, cadmium, aliment composé, l'eau de boisson, élevages poulet de chair, Alger

Abstract

Contamination by heavy metals is considered a serious problem because of their toxicity and their accumulation in the food chain. In our study, assessment of pollution by heavy metals in feed from poultry was investigated from 25 farming broiler in 14 cities of Algiers. A total of 50 samples of compound feed and drinking water for broiler, have undergone chemical analysis. Lead and cadmium were analyzed using atomic absorption spectrometry. The results indicate that the most levels of lead and cadmium were detected in the samples, are relatively low and below compared to current European regulations. The physico-chemical analysis revealed that the all water is hard, with an alkaline pH.

Key words : pollution, lead, cadmium, compound feed, drinking water, farming broiler, Algiers.

المخلص

يعتبر التلوث بالمعادن الثقيلة مشكلة خطيرة بسبب سميتها وقد رتتها على التراكم في السلسلة الغذائية. في دراستنا، تم تقدير التلوث بالمعادن الثقيلة في غذاء الدواجن الآتي من 25 مزرعة لتربية الدواجن متواجدة في 14 منطقة في الجزائر العاصمة. وقد خضعت مجموعة 50 عينة من غذاء ومياه الشرب الخاصة بالدجاج للتحليل الكيميائي. وقد تم تحليل الرصاص والكاديوم باستخدام الامتصاص الذري النووي. وتشير النتائج إلى أن الغالبية العظمى لكميات الرصاص والكاديوم المتواجدة في العينات منخفضة نسبياً وأقل بالنسبة إلى المعايير التي تفرضها الأنظمة الأوروبية. نتائج التحاليل الفيزيائي الكيميائي جميع المياه صعبة، مع درجة الحموضة التي تميل نحو قاعدي.

الكلمات المفتاحية: التلوث، الرصاص، الكاديوم، غذاء، مياه الشرب، مزرعة الدواجن، الجزائر.

Liste des abréviations

%: pourcentage.

Afsset: Agence Française de Sécurité Sanitaire et de l'environnement et du travail.

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Cd: Cadmium.

EDTA: Acide Ethylène Diamine Tétracétique de disodium.

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

INRS: Institut National de Recherche et de Sécurité.

Kg : Kilogramme.

l : litre.

lg : logarithme.

LMR: limite Maximale Recommandé.

Mg : Magnésium.

mg : milligramme.

ml : millilitre.

Ni : Nickel.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

Pb : Plomb.

pH : potentiel d'Hydrogène.

ppb : partie par billion.

ppm : partie par million.

SAAF : Spectrométrie d'Absorption Atomique avec Flamme.

TAC: Titre Alcalimétrique Complet.

TH: Dureté Totale.

V: Volume.

Zn : Zinc .

µg : microgramme.

µs/cm: microsiemens par centimètre.

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité.....	5
Tableau 2 : Principale caractéristique physique du plomb.	6
Tableau 3 : Principale caractéristique physique du cadmium.....	14
Tableau 4 : Niveaux de qualité proposés exprimés en mg/l	26
Tableau 5 : Seuils réglementaires du Cd et Pb en France pour les éléments en traces dans les aliments pour animaux.	27
Tableau 6 : Température de flamme pour différents mélanges combustible/comburant	34
Tableau 7 : Information sur l'échantillonnage des aliments et des eaux de boisson au niveau des élevages de poulet de chair visités.....	40
Tableau 8 : Résultats des critères physico-chimiques globales de l'eau d'abreuvement des élevages visités dans la localité d'Alger	57
Tableau 9 : Paramètres physico-chimiques globales de l'eau recueillie dans les élevages enquêtés par rapport aux normes recommandées	58
Tableau 10 : Le taux des échantillons d'eau peu satisfaisants	60
Tableau 11 : Détermination des valeurs limites (Pb).....	61
Tableau 12 : Détermination des valeurs limites (Cd).	62
Tableau 13 : Résultats récapitulatifs des niveaux de contamination en Pb et en Cd des différentes matrices de chaque élevage par site	63
Tableau 14 : Résultats des teneurs en Cd et en Pb dans l'eau de boisson pour poulet de chair.....	64
Tableau 15 : Résultats des teneurs en Pb et en Cd dans l'aliment de volaille (poulet de chair).	66
Tableau 16 : Limite maximale recommandée (mg/kg) dans l'aliment complet de volaille.....	74

Liste des figures

Figure 1 : Table périodique des éléments.	4
Figure 2 : Aspect du plomb.....	6
Figure 3 :Les voies d'absorptions et distributions d'un métal dans l'organisme humain.....	7
Figure 4 : Mécanisme d'action du plomb.	9
Figure 5 : Aspect du cadmium	12
Figure 6 : Déformation osseuse (Maladie Itai-Itai)	14
Figure 7 : Cycle d'acquisition des teneurs en ETM dans les sols	19
Figure 8 : Source de pollution des chaires alimentaires.....	22
Figure 9 :Montage d'un appareil SAA avec bruleur.....	31
Figure 10 : Lampe cathode creuse.	32
Figure 11 :Nébuliseur bruleur	33
Figure 12 : Validation d'une méthode d'analyse.	35
Figure 13 : Localisation géographique des sites des prélèvements.	39
Figure 14 : Spectrométrie d'Absorption Atomique(UNICAM 929).	42
Figure 15 : Spectrométrie d'Absorption Atomique (thermo scientific ICE3000).	42
Figure 16 : Montage à reflux(Electromantle).	42
Figure 17 : Diagramme général des étapes de l'expérimentation.	46
Figure 18 : Prise d'essai de l'eau.	50
Figure 19 : Etapes de préparation de la prise d'essai de l'aliment.....	52
Figure 20 : Répartition des pH mesurés sur les echantillons d'eau prélevés dans les batiments enquétés.	59
Figure 21 : Répartition des duretés mesurées sur les echantillons d'eau prélevés dans les batiments enquétés	59
Figure 22 : Répartition des teneurs en plomb et en cadmium dans l'eau de boisson selon les sites d'élevage.	65
Figure 23 : Répartition des teneurs en Pb et en Cd dans l'aliment composé (poulet de chair).	67
Figure 24 : Les teneurs globales en cadmium et en plomb des différentes matrices.	67

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
--------------------	---

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I GENERALITE SUR LES METAUX LOURDS

I.1.Définitions	4
I.2. Le plomb	6
I.2.1. Histoire	6
I.2.2. Propriétés physico-chimiques du plomb.....	6
I.2.3. Toxicocinétique	7
a.Voies de pénétration	7
b.Métabolisme et distribution	8
c.Elimination.....	8
I.2.4 Mécanisme d'action	9
I.2.5. Toxicité.....	9
a.Toxicité aiguë	10
b. Toxicité chronique	10
I.2.6. Effet sur la reproduction.....	11
I.2.7. Valeur toxique de référence	11
I.3. Le cadmium	11
I.3.1. Histoire.....	11
I.3.2. Propriétés physico-chimiques du cadmium.....	12
I.3.3. Toxicocinétique	12
I.3.4. Mecanisme d'action	13
I.3.5. Toxicité.....	13
a. Toxicité aiguë	14
b. Valeur toxique de référence.....	14
I.3.6. Effet sur la reproduction et le développement.....	15
I.3.7. Valeur toxique de référence.....	15

CHAPITRE II MODALITE D'EXPOSITION AUX METAUX LOURDS

II.1. Origine et production des métaux lourds	17
II.2. Usage des métaux lourds	17
II.2.1. Cadmium	18

II.2.2. Plomb.....	18
II.3. Distribution et impact sur l'environnement.....	18
II.3.1 Contamination des sols.....	19
II.3.2. Contamination de l'air.....	20
III.3 Contamination de l'eau.....	20
II.4. Contamination de la chaine alimentaire.....	21
II.4.1 Bioaccumulation.....	22
II.4.1.1.Les facteurs de variation de la bioaccumulation	22
a.Propriétés chimiques du contaminant.....	23
b.Facteurs biologiques de l'organisme	23
c.Caractéristiques physico-chimiques du milieu.....	23
II.4.1.2.Bioaccumulation en milieu terrestre	23
a. Végétaux.....	24
b. Animaux	24
II.4.2. La qualité de l'alimentation pour animaux	25
II.4.2.1.Part de l'eau d'abreuvement	25
II.4.2.2.Part de l'aliment pour animaux.....	26

CHAPITRE III DETERMINATION DU PLOMB ET DU CADMIUM

III.1.Méthode d'analyse.....	28
III.1.1. Traitement d'échantillon.....	28
III.1.1.1.Minéralisation par voie sèche	28
III.1.1.2.Minéralisationpar voie humide.....	28
III.1.2.Méthode de mesure	28
III.1.2.1.Méthode par Spectrométrie Absorption Atomique (SAA)	29
III.1.2.2.1. Domaine d'application.....	29
III.1.2.2.2. Principe	30
III.1.2.2.2. Appareillage en absorption atomique	30
III.1.3. Critère de validation d'une méthode d'analyse.....	34

PARTIE EXPÉRIMENTALE

I. Objectifs.....	37
II.Zone d'étude.....	38
II.1. Critères et description des batiments d'elevages.....	38
II.2.Choix des sites d'echantillonnage des matrices à analyser.....	38

III. Matériel	39
III.1. Echantillonnage	39
III.2. Appareillage.....	42
III.3. Matériels pour la minéralisation	43
III.4. Autres matériels	43
III.5. Réactifs	43
IV. Méthodes.....	44
IV.1. Technique de prélèvement	44
IV.1.1. L'eau d'abreuvement de volaille	44
IV.1.2. L'aliment de poulet de chair	45
IV.2. Analyse des échantillons	45
IV.2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau	46
IV.2.2. Dosage du cadmium et du plomb dans l'eau et l'aliment.....	48
IV.2.2.1. Préparation du matériel	49
IV.2.2.2. Protocole d'analyse de l'eau	49
IV.2.2.3. Protocole d'analyse de l'aliment	50
IV.2.2.4. Préparation des solutions étalons	53
IV.2.2.5. Paramètres d'analyse avec SAAF	54
IV.2.2.6. Calcul et expression des résultats	54
IV.3. Méthode statistique	54
RESULTATS	
I. Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau.....	57
II. Teneur en plomb et cadmium des eaux d'abreuvements et de l'aliment, selon les sites d'élevage	61
II.1. Détermination de la limite de détection et le seuil de détection.....	61
II.2. Résultats du dosage du plomb et du Cd aux niveaux des élevages de volaille.....	62
II.2.1. Dosage du Pb et du Cd dans l'eau d'abreuvement.....	64
II.2.2. Dosage du Pb et du Cd dans l'aliment (poulet de chair).....	65
II.2.3. Les teneurs globales en cadmium et en plomb	67
DISCUSSION GENERALE.....	69
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	77
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

La pollution de notre environnement est devenue une préoccupation majeure à l'échelle mondiale. Pendant de longues années et dans bien des pays, une industrialisation et une urbanisation rapide mais mal contrôlées ont eu pour conséquence des rejets de déchets industriels et ordures ménagères dans l'environnement. Les guerres chimiques ont laissé de nombreux sites pollués. A l'heure actuelle, les combustions industrielles ou domestiques (incinération des ordures ménagères ou de déchets industriels, etc.), la décomposition des engrais chimiques, des insecticides représentent autant de source de contamination.

Des substances aux propriétés méconnues ont ainsi été rejetées, par fois en très grande quantité, dans l'eau, l'air ou les sols. Certaines d'entre elles comme les métaux lourds ont malheureusement révélé leur potentiel toxique à l'occasion des épisodes historiques de pollution.

De nombreuses études, réalisées dans le cadre des travaux d'étudiant ou d'enquêtes attestent de la pollution dans la région d'Alger. On parle surtout des zones de décharge pleine de substances toxiques tel le plomb et cadmium rejetés dans la mer ou à proximité des oueds provoquant une forte pollution (WHO, 2001).

Dans les zones d'élevage et culture maraichère polluée par ces éléments toxiques, la sécurité des produits alimentaires n'est pas assurée. De nombreuses études épidémiologiques, combinées à des études toxicologiques expérimentales, on montré les effets néfastes de la pollution sur la santé humaine et animal (Mills et al., 2009 ; Zanobetti et al., 2005 ; Fakayode et al., 2003).

Néanmoins, l'élevage de volailles a de nombreux impacts sur l'environnement, liés, par exemple, à la production agricole des matières premières composant les aliments ou à la gestion des effluents d'élevage. En effet, le fumier de volaille a été largement appliqué comme source d'engrais en agriculture constitue une source de contamination.

Toute fois, l'alimentation de volaille favorise aussi l'accumulation des éléments traces métalliques (plomb et cadmium) qui sont toxiques même à très faibles doses, et cela lors d'addition des additifs alimentaires, des oligoéléments et des médicaments vétérinaires qui sont utilisés comme facteurs favorisant la croissance pondérale ou osseuse et la défense immunitaire du poulet de chair (Cang et al., 2004).

Des excès de zinc (Zn), fer (Fe) ou magnésium (Mg) n'ont pas d'effet positif sur la croissance du poulet de chair. Une concentration élevée de cuivre (Cu), zinc (Zn) dans l'aliment tend à améliorer légèrement la croissance, mais est à l'origine d'une accumulation néfaste pour l'environnement dans les zones de production intensive. De plus, le plomb et surtout cadmium sont introduits involontairement dans les aliments par le biais des phosphates présent dans les ingrédients (Nys, 2001).

En Algérie, l'apport protéique est surtout apporté par la consommation de poulet de chair ainsi que ces abats compte tenu de leur faible cout (MADR, 2011 (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural).

La surveillance des niveaux de contamination des métaux lourds, tels le cadmium et le plomb dans l'alimentation est nécessaire en raison de leur fonction essentiel ainsi que leur toxicité pour la volaille. D'autre part, ces deniers par leur effet délétère peuvent s'accumuler particulièrement dans le foie, le rien et la chair, ayant pour effet de renforcer la toxicité des denrées consommées (Demirbas ,1999). Ces risques sont exacerbés par l'inadéquation ou l'absence d'infrastructure sanitaire, de réglementations et enfin par l'application des normes d'implantation des élevages avicoles et industries de fabrication ou préparation des aliments pour animaux.

L'importance des risques sanitaires et l'absence des donnés statistiques de contamination chimique dans les produits d'origine animale destinés à la consommation humaine résident dans les aliments pour animaux. Ceci montre bien l'intérêt, de contrôler la qualité de l'alimentation de volaille qui pourraient être prises comme indicateurs de pollutions environnementales.

L'objectif général de notre travail sera d'évaluer la contamination de l'alimentation de volaille par les métaux lourds le plomb et le cadmium et d'autre part caractériser certain paramètres physicochimiques de l'eau d'abreuvement qui sont des vecteurs de pollution dans les élevages de poulet de chair de la willaya d'Alger.

Le présent manuscrit est scindé en deux parties, dont la première porte sur une étude bibliographique qui englobe les chapitres qui concernent une synthèse des connaissances scientifiques de base des métaux retenu dans cette étude, les modalité d'exposition et enfin la détermination du plomb et cadmium par spectrométrie par absorption atomique. La deuxième

partie du mémoire, consacrée à l'étude expérimentale, tenant compte de la méthodologie élaborée, traitera des méthodes et matériels utilisés pour la détermination du plomb et cadmium dans l'alimentation de poulet de chair, ensuite les résultats et les discussions. Enfin, une conclusion et une présentation des diverses perspectives concluront ce travail.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I :
GENERALITE SUR LES METAUX
LOURDS

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de **pollution** et de **toxicité** sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn) et le zinc (Zn) (Tableau°1).

Tableau 1 : Classification de quelques métaux lourds selon leur densité et leur toxicité (Bliefert et Perraud, 2001).

Métaux	Plante	Animaux	Densité g/cm ³
Cd	T	T	8.65
Cr		E	7.20
Cu	ET	ET	8.92
Ni	T	E	8.90
Pb	T	T	11.34
Zn	ET	E	7.14
Mn	ET	E	7.20

T=Toxique ; E=Essentiel

Parmi ces métaux toxiques quelques uns présentent une forte attirance pour un élément minéral qui, par ailleurs, n'est pas un métal (car par exemple ne conduisant pas le courant électrique) : c'est le cas du soufre (S) qui sous forme élémentaire (S8), de sulfure de dihydrogène (H-S-H) les sulfures ou de sulfures composés organiques à fonction thiol : R -S-R (cystéine, glutathion, protéines à fonction thiol. ..) vont former de «lourds »complexes d'où le nom de métaux lourds donnés à l'origine par les biologistes à trois métaux dont le mercure, le plomb et le cadmium qui, à l'état de cations précipitent les protéines soufrées(Picot, 2003).

Le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) présentent en commun ces trois propriétés: une grande affinité pour le soufre sous forme réduite (c'est à dire non oxydée), la bioaccumulation dans l'environnement (dans les plantes, les animaux et l'homme) et une forte toxicité pour les organismes vivants (Picot, 2003).

Tant au niveau de leur impact sur l'environnement que dans l'étude de tous leurs effets toxiques sur les êtres vivants, il devient absolument nécessaire maintenant de prendre en compte

l'étude des différentes espèces chimiques intervenant dans les processus indésirables dont sont responsables le plomb et le cadmium.

I.2. Le plomb

I.2.1. Histoire

Le plomb est un métal lourd largement utilisé dans les activités métallurgiques dès l'antiquité et redécouvert au moment de la révolution industrielle. Les intoxications massives aiguës et chroniques par le plomb ont été bien documentées en milieu professionnel. Mais le plomb est également un polluant environnemental, surtout dans les sols et l'atmosphère au voisinage de sites industriels (Peltier et al., 1994).

I.2.2. Propriétés physico-chimiques du plomb

Elément chimique de la famille des cristallogènes. Le plomb est un métal argenté bleuâtre très mou et malléable, il a une faible conductivité électrique. Ce métal est à peu près insoluble dans l'eau, mais soluble dans les acides. Lorsqu'il est fondu, il peut former de nombreux alliages avec d'autres métaux.

Le plomb natif est rare, et dû à son caractère chalcophile il est associé au grissement de sulfures ; on l'extrait de sa source minérale principale la galène (PbS) qui en contient 86.6% en poids, mais aussi des minerais associés aux Zn (la sphalérite) (Hurlbut et Klein, 1982).

Le plomb prend une forme inorganique lorsqu'il s'associe à certains composés pour former des sels de plomb. Quant au plomb organique, il se présente le plus souvent sous forme de plomb tétra méthyle $Pb(CH_3)_4$ et de plomb tétra éthyle $(Pb(CH_2CH_3)_4)$ (Salvarredy Aranguren, 2008).

Tableau 2 : Principales caractéristiques physiques du plomb (Miquel,2001)

symbole chimique	Masse atomique	Masse volumique	Température de fusion	Température d'ébullition
Pb	270	11.35g/cm ³	370°C	1740°C



Figure 2 : Aspect du plomb (Anonyme, 2011)

I.2.3. Toxicocinétique

a) Voies de pénétration

Il existe deux voies majeures (figure 3°) d'entrée du plomb: le tractus digestif et le système respiratoire. Le plomb organique peut être également absorbé par la peau (Viala, 2007).

Les voies respiratoires absorbent très rapidement les vapeurs et les fines poussières. Il a été montré que chez l'homme, jusqu'à 37% du plomb inhalé était absorbé, tandis que le reste du toxique persiste de façon permanente dans les poumons (Viala, 2007).

L'absorption gastro-intestinale est cependant la voie la plus commune. Dans ce cas, seule une partie du plomb ingéré est effectivement absorbé (1 à 2 % au maximum), le reste est excrété dans les fèces (Viala, 2007).

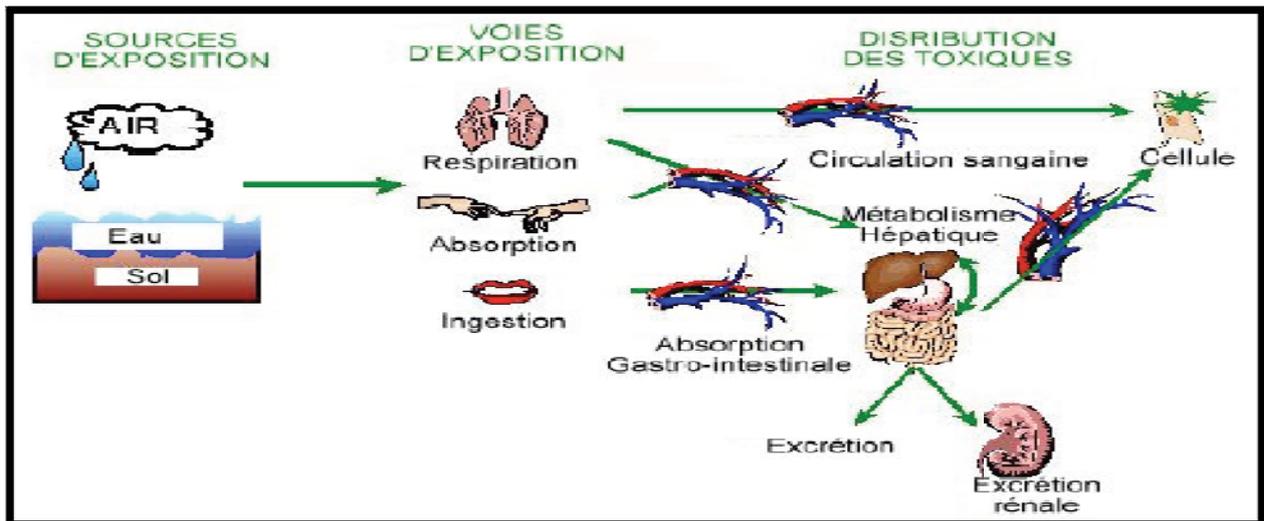


Figure 3 : Les vois d'absorptions et distributions d'un métal dans l'organisme humain (Afsset ,2006).

L'efficacité de l'absorption est influencée par l'état physico-chimique du toxique, les niveaux corporels d'autres éléments ainsi que par les caractéristiques de l'individu et son régime alimentaire (Pokras et Kneeland; 2008).

D'après Pokras et Kneeland (2008), quelque soit l'espèce l'homme, le condor ou le poisson, l'organisme gère le plomb de manière très similaire au calcium.

D'une manière générale, les jeunes animaux absorbent le plomb beaucoup plus efficacement que les adultes (NCR, 2005). Par exemple chez un homme l'ingestion infantile (50%) et plus élevée que celui de l'adulte (10%) (INSRM , 1999).

