

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la
Vie
Département des Sciences de
l'Environnement et des Sciences
Agronomiques



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم البيئة والعلوم
الفلاحية

Mémoire de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Toxicologie Fondamentale et Appliquée

Thème

Evaluation de la contamination par les ETMs des
céréales importées et locales

Membres de Jury :

Président : Dr. BOULDJEDRI M.

Examinatrice: Dr. FAR Z.

Encadreur : Pr. LEGHOUCHI E.

Présenté par :

MOUSSAOUI Roufaïda

MOUSSOU Souheyla

Année Universitaire 2018-2019

Numéro d'ordre :

Remerciement

*Avant tout, nous remercions le bon dieu tout puissant
de nous avoir la santé, la volonté, la patience.*

*Nous tenons remercier notre encadreur Pr. Essaid LAGHOUCI
pour ces précieuses orientations, son aide
ses conseil de recherche.*

*Nous remercions aussi notre jury le président BOULDJEDRI M ainsi que
l'examineur FAR Z pour leur présence. de m'avoir honoré en
acceptant de juger mon modeste travail.*

*Nous remercions aussi les ingénieurs de laboratoire et surtout Mme Aicha
pour nous avoir guidés avec compétence et qui nous a donné un sens de
travail toujours bien fait.*

*Un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué
de prés ou de loin à la réalisation de ce
mémoire de fin étude.*

Souheyla et Roufaida

Dédicace

*J'ai le grande plaisir dédier ce modeste travail aux
personne qui me sont les plus chères :*

*Ma très chère mom mère Fatima et mon père Aziz de leur soutien tous
les années de mes études et qui ont contribué à ma réussite*

« Que dieu les protège »

Mes sœurs : Hafida, Nacira, Moufida et Nabila

Mes frères : Ahmed, mokhtar, Nouradine, et Fatah.

Ma belle sœur : Radia et tout sa famille.

Mes neveux et mes nièces : Adam, Loukman, Sana, et Hana.

Toute la famille « MOUSSOU » et « ZAABAT ».

A ma binôme « Roufaida », sa petite et tout sa famille.

A toute la promotion toxicologie fondamentale et appliqué 2018 -2019.

A tous ceux que j'aime et je respect.

Souheyla

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à
mes chères parents :*

*Mon père Houcine et mon adorable maman Saaida pour leur soutien, leur
patience, leur encouragement durant mon parcours scolaire.*

*A mon mari Yesser qui m'a toujours encouragé et qui à été compréhensif
et patient et tout les membres de sa famille et en particulier oncle Alli et
tente Ghania.*

A mes sœurs : Meriemme, Imane, son mari et son petit Adem.

A mon frère : Brahime et Mouhemmede ainsi a tout ma famille.

A mon amie : Bouchra.

*A la personne qui à supporté mon humeur au moment de stresse, ma
binôme et ma meilleure amie Souheyla.*

A toute la promotion toxicologie fondamentale et appliqué 2018-2019.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment

Roufaida

Sommaire

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Liste des abréviations.....	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Introduction.....	1

Partie I : synthèse bibliographique

Chapitre I : les éléments traces métalliques.....	2
I-définition des éléments trace métalliques.....	2
II-la source des éléments trace métallique.....	3
II-1-source naturelle.....	3
II-2-source anthropique.....	3
III-contamination en ET des sols et des aliments d'origine végétale.....	3
IV- La toxicité des ETMs.....	4
V- les éléments traces métallique étudient	5
V-1 : Cadmium.....	5
V-1-1- généralité et propriété sur le cadmium.....	5
V-1-2-L'utilisation et les sources d'expositions.....	5
V-1-3-transfert de cadmium dans le sol au végétal.....	6
V-1-4-La métabolisme et la toxicité de cadmium.....	6
V-2- Cuivre.....	7
V-2-1- Généralité et propriété sur le cuivre.....	7

V-2-2- Principale minéraux.....	8
V-2-3- Utilisation de cuivre.....	8
V-2-4- La toxicité de cuivre.....	8
V-3- Zinc.....	9
V-3-1- Généralité et propriété sur le zinc.....	9
V3-2- Utilisation de zinc.....	9
V-3-3- Métabolisme de zinc.....	9
V-3-4- La toxicité de zinc	10
Chapitre II : les céréales.....	11
I- généralité sur la céréale.....	11
II-utilisation des céréales.....	12
III-le blé.....	12
III-1-définition.....	12
III-2- Taxonomie.....	13
III-3- l'importance et utilisation de blé.....	13
IV-les grains de blé.....	13
IV-1- définitions.....	13
IV-2-structure de grain de blé.....	14
IV-3-composition des grains de blé.....	15

Partie II : matériel et méthodes

I-matériel.....	15
I-1-matériel végétale.....	15
I-2-produit chimique et réactif.....	15

I-3-appareillage.....	15
II-méthodes.....	15
II-1-préparation la poudre de grain de blé.....	15
II-2-préparation des échantillons pour le dosage.....	16
II-3-dosage de cadmium par SAA.....	16

Partie III : Résultats et discussion

I- teneur en ETM dans le blé.....	18
I-1- teneur en cd dans le blé.....	18
I-2- teneur en Zn dans le blé.....	19
I-3- teneur en Cu dans le blé.....	20
Conclusion.....	23
Référence bibliographique.....	24
Annexes	

- As** : Arsenic
- Cd** : Cadmium
- Cu** : Cuivre
- Cr** : Chrome
- ET** : Élément Trace
- ETM** : Élément Trace Métallique
- FPGN** : Fond Pédogéochimique Natural
- g** : gramme
- g/mol** : gramme par mol
- H₂O₂** : l'eau oxygénée
- H₂SO₄** : l'acide sulfurique
- Hg** : mercure
- HNO₃** : l'acide nitrique
- mmhg** : millimètre de mercure
- min** : minute
- mg** : milligramme
- mg/kg** : milligramme per kilogramme
- mg/l** : milligramme per litre
- ml** : millilitre
- MT** : Million de Tonne
- Ni** : Nickel
- Ni-Cd** : Accumulateur Nickel-Cadmium
- OAIC** : Office Algérien Interprofessionnel de Céréale

Pb : Plomb

PH : Potentiel Hydrique

PNNS : Programme National Nutrition Santé

ppm : partie par million

SAA : Spectrophotomètre d’Absorption Atomique

Se : Sélénium

Sn : étain

µg/g : microgramme par gramme

Zn : zinc

Figure 1 : Cycle simplifié des ETMs depuis les émissions jusqu'à l'exposition humaine.....	4
Figure 2 : Morphologie mondiale des différents grains des céréales	11
Figure 3 : Production mondiale des principales céréales.....	12
Figure 4 : La structure et la composition de la graine de blé.....	14
Figure 5 : variation des teneurs en cadmium dans le blé des différents pays.....	19
Figure 6: variation des teneurs en Zn dans le blé des différents pays.....	21
Figure 7 : variation des teneurs en Cu dans le blé des différents pays.....	22

Tableau 1 : Effet majeure toxique et écotoxique des ETMs	2
Tableau 2 : Propriété physicochimique de Cd.....	5
Tableau 3 : Classification botanique du blé.....	12
Tableau 4 : Teneur en cadmium dans le blé.....	18
Tableau 5 : Teneur en Zn dans le blé.....	19
Tableau 6: Teneur en Cu dans le blé.....	20

L'environnement est exposé quotidiennement à des différentes sources des polluants, parmi ces polluants, les éléments trace métalliques (ETM). Les éléments traces métalliques sont naturellement présents mais à des quantités très faibles dans les sols, l'eau et l'air et ne sont pas biodégradables. Ils s'introduisent dans l'environnement de diverses façons: extraction minière, combustion de déchets, feux de forêt, fumée de cigarette. Certains métaux sont indispensables aux organismes vivants, d'autres, par contre, ne le sont pas.

Parmi ces ETMs, on peut citer surtout le Pb, l'Hg et le Cd. Ils présentent une toxicité même à des faibles concentrations, et aussi le fer le zinc et le cuivre sont des éléments essentiels pour les organismes vivants mais à des faibles quantités.

Les céréales constituent, depuis cette transition du chasseur- cueilleur vers l'agriculteur, une part essentielle de l'alimentation humaine. Les grains de céréales sont caractérisés par leur richesse en amidon et une teneur en protéines d'environ 10 %. Ils sont également une source de fibre alimentaires et de micronutriments (vitamines, minéraux, etc.) (**Saulnier, 2012**). Les principaux types des céréales sont : maïs, riz et le blé

Le blé constitue l'une des principales cultures dans le globe. Les produits issus de sa transformation sont utilisés sous différentes formes et constituent des éléments dominants dans les modèles alimentaires de la population mondiale. On distingue 2 types de blés : le blé tendre et le blé dur.

Ce travail a été réalisé dans l'optique de répondre à la question principale suivante: quelle est la relation entre les ETMs et les céréales et comment évaluer les niveaux d'une contamination métallique dans le blé?

L'objectif de cette étude c'est l'évaluation du risque d'une contamination métallique par le cadmium dans les céréales (blé) importées et locales.

Ce mémoire s'organise en trois parties décrites comme suivant :

- la première partie présente une synthèse bibliographique ;
- la deuxième partie présente la méthodologie et les techniques de dosage utilisées ;
- la troisième partie est consacrée aux résultats et la discussion.
- et en fin une conclusion.

Chapitre I : Les éléments traces métalliques

I. Définition des éléments traces métalliques (ETMs)

Les éléments trace (ou éléments traces) sont les 80 éléments chimique, constituants de la croûte terrestre continentale, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0.1%. Ils ne représentent à eux tous que 0.6% du total, alors que les 12 éléments majeurs interviennent pour 99.4%. Fer, aluminium et manganèse sont les éléments majeurs le plus souvent analysés.

Lorsque les éléments traces sont des métaux (par exemple Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), ils sont nommés « éléments traces métalliques » (ETM) (Baiz, 2009).

