

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 : de Biologie Moléculaire et

كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم : البيولوجيا الجزيئية و الخلوية



## Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Sciences**  
de  
**La Nature et de la Vie**  
Filière : Sciences Biologiques

Option : Toxicologie Fondamentale et Appliquée

Thème

**Dosage des métaux lourds dans des échantillons du Blé dur  
*Triticum durum* stockés dans les trous souterrains de la wilaya  
de Mila; essai de décontamination biologique**

### Membres de Jury

Président (e) : Dr. Aicha Kribeche  
Examinatrice : Dr. Amina Bounar  
Encadrant : Dr. Nabila Benhamada

### Présenté par

Zohra Mokhbi  
Zineb Neffah  
Selma Belamrania

Année universitaire 2022 - 2023

## *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord ALLAH, le très miséricordieux de nous  
Avoir guidé et toujours soutenu, et pour son aide à durant toute notre  
vie et nos années*

*D'étude. Paix et salut soit sur prophète Mohamed (SAW) qui sera  
toujours pour nous un Modèle.*

*Au terme de la réalisation de ce mémoire, nous tenons à remercier :*

*Notre encadrante Mme **Benhamada Nabila**, pour avoir dirigé et  
supervisé ce modeste travail.*

*Ainsi que pour sa patience avec nous, son aide, et sa grande  
gentillesse, ses conseils précieux*

*Et sa disponibilité entière toute au long de période de travail.*

*Mme **Kribeche Aicha** pour avoir aimablement accepté de présider le  
jury de soutenance*

*Dr. **Bounnar Amina** pour avoir aimablement accepté examiner notre  
travail.*

*En fin, nous adressons nos remerciements à nos familles et à toutes  
nos amies, et en*

*Particulièrement celle de notre promotion*

*(2022-2023)*

**« MERCI »**

## *Dédicace*



*Dédicace A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :*

*A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère **MALIKA** qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.*

*A mon cher père **MOHAMED** qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements.*

*A ma sœur fouzia*

*A mes frères : **Amine** et **Abd Elrahmanne** A toute la famille **Mokhbi** et **Chebeb**.*

*A mes amis : **Marwa**, **Fatima**, **Donia**, **Widad** et tous mes amis et camarades de promotion pour ces années passées ensemble, dans les meilleurs moments comme dans les pires.*

**ZOHRA**



## ***Dédicace***

*Je remercie tout d'abord le bon ALLAH tout puissant qui m'a donnée  
la force et le*

*Courage pour terminer ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail aux deux personnes que j'aime le plus  
dans la vie, ma*

*Raison de vivre qui méritent tout le respect du monde qu'ils trouvent  
ici le Témoignage de mon profond amour et mon dévouement infini.*

*Ma mère, Samia source de compassion et de tendresse, l'exemple de  
patience*

*Et de sacrifice, la raison de mon existence et le support de ma vie ;*

*A mon très cher père, Ammar l'homme le plus parfait dans le monde,  
mon grand*

*Exemple et le secret de ma réussite ;*

*Que ALLAH les protège et leur réserve une longue vie pleine de  
bonheur et de santé.*

*A mes très chers frères : Nedjm el dine, Zakaria, Mohammed*

*A ma petite sœur : selsabil*

*A mon neveu : Yahia*

*A toute la promotion toxicologie fondamentale et appliqué 2022-2023.*

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

***Zineb***



*Avant tout je remercie **Dieu** le tout puissant de m'avoir **Donné** la force et la patience pour terminer ce travail.*

*A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère **Zoulaikha** qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.*

*A mon cher père **Rabeh** le grand homme, école de mon enfance qui a été mon ombre durant toutes les années des études. **Chers parents**, je suis fière de vous offrir cette réussite, c'est à vous que je la dois !!*

*A mes sœurs et mes frères et leurs femmes, ainsi que leurs enfants.*

*À tous mes amis sans exception. Et Mes sœurs que ma mère n'a pas mises au monde : **Chaima, Roumaïssa, et Amira.***