En effet il est souvent décrit que l'absorption du plomb est favorisée par une alimentation riche en matières grasses ou lors de certaines carence, notamment en fer ou en calcium.

b) Métabolisme et distribution

Quelle que soit la voie d'introduction, une fois dans l'organisme; le plomb n'est pas distribué de manière homogène, le modèle de Rabiowitz (1976), propose une répartition du plomb en trois compartiments.

Le plomb se trouve donc dans le sang, où il est intégralement réparti entre le plasma et les hématies, ces dernières sont les plus riches en métal (90% environ). C'est la raison pour la quelle, sur le plan analytique, le plomb doit être dosé à partir du sang total et non pas du sérum. Sa demi-vie dans le sang est de l'ordre de 25 à 35 jours (Viala, 2007).

Le plomb est ensuite distribué vers les autres compartiments corporels. Tout d'abord il va se fixer dans les tissus mou (notamment le foie, les reins, la moelle épinière, les surrénales et le système nerveux). Sa demi-vie dans les organes est alors de 40 à 60 jours (Viala, 2007).

Enfin le compartiment osseux, qui s'équilibre beaucoup plus lentement, peut stocker jusqu'à 99% de la charge corporelle totale. Sa demi-vie varient de 3 à 20 ans, son stockage dans l'os augmente avec l'âge (Viala, 2007).

c) Elimination

Il existe une grande variabilité dans les voies d'excrétion et leur importance relative. La partie absorbée est d'abord excrétée par les urines (76%), puis par les sécrétions gastro-intestinales, les poils et la sueur. La filtration glomérulaire semble prépondérante dans le

mécanisme chez les mammifères, le plomb peut également être excrété par le lait, la sueur ou la salive (Danel ,1997).

I.2.4. Mécanisme d'action

Le plomb inhibe divers systèmes enzymatiques par fixation sur les groupes SH (mécanisme thioloprive) ou par déplacement d'autres métaux, d'où la diversité de ses effets. A dose d'exposition faible mais prolongée, ils portent essentiellement sur l'érythropoïèse (anémie) et l'hémoglobino-génèse (inhibition de la synthèse de l'hème), le système nerveux (déficits neuropsychiques) et la pression sanguine (hypertension) (Danel ,1997).

Au plan hématologique (figure 4), le plomb agit au niveau de trois systèmes enzymatiques de la biosynthèse de l'hème (ALA synthétase, ALA déhydrase et ferrochélatase), entraînant en particulier une accumulation d'ALA (acide delta-amino levulinique) dans le sang et l'urine et une augmentation des protoporphyrines érythrocytaires (Danel ,1997)

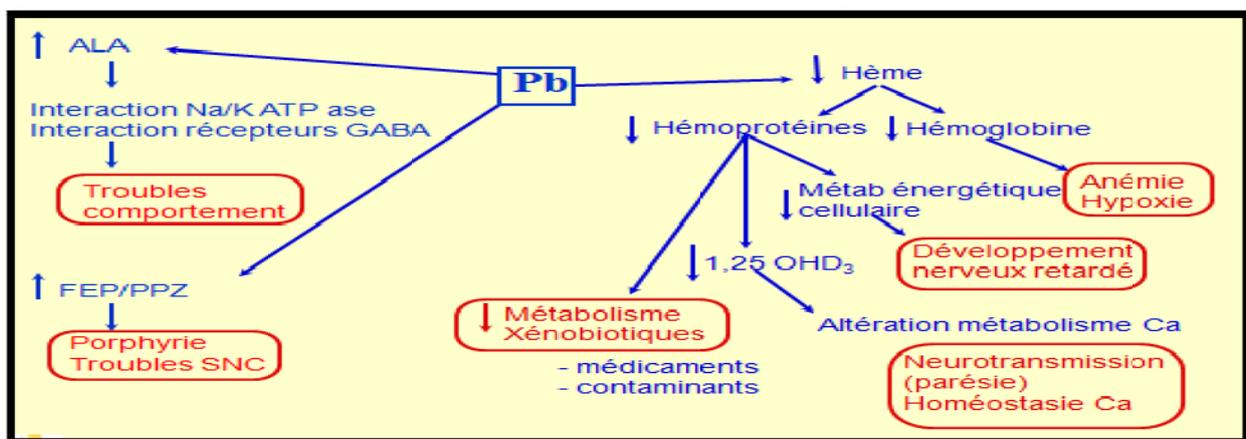


Figure 4 : Mécanismes d'action du plomb (Berny, 2005)

I.2.5. Toxicité

a) Toxicité aigue

- Chez l'homme

Une intoxication aigue se traduit par des troubles digestifs (vomissement, douleur abdominale, diarrhée) rénaux (oligurie), une anémie hémolytique, une encéphalopathie,

des signes d'hypertension intracrânienne et éventuellement un coma convulsif (INSRM ,1999).

- Chez les animaux

La toxicité ne peut être observée expérimentalement sur des animaux de laboratoire que pour des doses supérieures à 2000 mg/l, et se traduit alors par une mort précédée de faiblesse, trouble de sommeil et de constipation.

- Chez les oiseaux

D'après Degernes (2006), une concentration de plomb dans le sang inférieure à 0.5 ppm, n'est généralement pas associée à des signes cliniques (le pronostic est bon et même sans traitement), ceux-ci apparaissent à partir de 1 ppm (bon pronostic si traité) au-delà de 2 ppm le pronostic est réservé à sombre.

Plus généralement une valeur seuil revient chez plusieurs auteurs : une plombémie supérieure à 0.2 ppm est suggestive d'un empoisonnement au plomb, surtout si des signes cliniques sont présents. Certains oiseaux présentent des signes cliniques avec une plombémie de 0.15 ppm alors que d'autres espèces (poulet) sont cliniquement normales allant jusqu'à 8ppm (Altmann et al., 1997).

b) Toxicité chronique :

Expérimentalement le plomb induit chez les animaux de laboratoire :

- Une anémie hypochrome microcytaire,
- Une néphropathie interstitielle chimique évoluant vers l'atrophie et de la fibrose, secondaire à des lésions tubulaires et à l'apparition d'inclusions d'intranucléaires correspondant à des complexes plomb-protéine,
- Des tumeurs rénales, prostatiques, testiculaires et surrénaliennes liées aux propriétés mutagènes et cancérogènes (Chanel et al 1999).

Chez l'homme, le plomb induit :

- Une anémie microcytaire et hypochrome,

- Des troubles digestives (colique, vomissement),
- Des troubles nerveux (coma convulsif, altération des fonctions cognitives),
- Des troubles rénaux avec une néphropathie tubulaire interstitielle (Chanel et al 1999).

I.2.6. Effet sur la reproduction

Chez l'homme, de nombreux comptes rendu médicaux du début du siècle rapportent une baisse de fertilité chez les travailleurs des deux sexes de l'industrie du plomb (Peltier et al., 1994).

Des études récentes ont montré que le plomb est susceptible de diminuer la quantité de spermatozoïdes et augmente la malformation morphologique (Télisman et al 2000).

D'autre part, les travaux de Mehrotra et collaborateur (2008) chez les oiseaux; indiquent que les concentrations du plomb chez la caille est relativement faible dans l'ovaire ou dans les testicules. Par contre il a été démontré chez les mammifères que les concentrations en plomb obtenues dans l'épididyme étaient nettement supérieures à celles dans le testicule (INERIS, 2003).

Après des contaminations en laboratoire, Burger (1995) a constaté que le plomb réduise la spermatogénèse chez les oiseaux, mais les résultats a ce sujet chez les oiseaux sont trop peu nombreux.

Le plomb causerait également un allongement de l'intervalle entre les périodes de ponte et une réduction de l'épaisseur de la coquille des œufs, une diminution du nombre et poids des embryons a aussi été observé (Vodela et al., 1996).

I.2.7. Valeur toxique de référence

La valeur fixée par l'OMS est de 10ug/l (OMS, 2000b), plusieurs études ont démontré que le Pb, même à des concentrations très faibles, ont des effets très néfastes sur la santé.

I.3. Le cadmium

I.3.1. Histoire :

Le cadmium a été découvert par Friedrich Stromeyer en 1817. L'étymologie du nom vient du grec Kadmeia, ville de Grèce ou l'on extrayait un minéral que l'on appelait cadmie.

I.3.2. Propriétés physico-chimiques du cadmium :

Le cadmium est un métal blanc argenté, mou et malléable (résistance à l'aplatissement) et très ductile (résistance à l'étirement). Il a des propriétés physiques proches de celle du zinc. Malgré une tension de vapeur faible, il émet des vapeurs bien en dessous de son point d'ébullition (INERIS, 1997).

Il est insoluble dans l'eau et dans les solvants usuels. Lorsqu'il est chauffé à des températures élevées, il émet des vapeurs jaunes rougeâtres d'oxyde de cadmium. Il réagit avec les acides et les bases. Le cadmium est soluble dans l'acide nitrique dilué et dans les acides chlorhydrique et sulfurique concentrés et chauds.

A température ordinaire et à sec, le cadmium n'est pas attaqué par l'oxygène, mais s'oxyde lentement avec l'humidité. Il est facilement attaqué par les acides, même les plus faibles tels que les acides organiques présents dans les denrées alimentaires.

Tableau 3 : Principales caractéristiques physiques du cadmium (Miquel ,2001)

symbole chimique	Masse atomique	Masse volumique	Température de fusion	Température d'ébullition
Cd	112	8,6 g/cm ³	320°C	765°C



Figure 5: Aspect du Cadmium (Anonyme ,2011).

I.3.3. Toxicocinétique

Le cadmium est absorbé par les voies respiratoire et digestive. Le taux d'absorption varie de 3 à 6% chez les personnes testées tandis qu'il est de l'ordre de 0,5 à 3% chez les animaux. Le cadmium ingéré est cependant plus faible que celui déposé dans les voies respiratoires (ATSDR 1999). Le taux d'absorption dépend du type d'exposition, du composé et de la taille des particules. Divers facteurs peuvent influencer l'absorption intestinales du cadmium dont le jeune âge ou une déficience en fer qui augmente le taux d'absorption gastro-intestinale du cadmium.

La composition de l'alimentation a également un rôle : une alimentation pauvre en Fe, Ca, Zn, tend à augmenter le taux d'absorption. la composition en protéines et lipides influencent peu l'absorption; par contre des régimes riches en fibres naturelles et éléments traces diminuent l'absorption (Viala, 2007).

Une fois absorbé le cadmium est largement distribué dans le corps mais il tend à s'accumuler dans le foie et les reins, quelque soient la voie et la forme d'administration. Dans le sang, le cadmium est en majeure partie fixé à l'hémoglobine. Dans le plasma il est lié à l'albumine et d'autres protéines de haut poids moléculaire. Capté par le foie il se dissocie, le cadmium s'accumule et induit la synthèse de métallothionéine (Satarus et al. , 2004) .

Chez les oiseaux et les mammifères le processus d'excrétion du cadmium est très lent, ce dernier s'accumule donc dans les organes cibles (foie et rein) (Wren et al. 1995, cité par Richard –Mazet, 2008).

Seule une petite part du cadmium est excrétée parce qu'il n'existe de pas de mécanisme biochimique d'élimination mais aussi parce qu'il est réabsorbé dans les tubules.

Sa demi-vie dans le corps peut dépasser les 10 ans et même atteindre 40 ans. Les faibles quantités excrétées (0,001%) le sont essentiellement au niveau urinaire et fécal (Satarus et al ., 2004).

I.3.4. Mécanisme d'action

Le cadmium a une activité toxique lorsqu'il n'est pas lié aux métallothionéines. Comme on l'a dit précédemment sa distribution dans le corps est large mais ses cibles principales sont les reins et le foie. Il est suspecté de perturber la composition lipidique de ces organes. L'altération des métabolismes d'autres métaux tels que le zinc, le fer, le cuivre ou encore du sélénium et du calcium semble à l'origine de ses principaux effets toxiques. Le cadmium interfère notamment avec les complexes protéines-zinc qui contrôlent la transcription de l'ADN, entraînant ainsi la mort cellulaire (Perrin, 2007).

I.3.5. Toxicité

Le cadmium et ses sels sont à la fois des irritants et des toxiques systémiques, l'action systémique se manifeste surtout sur la fonction rénale et les tissus pulmonaire et osseux.

a) Toxicité aiguë

L'action irritante sur la muqueuse nasale, l'arbre respiratoire et le tube digestif est responsable des accidents aigus (Fouchécourt, 2001).

L'inhalation de cadmium à des concentrations supérieures à 5 mg/m³ provoque une destruction des cellules épithéliales pulmonaires entraînant œdème pulmonaire, trachéo-bronchite et pneumonie, autant chez l'animal que chez l'humain. L'ingestion d'une forte dose de cadmium provoque principalement une desquamation de l'épithélium au niveau du tube digestif, ainsi qu'une nécrose des muqueuses gastriques et intestinales. Chez la souris et le rat, la DL50 par voie orale varie de 100 à 300 mg/kg p.c. (ATSDR, 1999). Chez l'humain, la dose létale de cadmium par ingestion pour un adulte est estimée entre 350 et 3 500mg (Fouchécourt , 2001).

b) Toxicité chronique

La toxicité du cadmium la plus marquée relevée tant chez les modèles animaux que chez l'homme est celle concernant la fonction rénale.

b1) Toxicité rénale

L'atteinte rénale se manifeste par des lésions caractéristiques des tubules proximaux ce qui provoque une diminution de la réabsorption tubulaire et une protéinurie (ATSDR, 1999). Les modèles animaux montrent qu'une concentration approximative de 200 µg/g dans le cortex rénal doit être atteinte pour provoquer une protéinurie (INERIS, 2005).

b2) Toxicité musculo-squelettique

Les évidences provenant d'études humaines ou animales suggèrent que l'exposition chronique au cadmium provoque une altération du métabolisme de la vitamine D. Plusieurs cas d'ostéomalacie accompagnée d'ostéoporose et de fractures spontanées (maladie de Itai-Itai) ont été observés chez des personnes vivant au Japon qui ont été exposées de façon chronique au cadmium via la contamination de l'alimentation et de l'eau potable (ATSDR, 1999).



Figure 6: Déformation osseuse (maladie de *itai-itai*) (Anonyme , 2011).

b3) Toxicité hépatique

Chez l'animal, l'exposition au cadmium peut provoquer des dommages hépatiques (nécrose, changements métaboliques), mais généralement ces dommages ne sont observés qu'à des niveaux d'exposition très élevés (ATSDR, 1999).

Chez l'humain, on observe une accumulation de cadmium dans le foie suite à une exposition par inhalation ou par ingestion, mais il y a peu d'évidence d'atteintes hépatiques chez les individus exposés (ATSDR, 1999).

b4) Toxicité cardiovasculaire et hématopoïétique

Chez l'humain ou chez l'animal, l'exposition au cadmium par ingestion ou par inhalation peut entraîner de l'anémie. Chez l'animal, il a été démontré que l'ingestion de cadmium réduit l'absorption gastro-intestinale du fer. Le transport du cadmium des poumons vers le système digestif par le système muco-ciliaire est le mécanisme proposé pour expliquer l'anémie suite à l'exposition par inhalation. Les personnes qui ont une alimentation déficiente en fer sont généralement les plus susceptibles de développer de l'anémie (ATSDR, 1999).

L'exposition chronique au cadmium est aussi associée à des désordres cardiovasculaires variés tels que l'hypertension ou la cardiomyopathie. L'action de ce métal sur le système vasculaire joue d'ailleurs un rôle important dans les effets physiopathologiques observés sur les autres organes cibles (Perrin, 2007).

I.3.6. Effet sur la reproduction et le développement

On a pendant longtemps considéré que le cadmium n'avait pas de retentissement sur la reproduction et le développement. Les connaissances sur ce sujet sont en train de s'affiner.

L'expérimentation animal de Choe et Johnson en 2003; suggère la possibilité d'une activité oestrogénique, mais les études in vitro de Silva (2006) n'ont pu confirmer cette hypothèse.

D'autre part certaines études dévoilent qu'une exposition aiguë à des doses très élevées provoque une atrophie et une nécrose testiculaire et une diminution de la fertilité (ATSDR, 1999).

I.3.7. Valeur toxique de référence

Pour une population générale, la FAO/OMS a recommandé une dose orale hebdomadaire tolérable de 400-500 µg de cadmium, ce qui correspond à une teneur moyenne de 0,04 à 0,05 mg/kg dans les aliments consommés. La limite maximale de cadmium fixée par l'OMS pour

l'eau potable est de 10 µg/litre mais récemment, un groupe de travail a recommandé que cette limite soit réduite de moitié.

CHAPITRE II :
MODALITE D'EXPOSITIONS AUX
METAUX LOURDS

II – Modalité d'expositions aux métaux lourds

II.1. Origine et production des métaux lourds

Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'intermédiaire de sources naturelles et humaines. Cette contamination a plusieurs origines telles que la combustion de fossiles, les gaz d'échappement des véhicules, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture et les déchets liquides et solides. Mais elle peut également être d'origine naturelle via les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion, l'infiltration, etc. D'autre part, le cadmium, le plomb sont introduits dans l'environnement, de façon quasi exclusive par l'homme (Di Benedetto ,1997).

Certains secteurs recouvrent en fait un vaste éventail d'activités. Mais c'est le **secteur de l'industrie manufacturière** qui est responsable de la majeure partie des émissions de métaux lourds.

Pour le cadmium, les principaux sous-secteurs sont :

- la métallurgie des métaux ferreux (65%);
- la métallurgie des métaux non-ferreux (16%);
- et enfin les minéraux non métalliques et matériaux de construction (15%).

Pour le plomb, il s'agit de :

- la métallurgie des métaux ferreux (48%);
- les minerais non métalliques et matériaux de construction (36%);
- la métallurgie des métaux non-ferreux (11%).

Force est de constater que les émissions industrielles de plomb et de cadmium sont issues des même secteurs d'activités, quoique dans des proportions différentes (Miquel, 2001).

II.2. Usage des métaux lourds

Malgré leur nature polluante et toxique, les métaux lourds n'ont pas toujours été considérés comme des déchets encombrants mais ont eu par le passé de multiples applications. Même si désormais leur usage a été réglementairement très limité, ils restent parfois encore présents dans certains objets de notre quotidien.

II.2.1. Cadmium

Le cadmium a été utilisé dans la production de nombreux équipements industriels et biens de consommation, mais son utilisation a été restreinte par la réglementation depuis 1994 en raison du danger que ce métal représente (INRS, 1997).

On recense trois principaux usages pour le cadmium :

- le cadmiage, qui est une technique consistant à recouvrir certains métaux (acier, fonte, cuivre, aluminium) par une fine couche de cadmium pour les protéger de la corrosion;
- certains accumulateurs qui fonctionnent avec des couples Cd/Zn ou Cd/Ag;
- les stabilisateurs de pigments qui peuvent être constitués par certains composés cadmiques tels que les oxyde, sulfate, sulfure et chlorure de cadmium (INRS, 1997).

II.2.2. Plomb

Le plomb peut être utilisé sous sa forme métallique ou sous forme de composés tels que le dioxyde de plomb, l'acétate de plomb, ou le carbonate de plomb.

Certains domaines de technologie moderne représentent une part grandissante des usages du plomb: technologie nucléaire utilisée à des fins médicales et militaires ; supraconducteurs permettant le développement des calculateurs hyper-rapides, d'équipements de diagnostic médical plus sensible. Au contraire, d'autres usages très répandus, il y a quelques années ont été complètement interdits car ils représentaient des sources d'exposition trop importantes pour les humains: stabilisateur de carburants, soudure dans les boîtes de conserves, canalisations d'eau potable ou peintures domestiques (ATSDR, 2005).

II.3. Distribution et impact sur l'environnement

Une fois émis dans l'environnement, les métaux lourds se dispersent dans les milieux aquatique, atmosphérique ou terrestre via des phénomènes d'émission, de déposition, de lixiviation... Cette contamination peut être une source d'exposition directe pour les humains et les animaux (via l'air respiré, l'eau consommée, ou les poussières ingérées) mais est aussi à

l'origine de la contamination des chaînes trophiques et donc des denrées alimentaires que l'on consomme (Di Benedetto, 1997).

II.3.1. Contamination des sols

Les métaux peuvent être soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes et ils n'ont aucune signification sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe pour l'environnement du fait de l'augmentation de leur disponibilité pour les plantes.

En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles (Di Benedetto, 1997).

Sur la figure suivante, le D. Baize a rapporté l'ensemble des facteurs qui participent au cycle de l'acquisition des teneurs en ETM présents dans les sols. (Doelsch ,2004).

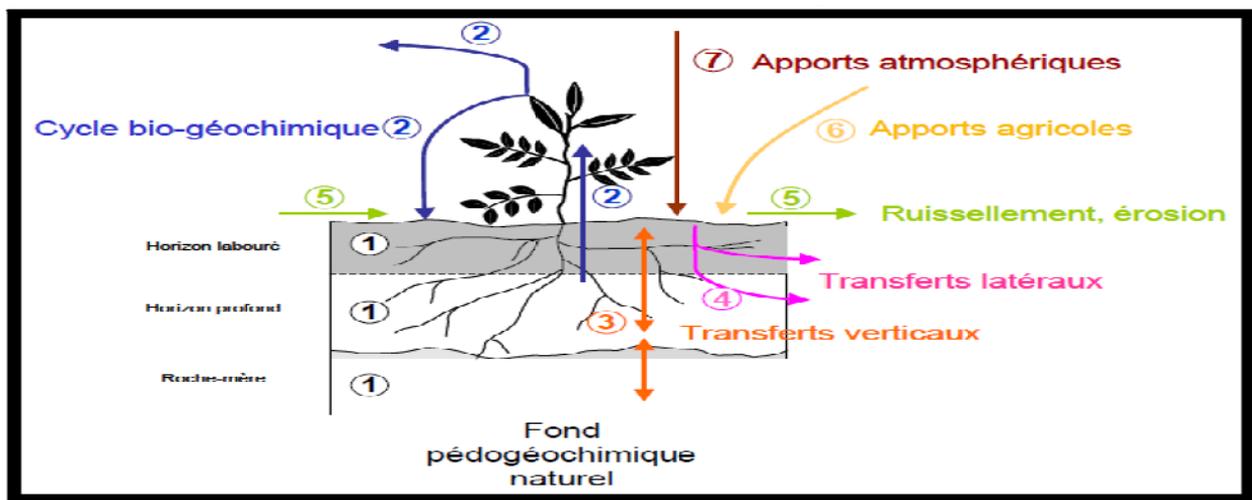


Figure 7 : Cycle d'acquisition des teneurs en ETM dans les sols (Baize, 1997).