Les ETMs tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel sont indispensables au développement des végétaux et des animaux, cependant à de trop fortes doses ils peuvent se révéler toxique. D'autre, tels que le cadmium, le plomb... dont le caractère indispensable n'a pas été démenti sont potentiellement toxique (Lebourg et al., 1996).

Enfin, une des particularités de ces éléments est d'entraîner des effets majeurs sur la santé humaine (caractère toxique des substances) et/ou sur les écosystèmes (caractère écotoxique des substances) en cas d'exposition (tableau 1) (Sparks, 1998).

Tableaux 01 : Effets majeurs toxiques et écotoxiques des éléments traces métallique (Sparks, 1998).

ELEMENT TRACE METALLIQUE	EFFET(S)
As	Toxique, possible cancérigène
Cd	Hypertension, dommages sur le foie
Cr	Cancérigène sous forme de Cr(VI)
Cu	Peu toxique envers les animaux, écotoxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés
Hg	Toxicité chronique et aiguë
Ni	Allergies de peau, maladies respiratoires, possible cancérigène
Pb	Toxique
Se	Essentiel à faibles doses, Toxique à doses élevées
Zn	Ecotoxique pour les végétaux à de fortes teneurs

II. Sources des ETMs

Les éléments traces dans les sols peuvent avoir deux origines : naturelle ou anthropique (Villaneau et al., 2008).

II.1. Source naturelle

Les ETMs présents naturellement dans les sols sont issus de l'hérités des matériaux parentaux (ou roche mères) dont ces sols sont issus par altération biogéochimique (Mathien, 2008).

Le fond pédogéochimique naturel (FPGN) est la concentration d'un élément chimique dans un sol (que ce soit un élément majeur ou un élément en trace) résultant des évolutions naturelles, géologiques et pédologique (Baiz, 2009).

Les contaminations des sols par les éléments en traces y sont relativement fréquentes, du fait par exemple du régalaage sur les parcelles agricoles des boues de curage des cours d'eau et canaux, des rejets des industries, du recyclage en agriculture des boues de stations d'épuration des eaux (Sterckeman et al., 2007).

III. Contamination en ETM des sols et des aliments d'origine végétale

L'exposition des végétaux aux ETMs a une double origine. Par voie aérienne, les ETMs sont présents ou déposés à la surface des organes (feuilles, tiges) et ils pénètrent dans les stomates sous forme de particules, de composés (Hg, As, Se, Sn⁴, etc.), ou dissous dans les eaux de pluie ou d'irrigation. Seule une partie de ces dépôts est enlevée par lavage.

Les ETMs peuvent aussi être absorbés par les racines dans la solution du sol. Une fois prélevés par un organe, les ETMs sont stockés ou transportés du lieu d'absorption vers un autre organe.

L'importance relative de ces deux voies d'exposition dépend des ETMs, des plantes et de la proximité d'une source de contamination (émissions industrielles ou urbaines, routes, etc.) Souvent voie majoritaire, l'exposition des racines est inféodée à la nature du sol et à son fonctionnement mais également au type de contamination. La contamination des sols augmentes la probabilité d'exposition via la solution du sol et aussi celle par ingestion directe (Mench et Baize, 2004) (figure 1).

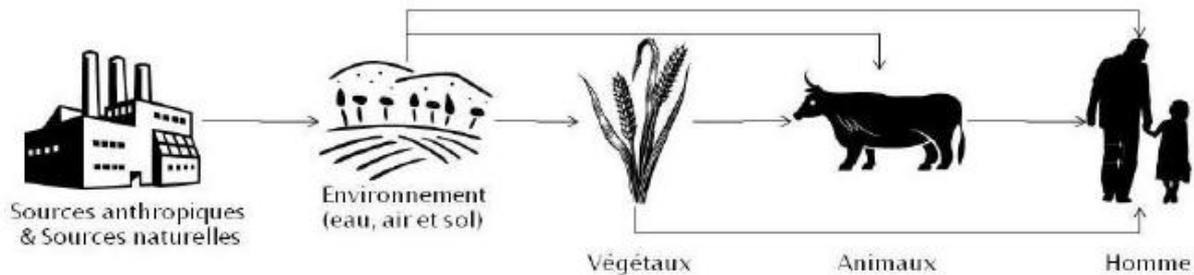


Figure 1 : Cycle simplifié des éléments traces métalliques depuis les émissions jusqu'à l'exposition humaine (Gouzy et Ducos, 2008).

IV. La toxicité des ETMs

Les métaux sont parmi les plus anciens toxiques connus, ceci est lié à leur usage ancien. Il y a eu pendant une très longue période, une absence totale de préoccupation en ce qui concerne leur impact sur la santé de l'homme, ainsi que sur l'environnement. De plus, ils sont bioaccumulables, d'où des effets à plus ou moins long terme. Une caractéristique importante des métaux au plan toxicologique est qu'ils ont la capacité de réagir dans les processus biologiques après la perte d'électron(s). Ils présentent en outre la particularité d'être à faible dose pour nombre d'entre eux essentiels dans le métabolisme, mais ils peuvent devenir toxiques à dose plus élevée. Ils se distinguent également de nombreuses autres substances toxiques par le fait qu'ils ne sont pas métabolisés dans l'organisme, exception faite de l'arsenic qui subit une méthylation hépatique. Ils sont aussi parfois susceptibles de changer de valence, comme le chrome, ce qui constitue une autre voie de détoxification (Goullé et al., 2012).

Certains métaux sont impliqués dans des pathologies neurologiques. C'est par exemple le cas du Cu dans la maladie de Wilson. Il s'agit d'une maladie génétique autosomique récessive caractérisée par une accumulation de ce métal dans divers organes dont le foie et le cerveau. Elle est provoquée par une mutation dans un gène codant pour une ATPase, ATP7B, qui est une pompe à Cu, et s'accompagne d'une accumulation cellulaire de Cu.

Le Fe l'élément trace le plus abondant du corps humain, est également associé à plusieurs pathologies neurodégénératives comme l'ataxie de Friedreich, la plus fréquente des ataxies héréditaires, ou la maladie de Parkinson (MP). Celle-ci se caractérise par l'atteinte préférentielle de neurones dopaminergiques du mésencéphale et, en particulier, ceux localisés dans la substance noire pars compacta (SNpc) (Bohic et al., 2011).

Des pathologies variées : agranulocytose (arsenic, mercure) ; granulomatose toxique (béryllium, cobalt, titane, aluminium, cuivre, baryum, nickel) ; neuropathie médicamenteuse (lithium) ou toxique (plomb, arsenic, thallium), .brose systémique néphrogénique (gadolinium) (Goullé et al., 2010).

V. Les éléments traces étudiés

V. 1. Cadmium

V.1.1. Généralités et propriétés du cadmium

Le cadmium est un métal peu répandu à l'état naturel et présent à l'état d'impuretés dans divers minerais, notamment le zinc, le plomb et le cuivre. Son nom d'origine *cadmia* en latin et *kadmeia* en grec. Le Cd est un métal dont le numéro est 48 dans la classification périodique des éléments et la valence est 2. C'est un élément lourd, de masse volumique 8.65 g/cm³. Sa température fusion est de 321°C et d'ébullition de 765°C (tableau 2). Il est essentiellement extrait à partir de minerais de zinc dont il constitue une impureté. Comme le plomb, il est également obtenu par recyclage du métal. Il entre dans la composition d'accumulateurs électriques, de pigments, de stabilisants. Il est utilisé en galvanoplastie et dans des alliages (Goullé et al., 2010). Le cadmium se transformant rapidement dans l'air sous forme d'un oxyde métallique. Il est insoluble dans l'eau et dans la plupart des solvants organique. (Andujar et al., 2010).

Tableau 2 : Propriétés physicochimique du cadmium (Capinh, 2005)

Propriétés	Valeurs
Masse molaire	112.41 g/mol
Pression de vapeur	7.5×10^{-3} mmhg à 257c
Solubilité dans l'eau	Non soluble à 20 °C
Etats d'oxydation	2(0 et +2)

V.1.2. Utilisation et source d'exposition

V.1.2.1. Utilisation

Utilisé comme accumulateur électrique, pigments pour peintures, stabilisant pour matières plastique et utilisé en galvanoplasie (Poey et philipert, 2000). Le cadmium est principalement un sous produit de l'industrie métallurgique du zinc, sous forme de sulfure de cadmium en association avec du sulfure de zinc, mais également du plomb, du cuivre ou des phosphates, aussi bien lors de l'extraction, que de la fonte ou du raffinage de ces minerais.

IV.1.2.2. Source d'exposition

Deux principales sources d'exposition au cadmium pour la population générale : l'alimentation et le milieu professionnel. Le cadmium est présent de façon importante dans certains aliments, comme les fruits de mer, les abats, certaines céréales (riz, blé...), les champignons et les légumes et, dans une moindre mesure, dans le poisson, les fruits et la viande. En milieu professionnel, les situations d'exposition sont constituées surtout par l'exposition à la vapeur ou des fumées contenant du cadmium, notamment lors de travaux de soudure et de la fabrication de pigments, d'accumulateurs ou lors du découpage d'alliages au cadmium (**Andujar et al., 2010**).

V.1.3. Transfert du cadmium dans le sol au végétale

De nombreuses recherches ont été consacrées au devenir du cadmium dans le sol et sa biodisponibilité pour les plantes. De façon général une corrélation positive, hautement significatives existe entre la teneur du sol en cadmium et celle des végétaux. Le cadmium est un élément translocable : la teneur de certains plants est directement proportionnelle à celle des sols, sans seuil de saturation, contrairement à ce qui est observable pour divers minéraux tel que le cuivre ou le plomb. Plusieurs éléments interviennent dans ce transfert, on souligne en particulier :

- la nature de sol et son PH : l'acidification d'un sol favorise l'exportation du cadmium vers la flore, diminution de 1 unité de PH (5.9 à 4.9) augmente de 100 % la concentration du Cd dans les graines d'avoine.
- l'espèce végétale et la partie de la plante considérée : schématiquement les racines, les bulbes, les grains et les partie feuillues sont en général les plus riches en Cd (**Burgat-Sacaz et al., 1996**).