*A mon trinôme **Zohra et Zineb.***

***Selma***

## Sommaire

### Liste des abréviations

### Liste des tableaux

### Liste des figures

<b>Introduction.....</b>	<b>01</b>
<b>Synthèse bibliographique.....</b>	
<b>I. Les métaux lourds.....</b>	<b>03</b>
I.1. Définitions.....	03
I.2. Origine des métaux lourds.....	03
I.3. Effets toxiques des métaux lourds.....	03
I.4. Etude de quelques exemples de métaux lourds.....	05
I.4.1. Le plomb (Pb).....	05
I.4.1.1. Définition.....	05
I.4.1.2. Propriétés physico-chimiques du plomb.....	05
I.4.1.3. Sources d'exposition.....	05
I.4.1.4. Toxicocinétique.....	06
I.4.1.5. Toxicité du plomb.....	06
I.4.2. Le cadmium (Cd).....	07
I.4.2.1. Propriétés physico-chimiques du cadmium.....	07
I.4.2.2. Origine du cadmium.....	07
I.4.2.3. Toxicocinétique.....	08
I.4.2.4. Intoxication au cadmium.....	08
I.4.3. Le mercure (Hg).....	08
I.4.3.1. Propriétés physico-chimiques du mercure.....	09
I.4.3.2. Sources d'exposition.....	09
I.4.3.3. Toxicocinétique.....	09
I.4.3.4. Intoxication au mercure.....	09
I.4.4. Le chrome (Cr).....	10
I.4.4.1. Propriétés physico-chimiques du chrome.....	10
I.4.4.2. Toxicocinétique.....	10
I.4.4.3. Intoxication au chrome.....	11
<b>II. Le blé fermenté traditionnellement</b>	
II.1. Données générales sur le blé dur.....	11
II.1.1. Définition.....	11
II.1.2. Classification botanique.....	11
II.1.3. Origine génétique et géographique.....	12
II.1.4. Structure histologique du grain de blé dur.....	13

II.1.4.1. Enveloppe la couche à aleurone.....	13
II.1.4.2. Amande .....	13
II.1.4.3. Germe .....	13
II.2. Le stockage du blé.....	14
II.3. Le blé fermenté traditionnellement.....	15
II.3.1. Définition.....	15
II.3.2. Le stockage souterrain du blé .....	15
II.4. La contamination du blé dur par les métaux lourds .....	15
<b>II. Les bactéries lactiques</b>	
III.1. Définition et caractéristiques.....	17
III.2. Habitat.....	17
III.3. Taxonomie et classification.....	17
III.3.1. Le genre <i>lactobacillus</i> .....	18
III.3.2. Le genre <i>Enterococcus</i> .....	18
III.3.3. Le genre <i>Lactococcus</i> .....	18
III.3.4. Le genre <i>Streptococcus</i> .....	18
III.3.5. Le genre <i>Leuconostoc</i> .....	19
III.4. Applications des bactéries lactiques.....	19
III.4.1. Les ferments ou starters de fermentation.....	19
III.4.2. Les bio conservateurs.....	19
III.4.3. Les probiotiques.....	19
III.5. Intérêt des bactéries lactiques dans la conservation des aliments	19
III.6. Les bactéries lactiques et les métaux lourds.....	20
<b>I. Matériel et méthodes</b>	
I.1. Matériel.....	21
I.1.1. Matériel biologique.....	21
I.1.2. Produits chimiques et réactifs.....	21
I.1.3. Milieux de culture.....	21
I.1.4. Appareillages.....	21
I.2. Méthodes.....	21
I.2.1. Caractérisation physicochimique des échantillons.....	22
I.2.1.1. Poids de 1000 grains.....	22
I.2.1.2. Masse à l'hectolitre.....	22
I.2.1.3. Taux d'impuretés.....	22
I.2.1.4. Détermination de la teneur en eau et en matière sèche.....	23
I.2.1.5. Détermination des taux des cendres.....	23
I.2.1.6. Mesure du pH.....	24
I.2.1.7. Détermination de la teneur en protéines.....	24
I.2.2. Traitement des échantillons par les bactéries lactiques.....	25
I.2.2.1. Revivification des souches lactiques et standardisation.....	25
I.2.2.2. Traitement des échantillons.....	26