Les résultats de Uzu en 2009; ont montré, qu'il existe une relation entre la taille des particules, et le transfert sol-plante. La diminution de la taille des particules issues du process industriel, favoriserait donc le passage du plomb entre la phase solide et la solution du sol.

Les travaux de Kao et al ; 2007 au Maroc, montrent que les concentrations en plomb sont les plus importantes (178 ppm), dépassant la concentration maximale admise pour un sol normal (100 ppm) dans les terrains agricoles irriguées par les eaux usées.

La litière de volaille utilisée comme engrais dans les terres agricoles; a cause de sa haute teneur en éléments nutritifs, contient également des métaux lourds comme le Pb et Cd (Gupta, 2005).

II.3.2. Contamination de l'air

Les principales sources de métaux dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des véhicules, des incinérateurs municipaux, etc (Di Benedetto, 1997).

D'après Drux, 2003, l'incinération des déchets est une des sources majeures d'émission de cadmium dans l'atmosphère : 23% des émissions globales en France.

Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de la taille des particules, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules.

Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines (Mori et al ., 2003).

II.3.3. Contamination de l'eau

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'environnement, car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, complexations, etc.), et car cette évolution dépend fortement du milieu.

En effet, la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres:

- la forme chimique initiale du métal,

- la perméabilité du sol et du sous-sol,
- la porosité du sol,
- le pH: dans un milieu acide, les métaux risquent de se solubiliser, alors que dans un milieu alcalin, ils peuvent former des hydroxydes métalliques,
- l'activité biologique: certains micro-organismes ont la capacité d'ingérer des métaux, alors que d'autres les solubilisent par acidogénèse.
- la composition minéralogique du sol: il peut y avoir formation de composés,
- la teneur en matières organiques du sol: (complexations des métaux par les substances humiques).

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes: les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciennes décharges, l'utilisation de substances dangereuses pour l'eau, la navigation, etc (Di Benedetto, 1997).

II.4. Contamination de la chaîne alimentaire

Les pollutions de chacun des compartiments de l'environnement décrites précédemment peuvent être des sources de contamination des chaînes alimentaires, comme l'illustre le schéma de la figure ci-dessous.

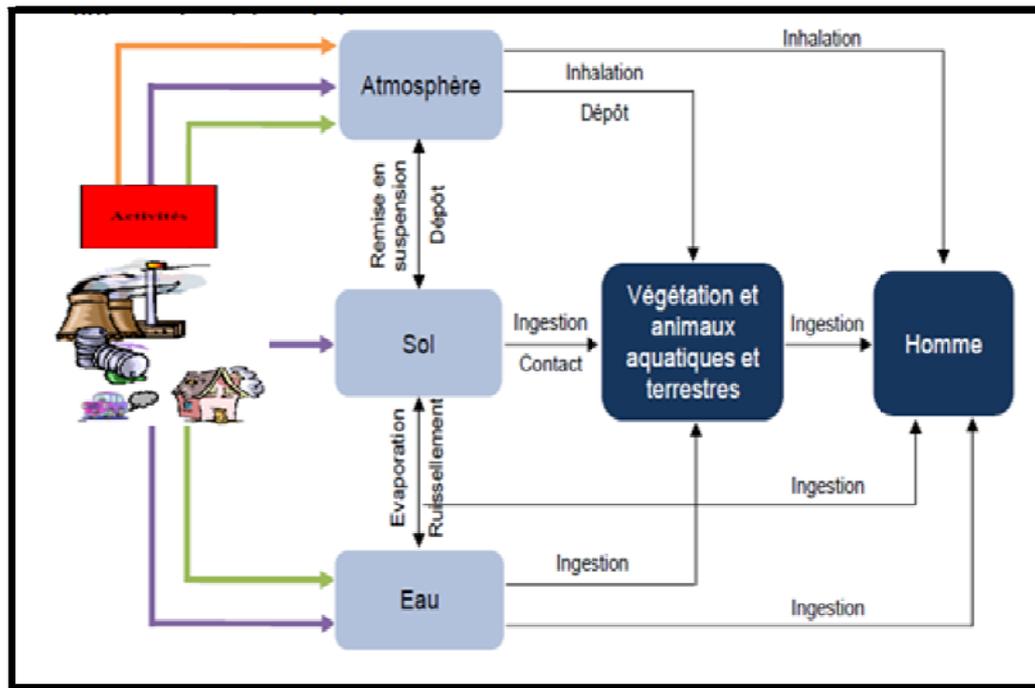


Figure 8 : Sources de pollution des chaînes alimentaires (Berny, 2006)

II.4.1. Bioaccumulation

Comme les métaux lourds ne peuvent être dégradés et que leur élimination est le plus souvent limitée, les organismes biologiques exposés les accumulent après absorption dans leur tissus; ce processus appelé *bioaccumulation*, permet d'expliquer pour les animaux et par conséquent les produits qui en sont issus, la présence de niveaux de contamination plus élevés que ceux mesurés dans leur milieu.

Les écotoxicologues distinguent plusieurs phénomènes

D'après Neff ; 2002, la *bioaccumulation* résulte de la balance nette des processus de capture, de stockage et d'excrétion d'une substance dans un organisme, due à une exposition dans l'eau, la nourriture, le sédiment et l'air.

La *bioconcentration* est un cas particulier de bioaccumulation. Elle correspond à l'accroissement direct de la concentration du contaminant dans l'organisme à partir du milieu environnant.

II. 4.1.1 Les facteurs de variation de la bioaccumulation :

Les niveaux de concentrations métalliques dans les organismes ne sont pas le seul résultat de leur biodisponibilité dans l'environnement. Trois groupes de facteurs concernant le milieu, le contaminant et l'organisme accumulateur sont susceptibles de faire varier l'intensité de la bioaccumulation (Casas, 2005).

a. Propriétés chimiques du contaminant :

La **nature** et la **forme** des métaux lourds (ionique/élémentaire, complexes, dissous particulaire) influencent leur diffusion à travers la barrière biologique que forme le plasmalemme, et donc conditionnent leur capacité de bioaccumulation. Les formes ioniques sont celles à la biodisponibilité la plus élevée. Elles diffusent à travers la membrane biologique par des canaux protéiques non spécifiques (Casas, 2005).

b. Facteurs biologiques de l'organisme :

La **composition biochimique** (teneur en lipides) et la **condition physiologique** de l'organisme sont importantes dans la détermination de la distribution tissulaire du contaminant et sa rétention dans l'organisme.

Les **processus de nutrition** affectent les entrées et sorties des contaminants (taux d'ingestion, d'excrétion) et donc leur quantité dans les organismes biologiques.

La concentration en polluant dépend de cette quantité mais aussi de la **masse des organismes** accumulateurs. Si celle-ci varie on peut avoir un effet de dilution ou de concentration (Casas, 2005). Ainsi Cossa, en 1980 a constaté que les petites moules présentent des concentrations en contaminants métalliques plus élevées que les grosses.

Des **variations saisonnières**, issues de la combinaison de facteurs biologiques et abiotiques ont été mises en évidence par Kaimoussi en 2004, ils ont montré que les teneurs des métaux traces (Cd, Pb, Cu, Zn) augmentent généralement de l'hiver à l'été.

c. Caractéristiques physico-chimiques du milieu

Les facteurs abiotiques inhérents au milieu sont particulièrement importants car ils influencent à la fois la forme physico-chimique des métaux, et donc leur biodisponibilité, mais aussi le métabolisme des espèces, dont dépendent les cinétiques d'accumulation.

II.4.1.2. Bioaccumulation en milieu terrestre

L'étude de la bioaccumulation chez les organismes terrestres a elle aussi de nombreuses applications : mesurer l'impact de la pollution sur les écosystèmes terrestres, estimer le niveau de

contamination des milieux à partir de bio-indicateurs (lombricidés, rongeurs), évaluer le risque lié à la consommation de certaines denrées alimentaires. Les exemples développés ici ont été choisis pour leur pertinence envers ce dernier aspect.

a. Végétaux

La contamination des végétaux présente de l'intérêt en santé publique vétérinaire d'une part parce qu'ils entrent dans la ration alimentaire de la population humaine mais aussi parce qu'ils peuvent être source de contamination des animaux de production.

Les végétaux sont susceptibles d'absorber les métaux lourds par voie racinaire (diffusion à partir d'un sol contaminé) ou foliaire (déposition à partir de l'atmosphère).

Même s'il existe à ce sujet des avis divergents, il est communément admis que la voie aérienne est négligeable par rapport à la voie racinaire pour le plomb et le cadmium (INERIS, 2003 ; INERIS, 2005).

La pollution atmosphérique jouera donc un plus grand rôle pour l'entrée du mercure dans la chaîne alimentaire via les plantes que la contamination des sols, alors que c'est cette dernière qui sera prépondérante pour le plomb et le cadmium.

b. Animaux

Les animaux peuvent représenter une source de contamination en métaux lourds pour les hommes directement par leurs tissus (abats, muscles) ou par leurs produits (lait, œufs) (Irfana et al., 2004).

La translocation du cadmium dans les plantes peut être suffisante pour faire de celles-ci des sources de contamination importantes pour les animaux qui les ingèrent. Au contraire la bioconcentration végétale du plomb est faible, et ces éléments traces restent en plus grande quantité dans les sols que dans les plantes.

Cependant la terre représente une fraction normale du régime alimentaire de tous les animaux pâturant. Thornton et Abrahams (1983) l'ont évaluée et ont conclu qu'elle représentait de 1 à 18% de la quantité totale de matière sèche ingérée pour les bovins et jusqu'à 30% pour les ovins. Ainsi les sols contaminés peuvent être une source d'exposition directe pour le bétail pâturant.

Si la consommation d'eau très contaminée peut elle aussi, être une source d'exposition directe importante, la pollution atmosphérique intervient principalement de façon indirecte dans l'exposition des animaux, en contaminant les sols et les eaux.

Aussi, les différences de quantité et de composition de la nourriture liées au système de production sont fonction des besoins en énergie des animaux. Ils sont souvent supplémentés avec des concentrés pouvant contenir certaines protéines ou composés minéraux contaminés par des quantités importantes de métal. Un haut degré de consommation en réponse à un besoin élevé en énergie augmente les probabilités d'exposition aux métaux et d'accumulation dans les tissus (Nicholson et al., 1999). D'autre part, les additifs destinés à l'alimentation de ces animaux peuvent être accidentellement contaminés par les métaux lourds (Kao, 2007).

II.4.2. La qualité de l'alimentation animale

L'alimentation a fait l'objet de plusieurs études de puis longtemps dans le but d'éclaircir son influence sur la santé animal

II.4.2.1. Part de l'eau d'abreuvement

L'eau d'abreuvement utilisée pour la volaille peut contenir d'importantes quantités de contaminants, notamment différents métaux. Ce risque chimique peut aussi correspondre à des pollutions accidentelles sur des rivières ou des étendues d'eau : lacs, réservoirs, mares.

Les risques de pollutions peuvent être directs dus à la proximité d'un élevage par rapport à des eaux de surface, des eaux souterraines surtout celles qui sont influencées par des eaux de surface ou des points de captages d'eaux souterraines par épandage de fientes de volailles sur le sol ou de fumiers.

Le principal risque est indirect pour l'homme par accumulation et ensuite contamination de l'homme qui consomme les volailles sans toutefois sous estimer le risque direct pour l'animal avec des répercussions sur le poids et la croissance des volailles (Montiel ,2003).

Attention, bien que l'eau à l'entrée de la ferme soit tout à fait conforme, il peut y avoir des contaminations lors de la distribution de l'eau à l'intérieur de l'élevage. La qualité de l'eau se dégrade dans les rampes d'abreuvement entre l'arrivée de l'eau et la pipette. Ces causes peuvent être attribuées soit à la corrosion des canalisations métalliques soit au relarguage de composés organiques par les canalisations, les revêtements en matières plastiques ou les peintures (Villate ,2001)

En général pour apprécier la qualité de l'eau pour les volailles de basse-cour, la directive relative aux eaux de surface utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, est tout à fait recommandable en absence de normes (Montiel ,2003).

Certains facteurs et contaminants sont à prendre en compte dans l'évaluation de la qualité de l'eau et gestion de leurs effets indésirables, comme la température, l'alcalinité, le pH et la dureté (paramètres définis dans la partie expérimentale) (Rodier et al.,2005).

Il faut remarquer cependant que bien qu'il soit peu probable qu'elle ait des effets manifestes sur la santé, la qualité de l'eau peut avoir un impact significatif sur les paramètres de production des volailles ayant été spécialement sélectionnées pour leur rendement (Olkowski et al., 2009).

Les valeurs qui sont proposées (tableau 4) ont été inspirées des recommandations pour la qualité des eaux au Canada publiée par le conseil des Ministres et des Ressources et de l'Environnement (Montiel ,2003).

Tableau 4 : Niveaux de qualité proposés exprimés en mg/l(Montiel ,2003).

Paramètre	bleue	Vert	Rouge
Pb	0,05	0,1	-
Cd	0,005	0,02	-

Bleue: eau pour l'abreuvement de tous les animaux, y compris les plus sensibles.

Vert : eau pour l'abreuvement des animaux mature, moins sensibles aux polluants.

Rouge : eau inapte à l'abreuvement des animaux.

II.4.2.2. Part de l'aliment pour animaux

L'arrêté du 5 août 2003, modifiant celui du 12 janvier 2001, fixe les teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans l'alimentation des animaux (tableau 5) (Mench et al , 2004).

Tableau 5 : Seuils réglementaires du Cd et Pb en France pour les éléments en traces dans les aliments pour animaux (Mench et al , 2004).

	Pb (ppb)	Cd (ppb)
Matières premières pour aliments des animaux	10	-
Matières premières pour aliments des animaux * d'origine végétale	30	1
Aliments complémentaires pour volaille	10	1
aliments minéraux	10	5

D'un autre côté, la surveillance de l'alimentation animal est importante « la surveillance de la qualité des additifs, des matières premières et des aliments pour animaux, vis-à-vis des principaux contaminants figurant dans la directive 2002/32/CE. Outre l'identification de dépassements de teneurs réglementairement définies, ils visent à mettre en évidence le bruit de fond de certains contaminants dans les additifs, les matières premières et les aliments pour animaux ».

Le plomb et le cadmium sont surtout recherchés dans les produits destinés à l'alimentation animale tels que le phosphate bi-calcique, l'oxyde de zinc, les additifs et la farine de poisson (Alexieva et al ., 2007).

Les détections de plomb dans les additifs (oxyde de zinc) ont conduit deux fois à une saisie des lots concernés puis à leur destruction en France. En effet en 2006, une analyse officielle réalisée sur un additif alimentaire (sulfate de zinc importé de Chine) a révélé des niveaux de contamination plus de trois cent fois supérieur à la norme. A la suite de cette constatation, les animaux qui étaient susceptibles d'avoir consommé cet additif ont été identifiés et leurs abats ont été saisi (Perrins, 2007).

CHAPITRE III :
DETERMINATION DU PLOMB ET
DU CADMIUM

III – Détermination du plomb et du cadmium

III.1.Méthode d'analyse

III.1.1. Traitement d'échantillon

Lors d'une analyse des métaux lourds, un traitement des échantillons est généralement nécessaire avant la mesure. Il consiste à détruire la matière organique soit par calcination soit par attaque à chaud à l'aide d'acides oxydants. Deux voies sont ainsi utilisées : la minéralisation par voie sèche et la minéralisation par voie humide.

III.1.1.1. Minéralisation par voie sèche

La minéralisation par voie sèche est essentiellement appliquée aux matériaux de nature organique, aux tissus biologiques ou aux échantillons végétaux. En bref, cette méthode consiste en une calcination suivie d'une reprise des cendres par un acide approprié. La calcination réalisée à une température convenablement choisie assure la décomposition de la matière organique.

Lors du choix de la température de calcination, il faut s'assurer d'une élimination complète de la matière organique, sans pour autant provoquer une volatilisation partielle ou totale des éléments à doser. Actuellement, les températures communément acceptées pour une minéralisation sont de l'ordre de 450°C à 550°C. Les éléments volatils tels que le plomb et le cadmium supportent ces températures sans pertes, à la condition que la montée en température soit très lente et que toute combustion brusque soit ainsi évitée (Bui, 2007).

III. 1.1.2. Minéralisation par voie humide

La minéralisation par voie humide, généralement rapide et efficace, utilise des mélanges d'acides ou des mélanges d'agents à la fois acides et oxydants. Les digestions acides (mise en solution à chaud) peuvent être réalisées ouvert (ballon, tube, etc.) ou fermé (bombes en téflon avec ou sans graine en acier) (Bui ,2007).

III.1.2. Méthode de mesure

Le choix d'une méthode analytique de dosage est avant tout conditionné par la nature de l'échantillon à analyser, par la concentration présumée de l'analyte, par les interférences potentielles dues à la matrice. Parmi toutes les techniques disponibles à ce jour pour l'analyse minérale des éléments en solution, les plus répandues sont la spectrométrie par absorption atomique (SAA), la spectrométrie d'émission atomique avec plasma induit (SEA/ICP) auxquelles nous pouvons ajouter les méthodes électrochimiques ainsi que la chromatographie ionique et l'électrophorèse capillaire (Vandegans et al 1997).

La Spectrométrie par Absorption Atomique (SAA) est de loin la méthode la plus couramment utilisée en Afrique pour le dosage des éléments traces métalliques (ETM) (Mehennaoui , 2004).

III.1.2.2. Méthode par Spectrométrie Absorption Atomique (SAA)

La spectrométrie par absorption atomique est une méthode aujourd'hui bien maîtrisée. Avec le même principe de base, on peut faire appel à deux techniques d'atomisation dans une flamme(SAAF) ou dans un four, par voie électrothermique (SAAE) qui aboutissent à des limites de détection très différentes, la SAAE étant, selon l'élément analysé, au moins 100 fois plus sensible que le SAAF.

Nous traiterons essentiellement ici, la FAAS (Flamme Atomic Absorption Spectrometry). La technique utilisée dans notre étude.

III.1.2.2.1 Domaine d'application

La spectrométrie par absorption atomique est une méthode d'analyse quantitative et relative, et qui permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques à l'état de traces (quelques mg/litre). La SAA reconquiert une large gamme d'applications : l'analyse des eaux, des tissus végétaux et animaux, des aliments et boissons, des sols, engrais et sédiments,etc.

Cette méthode présente de nombreux avantages : très sélective, grande spécificité, rapidité, faible quantité de substance nécessaire (1 ml de la solution peut suffire) et facilité de préparation des solutions étalons.

Cependant, on peut noter un certain nombre de limites : nécessité d'utiliser pour chaque élément à doser une source caractéristique, l'existence d'interférences chimiques sévères complique parfois la situation.

III.1.2.2.2. Principe

Une source de rayonnement émet des radiations dont la longueur d'onde correspond à la différence d'énergie entre l'état fondamental et un état excité des atomes de l'échantillon à analyser.

Le rayonnement passe ainsi au travers de l'atomiseur et est en partie absorbé. Le rayonnement émergent (non absorbé) passe alors par un monochromateur jusqu'à un photo détecteur et un système de réduction des données.

L'absorption est ensuite mesurée et celle-ci est une fonction linéaire de la concentration de l'analyte (Irrissou, 2003).

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la **loi de Beer Lambert**,

$$A = \log I_0/I$$

A: Absorbance.

I: Intensité après absorption par les atomes.

I_0 : Intensité initiale de la source lumineuse.

III.1.2.2.3. Appareillage en absorption atomique

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source. La lampe à cathode creuse, d'un bruleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition.

Un schéma plus détaillé des composants d'un spectromètre d'absorption atomique est présenté ci-dessous (Figure 9).

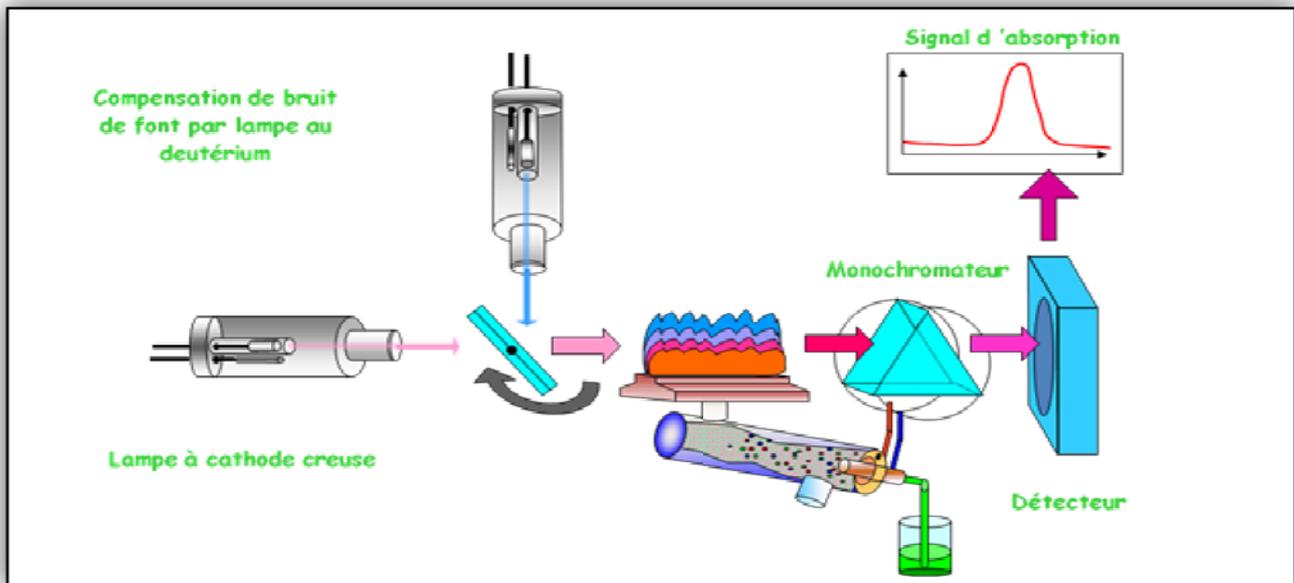


Figure 9 : Montage d'un appareil SAA avec brûleur.