V.1.4. Métabolisme et toxicité du cadmium

IV.1.4.1. Métabolisme (Poey et Philibert, 2000).

- Absorption digestive, elle est de l'ordre de 5 %,
- par inhalation, c'est (a principale voie de pénétration en milieu industriel ; suivant la taille des particules, de 6 à 30 % du Cd inhale sont absorbés par les poumons,
- Transport-distribution : élément cumulatif, le Cd se fixe sur une petite protéine la metallothionine. L'accumulation se fait surtout dans les reins, le foie, les poumons. la demi-vie biologique varie de 10 à 30 ans d'où une augmentation de la charge corporelle tout au long de la vie,
- Excrétion : elle est partiellement urinaire mais surtout fécale.

IV.1.4.2. Toxicité (Poey et philibert, 2000).

- **Toxicité aiguë** : la symptomatologie après inhalation ressemble à celle de la « fièvre des fondeurs » : hyperthermie, céphalées, nausées, fatigabilité. La mort peut intervenir après une pneumonie. Intoxication par voie orale (beaucoup plus rare) se traduit par un état de choc, une insuffisance rénale aiguë avec dépression cardio-respiratoire et mort possible en 1 à 15 jours.
- **Toxicité chronique (poey et philibert, 2000)** : elle est due à l'inhalation régulière de poussières en milieu industriel ou à l'ingestion répétée de boissons ou aliments contaminés (Japon : maladie Itai-Itai). Cette intoxication se caractérise par :
 - **une atteinte rénale** tubulaire irréversible avec béta 2 micro globulinurie. Le seuil critique est voisin de 10 μ g/g de créatinine ;
 - **une atteinte osseuse** : ostéomalacie avec ostéoporose car le stock de calcium de l'organisme est diminué chez les sujets exposés ;
 - **une atteinte respiratoire** assez précoce : emphysème ;
 - **cancers** : l'augmentation de la fréquence des cancers pulmonaires et de la prostate est indubitable chez les ouvriers exposés professionnellement ;
 - **atteinte dentaire** : la pigmentation jaune de l'émail des dents due à la présence de sulfure de cadmium est caractéristique (**Gaullé et al., 2012**).

V.2. Cuivre

V.2.1. Généralité et propriété sur le cuivre

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. Métal de couleur rougeâtre, il possède une haute conductivité thermique et électrique à température ambiante, le seul métal pur ayant une meilleure conductivité électrique est l'argent (**Hurlbut et Klein, 1982 ; Mahan, 1987**).

La production industrielle du cuivre (Cu) est principalement associée à la fabrication de fils métalliques ainsi qu'à la production d'alliages de bronze et de laiton. Le cuivre représente l'espèce cationique la plus retenue dans les sols après le plomb. En ce qui concerne sa distribution géochimique, le cuivre est préférentiellement associé avec la matière organique, les oxydes de fer et de manganèse ainsi qu'aux carbonates. De nombreuses études soulignent d'ailleurs l'affinité prononcée du cuivre pour la matière organique. Dans les sols carbonatés, l'adsorption spécifique du cuivre sur le CaCO₃ représente un mécanisme d'interaction majeur, alors que dans les sols pauvres en carbonates, sa rétention est principalement attribuable à des échanges cationiques avec les

minéraux argileux. Sous des conditions aérobies et suffisamment basiques, le cuivre peut prendre les formes suivantes : Cu^{2+} , CuOH^+ , $\text{Cu}(\text{OH})_2$ et CuCO_3 . Cette dernière représente d'ailleurs l'espèce dominante, tandis que le $\text{CuS}(\text{s})$ devient la forme majeure sous des conditions anaérobies. Il est à noter que les précipités de cuivre sont généralement instables par rapport à des concentrations en cuivre normalement rencontrées dans les sols. Enfin, la mobilité du cuivre peut s'accroître par la complication avec des ligands organiques solubles tels les acides humiques (Galvez-Cloutier et Lefrançois, 2005).

V.2.2. Principaux minéraux du cuivre

- Calcopryrite (Cu Fe S_2), chalcosine ($\text{Cu}_2 \text{S}$), malachite [$\text{Cu}_2 \text{CO}_3 (\text{OH})_2$], cuprite (Cu_2O).

V.2.3. Utilisation de cuivre

- Cu métal : équipement électrique, chaudronnerie, tuyauterie, alliages (laiton, bronzes...).
- Sels de Cu : antifongiques en agriculture (sulfate, oxychlorure de Cu).

Le Cu est un oligo-élément essentiel entrant dans la composition de nombreuses enzymes et protéines (céruloplasmine, certaines cytochromes oxydases...).

V.2.4. Toxicité de cuivre

- Par voie orale : les sels de Cu provoquent une inflammation sévère du tractus gastro-intestinal. Des convulsions, des nécroses hépatiques et rénales sont possibles. Par absorption répétée, on a signalé une atteinte cirrhotique rare chez l'enfant par de l'eau contaminée.
- Par inhalation, essentiellement professionnelle : la toxicité se traduit chez les soudeurs par la « fièvre des fondeurs » une décoloration de la peau et des cheveux. Il existe aussi une dermatite (gale du Cu) et des troubles de la muqueuse nasale. Il a également été décrit des lésions pulmonaires (poumons des vigneron) résultant de l'exposition répétée à la bouillie bordelaise (surtout signalée au Portugal).

La maladie de Wilson est une maladie génétique dans laquelle le Cu n'est pas lié à la céruloplasmine ce qui engendre une encéphalopathie avec retard mental très important (Poey et Philibert, 2000).

V.3. Zinc

V.3.1. Généralité et propriété sur le Zinc

Le zinc est un élément chimique, de symbole Zn et de numéro atomique 30. Le zinc est un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène (**Mahan, 1987**).

Le zinc (Zn) est principalement utilisé dans l'industrie comme revêtement anticorrosif sur des pièces métalliques en fer et en acier. Le zinc n'existe pas sous sa forme élémentaire dans un système naturel et il est généralement présent sous sa forme Zn^{2+} . De plus, il a tendance à s'adsorber à la surface des minéraux argileux et de la matière organique, ainsi qu'à se complexer avec des carbonates et des oxydes hydratés de fer et de manganèse. Il y a deux mécanismes d'adsorption semblent survenir distinctement selon les conditions de pH. Sous un pH acide, le zinc semble être retenu par des sites d'échanges cationiques, alors que sous conditions basiques, il présente une rétention davantage attribuable à des phénomènes de « *chemisorption* ».

Rappelons que le phénomène d'échange cationique s'effectue de manière réversible, tandis que l'incorporation à l'intérieur de la structure cristalline des minéraux argileux respecte une mécanique davantage irréversible. Sous des conditions réductrices et oxydantes, le zinc forme respectivement des précipités solides tels que $Zn(OH)_2(s)$ et $ZnCO_3(s)$ ainsi que $ZnS(s)$ et $Zn(CN)(s)$. Toute fois, étant donné que le zinc possède une solubilité relativement élevée en conditions neutres et acides, le mécanisme de précipitation présente une incidence moindre sur sa rétention dans un sol naturel, en excluant les cas de sites contaminés (« *soil-waste system* ») où les concentrations en zinc peuvent être exceptionnellement élevées. Enfin, le zinc peut également former des complexes avec des ligands inorganiques et organiques, sous conditions basiques (**Galvez-Cloutier et Lefrancois, 2005**).

V.3.2. Utilisation de Zinc

- Zn^0 : galvanoplastie, alliages (Zn + Cu), métallurgie.
- Sels : ZnO et $ZnCl_2$ sont des pigments et servent à la protection du bois, le phosphore de Zn est un rodenticide.

V.3.3. Métabolisme de Zinc

L'absorption se fait surtout par inhalation (per os quasiment nulle). Le Zn est transporté lié à des protéines. C'est un élément essentiel de certaines métallo-enzymes (anhydrase carbonique, alcool deshydro- génase, carboxypeptidase...). L'excrétion se fait à la fois par les fèces et l'urine.

V.3.4. Toxicité de Zinc

Essentiellement chronique, elle se traduit par :

- ✓ troubles cutanés : les sels de Zn sont corrosifs pour la peau et le tractus digestif ;
- ✓ « fièvre des fondeurs » provoquée surtout par des fumées de ZnO. La formation au niveau bronchique de complexes Zn-protéines dénaturées passant dans la circulation entrainerait des réactions pyrogéniques se traduisant par :
 - ✓ une importante hyperthermie (40 °) avec frissons,
 - ✓ des douleurs articulaires et thoraciques,
 - ✓ des dyspnées, des nausées et des vomissements,
 - ✓ de la confusion mentale, des hallucinations, et des convulsions.

Ces accès durent au maximum 24 h et surviennent surtout à la reprise du travail après le week-end (état de tolérance ?). Ces accès s'accompagnent souvent de leucocytose (> 17 000) avec éosinophilie ou lymphocytose. D'autres vapeurs métalliques (Sb, As, Cd, Co, Fe, Pb, Ni, Hg...) provoquent parfois plus rarement cette fièvre des fondeurs (**Poey et Philibert, 2000**).

Chapitre II : Les céréales

I. Généralité sur les céréales

De nos jours, les céréales occupent environ 15 % des terres agricoles, avec une production mondiale de l'ordre de 2400 MT se répartissant, pour la campagne 2010/2011, en 38 % pour le maïs, 29 % pour le blé tendre, 20 % pour le riz, 6 % pour l'orge et 7 % pour les autres céréales (seigle, avoine, sorgho, triticale...) (Saulnier, 2012) (figure 3). Les céréales appartiennent à la famille des poacées (Graminées). Elle comprend : l'avoine, le blé, maïs, le millet, l'orge, le riz, le seigle et le sorgho. Les grains des différentes espèces de céréales montrent une certaine diversité de forme et de taille et, à l'exception du maïs et du riz, sont caractérisés par un sillon plus ou moins prononcé (blé, orge, avoine, seigle, triticale, etc.) (figure 2). Les Triticées regroupent le blé : le blé tendre (*Triticum Aestivum*) et le blé dur (*Triticum Durum*), le seigle (*Secale Cereale*) et l'orge (*Hordeum Leporinum*). Les Avénées comprennent entre autre l'avoine (*Avena Sativa*). Le riz (*Oryza Sativa*) représente la sous-famille des Oryzoidées. Enfin le maïs (*Zeamays*) fait partie des Tripsacées de la sous famille des Panicoidée. Les céréales contiennent des protéines végétales alimentaire (Saadum-Cousin et al., 2002). Les grains de céréale sont caractérisés par leur richesse en amidon et une teneur en protéine d'environ 10 % (Saulnier, 2012). Les céréales sont des mélanges de peptide et de saccharides contenant 10 % à 13 % de composants protéiques variés, allergisants ou potentiellement toxique (Saadum-Cousin et al., 2002).