- **La lampe à cathode creuse**

Un dispositif astucieux permet de faire émettre les raies par l'élément que l'on veut doser (figure °10).

Elles sont constituées :

- d'un cylindre creusé à l'une de ses extrémités et fait du métal dont on veut produire le spectre d'émission « la cathode » ;
- d'une anode étant un fil de tungstène ou de nickel;
- d'une enceinte scellée en verre avec une fenêtre la plus transparente possible aux longueurs d'ondes considérées (quartz, verre borosilicate); cette enceinte est remplie

par un gaz rare (argon (Ar) ou néon (Ne) à faible pression (quelques Pa) (Galez , 2011).

Une différence de potentiel entre les deux électrodes provoque l'ionisation du gaz rare dont les ions vont frapper la cathode.

Ceux –ci arrachent alors les atomes de la cathode qui restant confinés dans le cylindre sont alors excités par les ions Ne⁺ par échange d'énergie. En revenant à l'état fondamental, ils émettent leur raie spécifique (Rouessac , 2004).

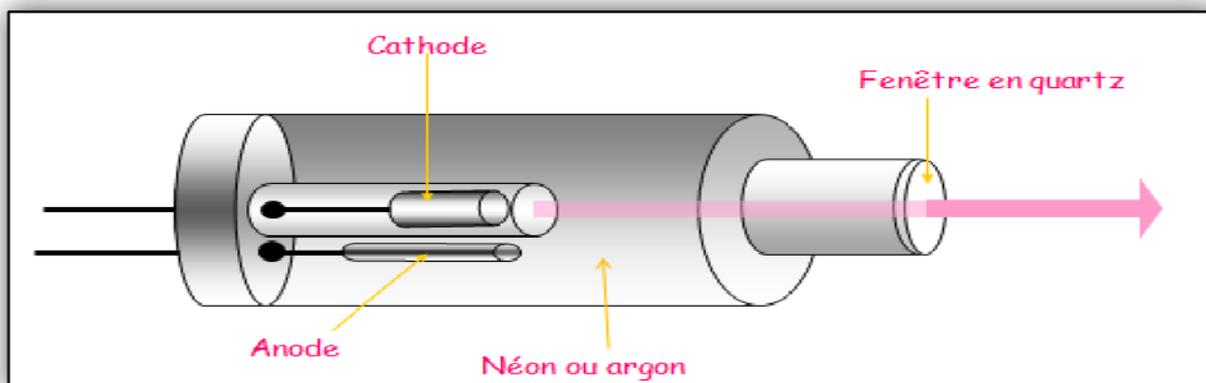


Figure 10 : Lampe à cathode creuse.

- **Le modulateur ou chopper**

Un choppé est intercalé entre la source lumineuse et l'atomiseur (Figure 9). Son but est d'éliminer les lumières parasites qui proviennent des atomes excités ou de la flamme sous forme de fond continu (Rouessac, 2004).

Le faisceau lumineux doit être modulé de manière à réaliser une amplification sélective du signal. Ceci peut être fait de manière mécanique à l'aide d'un chopper, disque ajouré animé d'un mouvement de rotation ou de manière électronique en modulant le courant alimentant la lampe (Galez, 2011).

- **Le nébuliseur**

L'échantillon à analyser est en solution. Celle-ci est aspirée au moyen d'un capillaire par le nébuliseur. À l'orifice du nébuliseur, du fait de l'éjection d'un gaz à grande vitesse, il se crée une dépression (effet Venturi). La solution d'analyse est alors aspirée dans le capillaire et à la sortie, elle est pulvérisée en un aérosol constitué de fines gouttelettes. Cet aérosol pénètre alors dans la chambre de nébulisation dont le rôle est de faire éclater les gouttelettes et d'éliminer les plus grosses. Ce brouillard homogène pénètre alors dans le brûleur (figure 11).

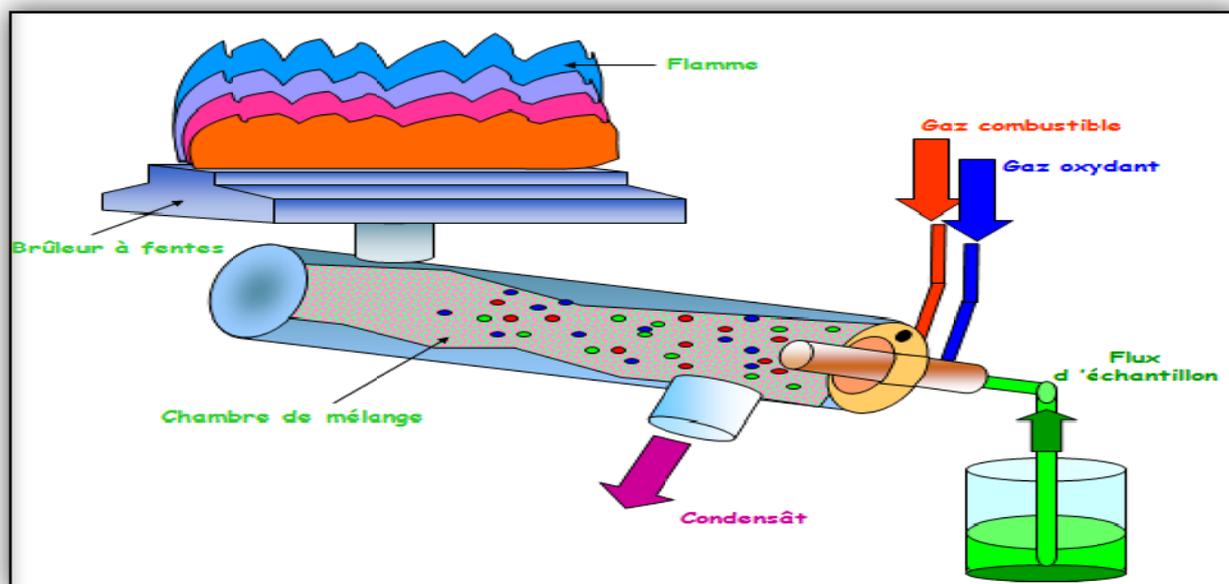


Figure 11 : Nébuliseur brûleur.

- **Dispositif d'atomisation – la flamme**

Dans la plupart des cas, le brûleur est utilisé, ce dernier constitue un ensemble robuste pour résister aux éventuelles explosions de gaz, son principe est donné en schéma (figure 11). Le brûleur est alimenté par un mélange gazeux combustible/comburant (par exemple acétylène/ NO_3 le mélange utilisé pour notre analyse) et produit une flamme dont la base est un rectangle d'environ 100 mm de longueur et 1 mm de largeur, aligné dans sa plus grande dimension avec l'axe optique de l'appareil (Rouessac, 2004). L'échantillon mis en solution aqueuse est aspiré et nébulisé (dispersé en très fines gouttelettes) dans ce mélange gazeux.

Les éléments à l'état atomique se retrouvent ainsi dans la flamme qui est «traversée» par le faisceau lumineux (Galez, 2011). Au bout d'un certain parcours au seuil de la flamme, le solvant de la gouttelette est éliminé, il reste les sels ou particules solides qui sont alors fondus, vaporisés puis atomisés.

Les caractéristiques de la flamme – réactivité chimique et température – sont des paramètres importants de l'analyse. La température est donnée par la nature des gaz utilisés, signalée dans le tableau ci- dessous (Galez , 2011).

Tableau 6 : Température de flamme pour différents mélanges combustible / comburant (Vandegans et al 1997).

MELANGE	TEMPERATURE MAXIMALE (K)
butane /air	2 200
propane / air	2 200
hydrogène / air	2 300
acétylène / air	2 600
acétylène / N₂O	3 000
acétylène / oxygène / azote	3 100
acétylène / oxygène	3 400
cyanogène C ₂ N ₂ / oxygène	4 600

- **Le monochromateur**

Placé entre l'atomiseur (flamme) et le détecteur (photomultiplicateur) (figure 9), sert à éliminer toutes les raies lumineuses dont les longueurs d'onde ne correspondent pas à celle de l'élément choisie (Rouessac ; 2004).

- **Le détecteur**

Le détecteur est situé à la sortie du monochromateur. Son rôle est de mesurer les intensités lumineuses nécessaires au calcul des absorbances. Pratiquement tous les appareils à l'heure actuelle sont équipés d'un **tube photomultiplicateur**. Ce système de détection convient parfaitement pour tous les spectromètres permettant l'analyse monoélémentaire (Vandegans et al 1997).

III.1.3.Critère de validation d'une méthode d'analyse

Au cours de la journée de formation Scientifique en Spectrométrie Atomique ; Vial (2006) définit la validation d'une méthode; la procédure qui démontre des preuves expérimentales à l'appui et les performances de la méthode qui permettent de répondre aux exigences de l'usage auquel elle est destinée .

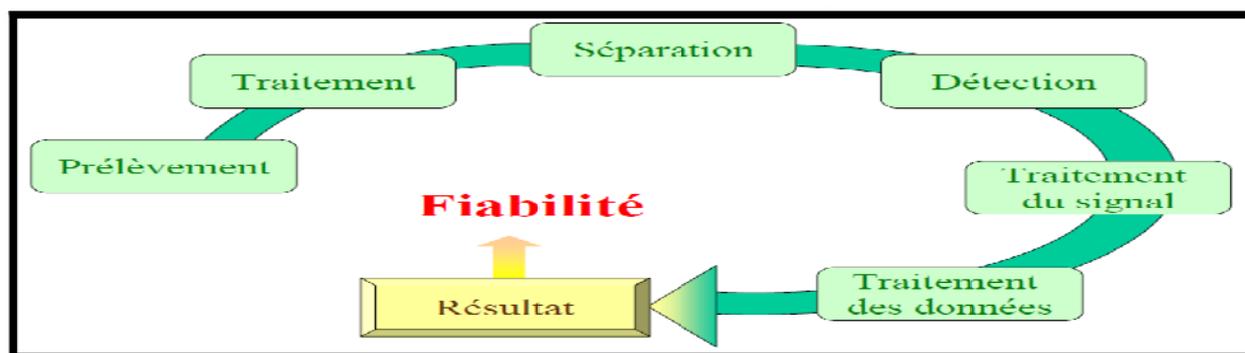


Figure 12: Validation d'une méthode d'analyse (Vial et al., 2002).

La validation d'une méthode d'analyse entraîne la détermination de plusieurs paramètres, en générale, elle porte sur les caractéristiques suivantes (Vial et al., 2002).

- **Sensibilité** : En SAAF, il est d'usage d'exprimer la sensibilité par la **concentration caractéristique**. Elle représente la concentration, en mg/dm^3 , ou mg/dm^3 , qui produit un signal d'absorption d'une valeur de 0,0044 uA (qui correspond à une absorption de 1 % de la lumière émise) (Vandegan et al., 1997).
- **Linéarité** "Capacité dans un intervalle donné d'obtenir des résultats de dosage directement proportionnels à la concentration ou à la quantité d'analyte dans l'échantillon".
En SAA, le domaine de linéarité n'excède pas deux ordres de grandeur.
- **Limite de détection** " La limite de détection d'une méthode d'analyse est la plus petite quantité d'analyte qui peut être détectée mais pas nécessairement quantifiée comme une valeur exacte".
Comme la sensibilité, elle est exprimée en mg/dm^3 (SAAF) ou en $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ (SAAE).
- **Limite de quantification** "Quantité la plus faible d'analyte dans un échantillon qui peut être déterminée quantitativement avec une fidélité et une exactitude appropriées ".
Sa valeur est habituellement admise comme 4 à 10 fois la limite de détection.
- **Justesse (exactitude)** "Ecart d'accord entre la valeur trouvée et la valeur acceptée soit comme valeur conventionnellement vraie soit comme valeur de référence".

- **La fidélité** à un niveau donné correspond à "l'étroitesse d'accord entre une série de mesures obtenues dans des conditions prescrites à partir de prises d'essais multiples provenant d'un même échantillon homogène"

Selon les conditions d'exécution de l'essai, cette caractéristique s'exprime sous forme de répétabilité ou de reproductibilité pour une méthode.

- *Répétabilité* exprime la fidélité évaluée dans des conditions opératoires identiques et dans un court intervalle de temps.
- *Reproductibilité* exprime la variabilité inter laboratoires habituellement appliquées à la standardisation de la méthodologie.

La précision est généralement calculée à partir de la moyenne des résultats obtenus (mesures répétées) avec les déviations standards ($M \pm SD$) et les coefficients de variation (CV%) pour chaque concentration (Viala, 2007).

- **Robustesse** "Capacité du protocole de rester non affecté par des variations faibles mais délibérément introduites dans les paramètres de la méthode; fournit une indication sur sa fiabilité dans des conditions normales d'utilisation".

PARTIE EXPERIMENTALE

MATERIELS ET METHODES

I. Objectifs

L'essai de maîtrise vise à recueillir des informations stratégiques par le biais de manipulations en laboratoire. Les objectifs sont les suivants :

1. Etablir une synthèse des informations déjà disponibles sur le sujet.
2. Déterminer la concentration en plomb et en cadmium présents dans l'aliment de volaille, par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.
3. Analyser des échantillons d'eau d'abreuvement de volaille afin d'en déterminer leurs qualités physico-chimiques (pH, Température, TAC, TH) et leur concentration en Plomb et Cadmium.

II. Zone d'étude:

II.1. Critères et description des bâtiments d'élevages

L'étude est menée dans des bâtiments d'élevages situés dans la localité d'Alger, certains sont de type serre avicole, et les autres de type fermé avec un toit en tôle galvanisée. Le type de ventilation est naturel ; et les mangeoires et abreuvoirs en tôle galvanisée ou en plastique.

Dans tous les élevages visités, la litière employée est constituée de paille hachée.

➤ *Les animaux*

- L'élevage des oiseaux se fait au sol.
- Il est composé de poulet de chair en phase de finition et /ou de croissance avec des capacités d'élevage comprises entre 900 et 1600 sujets.

➤ *L'alimentation*

- Il s'agit d'aliment destiné aux élevages de poulet de chair. Certains éleveurs préparent leur aliment eux-mêmes à partir des matières premières, les autres le procurent chez différents fabricants privés.
- La distribution de l'aliment se fait de manière manuelle dans des mangeoires, adaptées pour chaque période d'élevage.
- L'aliment administré est constitué de maïs, tourteaux de soja, son de blé, calcaire, phosphate bicalcique et de CMV.
- L'eau d'abreuvement provient soit d'un puits (eau souterraine) soit de l'eau de ville, elle est stockée dans des citernes en tôle galvanisée.

➤ *La prophylaxie*

- Un protocole prophylactique est établi et suivi par un vétérinaire.

II.2. Choix des sites d'échantillonnage des matrices à analyser

Les sites d'échantillonnages sont choisis de façon aléatoire. Ces lieux sont appelés surfaces douteuses du fait qu'il n'existe pas de stratégie caractéristique propre à chaque région.

Les lieux de prélèvements sont sélectionnés en tenant compte des différentes sources de pollution potentielles: en amont et en aval des villes, des décharges enterrées et également sous les vents dominants dans la région.

Tenant compte de ces critères, 25 élevages de poulet de chair sont sélectionnés à partir de 14 sites (figure 13).

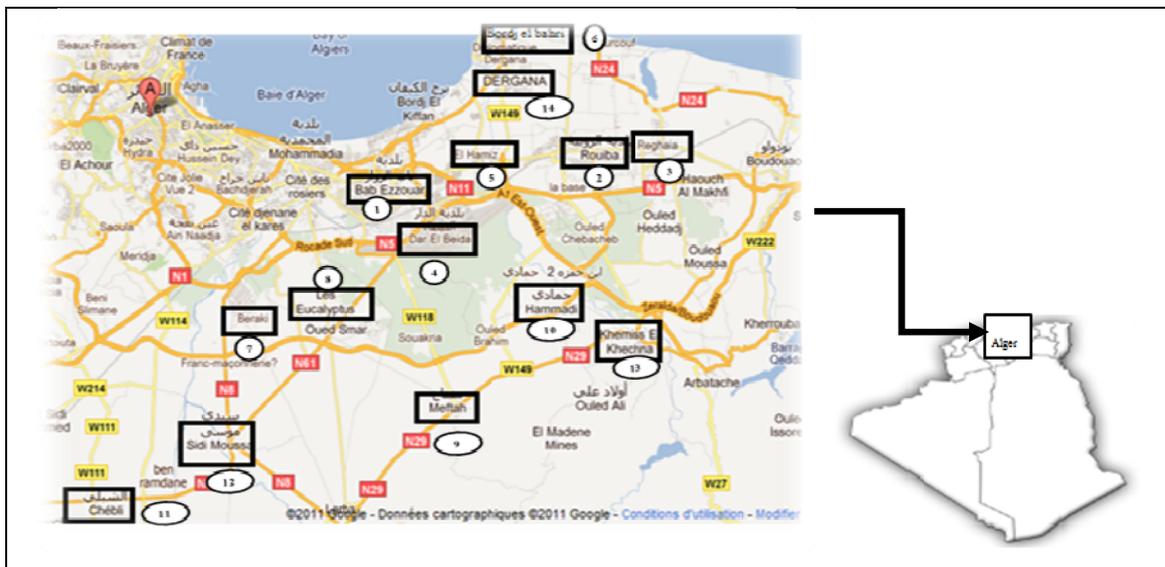


Figure 13: Localisations géographiques des sites des prélèvements (schéma personnel).

III. Matériel

III.1. Echantillonnage

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué 50 prélèvements dont :

- 25 prélèvements d'eau d'abreuvement pour analyses physico-chimiques et recherche du plomb et du cadmium.

- 25 prélèvements d'aliment de poulet de chair sont effectués pour le dosage du plomb et du cadmium.

Tous ces prélèvements sont réalisés dans 25 élevages avicoles à partir de 14 sites numérotés de 1 à 14 (tableau7).

Chaque élevage a fait l'objet de 02 prélèvements (01 matrice d'eau, 01 matrice d'aliments d'origine végétale).

Tableau 7 : Informations sur l'échantillonnage des aliments et des eaux de boisson au niveau des élevages de poulet de chair visités

N° du site	Site (nombre d'élevage)	Elevages	Nombre de d'échantillon eau et aliment	Date de prélèvement	Observation
1	Bab-Ezzouar (2)	El Alia 1	2	05/12/2010	Zone industrielle a proximité de la route
		El Alia 2	2	05/12/2010	
2	Rouiba (4)	Houache derfou	2	10/12/2010	Zone industrielle
		Heraoua	2	10/12/2010	
		Rouiba	2	10/12/2010	
		industrielle Rouiba 2	2	10/12/2010	
3	Reghaia(3)	Réghaia 1	2	23/01/2011	Zone industrielle A proximité de la rivière
		Réghaia 2	2	23/01/2011	
		Réghaia 3	2	23/01/2011	
4	Dar El Beida (1)	Dar El Beida	2	25/01/2011	Zone industrielle A proximité de la route et aéroport
5	Hamiz (2)	Hamiz1	2	30/01/2011	Zone urbaine
		Hamiz2	2	30/01/2011	A proximité

					de la route
6	Bordj El Bahri (1)	Bordj El Bahri	2	02/02/2011	Zone urbaine A proximité de la route
7	Baraki (3)	Ha Ka Ff	2 2 2	31/01/2011 31/01/2011 03/02/2011	Zone urbaine A proximité de la route et décharge
8	Les Eucalyptus (2)	Fa Kn	2 2	03/02/2011 03/02/2011	Zone urbaine A proximité de la route et la décharge
9	Meftah (2)	Gh 1 Gh 2	2 2	06/02/2011 06/02/2011	Zone urbaine A proximité de la route et décharge
10	Hamadi (1)	Hamadi	2	06/03/2011	Zone urbaine A proximité de la route et aéroport
11	Chebli (1)	Chebli	2	18/03/2011	Zone urbaine
12	Sidi Moussa(1)	Sidi Moussa	2	06/03/2011	Zone urbaine
13	Khemis El khechna (1)	Khemis El khechna	2	06/03/2011	Zone urbaine A proximité de la route et aéroport
14	Dergana (1)	Dergana	2	19/03/2011	Zone urbaine
Totale	25	/	50 (25 eaux /25aliments)	/	/

III.2. Matériels de laboratoire

III.2.1. Appareillage

Le dosage des éléments traces est effectué avec le spectromètre d'absorption atomique de type : UNICAM929 pour le plomb (figure 14) et avec le spectromètre d'absorption atomique de type : Thermo Scientific ICE 3000 pour le cadmium (figure 15).

Les principaux composants de cet appareil sont indiqués dans la figure 14 dont la description et le fonctionnement de chaque composant a fait l'objet du chapitre III.



Figure 14 : Spectromètre d'Absorption Atomique UNICAM 929



Figure 15 : Spectromètre d'Absorption Atomique (Thermo Scientific ICE 3000)

III.2. Matériels pour la minéralisation

Le matériel utilisé pour la minéralisation comprend :

*Un montage à reflux de marque Electromantle constitué (Figure 16):

- D'un Chauffe ballon.
- Réfrigérant à eau droit (+ tuyaux).

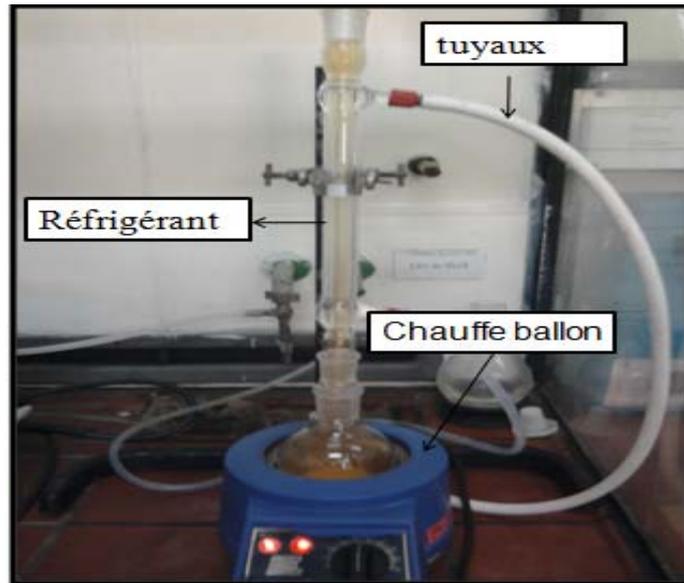


Figure 16 : Montage à reflux (Electromantle)

III.3. Autres matériels

Le reste du matériel pour la préparation des échantillons d'aliments de volaille et l'analyse physicochimique des échantillons de l'eau, est cité dans l'annexe I.

III.4. Réactifs

Les réactifs utilisés au cours de cette étude sont :

- Acide sulfurique concentré (H_2SO_4) ; 95-97% (Merck)
- Acide nitrique concentré (HNO_3) ; 69% (Merck) ;
- Acide chlorhydrique (HCl) ; 30% (Merck) ;
- Solution mère de plomb (1g/l) (Panreac) ;
- Solution mère de cadmium (1g/l) (Panreac) ;

- L'eau utilisée pour la préparation des étalons et les extraits minéralisés est distillée au niveau du laboratoire à l'aide d'un bi-distillateur de marque A4000D et d'un distillateur de marque SCHOH.

Par ailleurs, les autres réactifs utilisés ainsi que leur préparation ayant servi à l'analyse physico-chimique de l'eau, sont évoqués en annexe I.

IV. Méthodes

IV.1. Technique de prélèvement

IV.1.1. l'eau d'abreuvement de volaille

Différents paramètres sont considérés afin d'évaluer la qualité des eaux. Certaines mesures sont effectuées directement sur le terrain et d'autres au laboratoire, selon les normes suivantes : norme algérienne NA757, norme ISO 5667/1, norme ISO/DIS8288.

Les échantillons d'eaux sont prélevés au niveau des stations choisies, à partir des citernes de stockage de l'eau des élevages de poulet de chair.

L'échantillonnage pour l'analyse physico-chimique ne pose pas de problème particulier. Des flacons en plastiques sont suffisants et le volume du prélèvement est de un litre pour une analyse complète. Les prélèvements sont réalisés entre 07h00 et 08h00 du matin.

Par contre, pour l'analyse des métaux lourds (Pb, Cd), des récipients en verre borosilicaté préalablement lavés à l'acide nitrique dilué (2.2mol/ml) et rincés à l'eau distillé sont utilisés.

Les échantillons d'eau prélevés sont immédiatement traités par l'addition d'acide nitrique (1,4g/l) de façon à obtenir un pH compris entre 1 et 2 (2 ml d'acide par litre d'échantillon).

Les prélèvements sont transportés dans une enceinte réfrigérée et acheminés rapidement au laboratoire, pour être analysés le jour même. Le délai entre la fin des prélèvements et l'arrivée au laboratoire n'excédait pas les quatre heures.

En attendant d'être analysés, les échantillons liquides destinés à l'analyse des métaux sont stockés à +4°C au réfrigérateur.

IV.1.2. l'aliment de poulet de chair

Les modalités de prélèvements d'échantillons pour la recherche du plomb et cadmium utilisées au cours de notre étude sont décrites dans la Note de Service 2007(R n°333/2007).

Un échantillon global d'aliment de volaille de 500g constitué de plusieurs échantillons élémentaires de 100g, prélevés à différents points du lot (mangeoires) dans les bâtiments d'élevages.

Les échantillons prélevés sont conditionnés dans des sachets en plastiques (sans agrafes métalliques) et conservés à température ambiante.

Une fois au laboratoire, ils sont placés dans un dessiccateur afin d'éviter l'humidité de l'atmosphère.

IV.2. Analyse des échantillons

Les échantillons liquides (eau) et solides (aliments) précédemment recueillis sont préparés et analysés (analyse physico-chimique) au laboratoire central de l'intendance de l'armée. Le dosage du cadmium est effectué au niveau du laboratoire central de police et le dosage du plomb est réalisé au niveau de l'école militaire polytechnique.

Les différentes étapes de notre travail sont regroupées dans le schéma suivant :

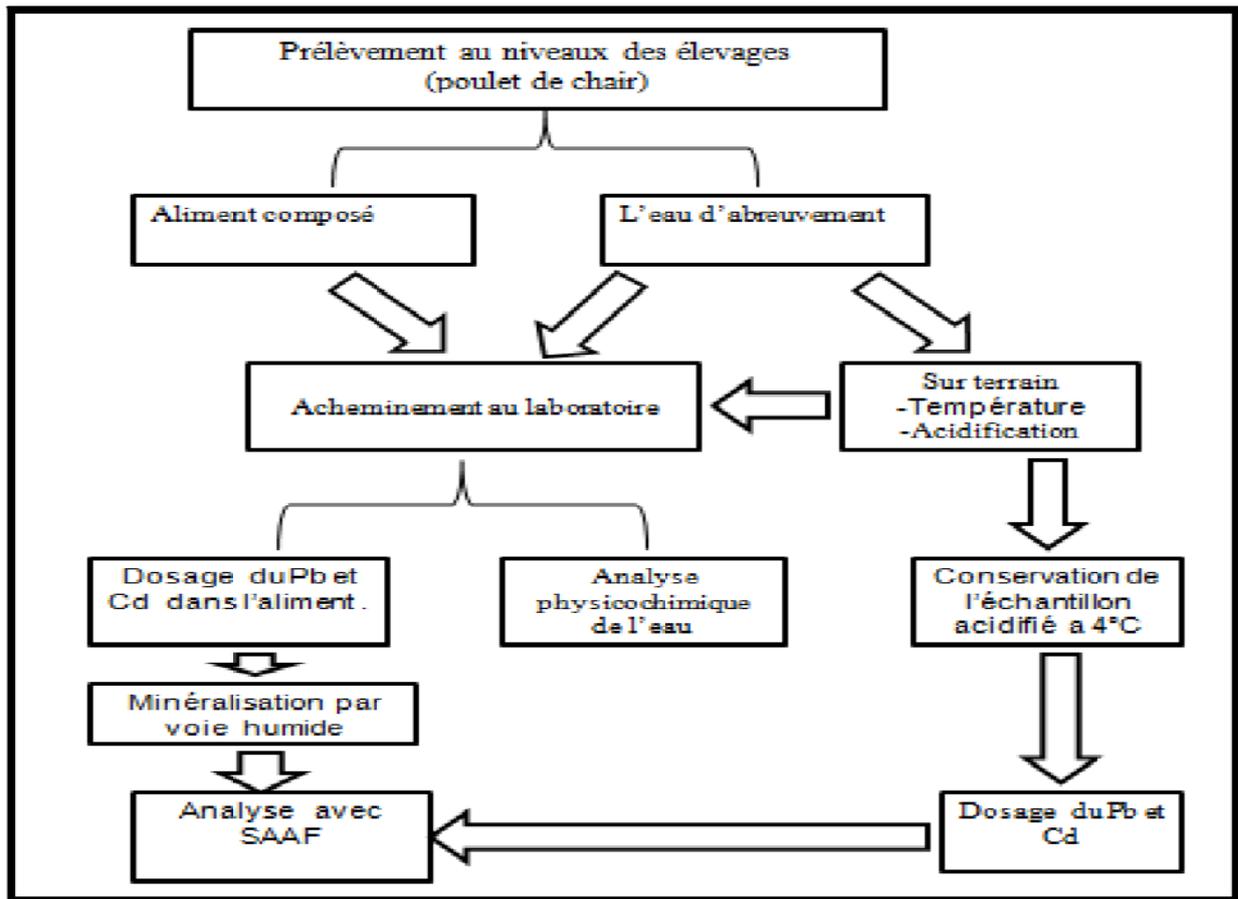


Figure 17 : Diagramme général des étapes de l'expérimentation.

IV.2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau

Les analyses de caractérisation globale des échantillons de l'eau sont effectuées selon les procédures classiques courantes.

a – Température

La détermination de la température est faite sur le terrain à l'aide d'un thermomètre incorporé au pH mètre étalonné avant chaque manipulation. La température exprimée en degré Celsius (°C) est lue directement.

b – Potentiel Hydrogène (pH)

➤ **Principe**

Pour cette détermination, nous avons utilisé une méthode électrométrique avec électrode combinée selon la norme NE1.4-08985. Cette méthode consiste à plonger dans l'échantillon une électrode de référence.

➤ **Mode opératoire**

- Etalonner l'appareil de mesure au moyen de deux solutions de pH connus, voisins et de préférence situés de part et d'autre de la valeur du pH à mesurer.
- Mesurer le pH.
- Attendre un temps suffisant pour atteindre l'équilibre.

c – Conductivité

➤ **Principe**

La détermination de la conductivité se fait par la mesure de la résistance électrique de la solution. Un voltage est appliqué entre les deux électrodes métalliques plongées dans l'échantillon. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (s/m). La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro siemens par centimètre (us/cm).

➤ **Mode opératoire**

- Raccorder à l'appareil de mesure la cellule de mesure de la conductivité avec sonde de température intégrée.
- L'appareil reconnaît la cellule de mesure et commute automatiquement sur le mode de mesure de la conductivité sélectionnée en dernier lieu.
- Contrôler la constante de cellule réglée ou calibrer l'appareil de mesure avec la cellule de mesure.
- Immerger la cellule de mesure de la conductivité dans le milieu de mesure.
- Attendre que la valeur mesurée soit stable

d- Alcalinité

➤ *Principe*

La détermination de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré selon la norme NE 1.4-04-1985.

Note : Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonates alcalins caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et bicarbonates.

➤ *Mode opératoire*

Un prélèvement d'échantillon d'eau à analyser de 100 ml est réalisé. Si le titre alcalimétrique complet est supérieur à 10mep/l, un autre prélèvement est effectué avec un volume plus petit et complété à 100 ml avec de l'eau distillée.

Etant donné que le pH de nos échantillons est inférieur à 8.3, le titre alcalimétrique (TA) est nul.

Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

L'ajout de 2 gouttes de l'indicateur de méthylorange à la prise d'essai, ensuite le titrage à l'acide sulfurique M/20 en agitant constamment jusqu'au virage du jaune au jaune brunâtre. Le pH est alors de l'ordre de 4.3. On note le volume (V2) d'acide consommé en ml.

La TCA est exprimée en milliéquivalent par litre.

E- Dureté

➤ *Principe :*

La dureté totale (TH) est la somme des concentrations calciques et magnésiennes. C'est un dosage par complexométrie à l'aide de l'EDTA, à pH = 10 et en présence du Noir d'Erichrome.

➤ *Mode opératoire :*

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole, ajouter 2 ml de la solution tampon pH = 10 et 2 à 4 gouttes d'indicateur Erichrome. En agitant, on titre lentement jusqu'au virage du rouge

veineux au bleu vert. Ensuite, on note le volume V (ml) de solution titrante.

Interprétation des résultats (voir annexe I)

IV.2.2.Dosage du cadmium et du plomb dans l'eau et l'aliment.

IV.2.2.1.Préparation du matériel

Pour le dosage du cadmium et du plomb, la verrerie subit un traitement rigoureux au début et à la fin de chaque dosage.

- Lavage à l'eau courante.
- Rinçage à l'eau distillée (2 fois)
- Trempage pendant une nuit dans une solution acidifiée à 1% (eau distillé+ acide nitrique à 1%)
- Rinçage le lendemain avec de l'eau bi distillée
- Et séchage dans l'étuve.

La maintenance de la verrerie est une partie intégrante de l'analyse, considérant qu'une absence de soin à ce niveau peut avoir des répercussions sur le résultat final (erreurs due à une fiole endommagée, mal calibrée, contamination, etc.).

IV.2.2.2.protocole de l'analyse de l'eau

Dans notre étude les échantillons d'eau recueillis n'ont pas nécessité de minéralisation.

Le dosage du plomb et du cadmium s'effectue selon : La norme internationale ISO/DIS8288.

➤ Principe

Le principe de cette méthode est d'engendrer une nébulisation dans la flamme d'un spectromètre d'absorption atomique d'une prise d'essai de l'échantillon d'eau acidifié.

➤ Mode opératoire

- Une prise d'essai de 1ml de l'échantillon acidifié est introduite dans une fiole jaugée de 100 ml, puis complétée au volume avec de l'eau bi distillée.

- Un essai à blanc est préparé en suivant le même mode opératoire et en utilisant les mêmes quantités de réactifs que pour l'échantillonnage et le dosage, mais en remplaçant la prise d'essai par de l'eau bi distillée.



Figure 18 : Prise d'essai de l'eau (Photo personnelle).

IV.2.2.3. Protocole d'analyse de l'aliment

➤ Principe

L'échantillon est minéralisé par voie humide, en présence de l'eau de régale afin d'éviter les pertes de plomb et de cadmium. La mesure s'effectue par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.

➤ Préparation des échantillons

Les prélèvements sont séchés à l'étuve dans des creusets en porcelaine, à une température de 105°C pendant 48 heures. Après ces deux jours, les échantillons sont retirés de l'étuve et placés dans un dessiccateur purgé au préalable à l'azote afin d'éviter une réaction entre l'eau résiduelle et le CO₂ de l'air.

Après séchage, les échantillons sont écrasés au pilon dans le mortier afin d'obtenir une poudre fine.

Il est à noter que le séchage des échantillons avant l'analyse améliore l'efficacité de la minéralisation acide en éliminant l'eau qui diluerait les réactifs, de plus l'homogénéisation des échantillons secs est meilleur et améliore grandement la représentativité des faibles prises d'essais.

➤ Minéralisation des échantillons (Figure 19)

La minéralisation est une étape importante pour la détermination d'éléments traces, elle permet de détruire la matière organique et d'obtenir des solutions contenant la teneur totale des éléments présents dans la prise d'essai.

Cependant, l'extraction doit être réalisée d'une telle manière que l'analyte est séparé de sa matrice sans perte ni contamination, ni destruction de la structure moléculaire de l'analyte.

▪ **Digestion sulfo-nitrique- eau oxygénée** (Digestion humide par chauffage à reflux)

➤ Principe

Un chauffage à reflux accélère une réaction car la température est un facteur cinétique, plus elle augmente plus la vitesse de réaction augmente. Le reflux empêche la perte de réactif ou de produit par évaporation. Du fait de l'augmentation de la température certaines espèces chimiques s'évaporent. Ces espèces chimiques montent alors dans le réfrigérant. De l'eau froide s'écoule en permanence dans ce réfrigérant, au contact des parois, les gaz refroidissent et se condensent sous formes de gouttelettes sur les parois du réfrigérant et finissent par retomber dans le vase à réaction.

➤ Mode opératoire

Peser environ 1 g d'échantillon sec dans un creuset en porcelaine préalablement taré puis l'introduire dans un ballon. Placer sous réfrigérant et introduire par le haut de celui-ci 1 ml d'acide sulfurique concentré, 3 ml d'acide nitrique concentré et 3 ml d'eau oxygénée à 30%. La température du chauffage est réglée et la circulation de l'eau froide est vérifiée, ainsi la digestion peut commencer.

Porter doucement à ébullition en contrôlant la formation possible de mousse ; maintenir en ébullition douce.

La digestion est atteinte au bout de 2 heures, le chauffage est alors arrêté

Après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques ml d'eau déminéralisée, le liquide obtenu est transféré par filtration (une membrane de type Millipore) dans une fiole de 50ml et complété avec de l'eau déminéralisée, puis transvaser dans un flacon et conserver au

réfrigérateur à +4°C jusqu'à l'analyse (la conservation de l'échantillon ne doit pas excéder 6 mois).

Selon Hoeing et Kersabiec (1995), cette technique a été testée avec succès dans divers milieux (sols, sédiments, particules atmosphériques, produits d'origine végétale et animale) pour les éléments suivants : As ; **Cd** ; Cr ; Cu ; Ni ; **Pb** et Zn.

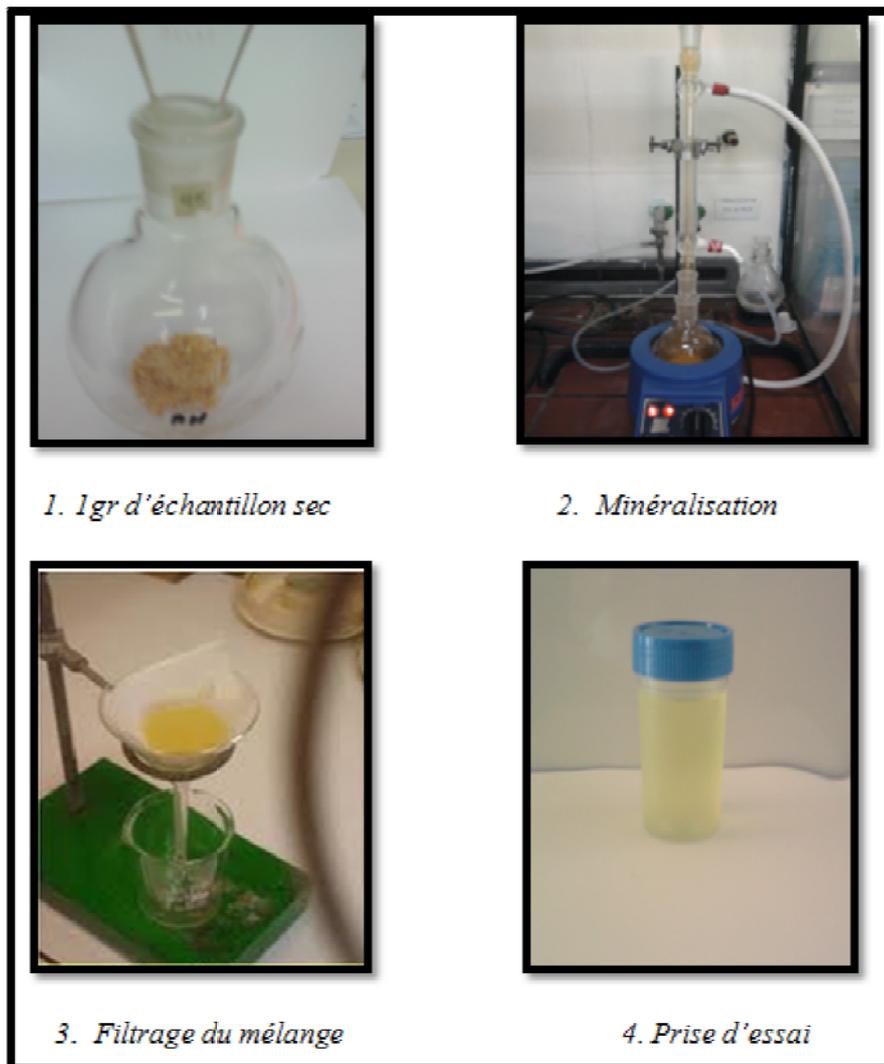


Figure 19 : Etapes de préparation de la prise d'essai de l'aliment.

▪ **Justification du choix des méthodes d'extraction pour analyse du Pb et Cd.**

Il faut reconnaître que, dans une certaine mesure, le choix des méthodes d'extraction, nous est dicté par les conditions matérielles dont dispose nos laboratoires de biologie et environnement.

Il s'avère que les méthodes retenues sont praticables et répondent, à juste titre, à nos préoccupations et aux objectifs fixés.

C'est aussi une méthode peu coûteuse et pas de risque comparé à d'autres méthodes d'extraction.

IV.2.2.4. Préparation des solutions étalons

Avant chaque série de mesure, la préparation à partir de chacune des solutions étalons, cinq solutions d'étalonnage couvrant pour chaque élément considéré la gamme de concentration à doser.

Les solutions étalons sont réalisées à partir :

- d'une solution mère de cadmium à 1000 mg/l et de la solution fille à 10 mg/l.
- d'une solution mère de plomb à 1000 mg/l et de la solution fille à 10 mg/l.

Les courbes d'étalonnage sont réalisées en 6 points (courbes en annexe II):

- de 0 à 10 mg/l pour le plomb ;(0 ; 1 ; 3 ; 5 ; 8 ; 10)
- de 0 à 6 mg/l pour le cadmium ;(0 ; 0.5 ; 1 ; 2 ; 4 ;6)

Les absorbances obtenues sont respectivement :

- de 0.016 ; 0.052, 0.085 ; 0.120 ; 0.169 pour le plomb.
- de 0.021 ; 0.047 ; 0.090 ; 0.172 ; 0.246 pour le cadmium.

IV.2.2.5. Paramètres d'analyses avec SAAF

Elément : Cd

Mode d'instrument : flamme
Mode de mesure : absorbance
Longueur d'onde : 228.8nm
Type flamme : Air-C₂H₂
Nombre de mesure : 3
Fente : 0.5nm

Elément : Pb

Mode d'instrument : flamme
Mode de mesure : absorbance
Longueur d'onde : 217.0nm
Type flamme : Air-C₂H₂
Nombre de mesure : 3
Fente : 0.5nm

IV.2.2.6. Calcul et expression des résultats

La concentration en métal est calculée à partir de la courbe d'étalonnage et les résultats sont exprimés en ppm.

IV.2.2.6. Méthode statistique

L'analyse est effectuée grâce au logiciel EXCEL pour le calcul des moyennes, et pour comparer les concentrations en cadmium dans l'eau et l'aliment dans la localité d'Alger ; nous avons utilisé le test non paramétrique au risque de 5% de Mann-Whitney.

RESULTATS

Dans ce chapitre seront abordés successivement les résultats obtenus et leurs commentaires.

I. Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau

Les résultats de l'analyse des caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'abreuvement de volaille sont présentés dans le tableau 8 et montre d'une manière générale.

Tableau 8: Résultats des critères physico-chimiques de l'eau d'abreuvement des élevages visités dans la localité d'Alger.

	T (°C)	pH	Cond.(µs/cm)	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)
E1	20	7.39	676	0,0	18,1	26,8
E2	21	7.20	700	0,0	17.5	40
E3	22	6.77	2140	0,0	32.5	50
E4	23.5	7.15	1446	0,0	31	40
E5	20.5	7.18	1590	0,0	20.5	26
E6	24	7.40	760	0,0	18.75	23
E7	25.5	7.12	1400	0,0	35,2	52
E8	22	7.14	1000	0,0	24	30
E9	23	6.50	839	0,0	25	38
E10	28	7.30	760	0,0	32.4	48
E11	21	7.20	700	0,0	35,55	60
E12	22	7.30	665	0,0	24	40
E13	24	7.10	600	0,0	22,5	30
E14	23.5	7.11	1500	0,0	37,5	61
E15	21	7.04	1360	0,0	31.25	30
E16	26	7.45	1905	0,0	26,25	48
E17	23	7.53	1082	0,0	22,5	19,6
E18	24.5	7.58	1065	0,0	23,1	20
E19	27	7.27	928	0,0	20,25	22
E20	25	7.68	1046	0,0	22,6	26
E21	22	6.85	855	0,0	30	25
E22	28	6.30	1068	0,0	13,75	38
E23	27.5	7.04	1498	0,0	32,5	54
E24	26	7.62	2350	0,0	32,5	26
E25	25	6.50	839	0,0	25	38

- La température de nos échantillons est comprise entre 20 et 27,5 °C.
- Le pH est compris entre 6,30 et 7,68.
- La dureté de l'eau (TH) montre que les eaux de consommation ont une dureté entre 20 F° et 61F°, ce qui classe l'eau comme nettement dure avec minéralisation notables.
- Nos échantillons ont une conductivité entre 676 µs /cm et 2350µs/cm.