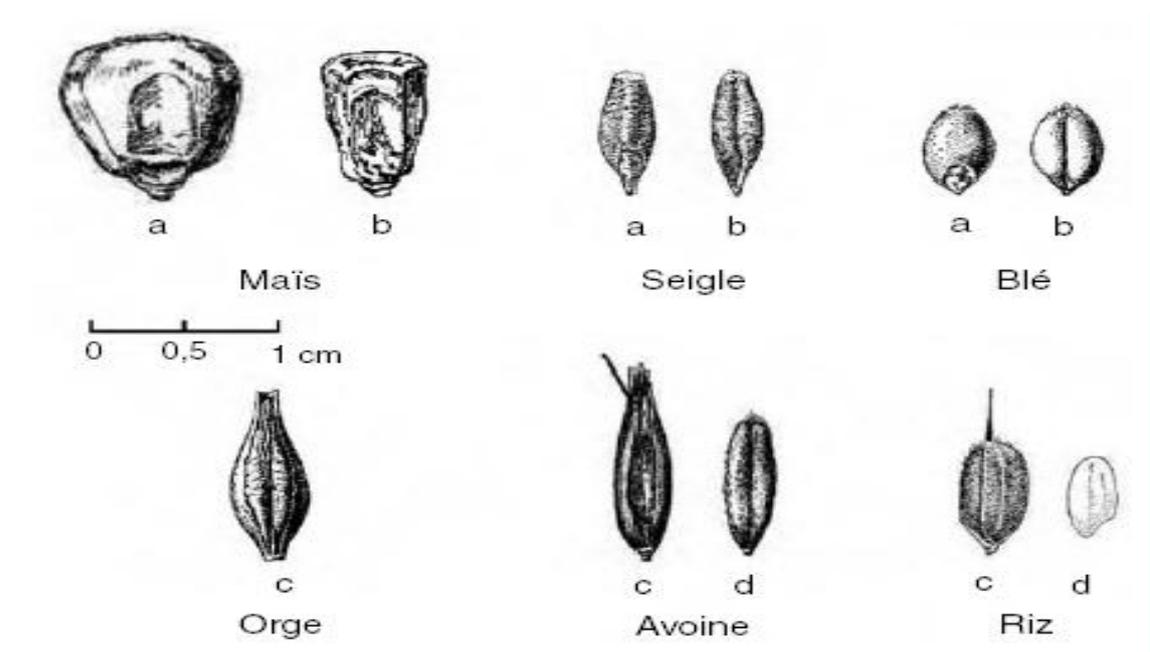


Figure 2. Morphologie des différents grains des céréales.

(a : vue dorsale, b : vue ventrale, c : grain vêtu, d : grain nu) (Saulnier, 2012).

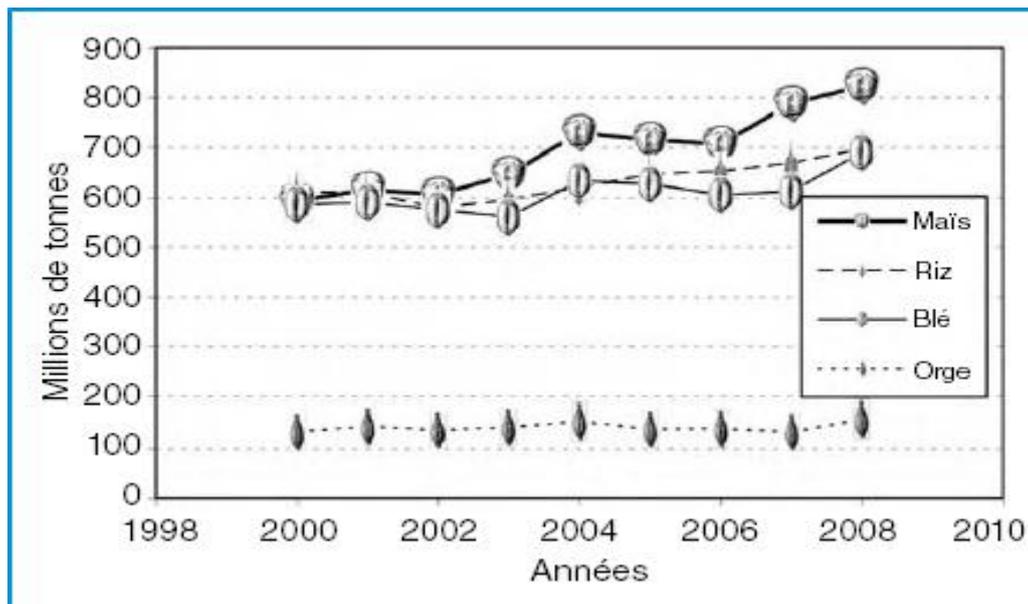


Figure 3. Production mondiale des principales céréales (Saulnier, 2012)

II. Utilisation des céréales

L'utilisation des céréales a beaucoup évolué et se partage entre l'alimentation humaine, l'alimentation animale et l'application non alimentaires, avec une répartition assez contrastée des usages en fonction du statut d'importateur ou d'exportateur du pays et de la production locale.

III. Le blé

III.1. Définition

Actuellement dans le monde, le blé est la céréale la plus cultivée et la plus consommée (Saadoun-Cousin et al., 2002). C'est une céréale importante dans notre consommation et une source importante de protéines pour l'alimentation humaine (Battais et al., 2007).

Le terme générique « blé » désigne à la fois les différentes espèces du genre *Triticum* et le grain. Le blé est une céréale de la famille des Poacées (Graminées). Il appartient au genre *Triticum*. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*T. aestivum*) et le blé dur (*T. durum*) (Rouau et al., 2010).

III.2. Taxonomie

La classification botanique du blé est mentionnée dans le tableau 3 (Feuillet, 2000).

Tableau 3. Classification botanique du blé (Feuillet, 2000).

Règne	Plantae
Classe	Liliopsida
Superordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Famille	Poaceae (Gramineae)
Sous famille	Festucoideae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Tritucineae
Genre	Triticum
Espèce	T. durum pour le blé dur T. aestivum pour le blé tendre

III.3. Importance et l'utilisation du blé dans l'alimentation

La farine de blé fait partie des nourritures de base. Elles occupent une place primordiale dans l'alimentation humaine par les très nombreux produits qu'on tire principalement du blé (pain, pâte alimentaires, pâtisseries, biscuits). Leur place est aussi très importants dans l'alimentation animale, surtout pour la production des volailles et des porcs (blé, avoine, orge, maïs, sorgho) (Saadoum-Cousin et al., 2002). Et aussi peuvent être utilisé dans l'industrie (bière, alcool, amidon) ; les applications industrielles représentent les principale utilisateurs du blé. Un de ces applications industrielles est la séparation du gluten de l'amidon. Comme par exemple ; les hydrolyse de protéine de blé, ou hydrolyzed wheat protéine, issu de l'hydrolyse du gluten, sont utilisés dans les cosmétique et dans certaine aliment pour leur qualités émulsifiantes et stabilisatrices (Olaiwan et al., 2010).

IV. Grain de blé

IV.1. Définition

Le grain de blé est un fruit sec indéhiscent (carypse), dans lequel les enveloppes du fruit sont intimement soudées à celle de la graine. Cette graine est caractérisée par la présence d'un tissu de réserve ou « albumen » indépendant de l'embryon (Saulnier, 2012). Le grain de blé contient entre

10 et 15 % de protéines selon la variété. Une des classifications des protéines est basée sur leur solubilité (Battais et al., 2007).

IV.2. Structure de graine de blé

Le grain de blé est formé de trois régions (figure 4) :

- **l'albumene** : est constitué de deux tissus distincts : la couche aleurane et l'albumene amylace (Rouau et al., 2010). L'aleurane : est appelé aussi l'amande, contient l'amidon forme de réserve de l'énergie dans les plants et les protéines en particulier le gluten qui contienne le prolamine : gluténine dans le blé (Lecerf, 2018).
- Les enveloppe de graine et du fruit, formées de six tissus différents : épiderme, nucelle, tégument, séminale ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellule croisées, mésocarpe ou épicarpe (3-17 %) (Feillet, 2000).
- **Le germe** (3 %), composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum (Rouau et al., 2010).

La longueur des grains est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2.5 et 3.5 mm.

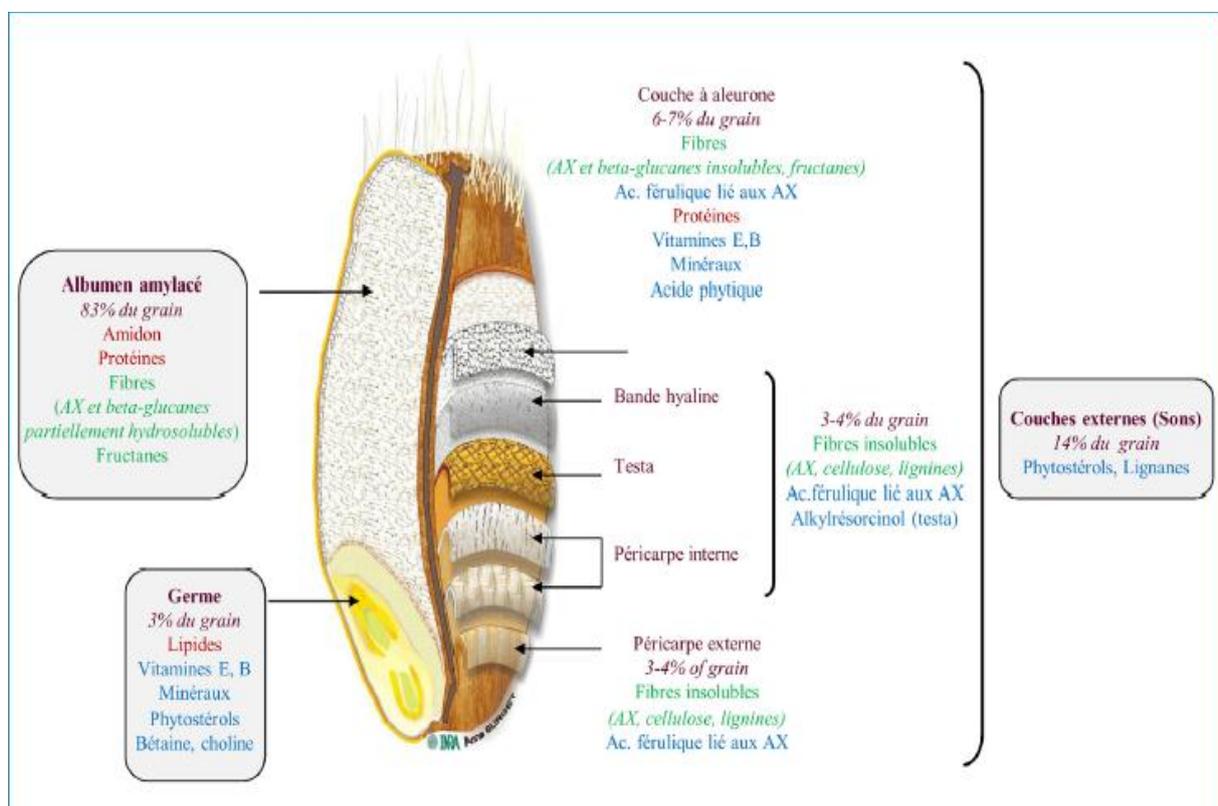


Figure 4. La structure et la composition de la graine de blé (Saulnier, 2012).

IV.3. La composition de la graine de blé

Le grain de blé est constitué principalement d'amidon (environ de 70 %), de protéines (10 à 12 %) et de fibre (8%) ; les autres constituants qui se trouvent en quantités faibles, sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**Lecerf, 2018**).

- **L'amidon** : l'amidon principal constituant de l'albumen des graines de céréales, ce polysaccharide de réserve est un mélange de deux polymères de D-glucopyranose :
 - ✓ l'un de structure linéaire, avec des liaisons de type α - (1.4) : l'amylose ;
 - ✓ l'autre de structure ramifiée, avec des liaisons α - (1.4) et 5 à 6 % de liaisons α - (1.6) à l'origine des ramifications : l'amylopectine (**Saulnier, 2012**).
- **protéine** : les grains de blé renferment un grand nombre de protéines : des protéines structurelles, des protéines biologiquement actives (environ 20 % des protéines totales) et des protéines de réserve (80%) appelées prolamines ou gluten (**Battais et al., 2007**). Les protéines sont les seuls composés responsables à la fois de l'extensibilité, de la ténacité, de l'élasticité et de la cohésion de la pâte.
- **vitamines** : localisées surtout dans le germe, leur répartition varie selon le sol, le climat et la variété du blé. On retrouve surtout les vitamines : B1, B2, B5, PP, B6. Les variations dues aux traitements technologiques sont beaucoup plus marquées parce que certaines vitamines sont très sensibles à la chaleur (**Lecerf, 2018**).

I. Matériel

I.1. Matériel végétal

✚ Origine des échantillons

Notre étude a porté sur 4 variétés importées : 2 variétés du blé tendre (française TF et Argentine TA) et 2 variétés du blé dur (Canada DC et Mexique DM). Ces échantillons ont été délivrés par l'OAIC (office Algérien Interprofessionnel des Céréales) au niveau de pore djen- djen de Jijel en 2019 plus une variété locale du blé dur (DA).

Notre travail a été réalisé au niveau de laboratoire de département de science de l'environnement et de science agronomique de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Jijel.

I.2. Les produits chimiques utilisés

- ✚ acide sulfurique
- ✚ acide nitrique
- ✚ l'eau oxygénée

I.3. L'appareillage

Nous avons utilisé ce qui suit :

- ✚ balance
- ✚ mortier
- ✚ étuve
- ✚ verrerie
- ✚ bain sable
- ✚ spectrophotomètre d'absorption atomique SAA.

II. Méthodes

II.1. Préparation de la poudre de la graine de blé

II.1.1. Lavage

On lave le blé bien par l'eau de robinet puis l'eau distillée.

II.1.2. Séchage

Les échantillons de blé ont été séchés dans les boîtes de pétrie en verre dans l'étuve à une température 105°C pendant 48h.

II.1.3. Broyage

Les échantillons ont été broyés par le mortier jusqu'à on obtention des particules très fines (une poudre).

II.2. Préparation des échantillons pour le dosage

L'extraction est faite avec l'eau régale dont le grand pouvoir de dissolution est du à l'effet combiné d'un acide oxydant HNO₃ et des ions Cl⁻ complexant (HCl).

Cette méthode permet aussi la détermination de la qualité totale de toute une série d'élément traces métallique (ETM).

Le procédé d'extraction décrit par (**Hoenig et Thomas, 2002**), consiste à ajouter à 2g de la poudre de blé 35 ml d'eau régale (un volume d'acide sulfurique + 3 volume d'acide nitrique + 3 volume d'eau oxygéné) dans un erlenmeyer rodé de 250ml fixé sous réfrigérant et chauffé jusqu'à ébullition pendant 15 min au bain de sable.

Après refroidissement et rinçage réfrigérant par quelque ml déminéralisé, le contenu de l'erlenmeyer est filtré sur papier de filtre. Les échantillons sont mis dans des tubes a essai en verre, étiquetés et conservés au réfrigérateur jusqu'à l'analyse par SAA.

II.3. Dosage des ETMs par SAA

- **Méthode**

La technique de la SAA est la plus utilisée pour les dosages des ETM, les solutions ont été dosées par SAA (AA-6200 Shimadzu).

L'atomisation des éléments chimiques ont été réalisés au moyen d'une flamme alimentée par un mélange de gaz air-acétyline. (**waterlot, 2010**)

Les résultats sont donnés directement sur l'appareil.

- **calcul**

Enfin, on a comparé les résultats obtenues en mg/l avec d'autres valeurs des références généralement en ppm.

On a utilisée la formule suivante : $C = R \times V / P$

Avec :

C : résultat final exprimé en ppm (mg/kg de la matière sèche).

R : résultat de la lecture par SAA en mg/l

V : volume des échantillons en ml

P : poids des échantillons exprime en mg.

- **Analyse statistique**

Pour le calcul de statistique élémentaire et pour une meilleure illustration des résultats nous avons procédé au calcul des moyennes et d'écart-type. L'analyse statistique proprement dite est effectué on faisant appel à l'analyse de la variance (ANOVA) à un critère de classification pour comparer entre les moyennes de différents échantillons. Tous les calculs ont été effectués en utilisant les logiciels : Excel, IBM SPSS.

I. Teneur en ETM dans le blé

Afin d'évaluer la contamination de blé par les ETMs le dosage de Cd, de Zn et de Cu dans les graines de blé a été effectuée.

I.1. Teneur en Cd dans le blé

L'ensemble des résultats obtenus de l'analyse des teneurs totale de Cd, est donnée dans le tableau 4 et représenté sous forme d'histogramme, fig. 6.

Tableau 4. Teneur en cd dans le blé

Pays d'origine	Argentine	France	Canada	Mexique	Algérie
Moyenne Cd (ppm)	0.107	0.1486	0.1962	0.125	0.0125
Ecart-type	0.0207	0.0422	0.1431	0.0088	0

D'après la figure 6, la teneur la plus faible enregistrée est celle de d'Algérie avec une valeur de 0.0125 ppm et la teneur la plus élevée est en enregistrée avec le blé du Canada, avec une valeur de 0.1962 ppm. Les valeurs intermédiaires sont respectivement de l'ordre 0.1070 ppm, 0.125 ppm, 0.1486 ppm pour le blé en provenance de d'Argentine, de Mexique et de France.

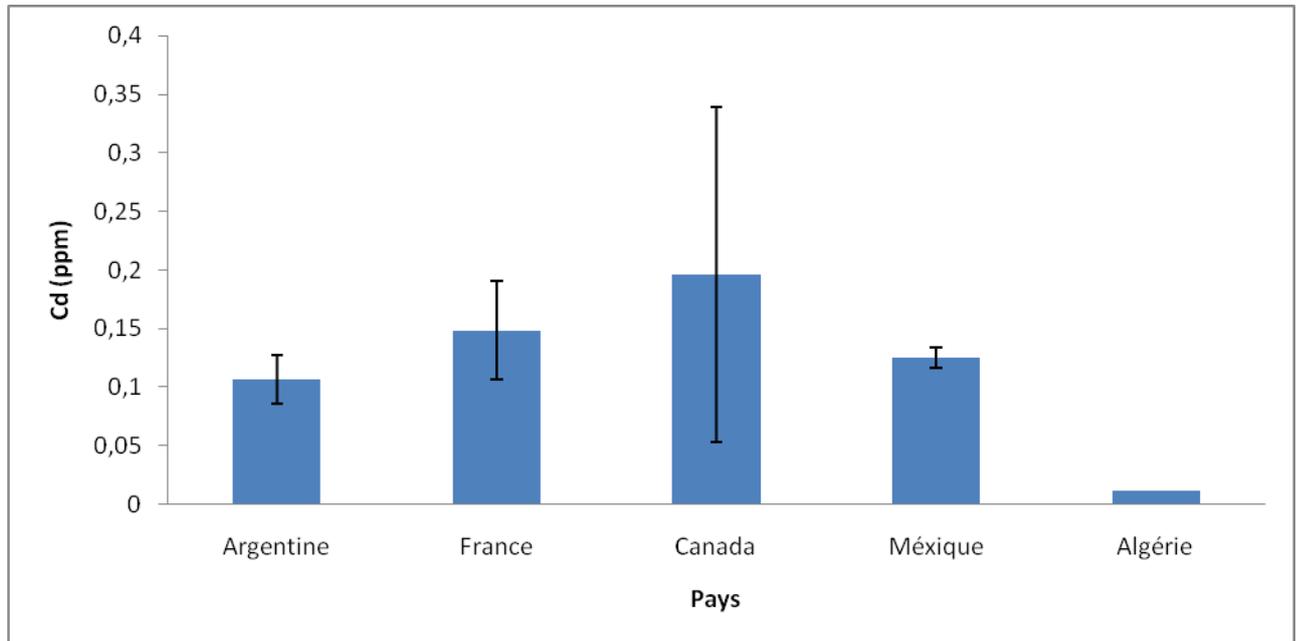


Figure 5. Teneurs en Cd dans le blé des différents pays

Des différences très hautement significatives de la teneur des échantillons en Cd ont été enregistrées ($F=10,608$; $P < 0,001$).