Tableau 9 : Paramètres physico-chimiques globales de l'eau recueillie dans les 25 élevages enquêtés par rapport aux normes recommandées.

	Réf. qualité de potabilité humaine*	Eau satisfaisante en élevage**	Analyses descriptives (25 élevages)
Tp °C	-	-	Moyenne 23,8
			Mini 20
			Maxi 28
pH	6,5 < pH<9	6 à 7	Moyenne 7, 13
			Mini6, 3
			Maxi7, 68
Dureté (TH)	Pas de limitation	10 à 15°F	Moyenne 36,45
			Mini 19,6
			Maxi 61
Alcalinité (TAC)	Pas de limitation	-	Moyenne26, 16
			Mini 19,6
			Maxi 61
Cond.(µs/cm)	Au maxi 2800µs/cm	-	Moyenne 1150,88
			Mini600
			Maxi 2350

* Selon les normes réglementaires de potabilité humaine Directive 98/83/CE et Décret

Français code de la santé publique dec2001 et OMS 2001.

** Selon les recommandations du manuel de l'ITAVI 2004.

Ce tableau nous montre que les teneurs sont dans bien des cas supérieures aux normes préconisées pour l'élevage de volaille. Concernant Le p H (figure 20) de l'eau de certains élevages présente des valeurs alcalines concordantes avec la TAC , ce qui implique une eau peu satisfaisante du point de vue physico-chimique pour les volailles.

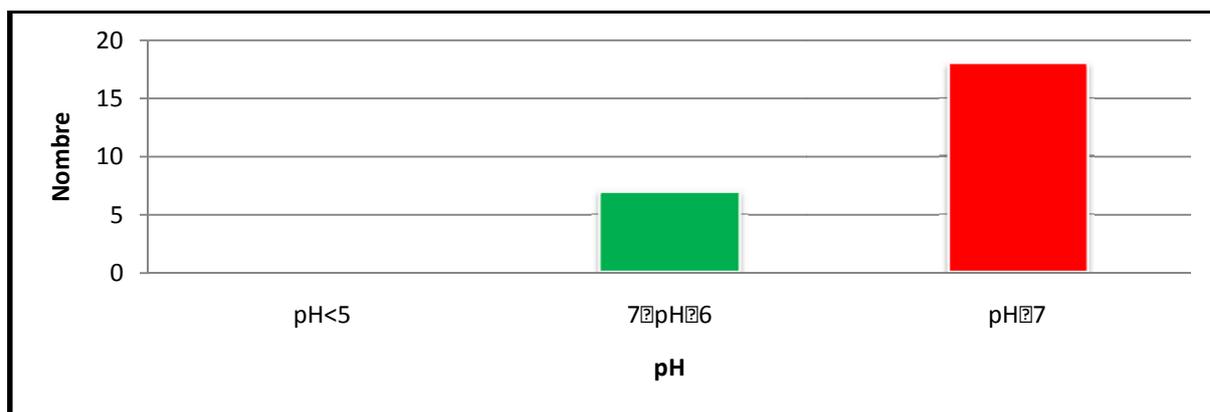


Figure 20 : Répartition des pH mesurés des échantillons d'eau prélevés dans les bâtiments enquêtés.

En revanche, la dureté (figure 21) de toutes les eaux analysées était supérieure à 20°F, ce qui classe l'eau de boisson de poulet de chair des élevages enquêtés comme dure.

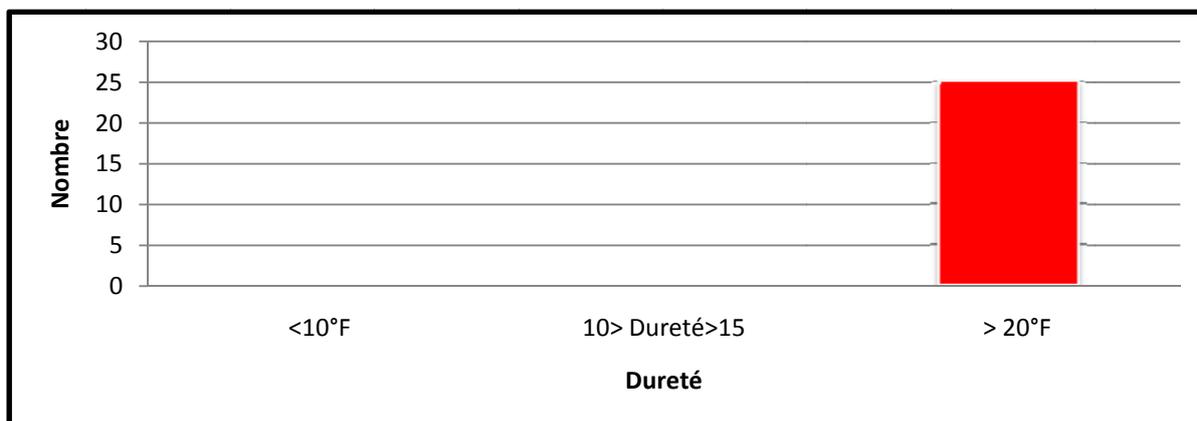


Figure 21: Répartition des duretés mesurées des échantillons d'eau prélevés dans les bâtiments enquêtés.

Le tableau 10 édicte le taux des eux peu satisfaisants par rapport aux recommandations du manuel ITAVI ,2004 par paramètre physico-chimique des eaux des élevages de volaille.

Tableau 10 : Le taux des échantillons d'eau peu satisfaisant

Paramètre	Nombre d'échantillon peu satisfaisants	% de peu satisfaisant
	N:25	
T (°C)	0	0
pH	18	72
Cond.(µs/cm)	0	0
TH (°F)	25	100

Sur l'ensemble des 25 prélèvements d'eau d'abreuvement réalisés en élevages, nous avons enregistré des taux d'échantillons peu satisfaisants élevés, notamment de la dureté (100%) et du pH (72%).

II. Teneur en plomb et en cadmium des eaux d'abreuvements et de l'aliment, selon les sites d'élevage.

II.1. Détermination de la limite de détection et le seuil de détection

Ces déterminations vont permettre de corriger les valeurs de la concentration finale en plomb et en cadmium et d'éliminer les échantillons dont la teneur en métal est inférieure au seuil de détection.

Pour le plomb, La limite de détection a été déterminée en réalisant 4 mesures consécutives des blancs, les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 11.

Tableau 11: Détermination des valeurs limites (Pb)

Blancs	Concentration en ppm
Blanc 1	-0,001
Blanc 2	-0,000
Blanc 3	0,000
Blanc 4	0,001
Blanc médian	0,000
Écart-type des blancs	0,0008
Limite de détection - LD	0,002
Seuil de détection - SD	0,002

Pour le cadmium, La limite de détection a été déterminée en réalisant 10 mesures consécutives des blancs, les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 12.

Tableau 12: Détermination des valeurs limites (Cd)

Blancs	Concentration en ppm
Blanc 1	0.001
Blanc 2	-0.002
Blanc 3	-0.001
Blanc 4	-0.001
Blanc 5	0.001
Blanc 6	-0.001
Blanc 7	0.000
Blanc 8	0.001
Blanc 9	0,002
Blanc 10	0.000
Blanc médian	0.000
Ecart type	0.001
Limite de détection-LD	0.004
Seuil de détection-SD	0.004

II.2. Résultats du dosage du Pb et du Cd aux niveaux des élevages de volaille

Les concentrations qui ont pu être notées dans les 25 élevages sont consignées dans le tableau 13. Nous constatons que les valeurs dans les eaux et les aliments sont inférieures au seuil de détection pour la majorité des élevages.

Tableau 13: Résultats récapitulatif des niveaux de contamination en Pb et en Cd des différentes matrices de chaque élevage par site.

N° du Site	Elevage (nombre d'élevage)		L'eau d'abreuvement (mg/l)		Aliment pour poulet de chair (mg/kg)	
			Pb	Cd	Pb	Cd
1	Bab el Zouar(2)	E1	ND	0.01	ND	0,006
		E2	ND	0.007	ND	0,010
2	Ruiba (4)	E3	ND	0.013	ND	0,024
		E4	ND	0.02	ND	0,038
		E5	ND	0.02	ND	0,046
		E6	ND	ND	ND	0,035
3	Réghaia (3)	E7	ND	0.03	ND	0,004
		E8	ND	0.008	ND	0,016
		E9	ND	ND	ND	0,049
4	Dar el Bieda (1)	E10	ND	ND	ND	0,065
5	Hamiz(2)	E11	ND	ND	ND	0,014
		E12	ND	ND	ND	0,015
6	Bordj el Bahri (1)	E13	ND	ND	ND	0,018
7	Baraki (3)	E14	0.112	0.012	ND	0,020
		E15	0.100	0.010	ND	0,025
		E16	ND	ND	ND	0,015
8	Eucalyptus (2)	E17	0.131	ND	ND	0,016
		E18	ND	ND	ND	0,018
9	Meftah(2)	E19	ND	ND	ND	0,030
		E20	ND	ND	ND	0,059
10	Hamadi(1)	E21	ND	ND	ND	0,005
11	Chebli(1)	E22	ND	0.005	ND	0,038
12	Sidi moussa(1)	E23	ND	ND	ND	0,025
13	Khamiss khachna(1)	E24	ND	ND	ND	0,017
14	Dergana(1)	E25	ND	ND	ND	0.058

ND concentration inférieure au seuil de détectabilité.

II. 2.1. Dosage du Pb et du Cd dans l'eau d'abreuvement

Les teneurs observées sont notées dans le tableau 14 et représentées par la figure 22.

La plupart des concentrations étaient inférieures au seuil de détection. Nous avons donc pris les valeurs supérieures au seuil de détection pour réaliser les moyennes par site. Le tableau 14 résume l'ensemble des concentrations en plomb et en cadmium par site.

Tableau 14: Résultat des teneurs en Cd et en Pb dans l'eau de boisson pour poulet de chair.

Site (nombre d'élevage)	Teneur en Pb ppm (min-max)	Teneur en Cd ppm (min-max)
Site 1(2)	ND	0,002 (0,007-0,013)
Site 2(4)	ND	0,004 (0,013-0,002)
Site 3(3)	ND	0,02 (0,008-0,03)
Site 4(1)	ND	ND
Site 5(2)	ND	ND
Site 6(1)	ND	0,012 (ND-0,012)
Site 7(3)	0,112 (0,112-ND)	ND
Site 8(2)	0,131 (ND-0,131)	ND
Site 9(2)	ND	0,005 (ND-0,005)
Site 10(1)	ND	ND
Site 11(1)	ND	ND
Site 12(1)	ND	ND
Site 13(1)	ND	ND
Site 14(1)	ND	ND
Moyenne	0,118	0,013

ND concentration inférieure au seuil de détectabilité.

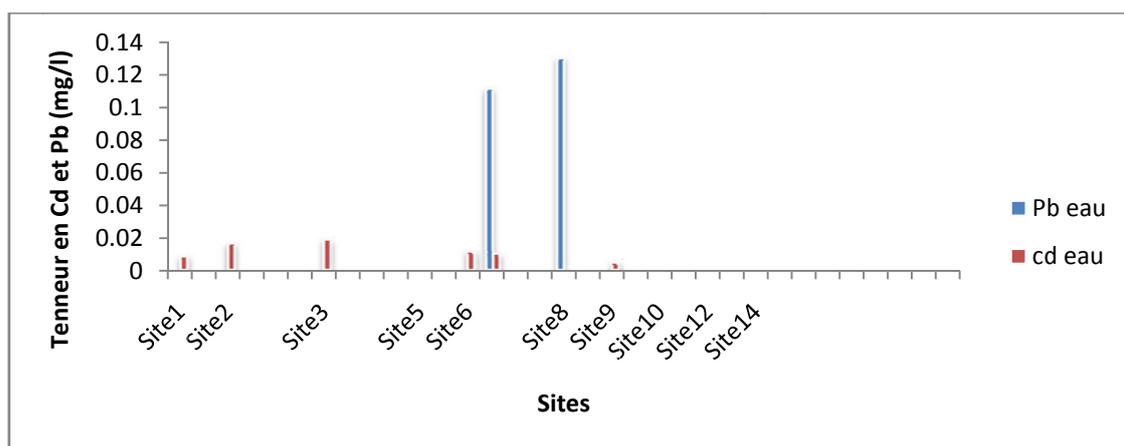


Figure 22: Répartition des teneurs en plomb et en cadmium dans l'eau de boisson selon les sites d'élevage.

La plupart des eaux prélevées à partir des différents sites présentent des teneurs relativement faibles en Pb et en Cd

Dans les sites 7 et 8, Les teneurs en Pb sont dans la limite exigée par la réglementation (0,1 ppm, OMS 2000).

Des teneurs variant de 0,002 ppm (site 1) à 0,02 ppm (site 3), sont enregistrées pour le cadmium, toutes ces valeurs sont inférieures aux normes, excepté la moyenne notée pour le site 3 qui se situe dans la limite admissible (0,02 ppm) (OMS, 2000).

II.2.2. Dosage du Pb et du Cd dans l'aliment (poulet de chair)

Les résultats de la contamination en cadmium et en plomb dans l'aliment composé pour poulet de chair sont présentés dans le tableau 15 et figure 23.

**Tableau 15 : Les teneurs en Cd et en Pb dans l'aliment de volaille
(Poulet de chair).**

Site (nombre d'élevage)	Teneur en Pb ppm (min-max)	Teneur en Cd ppm (min-max)
Site1 (2)	ND	0,008 (0,006-0,01)
Site 2(4)	ND	0,04 (0,024-0,046)
Site 3(1)	ND	0,02 (0,003-0,035)
Site 4(1)	ND	0,05
Site 5(2)	ND	0,04 (0,014-0,065)
Site 6(1)	ND	0,015
Site 7(3)	ND	0,02 (0,018-0,02)
Site 8(2)	ND	0,02 (0,016-0,025)
Site 9(2)	ND	0,04 (0,03-0,06)
Site 10(2)	ND	0,005
Site 11(1)	ND	0,04
Site 12(1)	ND	0,02
Site 13(1)	ND	0,02
Site 14(1)	ND	0,06
Moyenne	/	0,03

ND concentration inférieure au seuil de détectabilité.

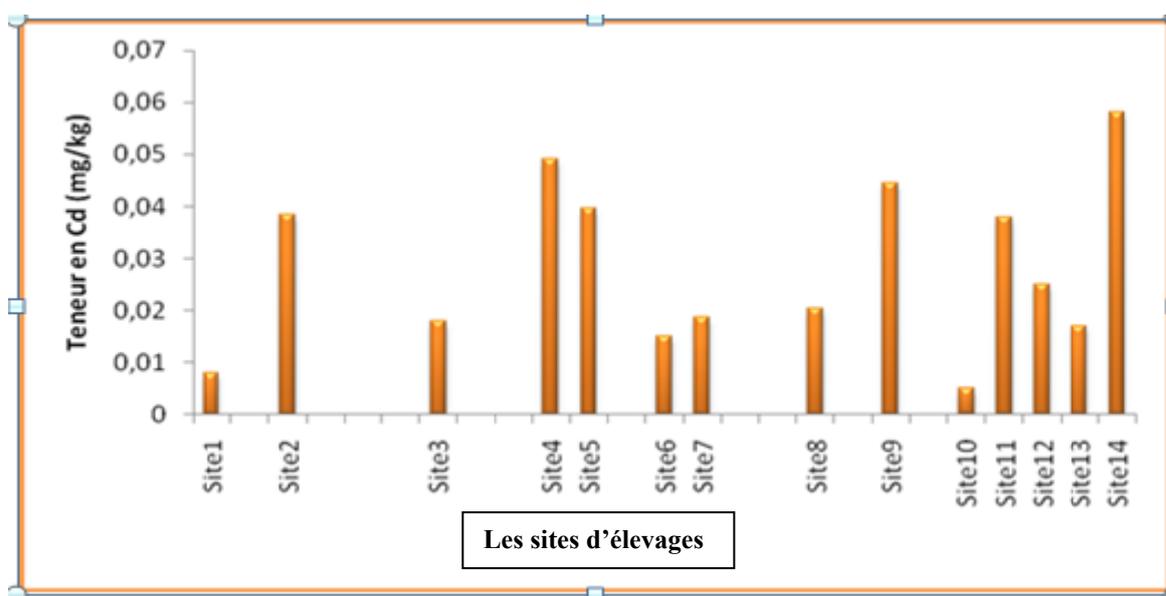


Figure 23: Répartition des teneurs en Pb et en Cd dans l'aliment composé (poulet de chair).

Les variations en teneur du cadmium dans l'aliment composé pour poulet de chair sont faibles d'un site à l'autre (0,008 à 0,06ppm), nous constatons que ces concentrations moyennes sont inférieures à la limite autorisée dans un aliment complet pour volaille **0,5mg/kg**, selon la réglementation européenne. En revanche les teneurs en plomb dans l'aliment sont toutes inférieures à la limite de détection.

II.3. Les teneurs globales en cadmium et en plomb

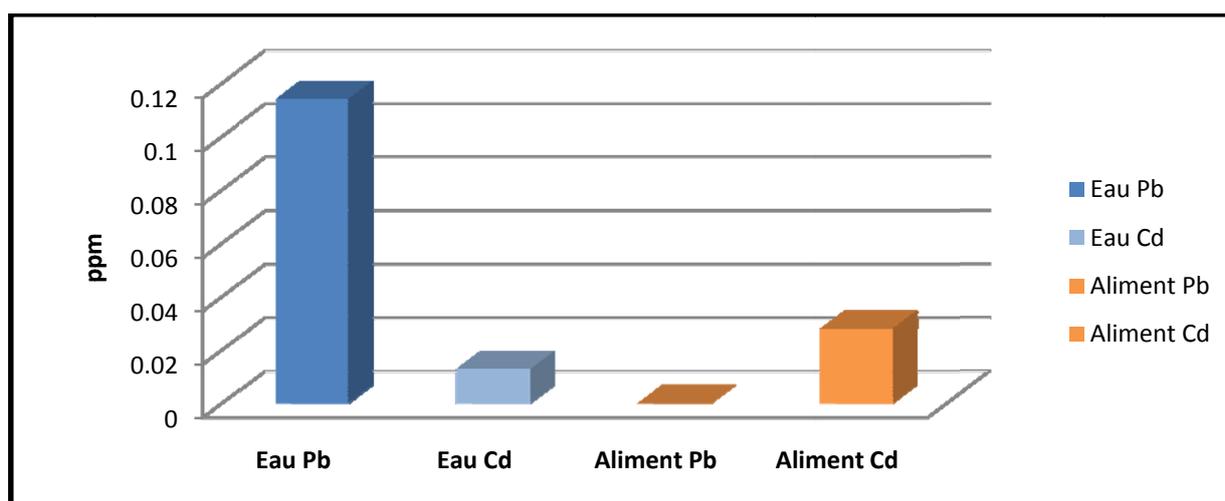


Figure 24 : Les teneurs globales en cadmium et en plomb des différentes matrices

D'une manière générale, Les résultats obtenus (figure 24) révèlent que la valeur moyenne observé pour le plomb dans l'eau se situe dans limite autorisée, par contre dans l'aliment aucune valeur du plomb n'a pu être détectée.

Toutefois la valeur moyenne en cadmium est très significativement ($p < 0,05$) supérieure à celle remarqué dans l'eau. En outre toutes ces valeurs sont inférieures aux normes européennes admissibles dans l'alimentation de volaille.

DISCUSSION GENERALE

Les métaux lourds posent un problème préoccupant en matière de pollution chimique. La contamination des écosystèmes, des organismes vivants et de nombreuses denrées alimentaires et l'exposition continue d'une multitude d'espèces, dont l'être humain, pendant plusieurs générations, entraîne des effets toxiques aigus et chroniques. L'exposition de l'alimentation des volailles n'a pas été épargnée par cette pollution. De nombreux auteurs accusent ces polluants d'être en partie responsables de la contamination de l'alimentation animale et par la suite a un impact sur la santé des volailles et une contamination indirecte de l'homme. (Nys, 2001 ; Zerrik ,2008 ; Darrell, 2003 ; Sardar et al., 2003 ; Irfana ,2004).

Dans le cadre de cette étude, et compte tenu du temps et des moyens matériels qui nous étaient impartis, seulement 50 prélèvements (aliment complet et eau d'abreuvement destinés aux poulets de chair), on fait l'objet d'une recherche systématique du plomb et du cadmium.

Il est important de préciser que lors de notre enquête au niveau des élevages de poulet de chair, qu'aucun signe clinique ou physiologique d'intoxication par ces éléments n'a été observé. D'autre part, nous avons essayé de déterminer quelques paramètres physicochimiques de l'eau qui sont indicateurs de pollution environnementale.

➤ *Aspect méthodologique*

Les différents élevages visités dans notre étude, se situent dans la localité d'Alger. Des travaux indiquent que ces communes de Rouïba, Réghaia, les Eucalyptus et Baraki sont connues comme étant des zones urbaines et industrielles, de plus certaines situées à proximité de l'autoroute et de la décharge de Oued Smar, sont donc considérées comme zone polluée (WHO ,2001 ; Moali et al., 2005 ; APPL ,2003).

Une autre raison qui a motivé le choix de cette étude est qu'en Algérie, seuls les environnements industriels (aquatiques et atmosphériques), ont été jusqu'ici considérés. En revanche la contamination par des métaux lourds dans l'aliment de volaille, n'a pas été suffisamment étudiée. Le peu de travaux réalisés dans la région traitent uniquement des teneurs totales en ces métaux dans les plantes destinées aux animaux domestiques (Kadem ,2005 ; Mehennaoui ,2009).