Par ailleurs, plusieurs études ont été réalisées pour recenser les niveaux des contaminations des productions de grande culture (céréales et oléagineux) en conditions d'agriculture classique, non soumise à des pollutions identifiées. Ces études (Tableau 1, annexe 1) montrent que, dans la plupart des cas, les valeurs moyennes ou médianes sont inférieures aux valeurs actuellement règlementées en Europe pour l'alimentation humaine (EC 1881/2006 : 0.2 mg/kg pour le blé, le riz et le soja, 0.1 mg/kg pour les autres céréales). Par contre, les maxima sont systématiquement supérieurs à ces valeurs sauf pour l'avoine dans l'étude finlandaise, le blé dans l'étude française et le maïs doux (**Denaix et al., 2010**).

En comparant les résultats obtenus du Cd dans le blé avec les concentrations normales présentes dans le tableau 1 (annexe 1) et le tableau 2 (annexe 2), nous constatons que les différentes valeurs obtenues dans notre étude sont inférieures à la norme (0.2 ppm).

I.2. Teneur en Zn dans le blé

Les résultats obtenus de l'analyse des teneurs totale de Zn, sont rassemblés dans le tableau 5 et représentés sous forme d'histogramme, fig. 6.

Tableau 5 : teneur en Zn dans le blé

Pays d'origine	Argentine	France	Canada	Mexique	Algérie
Moyenne	39.512	95.779	63.981	77.812	48.47
Ecart-type	3.235	0.3587	17.173	7.513	0.943

D'après la figure 6, les teneurs en Zn dans les grains de blé sont compris entre un minimum de 9.57 ppm au niveau des grains de blé en provenance de la France et un maximum dans le blé du Mexique avec une valeur de 77.81 ppm. Les valeurs intermédiaires sont respectivement de l'ordre 48.47 ppm, 39.51 ppm, 63.98 ppm pour l'Algérie, le Canada et le Mexique

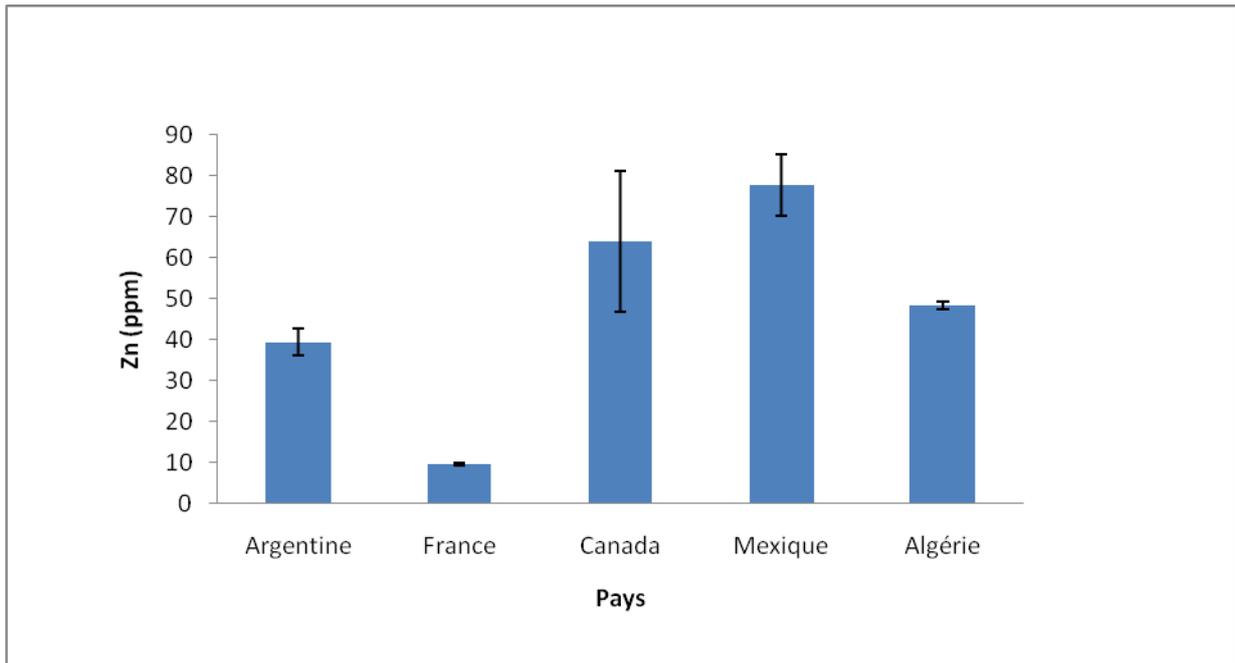


Figure 6. Teneurs en Zn dans le blé des différents pays

Des différences très hautement significatives de la teneur des échantillons en Zn ont été constatées ($F=55.928,121$; $P < 0,001$).

Les résultats obtenus de zinc dans les grains de blé des variétés étudiées montrent que les différentes valeurs sont supérieures à la norme (15.5 ppm) à l'exception des valeurs obtenus avec le blé en provenance de la France.

Le zinc généralement présenté se forme Zn^{+2} , il tendance à s'adsorber à la surface dans minéraux argileux et de la matière organique ainsi qu'à se complexer avec des carbonates et des oxyde hydrates de fer et de manganèse (Galvez-Cloutier et Lefrancois, 2005).

I.3. Teneur en Cu dans le blé

Les résultats obtenus de l'analyse des teneurs totale de Cu, sont regroupés dans le tableau 6 et représentés sous forme d'histogramme fig.7.

Tableau 6. Teneur en Cu dans le blé

Pays	Argentine	France	Canada	Mexique	Algérie
Moyenne	1.7829	1.1525	1.7712	1.7068	1.5933
Ecart-type	0.1239	0.1819	0.2510	0.1405	0.0862

D'après la figure 7, les teneurs en Cu dans les grains de blé sont compris entre un minimum de 1.15 ppm dans les grains de blé de la France et un maximum dans les grains de blé de l'Argentine avec une valeur de 1.78 ppm. Les valeurs intermédiaires sont respectivement de l'ordre 1.59 ppm, 1.70 ppm, 1.77 ppm dans les grains de blé de l'Algérie, du Mexique et de Canada. Nous constatons que les valeurs obtenus sont inférieures à la norme (3.5 ppm).

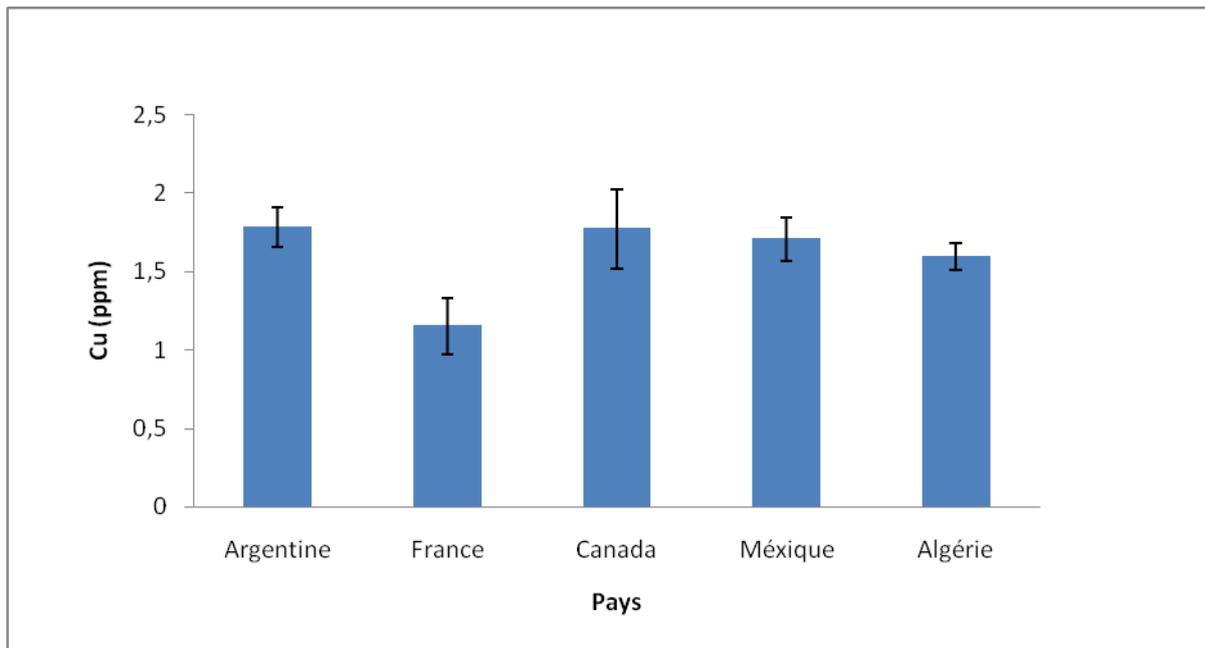


Figure 7. Teneurs en Cu dans le blé des différents pays

Des différences hautement significatives de la teneur de blé en Cd ont été observées ($F=5.928$; $P < 0,05$).