Ce choix est justifiable pour d'autres raisons, certains auteurs suggèrent que la source de contamination des poulets de chair par les métaux lourds est lié à l'alimentation (l'eau et l'aliment distribué); par la suite ces éléments s'accumulent dans le foie, les reins et la chair (Vodola et al., 1997 ; Zraly, 2008).

Concernant la technique d'extraction du Pb et du Cd dans l'aliment de volaille, nous avons opté pour la minéralisation par voie humide méthode rapide et efficace.

La plus part des méthodes par voie humide font appel à des mélanges d'agent acides et oxydants. L'acide nitrique est l'un d'eux, le communément utilisé dans les mélanges d'attaque, son action est souvent renforcée par l'acide sulfurique, qui permet de dégrader les composés organiques plus résistants et d'augmenter la température d'ébullition du mélange, l'acide chlorhydrique également ajouté, ce dernier est plus puissant au moment de la décomposition de la partie minérale de l'échantillon (Hoeing et al., 1995). Ce mélange acide-oxydant a été exploité par d'autres auteurs, cité ci-dessous :

Cang et al (2003), en chine, ont pratiqué une digestion à l'aide de $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$, pour minéraliser les 47 échantillons d'aliment sec pour volaille (dinde, poulet de chair, poule pondeuse).

Fakayode et al (2003), ont utilisé le mélange de 3ml d'acide nitrique et de 5ml d'acide perchlorique pour deux types de matrice (œuf et aliment composé pour volaille).

On ce qui concerne la méthode de dosage du Pb et du Cd, nous avons utilisé le spectromètre d'absorption atomique avec flamme qui est le moyen le plus disponible; le même mode de fonctionnement a été employé par Abdulah Alkhalaf en 2010 pour le dosage des métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Mg, Ni, Cr) dans l'alimentation de volaille.

Cependant, il faut noter que plusieurs études sur les métaux lourds dans les aliments pour animaux, ont été réalisées avec un appareillage doté de mode fonctionnement plus sensible et spécifique.

En effet, en France le règlement 333/2007 impose des indications sur les méthodes d'analyses et leurs performances: pour la recherche du Cd, Pb et Hg dans les produits affectés à l'alimentation animal, la technique adoptée est SAA-ICP (Perrin, 2007).

Afin de déterminer les niveaux de contamination chimique ((Pb, Hg, Cd), des fourrages vendus sur les marchés à bétail d'Abidjan (cote d'Ivoire), Kippre et Bojdi (2010), ont utilisés la SAA avec four.

D'autre part, le dosage des éléments traces dans l'alimentation de volaille en Chine, au Pays de Galles et en Angleterre, a été réalisé par le spectromètre d'absorption atomique par IPC et SAA avec four (Cang et al ., 2004 ; Nicholson al .,1999) .

➤ *Qualité physicochimique de l'eau*

Le pH de l'eau varie au cours de l'étude de 6,30 à 7,68 (tableau 8). Le pH est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau. Seul 28% des lots ont reçu une eau située entre 6 et 7 unités de pH .Tandis que 72% des lots ont une eau basique.

Les valeurs obtenu sont proche des résultats physicochimiques de l'eau de boisson des élevages de dinde par Travel et al (2007). En se référant aux normes françaises et valeurs préconisées en élevage de volaille dans le tableau 9, sont répertoriés les principaux paramètres physico-chimiques de l'eau ainsi que les valeurs préconisées en élevage. Les eaux analysées sont toutes dures (100%), avec un pH qui tend vers l'alcalinité pour la plupart de nos prélèvements (72%).

La dureté est un caractère naturel, traduit la teneur en calcium et en magnésium des eaux. Les valeurs enregistrées durant la période d'étude sont toutes supérieures à 15°F (figure 21), ce qui correspond à une eau dure. Nos valeurs se situent dans la même gamme que celles de l'étude de Douifi (2010) dans les 20 élevages de poulet de chair dans la willaya de Média.

Le but de déterminer ces facteurs est d'évaluer la présence d'éléments minéraux indésirables dans nos échantillons d'eau qui peuvent résulter d'une pollution exogène. Du fait que ces éléments (surtout le plomb) ont la capacité de se dissoudre dans l'eau, au dépend de l'acidité (pH), de la température, de la dureté et du temps pendant lequel l'eau repose dans les tuyaux (OMS, 1993 ; Rodier, 2005).

D'après nos résultats la dureté est supérieure à 20°F, ceci conduit à l'entartrage du matériel et précipitation des détergent, le pH alcalin a un impacte sur les traitements des volailles (ITAVI ,2004). En conséquence, nous pouvons dire que les eaux des élevages de la ville d'Alger nécessitent un traitement et contrôle avant qu'elles ne soient distribuées aux usagers.

➤ ***La teneur en Plomb et Cadmium. dans l'eau de boisson de volaille.***

Au regard de la bibliographie consultée, peu de publication ont traité la contamination de l'eau de boisson pour volaille; du fait du phénomène de bioaccumulation en milieu aquatique, les études ont concernées surtout ce domaine (Richard-Mazet, 2005 ; Nakhlé ,2003).

Le tableau 14 présente les différentes concentrations du plomb et du cadmium dans l'eau de boisson des élevages de poulet de chair. On constate que les taux de ces éléments sont inférieurs au seuil de détections pour la majorité des sites. seuls deux sites (7 et 8) montrent des valeurs (0, 11; 0,13 ppm) situé dans la LMR pour le plomb dans l'eau (0,1 ppm, OMS,2000). Par contre les sites (1, 2, 6,9) montrent des teneurs en cadmium relativement faibles par rapport à la LMR dans l'eau (0,02 ppm, OMS ,2000).

Nos résultats rejoignent ceux de Hussein et al (2011), en Arabie Saoudite; ces auteurs indiquent des concentrations du plomb et de cadmium dans les eaux de source fournis aux élevages de volaille dans différents sites d'études, respectivement (0.06 à 0.10 ppm) et (0.001 à 0.003ppm), néanmoins les deux autres sites d'élevages de cette même étude dévoilent des eaux polluées par le plomb (0,3ppm), qui sont supérieures à nos résultats .

En outre, dans les enquêtes réalisées au Canada, plus de 99% de la totalité des eaux à une teneur en plomb inférieure aux limites fixées pour les humains dans les recommandations canadiennes, à savoir 0,01 mg/l. Seulement un échantillon sur 3000 contient plus de 0,1mg de Pb/l, limite établie pour le bétail (Saskatchewan Watershed Authority (SWA), 2008).

La présence de ces faibles concentrations en métaux dans nos échantillons, peuvent subvenir lors de la distribution de l'eau à l'intérieur de l'élevage, également par la qualité du revêtement des citernes, et l'ancienneté des canalisations (Montiel, 2007). D'autre part, ces bâtiments d'élevage à proximité des décharges peuvent être alimentés d'une eau souterraine polluée, plusieurs auteurs abordent l'impact de la pollution environnemental d'une décharge publique non contrôlée sur les eaux souterraines (Younsi ,2007 ; Mekaikia ,2007).

Ladji (2005) ; révèle des concentrations en plomb et en cadmium au delà du LMR par L'OMS dans l'aérosol atmosphérique de la décharge de Oued Smar, la localité des Eucalyptus et la localité de Réghaia.

D'après Meklati(2009), le bassin hydrographique de l'Algérois se trouve dans un état de dégradation avancé et pollué par les métaux lourds, dont l'eau usée d'origine urbaine et industrielle déversée directement dans les oueds (oued el Harrach et oued Réghaia) sans aucun traitement préalable. De ce fait, les bâtiments d'élevage de Baraki, Eucalyptus et Réghaia peuvent s'alimenter d'une eau de qualité douteuse.

Vodéla et al(1997), suggèrent que les métaux lourds présents dans les eaux souterraines près des sites des déchets, peuvent contaminer l'eau d'abreuvement des volailles. A cet effet, une contamination expérimentale avec des concentrations faibles et élevées d'un mélange de métaux (cadmium, plomb, arsenic, benzène) a été réalisée dans l'eau de boisson; au final les résultats déterminent un effet néfaste sur les performances et le système immunitaire du poulet de chair.

➤ *Limite de détection*

La limite de détection (LD), définie comme étant la plus petite quantité d'analyte pouvant être détectée dans un échantillon mais pas nécessairement quantifiée comme une valeur exacte, est égale à 3 fois l'écart-type du blanc.

D'après les résultats obtenus (tableau 11 et 12), la limite de détection pour le plomb est de 0,002 ppm et pour le cadmium est de 0,004ppm. Ces limites de détection sont inférieures à ceux rapportées par Sikiric et al (2003) qui sont de l'ordre de 0,1 ppm pour le plomb et de 0,032 ppm pour le cadmium, par contre ils sont supérieures à ceux de Mahesar (2010) qui sont d'environ 0,00035 pour le plomb et de 0,0006 pour le cadmium; ceci s'explique par le fait que les conditions analytiques ne sont pas les mêmes (matrices différentes, modalité d'extraction et appareillage différents). D'autres auteurs, mentionnent une limite de détection similaire à la notre pour le cadmium (Abdullah Alkhalaf et al ; 2010).

➤ *La teneur en cadmium et plomb dans l'aliment*

La majorité des concentrations obtenues (tableau13) étaient inférieures à la limite de détection. De ce fait, nous n'avons pas pu réaliser de comparaison statistique et nous ne ferons que commenter ces valeurs.

Les teneurs en plomb dans l'aliment de poulet de chair des différents sites, sont toutes inférieures à la limite de détection. Aucune source de plomb n'est donc mise en évidence. D'un autre côté, les concentrations enregistrées pour le cadmium, sont très faibles, à l'état de traces (0,004 à 0,065 mg/kg). Dans les textes législatifs algériens, les limites imposées pour le plomb et le cadmium dans l'alimentation de volaille ne sont pas mentionnées, nous avons donc interprété nos résultats par rapport à des données européennes trouvées dans la littérature (tableau 16), en effet, réguler la limite de la concentration d'un métal dans un aliment est très importante, non seulement pour améliorer la qualité des volailles, mais aussi pour garantir la sécurité de l'environnement (Cang et al. ;2004).

**Tableau 16 : Limite maximal recommandé (mg/kg) dans l'aliment complet de volaille
(Cang al .,2004)**

	Pb	Cd
Chine	5	0,5
Russe	5	0,4
Angleterre	5	-
Allemagne	6	-
USA	5	0,5
Japon	3	1,0

Toute fois, la totalité des valeurs acquises sont inférieures à la limite maximale autorisée dans l'aliment de volaille (0,5 mg/kg pour le Cd et 5 mg/kg pour le Pb). D'une manière globale, les teneurs retrouvées dans les publications européennes sont toujours supérieures à nos concentrations;

Les moyennes en plomb et cadmium mesurées sont inférieures, à ceux rapportées par Nicholson et al(1999) en Angleterre et au Pays de Galles (0,12à 0,39 mg/kg et <1mg/kg pour le Pb), et Fakayode et Olu- Owolbi (2003) au Nigeria, respectivement de l'ordre de 0,35-0,41 ppm pour le Cd et 2,79-3,01 mg/kg pour le Pb. Cet auteur suggère que l'intrusion des métaux dans l'aliment de volaille, au cours du processus de broyage ou fraisage, contribue à des concentrations élevées de Cd dans l'aliment.

En Arabie saoudite; l'analyse des échantillons d'aliment pour volaille à différents stades (démarrage, croissance et finition), issus du marché local; révèle des niveaux de contamination,

aussi supérieurs à nos mesures, allant d'environ 2,45 à 3,05 mg/kg pour le Pb et de 0,1 à 0,2mg/kg pour le Cd. Toute fois, les niveaux de concentration obtenus pour le plomb sont relativement élevés par rapport à ceux du cadmium, de la sorte que les plantes s'avèrent capables d'absorber le plomb à partir du sol et où certaines plantes absorbent de manière naturelle énormément de ce métal que les autres (Abdullah Alkhalaf et al .; 2010).

Néanmoins, toutes ces valeurs citées par ces chercheurs (Fakayode et Olu- Owolbi ; 2003 et Nicholson et al ; 1999 et Abdullah Alkhalaf et al .; 2010), sont inférieures à la limite maximale recommandée dans l'alimentation de volaille, ce qui concorde avec nos résultats.

Par ailleurs; les données d'Alexieva et al (2007), en Bulgarie, ont montrés des taux élevés en cadmium (20,34%) et en plomb (33,9%) par rapport à la réglementation européenne, dans l'aliment pour volaille et porc.

Egalement, les résultats obtenus par Cang et al(2003) en chine, dans l'aliment pour animaux (dinde, poulet, porc, canard, oie, pigeon); montrent des concentrations au delà de la LMR pour le cadmium et le plomb dans l'aliment de volaille et de porc.

Les teneurs en cadmium et en plomb rapportés par Mahesar et al (2010); variant de 15 ,6 -33,6 mg/kg et 23,2-32,6mg/kg respectivement; dans l'aliment de volaille, ces concentrations dépassent la LMR , qui pourraient être néfastes pour la volaille.

Nos résultats illustrés dans la figure 24 font ressortir que le cadmium est beaucoup plus présent dans l'aliment de poulet de chair que dans l'eau ($p < 0,05$) dans les élevages de la localité d'Alger. En effet, l'aliment de volaille est préparé à partir de diverses sources et composés principalement de céréales, tels que le blé, le soja et le maïs .Toutefois, le Cd et le Pb peuvent également s'accumuler dans les plantes à partir du sol contaminé. Aussi la forte utilisation d'engrais peuvent subir une bioamplification par les plantes, qui finissent par la suite dans les aliments (Mahesar et al .;2010).

Au regard des résultats obtenus et de la bibliographie, des investigations complémentaires s'avèrent nécessaires pour évaluer le risque. Ces travaux devront porter à la fois sur les matières premières destinées à la fabrication d'aliment de bétail et sur les aliments d'origine animale ainsi que sur les mécanismes le transfert des métaux toxiques.

CONCLUSIONS ET PRESPECTIVES

Au terme de cette étude, consacrée à l'analyse toxicologique de l'alimentation de volaille en Algérie, il est possible de proposer certains éléments de conclusions et de perspectives. Les sources potentielles de métaux lourds sont multiples, ce qui complique d'autant l'analyse de ce risque. Toutefois, nous avons choisi d'évaluer la contamination par ces éléments toxiques dans l'alimentation de volaille, étant donné que la voie alimentaire représente la voie d'exposition prépondérante. Dans le cadre de notre étude préliminaire, nous avons choisi la spectrométrie par absorption atomique pour doser le plomb et le cadmium. En ce qui concerne le traitement des échantillons d'aliment pour poulet de chair, nous avons choisi parmi les différentes méthodes proposées d'opérer avec la digestion sulfo-nitrique- eau oxygénée.

Nos résultats révèlent des concentrations relativement faibles pour le plomb et également pour le cadmium dans les deux matrices étudiées, inférieures aux limites maximales autorisées par la réglementation européenne, en conséquence nos échantillons sont globalement satisfaisants.

D'autre par, les eaux analysées destinées à la consommation des volailles ont des propriétés physico-chimiques (pH, dureté) peu satisfaisantes.

Il faut se garder de considérer ces faibles teneurs comme une garantie écartant tout risque de contamination ou de pollution. En effet, ces teneurs totales ne donnent aucun renseignement sur la mobilité des métaux ou leur biodisponibilité dans les matrices étudiées, mais seulement l'expression du danger potentiel qui ne présente pas de menace pour la volaille.

Pour faire suite à cette étude; plusieurs pistes de travail peuvent être envisagées comme perspectives : Une étude plus détaillée à prévoir sur les paramètres physico-chimiques et l'évaluation des niveaux de pollution dans l'eau et leurs impacts sur nos élevages de volaille.

D'un point de vue pratique; une augmentation du nombre des échantillons à étudiés et l'utilisation d'un appareillage plus sensible et spécifique afin d'abaisser les limites de détection de nos méthodes analytiques permettra une meilleure recherche pour évaluer la pollution. Une analyse complémentaires plus étendue, visant à rechercher les métaux lourds dans d'autres matrices (le poulet de chair : abats, chair, sang) ; matières premières, les additifs, aliments pour volaille (différent stades de développement), les œufs, la litière,), pourrait nous permettre d'être davantage situé sur cet éventuel danger. Il semble également particulièrement intéressant

d'envisager des études toxicologiques complémentaires en milieu expérimental, qui seront effectuées sur la volaille. L'utilisation des méthodes moléculaires comme l'étude de diversité génétique et du flux de gène au sein des volailles, pourrait également compléter nos connaissances concernant les conséquences d'intoxication par ces éléments toxiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Abdullah Alkhalaf N, A., Osman K ., Ahmed Salama K.,2010. Monitoring of aflatoxins and heavy metals in some poultry feeds. African Journal of Food Science Vol. 4(4), pp. 192-199.

Afsset., 2006. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. La pollution atmosphérique urbaine .Fiche toxicologique. Lien internet (consulté le 01-08-11) : <http://www.afsset.fr>

Alexieva D., ChobanovaS ., Ilcheva ., 2010. Study On The Level Of Heavy Metal Contamination In Feed Materials And Compound Feed For Pigs And Poultry In Bulgaria. Trakia Journal of Sciences, Vol. 5, No. 2, pp 61-66.

Altmann L, Bottger A, Wiegand H.,1997. Neurophysiological and psychophysical measurements reveal effects of acute low-level organic solvent exposure in humans. International Archives of Occupational and Environmental Health .62: 493-9.

Anonyme. , 2011. Maladie de *itai-itai*. Lien internet (consulté le 01-06-11) : <http://www.ulg.ac.be./ocean/bio/biocand/telechargement/ecotoxpartim.1ppt> .

Anonyme., 2011.Plomb.Lien internet (consulté le 01-02-11): <http://www.wikipédia.org/wiki/plomb.fr>.

Anonyme., 2011 .Cadmium.Lien internet (consulté le 01-02-11) : <http://www.wikipédia.org/wiki/plomb.fr>.

APPL ,2003. Agence urbaine chargée de la protection et de la promotion du littoral Algérois. Rapport d'étape relatif au suivi et au contrôle de la pollution au niveau des unités industrielle de la wilaya d'Alger.

ATSDR ,1999.«Toxicological Profiles for cadmium». Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services.

Lien internet (consulté le 22-09-10) :<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.html>.

ATSDR , 2005 .«Toxicological Profiles for lead». Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services.

Lien internet (consulté le 25-01-11) :<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.html>.

B

Baize D., 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols, Paris, INRA, 408p.

Berny P., 2006. Bioaccumulation dans les chaînes alimentaires .Pharmacie-Toxicologie. Ecole vétérinaire de Lyon.

Blliefer C., Perraud R., 2001. Chimie de l'environnement : air, sol, eau, déchets. Ed de Boeck. 447p.

Bui X T., 2007.Utilisation de matrices agro-alimentaires comme indicateurs de pollutions environnementales, exemple le lait .Thèse de doctorat. Paris.162p.

Burger J., Gochfeld M .,1995.Heavy metal and selenium concentration in eggs of herring gulls (*larus argentatus*),Temporal différences form 1989-1994.Archives of Environmental contamination and toxicology 29,192-197.

C

Cang L.,Wang Y-J.,Zhou D-M., Dong Y-H.,2004.Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province ,China.Journal of Environmental Sciences .Vol .16.NO.3.pp.371-374.

Casas S., 2005.Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen,Thèse de doctorat d'Océanologie biologique, Environnement marin, Université du Sud, Toulon-Var,314 p.

Chanel O., Dolfus C., Hartemann Ph., Huel G., Larroque B., Lison D., Pinon-Lataillade G., Premont J., Zimiron D ., 1999. Plomb dans l'environnement.Quels risque pour la santé ?. Synthèse et Recommandations.

Choe SY. , Kim SJ., Kim HG., Lee JH., Choi Y., Kim Y., 2003 .Evaluation of estrogénicity of major métaux . Sci-Total Environ, 312, 15-12.

Cossa D., Bourget E., Pouliot D., Piuze J., Chanut J.P., 1980. "Geographical and seasonal variations in the relation ship between trace metal content and body weight in *Mytilus edulis*."

Mar.Biol 58: 7-14.

D

Danel V ., 1997. Intoxication par le plomb, physiologie, épidémiologie, diagnostic. Rev prat.

Darrell W. Trampel, Paula M. Imerman, Thomas L. Carson, Julie A. Kinker, Steve M. Ensley., 2003. Lead contamination of chicken eggs and tissues from a small farm flock. J Vet Diagn Invest 15:418–422.

Degernes LA., Heilman S, Trogdon M., Jordan M., Davison M., Kraege D., 2006. Epidemiologic investigation of lead poisoning in trumpeter and tundra swans in Washington State, USA, 2000-2002. Journal of Wildlife Disease, 42(2), 345-358.

Demirbas A.,1999. Proximate and heavy metal composition in chicken meat and tissues. Food and chemical toxicology .67,27-31.

Di Benedetto M., Anfossi S., Billiard E., Bonnet M., Henriot F., Kraemer F., Lechenne L., Le Herissier M., Lorin S, 1997, Méthodes spectrométrique d'analyse et de caractérisation ,Dossier SAM : Les métaux lourds ,Génie des procédés, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne,1-49.

Doelsch E.,2004 .Elément trace métallique. Inventaire de la réunion (chambre d'agriculture). France.

Douifi M.,2010. Qualité bactériologique de l'eau de boisson dans 20 élevages de poulet de chairs dans la région d'El Omaria. Mémoire de Magistère .Université de Blida, Algérie.

Druix A .,2003 .Que sais-on des effets de l'incinération des déchets sur la santé ?.Synthèse bibliographique .23p.

F

Fakayode SO.,Olu-Owolbi IB., 2003.Trace metal content and estimated daily human intake from chicken eggs in Ibadan ,Nigeria.Arch.Environ.Health58 ,245-251.

Fouchécourt M-O., Beausoleil M.,2001. Evaluation des impacts à long terme de l'utilisation agricole de matières résiduelles fertilisantes au Québec : mise en contexte et risques à la santé

associes à l'apport de cadmium et de dioxines/furannes : rapport synthèse. 99 p.

G

Galez P , 2011.Absorption atomique et Emission de flamme. Technique spectroscopiques d'analyse. Mesures Physique Annecy-MPh2 SE3 ME3.17p.