D'après les résultats obtenus on remarque que les grains de blé accumulent le Zn plus que le Cd et le Cu. Le cadmium (Cd) est l'un des ETM les plus mobile, plus toxique et le plus phytodisponible dans le sol (**Baize et al 2006**). La forte mobilité du Cd le rend facilement absorbable par les plants et donc rapidement toxique.

La majorité du Cd présenté dans les céréales provient du sol. Le Cd absorbé par les racines dans la solution du sol sous une forme ionique pour qu'il soit «phytodisponibilité» (absorbable par les racines) il faut donc qu'il passe d'abord dans la solution du sol suivant sa localisation initiale dans la phase solide et en fonction de divers facteurs physico-chimiques du sol, ce passage sera plus ou moins important. Ainsi, plus la teneur en matière organique et

le pH du sol sont élevés plus la rétention du Cd par la phase solide est forte et moins il aura tendance à passer en solution.

La majorité de l'absorption du Cd se fait par le système racinaire via les transporteurs du zinc et de calcium. Le Cd s'accumule préférentiellement avec des protéines à savoir dans l'embryon et de la couche aleurone (INNO, 2013).

Par ailleurs, la concentration en ETM notamment en Cd selon plusieurs études qui ont été réalisées peut être expliquée par plusieurs raisons :

- Il existe une compétition entre le transport transmembranaire du Zn et du Cd, les deux métaux ont le même transporteur.
- la concentration en Zn dans le milieu est supérieure à celle du Cd (Sbartai et al, 2012).
- Le cuivre représente l'espace cationique la plus retenue (moins mobile dans le sol après le plomb. le cuivre préférentiellement associée avec la matière organique, les oxyde de fer et de manganèse ainsi qu'aux carbonates.

Des nombreuses études soulignent d'ailleurs l'affinité prononcée du Cu avec la matière organique. La mobilité de Cu s'accroître par la complication avec des ligands organiques solubles tel que l'acide humique (Galvez-Cloutier et Lefrancois, 2005). Ce que traduisent les faibles teneurs en Cu dans les grains de blé.

Ainsi parmi les facteurs influençant l'accumulation des ETM notamment le Cd, la hauteur de paille. Une étude réalisée par l'INRA (France) (Le Crenn, 2017) a montré que la variabilité d'accumulation du Cd dans les grains est due à la répartition de l'élément entre les organes de la plante. Ils ont conclu que les variétés à paille haute sont moins accumulatrices que celles à paille courte.

Les céréales jouent un rôle important dans les régimes alimentaire de la plus part des pays dans le monde. L'environnement est exposé quotidiennement à des différentes polluants, parmi ces polluants les éléments trace métallique. Ces éléments sont connus par leur toxicité et surtout le cadmium parce qu'il est le plus mobile par rapport aux autres éléments.

Les résultats obtenus montrent que la teneur du Cd dans les variétés étudiées ne dépasse les normes internationales. Néanmoins, les variétés importées contiennent plus de traces du Cd que les variétés locales. Cette contamination est due probablement l'utilisation des engrais contaminés et aussi au sol contaminé.

La variation des teneures des Cd dans les différents variétés et due à plusieurs facteurs notamment la hauteur de paille.

En conclusion, il est souhaitable de procéder au dosage des éléments traces métalliques de ce type des céréales avant leur consommation afin de préserver la santé de la population, sachant que les céréales sont la base de notre régime alimentaire.

Andujar P., Bensefa-colas L., Descatha A. 2010. Intoxication aiguë et chronique au cadmium; la revue de médecine interne ; vol 31 ; pp 107-115.

Baittais F., Richard C., Leduc V. 2007. Les allergènes du grain de blé ; revue française d'allergologie et d'immunologie clinique ; vol 47 ; N° :3 ; pp 171-174; disponible sur <<http://france.elsevier.com/direct/REVCLI/> > ; consulté le 06 mars 2007.

Baize D. 1997.Teneur totale en élément trace métallique dans les sols (françe). INRA paris ; 408p.

Baiz D. 2009. Elément traces dans les sols fonds géochimiques, fonds pédogéochimique naturels et teneurs agricoles les habituelles : définition et utilises ; courrier de l'environnement de l'INRA ; N° :57 ; pp 63-72.

Baiz D., Courbe C., Suc O., Schwartz C., Tercé M., Bispo A., Sterckman T., Ciesielski H. 2006. Epannage de boues d'épurations urbaines sur des terres agricoles : impact sur la composition en élément trace des sols et des grains de blé tendre ; Courrier de l'environnement de L'INAR ; N° :53 ; pp 35-61.

Baize D., Mench M., Sappin-Didier V., Mocquot B., Gomez A., Proix N., Sterckeman T. 2003. Phytodisponibilité des éléments trace métalliques dans ls grains de blé; dossier de l'environnement de l'INRA; N°: 25; pp 45-62.

Burgat-Sacaze V., Craste L., Guerre P. 1996. Le cadmium dans les chaines alimentaire : une revue ; revue Méd Vet.1996.147.10.671-680.

Bohic S., Gherzi-Egea JF., Gibon J., Paoltti P., Arnoud J., Sunot S., Booum A., Bouron A. 2011. Role biologique des elements traces dans le cerveau exemple de Zn et Fe; reveue neurologique 167; pp 269-279.

CAPINH 2005. Centre anti poisson et l'Institut National d'Hygiène « rapport relatif au plomb et cadmium » ; direction de la surveillance et de la prévention des risque.7130.p4.

Denaix L., Nguyen C., Sappin-Dider V., Schneider A. 2010. Synthèse sur la contamination en cadmium des production végétales de grande cultures ; lettre d'actualités et d'information du RMT Quasaprove 2 ; 11p.. (2010); 2010.

Feillet Pierre. 2000. LE grain de blé, composition et utilisation ; edition QUAE ; p308.

Galvez-Cloutier R., Pierre Jacques Lefrançoise. 2005. La contamination par les métaux lourds : distribution géochimique et technique de restauration ; vecteur de l'environnement ; vol 38 ; N° : 3 ; pp 30-38.

Goullé JP., Sausseureau E., Lacroix C., Guerbet M. 2012. Métaux, traité de toxicologie Médico-Judiciaire ; p733-767 ; doi 10.1016/B978-2-2.29471561-7.00024-8.

Goullé JP., Sausseureau E., Mahieu L., Bowge D., Guerbet M., Lacroix C. 2010. Le profile metallique : un nouveau concept médicale ; la revue de médecine interne 31 ; pp 128-134.

Gouzy A., Ducos G. 2008. La connaissance des éléments traces métalliques : une définition pour la gestion de l'environnement. Air pur ; pp.6-10 ; ineris-00961930.

Hoening M et Thomas P. 2002. Préparation d'échantillons de l'environnement pour analyse minérale. Ed. *Technique Ingénieur*.

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

INNO L. 2013. TIONS. PERSPECTIVES AGRICOLES ; N :°406 ;pp 58-61.

Lebourg A., Sterckeman T., Ciesielski H., Proix N. Intérêt de différent réactifs d'extraction chimique pour l'évaluation de la biodisponibilité des métaux en traces du sol. *Agronomie, EDP science* ; 1996 ; 16(4) ; pp :201-215 ; hal-00885788.

Lecerf JM. 2018. Les aliments ; in : Nutrition clinique pratique chez l'adulte, l'enfant et la personne âgé ; p:23-46; ISBN: 978.2.294.75468.5 ; doi 10.1016/B978-2-2294-75468-5.00002-5.

Mathien A. 2008. Proportion de référentiel régionaux en élément traces métalliques dans les sols : leur utilisation dans les évaluations des risques sanitaire ; *Environnement risque sante* ; vol : 7 (2).

Mahan, B.H., 1987. Química. Curso Universitario. Fondo Educativo Interamericano S. A.

Mench M., Baiz D. 2004. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en trace ; le courrier de l'environnement INRA ; N° :52 ; pp31-56.

Olaiwan A., Pecquet C., Mathelie-Fusade P., Frances C. 2010. Urticaire de contacte aux hydrolysats de protéine de blé contenus dans des cosmétique ; analyse de dermatologie et de vénéréologie ; vol 137 ; pp281-284.

Poey J et Philibert C. 2000. Toxicité des métaux ; revue française de laboratoire ; N° :323 ; pp 35-43.

Patricia Le Crenn, 2017, Du blé dur à paille longue pour moins de cadmium dans les grains – Inra. <http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Resultats-innovation-transfert/Toutes-les-actualites/ble-dur-cadmium>

Saadoum-cousin C., Paty E., Scheinmann P. 2002. Allergie au blé; française: d'allergologie et d'immunologie clinique ; vol 42 ; pp583-594.

Saulnier L. 2012. Les graine de céréale : diversité et composition nutritionnelle ; cahiers de nutrition diététique ; vol 47 ; N° : 1 ; pp4-15.

Sbartai H., Djeber MR., Sbartai I., Berrabah H. 2012. Bioaccumulation de Cd et Zn chez les plants de tomates (*Lycopersicon Esculentun L*) ; C R Biologie ; N° : 335 ; pp 585-593.

Sterckeman T., Douay F., Baiz D., Fourier H., Prix H et Schwartz C. 2007. Préférentiel Pédo-Géochimique du Nord-Pas de Calais, méthode et principaux résultat ; etude et gestion des sols ; vol : 14 ; 2 ; pp153-168.

Sparks DL. 1998. Environmental soil chemistry. Academic press; p 267.

Rouau X., Mateo-Anson N., Barron C., Chaurand M., Lullien-Pellerin V., Mabile F., Samson MF., Abecassis J., Hemery Y. 2010. Effet des procédés de fractionnement sur la composition et quelque propriétés nutritionnelles des produits céréales ; Cahiers de nutrition et de Dietétique ;vol 45 ; pp.230-236.