Gupta G., Subramanian B., 2005 . Adsorption of trace elements from poultry litter by montmorillonite clay, Department of Natural Sciences, University of Maryland Eastern Shore, Princess Anne, MD 21853, USA Journal of Hazardous Materials B128 (2006) 80–83.

H

Hurlbut Jr., C.S. et Klein., C, 1982. Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté , Barcelona, 564pp.

Hussein HK ., Abu-Zinadah OA. , EL-Rabey HA., Meerasahib MF.,2011. Environmental assessment of ground water pollution by heavy metals and bioaccumulation of mercury residues in chicken tissues. African Journal of Biotechnology Vol. 10(71), pp. 16089-16100.

I

INERIS , 2003. « Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Plomb et ses dérivés ». Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Lien internet (consulté le 22-09-10) : <http://www.ineris.fr>.

INERIS , 2005.« Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Cadmium et ses dérivés ». Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Lien internet (consulté le 22-09-10) : <http://www.ineris.fr>.

INSERM., 1997. Site de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale. Plomb dans l'environnement, quels risque pour la santé ?. Lien internet (consulté le 06-01-10) : <http://www.inserm.fr>.

INERIS, 2005. « Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Cadmium et ses dérivés ». Institut National de l'Environnement Industriel et des

Risques. Lien internet (consulté le 01-09-10) : <http://www.ineris.fr>

INRS ., 1997.Institut national de recherche et de sécurité. cadmium et composés minéraux. .
Fiche toxicologique n°60 : Site de l'inrs. Lien internet (consulté le 01-09-10) :<http://www.inrs.fr>

Irfana M., Shehla I ., Saeed A N., 2004. Distribution of some trace and macrominéraux in beef,mouton and poultry. International Journal Of Agriculture & Biology 1560–8530/2004/06–5–816–820.

Irrissou E., 2003.Analyse élémentaire .Microscopie. Techniques de caractérisation des materiaux.GCH70.39p.

ITAVI ., 2004. Institut Technique de L'aviculture. Eau de boisson en élevage avicole. Paris.

K

Kadem D-E-D., 2005. Évaluation Et Comportement Des Métaux Lourds(Cd – Cr – Cu – Ni – Pb – Zn Et Mn) Dans Les Sols À Vocation Agricole Et À Végétation Naturelle Soumis À Une Pollution Atmosphérique. (El-Hadjar – Annaba – Est Algérien). Influence De La Végétation Sur La Dynamique de ces Métaux. Thèse de doctorat. Université Mentouri De Constantine, Algerie.76p.

Kaimoussi A., Mouzdahir A., Saih A., 2005. Variations saisonnières des concentrations en métaux (Cd, Cu, Fe, Mn et Zn) chez l'algue *Fucus spiralis* du littoral de la ville d'El Jadida (Maroc). Water Qual. Res. J. Canada, 2005 • Volume 40, No. 1, 102–110.

KaoT ., El Mejahed K. , Bouzidi A.,2007. Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n°29, 89-92.

Kippre AV., Bojdi NC ., 2010. Détermination des niveaux de contaminations chimique et parasitaire des fourrages vendus sur les marchés à bétail d'Abidjan. Revue Africaine de Santé et de Productions Animales .RASPA Vol.8 NOS

L

Ladji R., Yassaa N.,Meklati BY.,2005.Caractérisation chimique de la fraction organique et inorganique de l'aérosol dans l'atmosphère de la décharge municipal de Oued

Smar(Alger).Compte –Rendu du séminaire sur Pollution de l’Environnement en Algerie.La collaboration entre l’Agence de coopération internationale japonaise (JICA) et l’Observatoire national de l’environnement et du développement durable (ONEDD).

M

Mahesar SA., Sherazi STH., Naiz A.,Bhanger MI.,Sirajuddin.,Rauf A.,2010. Simultaneous assessment of zinc,cadmium,lead and copper in poultry feeds by differential pulse anodic stripping voltammetry. Food and toxicology 48.2357-23-60.

Mehennaoui S., Haddi ML., Arab H.,2009. Evaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones arides et semi-aride en Algerie. Sciences & Technologie C – N° 30 , pp.50-58.

Mehennaoui S.,Afri-Mehennaoui F-Z., 2004. Comparaison de trois techniques d’extractions pour la détermination des éléments traces métalliques dans les sédiments de l’oued Rhumel et son affluent l’oued Boumerzoug en zone urbaine (Constantine). Sciences & Technologie C- N°21, pp. 20-38.

Mekaikia M., Belabbed B E.,Djabri L., Hani A., Laour R.,2007. Caracteristiques de la decharge publique de la ville de tiaret et son impact sur la qualite des eaux souterraines. Courrier du Savoir – N°08, Juin 2007, pp.93-99.

Meklati A-K., 2009.La mise en place d’un plan d’intervention en cas de sécheresse pour la wilaya d’Alger .Memoire de Magistere. Université de Boumerdés ,Algerie. 81p.

Mench M, Baize D., 2004. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces. Courrier de l’environnement de l’INRA n°52.

Mills NL., Donaldson K., Hadoke PW., Boon NA., Macnee W., Cassee FR., Sandsti T., Blomberg A.,Newby DE.,2009.Adevrse cardiovasculaire effects of air pollution ,Nat clin Part cardiovasculaire Med6(1)36-44.

Miquel G ., 2001. Les effets des métaux lourds sur l’environnement et la santé In : Rapport d'information n° 261 (2000-2001) de M. Gérard MIQUEL et plusieurs de ses collègues, fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques, déposé le 5avril 2001.

Moali M., Houas O., Lakhdari M., Necaouni L., Guerida D., Eguchi M., 2005. Détermination des métaux lourds dans les effluents industriels, Compte-Rendu du séminaire sur Pollution de l'Environnement en Algérie. ONNED et JICA.

Montiel A., 2007. Qualité de l'eau en élevage avicole. CES Eau de l'AFSSA. Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France.

Mori I., Nishikawa M., Tanimura T., Quan H., 2003. Change in size distribution and chemical composition of kosa (Asiandust) aerosol during long-range transport. Atmos. Environ, 37, 4253-4263.

N

Nakhalé K F., 2003. Le mercure, le cadmium et le plomb dans les eaux littorales libanaises, apport et suivi moyen de bio indicateurs quantitatifs (éponges, bivalves, gastéropodes). Thèse de doctorat. Université Denis DIDEROT. Paris.

Neff JM., 2002. Bioaccumulation in Marine Organisms: Effect of contaminants from oil well produced water, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Nicholson FA., Chambers BJ., Williams JR., Unwin RJ., 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in the environment in England and Wales. Bioresour. Technol. 70:23-31.

NRC., 2005. Minéral Tolérance of Domestic Animals, National Academies Press, Washington DC, 477p.

Nys Y., 2001. Oligo-éléments, croissance et santé du poulet de chair, INRA Prod Animal, 14(3), 171-180.

O

OMS., 2000b. Plomb, In directive de qualité pour l'eau de boisson ; Volume 2 - Critères d'hygiène et documentation à l'appui Organisation mondiale de la santé, Genève. 340-363 p.

OMS., 1993. Guidelines for drinking-water quality, Geneva, Switzerland.

P

Peltier A., Boulet A., 1994. Laboratoires et organismes agréés à l'évaluation de l'exposition au plomb. Résultats des essais de qualité. Cahiers de notes documentaires –Hygiène et sécurité du travail, 154pp, 43-49.

Perrin J-B., 2007. Les plans de surveillance et de contrôle dans l'analyse du risque alimentaire aux métaux lourds en France. Thèse pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire .Ecole National Vétérinaire de Lyon.147p.

Picot A., 2003 , Le mercure, le plomb et le cadmium trois : métaux traces toxiques. Conférence ADNO 29 novembre 2003. Paris.

Pitot, C.H., Dragan, P.Y., 1996. Chemical carcinogenesis. In: Casarett and Doull's Plomb dans l'environnement : Quels risques pour la santé ?. Synthèse et recommandations.

Pokras M. A., Kneeland M. R., 2009. Understanding lead uptake and effects across species lines: A conservation medicine approach. In R. T. Watson, M. Fuller, M. Pokras, and W. G. Hunt (Eds.). Ingestion of Lead from Spent Ammunition: Implications for Wildlife and Humans. The Peregrine Fund, Boise, Idaho, USA. DOI 10.4080/ilsa.2009.0101.

R

Rabiowitz ,1976. Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans.J Clin Invest.58(2),260-270.

Richard –Mazet S., 2008. Etude écotoxicologique et environnementale de la rivière Drôme : application à la survie de la loutre. Thèse de doctorat. Université de Joseph Fourier-GrenobleI-France .228p.

Robert, P. et Jean –Pierre, S., 2007. Chimie industrielle, 2ème édition, Masson, pp 1024 ,1046.

Rodier J.,2005. L'analyse de l'eau 8ème édition Dunod.

Rouessac F Rouessac A., Cruché D., 2004. Analyse Chimique, Méthodes et techniques instrumentales modernes, 6ème édition. Dunod , Paris .

S

Salvarredy Aranguren MM ., 2008 .Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. These de doctorat de l'Université de Toulouse,488p.

Sardar W-H., Imran H.,Syed Mubbasher S.,2003.Effect of environmental pollution on quality of meat in district bagh ,Azad Kashmir. Pakistan Journal of Nutrition 2(2) ,98-101.

Satarus S., Moore MR ., 2004. Adverse Health Effects of Chronic Exposure to Low-Level Cadmium in Foodstuffs and Cigarette Smoke. Environ Health Perspect. 1; 112(10): 1099-1103. published online before print March 25, 2004.

Sikiric M ., Brajenovic N ., Pavlovic I ., Havranek JL ., Ptavljanic N.,2003. Détermination of métaux in cow's milk by flame atomic absorption spectrométry .Czech J.Anim.Sci 48(11) ,481-486.

Silva E., Lopez-Espinosa MJ., Molina J-M.,2006. Lack of activity of cadmium in vitro estrogenicity assays.Toxicol Appl Pharmacol 216 ,20-28.

SWA ., 2008. Saskatchewan Watershed Authority Rural Water Quality Data Base. A data base for water samples from farms and small communities. Obtained from SWA in August, 2008.

T

Telisman S., Cvitkovic P., Jurasovic J, Pizent A., Gavella M., Rocic B., 2000.Semen quality and reproductive endocrine function in relation to biomarkers of lead, cadmium, zinc, and copper in men.Environ Health Perspect. 2000 Jan; 108(1): 45-53.

Thornton I., Abrahams P.,1983 .Soil ingestion a major pathway of heavy metals into livestock grazing contaminated land,Sci Total Environ ,82,287-94.

Travel A ., Chevalier D ., Merlet F., Fulbert L. ,2007. Facteurs de variation de la qualité bactériologique de l'eau en élevage de dindes. Travail cofinancé par le CIDEF, l'Office de l'Elevage et l'ADAR. Septièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France.

U

Uzu G., 2009. Spéciation, transfert vers les végétaux et approche toxicologique des émissions atmosphériques d'une usine de recyclage .Thèse de doctorat. Université de Toulouse.207p .

V

Vandegans J., Kersabiec A-M ., Hoeing M ., 1997. Spectrométrie d'absorption atomique .Technique de l'ingénieur, traité analyse et caractérisation.Doc.PE2862.27p.

Vial J., Le Mapihan L., Jardy A., 2002. Qualification, validation et test de conformité: outils indispensables pour la sécurité des analyses.,Bioforum International ,2ème Edition Française.

Vial J., 2006. Définition de la validation d'une méthode et outils associés .Journé de formation Scientifique en Spectrométrie Atomique .Laboratoire Environnement et Chimie Analytique de l'ESPCI.

Viala A ., 2007.Toxicologie . 2 ème édition, TEC et DOC Lavoisier.

Villate V., 2001. Maladie des volailles, Manuel pratique (2 eme ed) .Edition France agricole.

Vodela J K. ., Lenz SD, Renden JA ., Mcelhenney WH ., B. W. Kemppainen B W.,1997. Drinking Water Contaminants (Arsenic, Cadmium, Lead, Benzene, and Trichloroethylene). 1. Interaction of Contaminants with Nutritional Status on General Performance and Immune Function in Broiler Chickens. Environment and health. Poultry Science 76:1474–1492.

W

WHO., 2001. Regional Office for Europe. Programme for the Assessment and Control of Pollution in the Mediterranean Region (MED POL Phase III). EUR/ICP/ HEV-MED 5022113 Original: English Unedited.

Y

Younsi A., Chofiqi G., Lhadir K., Mamia J., Veron A.,2007 .Impact environnemental d'une décharge publique non contrôlé sur la population et les eaux souterraines ,cas d'El Djadida ,Maroc. Présentation en France.

Z

Zanobetti A., Schwartz D., 2005. The Effect of Particulate Air Pollution On Emergency Admissions for Myocardial Infarction: a Multi-city Case-crossover Analysis. Accepted Environ Health Perspective.113(8) ,987-982.

Zraly Z, Pisarikova B, Trckova M, Navratilova M., 2008. Effect of Humic Acids on Lead Accumulation in Chicken Organs and Muscles. ACTA VET. BRNO, 77: 439–445; doi:10.2754/avb200877030439.

ANNEXES

Annexe I

Matériels de laboratoire

Pour la détermination du plomb et le cadmium

Une étuve (ASEL HEARSON).

Une balance de précision (Mettler AE 160).

Un agitateur magnétique.

Une plaque chauffante.

Un distillateur (SCHOT).

Un distillateur(A4000D).

Dessiccateur.

Papier filtre spécial métal (Whatman).

Creusets en porcelaine.

Flacons pour conserver les échantillons.

Equipement de sécurité (gans en latex, Masque).

Macro(aspirateur pour pipette)(BRAND).

La verrerie

- Fioles jaugées de 100 ml ,50 ml ,25ml, en polypropylènes
- Eprouvette de 50 ml
- Ballon a col rodé de 100 ml
- Pipettes en verre graduées de 1ml,2ml ,5ml,10ml,20ml,25ml.
- Entonnoirs
- Erlenmeyer

Pour l'analyse physico-chimique de l'eau

Idem que la verrerie cité au dessus +Burette

Equipement (Thermomètre ,pH mètre (multi720)).

Les réactifs

- Solution tampon (pH=10)
 - Chlorure d'ammonium34g
 - Ammoniaque (d=0,925).....285ml
 - Tartrate double de Ket Na.....200g
 - Eau distillé.....1000ml
- Sel di-sodique de l'EDTA(acide éthylène diamine tetra-acétique)
(N/50)
 - Sel disodique de l'EDTA.....4g
 - Chlorures de magnésium.....0,1g
 - Eau distillée.....1000ml
- Eriochrome noir T(indicateur)
 - Eriochrome noir T0, 25g
 - Alcool absolu (éthanol).....100ml

Cette solution doit être conservée à l'abri de la lumière.

- Acide sulfurique M/20.
- Indicateur à phénophtaléine dissoudre 1g de phénophtaléine dans 100ml d'éthanol.
- Indicateur à méthylorange (0,5%).

Interprétation des résultats de la duresté

La duresté de l'eau analysée, si la prise d'essai était de 50 ml, est donnée par l'expression :

$$THT = 4 \cdot \frac{V}{10} = 2 \cdot \frac{V}{5} \text{ meq/l}$$

$$1 \text{ meq/l} = 5 \text{ }^\circ F$$

$$THT = 2 \cdot V \text{ (}^\circ F\text{)}$$

DURETE	QUALITE DE L'EAU
0 – 3	Eau très douce et sans minéralisation
4 – 12	Eau douce et à faible minéralisation
14 – 35	Eau de dureté moyenne et minéralisation légère
40 – 65	Eau nettement dure et de minéralisation notable
65 – 120	Eau extrêmement dure et fortement minéralisée

- Intérêt de la détermination de la dureté :

Une eau douce ne permet pas l'instauration de la couche carbonatée assurant une protection des canalisations contre les risques de corrosion ; par contre, une dureté élevée constitue un risque important d'entartrage des canalisations.

Au-delà de 20 °F, l'eau peut devenir entartrante, et en dessous de 10 °F, elle risque de devenir agressive et susceptible de détériorer les canalisations.

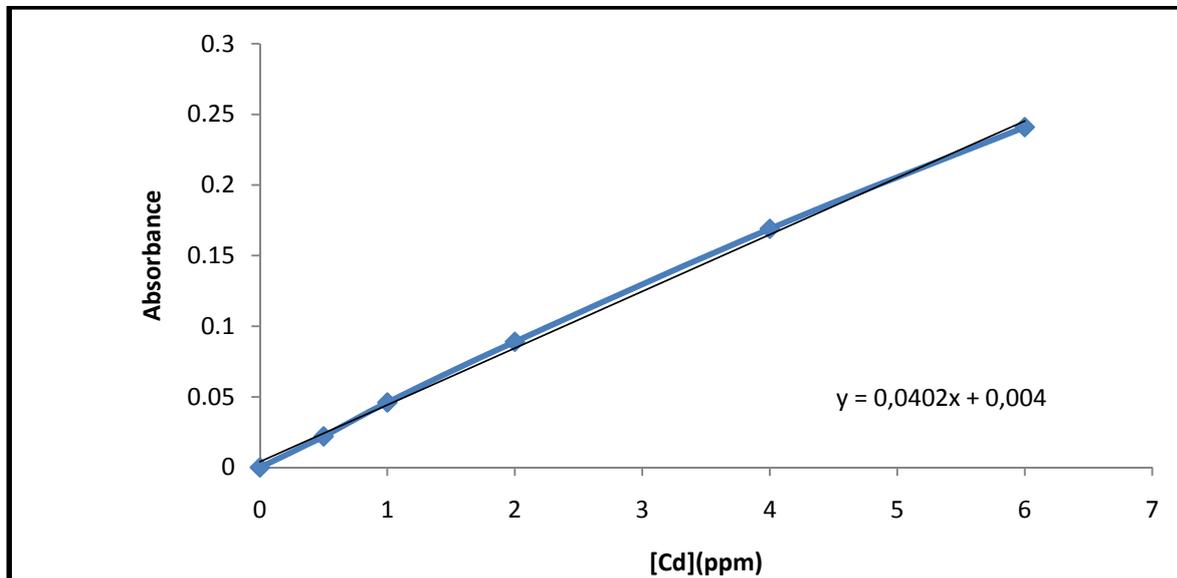
Une eau dure est plus agréable à boire mais présente certains inconvénients d'ordre domestique :

- ✓ Utilisation accrue de savon,
- ✓ Entartrage des tuyaux d'eau chaude, des chaudières, ... etc.
- ✓ Augmentation du temps de cuisson des légumes.

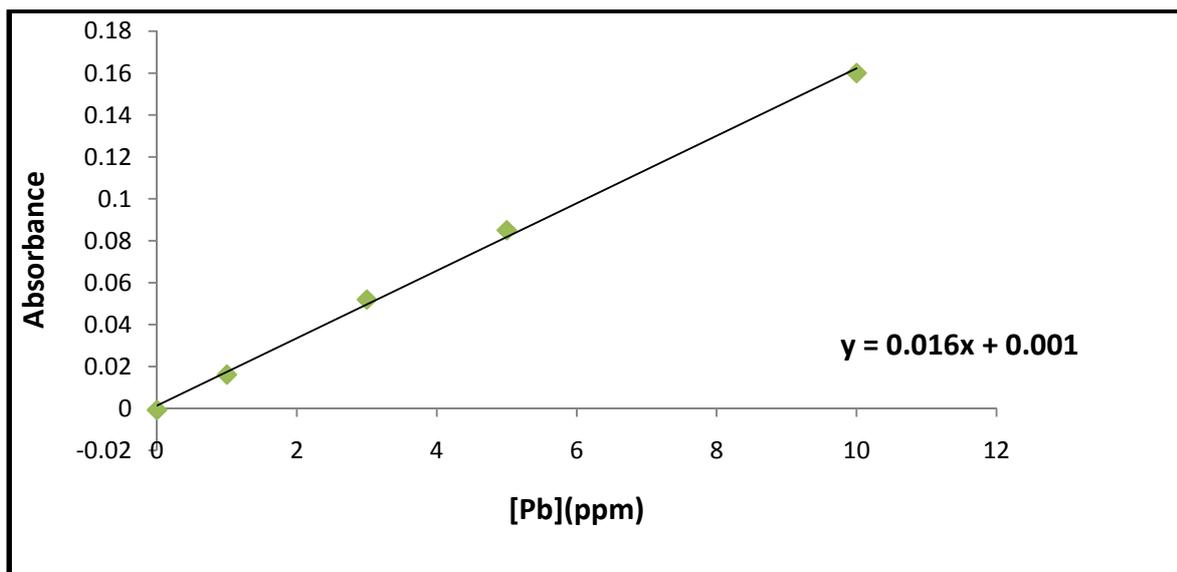
Impact des paramètres physico-chimiques

(source ITAVI ,2004 ; Cleva , 2004 ; Guide d'élevage du CIDEF)

Paramètres	Teneurs préconisées	Incidences si teneurs inférieures	Incidences si teneurs supérieures
pH	5 à 6	<ul style="list-style-type: none"> - Troubles urinaires ou digestifs. - Fragilisation du squelette. - Diminution de la solubilité de certains antibiotiques acides. - Dégradation des matériaux oxydables en contact avec l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la solubilité de certains antibiotiques basiques. - Inhibe des vaccins. - Augmentation de la prolifération des bactéries Gram négatif . - Diminution de l'efficacité de la chloration. - Dépôts incrustants favorisant le développement du biofilm
Dureté	10 à 15°F	<ul style="list-style-type: none"> - Carence des animaux en oligoéléments. - Diminution de la solubilité des sulfamides. - Corrosion du matériel métallique. - Solubilisation des métaux lourds. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution d'absorption des oligo-éléments par les animaux. - Sous abreuvement si la température élevée. - Diminution de la solubilité de certains antibiotiques et vitamines. - Formation de complexe insoluble entre les ions calcium, magnésium , et les molécules actives des antibiotiques (Tétracycline notamment). - Entartrage du matériel. - Précipitation des détergents
Température	-	-	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la destruction des produits par hydrolyse.

Annexe IICourbes d'étalonnages

Zone de linéarité est comprise entre 0 et 6 ppm et le coefficient de corrélation R^2 est de 0,995, la pente de la droite de régression est de 0,0402.



Zone de linéarité est comprise entre 0 et 10 et le coefficient de corrélation R^2 est de 0,999, la pente de régression est de 0,0161.