Villaneau E., Perry-Giraud C., Saby N., Jolivet C., Marot F., Maton D., Floch-Barneaud A., Antoni V et Awouays D. 2008. Détection de valeurs anomaliques d'élément traces métalliques dans les sols a l'aide des Réseau de Mesure de la Qualité des sols ; étude et Gestion des sols ;Vol : 15 ; 3 ; PP : 183-200.

Walerlot C., Douay F. 2010. Evaluation des effets d'un lampe cathode creuse pulse à courant variable sur les interférences spectrales de l'arsenic dans dosage de cadmium par SAA ; canadienne de génie civil ; vol :37 ; N° :2 ; pp 346-353 ; DOI : 10-1139/L09-156.

Annexe1 : Tableau 1 : Niveau de contamination en cadmium mesuré dans des grains ou graines récoltés en plein champ (Denaix et al., 2010).

Végétal	Origine de l'étude	n	Unité	Année (s)	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Auteur(s)
Blé tendre	Pays Bas	84	mg/kg MF	1976-1977	0.02	0.35	0.07	0.06	Wiersma et al., 1986
	USA	288	mg/kg MF		<0.0017	0.207	0.043	0.030	Wolnik et al., 1983
	Grande-Bretagne	242	mg/kg	1982	0.016	0.18	0.052	0.045	Chaudri et al. 1995
		369	MS	1992	0.008	0.27	0.042	0.035	
		330		1993	0.004	0.31	0.038	0.034	
France	128	mg/kg MS	1998	0.015	0.169	0.054	0.045	Sappin-Didier et al., 2002	
Blé dur	France		mg/kg MS	1997-1999				0.108-0.196 ¹	Baize et al., 2003
Orge	Pays Bas	45	mg/kg MF	1976-1977	0.01	0.54	0.13	0.11	Wiersma et al., 1986
	Finlande	47	mg/kg MF		0.004	0.037	0.021	-	Varo et al., 1980
Avoine	Pays Bas	39	mg/kg MF	1976-1977	0.03	0.22	0.09	0.08	Wiersma et al., 1986
	Finlande	36	mg/kg MF		0.004	0.068	0.041	-	Varo et al., 1980
Riz	USA	166	mg/kg MF		<0.001	0.23	0.012	0.0045	Wolnik et al., 1985
Soja	USA	322	mg/kg MF		0.02	1.11	0.059	0.041	Wolnik et al., 1983
Maïs doux	USA	268	mg/kg MF		<0.0001	0.039	0.0031	0.0017	Wolnik et al., 1983
Maïs grain	USA	277	mg/kg MF		<0.001	0.32	0.012	0.0035	Wolnik et al., 1985
Maïs ensilage	Pays Bas	46	mg/kg MS	1976-1977	0.14	6.8	0.43	0.24	Wiersma et al., 1986

Annexe 2 : Tableaux 2 : Concentrations en cadmium dans le grain de blé tendre.

Programme QUASAR (récolte 1998) et comparaison avec d'autres études en France et à l'étranger
(Danaiz et al 2003).

Pays	F QUASAR 1998	F (1)	F (2)	F (3)	F (4)	UK (5)	D (6)	USA (7)	CH (8)
Moyenne	0,053	0,082	0,030	0,058	0,035	0,038		0,055	0,050
Minimum	0,015	0,033	0,008	0,015	0,020	0,004	0,04		0,008
1 ^{er} décile	0,026								
Médiane	0,044	0,077	0,029			0,034			0,044
9 ^e décile	0,102								
Maximum	0,169	0,185	0,054	0,146	0,200	0,310	0,45		0,275
Nb échant.	128	56 6*	17	11	766	393		400	152 8

(1) comm. pers. P. Maupetit P., Arvalis (1998).
Charente-Maritime, 1997-1998).

(3) Mench *et al.* (1997).

(5) Chaudri *et al.* (1995), année 1993.

(7) Hyde *et al.* (1979)

(2) comm. pers. H. Messenger (chambre d'agriculture de

(4) DGCCRF (1989).

(6) Delschen et Werner (1989).

(8) Quinche (1995), Suisse romande (variété Arina).

Annexe 3 : Tableau 3: Concentration en éléments traces dans des grains de blé

Denis BAIZE, novembre 2001. Analyse des grains effectués à l'USRAVE, INRA Bordeaux.
Expression en mg/kg de matière sèche (sauf pour Hg et Mg) (Danaiz et al 2003).

	Cadmium	Cuivre	Chrome	Nickel	Plomb	Zinc	Thallium	Mercure (µg/kg)	Magnésium (g/kg)
Nombre de mesures	470	367	343	365	299	464	204	201	264
dont > seuil quantification	458	365	235	352	98	464	2	201	264
Seuil quantification	0,01 ou 0,02	variable	0,04 à 0,10	0,03 à 0,10	0,07 à 0,20		0,07 à 0,10		
Minimum	< seuil q.	1,01	< seuil q.	< seuil q.	< seuil q.	7,0	< seuil q.	0,092	0,55
Maximum	0,50	9,01	1,81	2,9	2,13	98,7	0,09	6,35	2,67
1er décile	0,023	2,0	< seuil q.	0,10	< seuil q.	12,0	< seuil q.	0,28	0,73
Médiane	0,045	3,5	0,08	0,235	< seuil q.	15,5	< seuil q.	0,805	0,826
9ème décile	0,09	5,3	0,33	0,98	0,31	25,6	< seuil q.	1,64	1,07
Vibrisse supérieure	0,100	6,5		0,745		26,2		2,03	1,07
Valeur max recommandée par le CSHPF	0,115				0,59			35	
Valeur maxi. Europe (règlement 466 / 2001 du 8 mars 2001)	0,23				0,23				

Tableau 4: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de cadmium entre les cinq échantillons.

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	0.823	4	0.206	10.608	0.001
Intra-groupes	0.194	10	0.019		
Total	1.018	14			

Tableau 5: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de zinc entre les cinq échantillons.

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	8077.854	4	2019.463	55.633	0.000
Intra-groupes	363.000	10	36.300		
Total	8440.854	14			

Tableau 6: Résultats de l'analyse de la variance : comparaison des valeurs de cuivre entre les cinq échantillons.

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	0.055	4	0.014	5.928	0.010
Intra-groupes	0.023	10	0.002		
Total	0.078	14			

Thème :
Evaluation de la contamination par les ETMs des céréales importées et locale.

Présenté par :
MOUSSAOUI Roufaïda
MOUSSOU Souheyla

Président : Dr. BOULDJEDRI M.
Examineur : Dr. FAR Z.
Encadreur : Pr. LEGHOUCHI E.

Résumé

les éléments traces sont les 80 éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre continentale, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0,1 %. Lorsque les éléments traces sont des métaux (par exemple Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), ils sont nommés «éléments traces métalliques» (ETM). ils provoquent des problèmes majeurs dans l'environnement et sur la santé humaine parmi ces ETM, le cadmium c'est une substance toxique cumulative présente à l'état d'impureté dans divers minerais. Cet élément possède une capacité d'accumulation dans les plantes comme les céréales. Les grains des céréales constituent une part énergétique essentielle de l'alimentation. Ils sont également une source de fibres alimentaires et de micronutriments (vitamines, minéraux, etc.). Les principaux types des céréales sont : maïs, riz et le blé. Le blé est une céréale importante dans notre consommation, les graines de blé contiennent une grande variété des protéines avec des structures et des fonctions bien particulières.

Le présent travail a pour objectif l'évaluation de la contamination métallique par le Cd de blé. Pour atteindre cet objectif, des analyses chimiques ont été effectuées. Il s'agit du dosage des différents ETM dans le blé importé et une variété locale. Les résultats obtenus montrent que les variétés du blé étudiées contiennent des teneurs faibles de Cd.

Mots clé : ETM, cadmium, céréale.

Abstract

The trace elements are the 80 chemical elements constituting the continental crust, the concentration of which for each of them is less than 0.1%. When the trace elements are metals (for example Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), they are called "metallic trace elements" (ETM). They cause major problems in the environment and human health among these MTEs, cadmium is a cumulative toxic substance present as an impurity in various ores. This element has an accumulation capacity in plants such as cereals. Cereal grains are an essential energy component of food. They are also a source of dietary fiber and micronutrients (vitamins, minerals, etc.). The main types of cereals are: but, rice and wheat. Wheat is a cereal important in our consumption, wheat seeds contain a wide variety of proteins with very specific structures and functions.

The present work aims to evaluate the metallic contamination by wheat Cd. To achieve this goal, chemical analyzes were performed. This is the dosage of different ETMs in imported wheat and a local variety. The results obtained show that the wheat varieties under study contain low levels of Cd.

Keywords: ETM, cadmium, cereal.

ملخص

ETM هي العناصر الكيميائية الـ 80 التي تشكل القشرة القارية، وتركيزها لكل منها أقل من 0.1%. عندما تكون ETM هي معادن (على سبيل المثال Cd وCr وCu وNi وPb وZn)، فإنها تسمى "عناصر التتبع المعدني" (ETM). كما أنها تسبب في مشاكل كبيرة للبيئة و صحة الإنسان من بين هذه ETM الكاديوم: هي مادة سامة تراكمية قدمت في حالة الشوائب في خامات المختلفة حيث يحتوي هذا العنصر على قدرة التراكم في النباتات مثل الحبوب. الحبوب هي عنصر الطاقة الأساسية في الغذاء كما أنها مصدر للألياف الغذائية والمغذيات الدقيقة (الفيتامينات والمعادن، إلخ). الأنواع الرئيسية للحبوب هي: الذرة، الأرز والقمح. يعتبر القمح من الحبوب المهمة في استهلاكنا، وتحتوي بذور القمح على مجموعة متنوعة من البروتينات ذات الهياكل والوظائف المحددة للغاية.

يتم تنفيذ هذا العمل بهدف تقييم تلوث الحبوب بواسطة ETM. ولتحقيق هذا الهدف قمنا بإجراء تحاليل كيميائية. حيث أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن القمح المدروس له تركيز منخفض من Cd, Cu و تركيز مرتفع من Zn.

الكلمات المفتاحية: الحبوب, الكاديوم, ETM.