I.2.3.1. La spectrométrie d'absorption atomique (SAA).....	26
I.2.3.2. Le dosage.....	27
I.2.4. Etude statistique.....	27
<b>II. Résultats et discussions</b>	
II.1. Analyses physicochimiques des échantillons du blé.....	28
II.1.1. Poids de mille grains.....	28
II.1.2. Masse à l'hectolitre.....	29
II.1.3. Taux d'impuretés.....	29
II.1.4. Mesure l'humidité et la matière sèche.....	30
II.1.5. Détermination de matière minérale et Matière organique.....	31
II.1.6. Mesure du pH.....	32
II.1.7. Détermination de la teneur en protéines.....	33
II-Dosages des métaux lourds dans les échantillons du blé.....	34
II.1. Cas du plomb.....	34
II.2. Cas du cadmium .....	35
II.3. Décontamination du plomb par les bactéries lactiques.....	36
II.4. Décontamination du cadmium par les bactéries lactiques.....	37
Conclusion	39
Résumé	
Liste des Références	
Annexes	

## Liste des abréviations

**%** : Pourcentage

**ALA** : acide delta-aminolévulinique.

**As**: arsenic.

**ATSDR**: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

**°C** : Degré Celsius.

**Cd** : cadmium.

**Cr**: chrome.

**Cr (VI)**: chrome hexavalent.

**Cr (III)** : chrome trivalent.

**Cu** : cuivre.

**G** : gramme

**H** : Humidité.

**Hcl** : Chlorure d'hydrogène.

**Hg** : mercure.

**hl** : hectolitre

**I** : impureté

**ml** : Millilitre.

**Mg/kg** : milligramme per kilogramme

**MM** : Matière minérale

**MO** : Matière organique

**MS** : Matière sèche

**Ni** : nickel.

**Pb** : plomb

**Pbs** : plomb dans le sang.

**PMG** : Poids de Mille Grains

**Ppm** : partie par million

**PPZ** : protoporphyrine-zinc.

**SAA** : Spectrophotomètre d'Absorption Atomique

**Se** : sélénium

**SNC** : système nerveux central.

**S11**: *Lactiplantibacillus plantarum*.

**S30**: *Lactobacillus sp.*

**T°** : Température.

**µg** : Microgramme

**Zn** : zinc

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : effet de principaux métaux lourds sur la santé humaine .....	<b>04</b>
<b>Tableau 02</b> : Propriétés physico-chimiques du plomb.....	<b>05</b>
<b>Tableau 03</b> : effet toxique de l'exposition prolongée au plomb.....	<b>07</b>
<b>Tableau 04</b> : Propriétés physico-chimiques du Cadmium.....	<b>07</b>
<b>Tableau 05</b> : Les principales caractéristiques physiques du chrome.....	<b>10</b>

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b> Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde	<b>12</b>
<b>Figure 02.</b> Histologie du grain de blé	<b>14</b>
<b>Figure 03.</b> Le poids de mille grains des échantillons du blé fermenté et témoin. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>27</b>
<b>Figure 04.</b> Résultats de la masse à l'hectolitre des échantillons du blé. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>29</b>
<b>Figure 05.</b> Taux des impuretés des échantillons du blé. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>30</b>
<b>Figure 06.</b> Teneur en eau et en matière sèche des échantillons du blé. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>31</b>
<b>Figure 07.</b> Teneur en matière minérale et organique des échantillons du blé. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>32</b>
<b>Figure 08.</b> Détermination du pH dans les échantillons du blé. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>33</b>
<b>Figure 09.</b> Teneur en protéines dans les échantillons du blé fermenté et témoin. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>34</b>
<b>Figure 10.</b> Teneur en plomb dans les échantillons du blé. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>35</b>
<b>Figure 11.</b> Teneur en cadmium dans les échantillons du blé. <i>FWJ22, FWM22, FWI22, BM7 et BM2 : échantillons du blé fermenté</i>	<b>36</b>
<b>Figure12.</b> La quantité du plomb accumulé par la S11 et la S 30 déterminée Par SAA	<b>37</b>
<b>Figure13.</b> La quantité du cadmium accumulé par la S11 et la S 30 déterminée Par SAA	<b>38</b>

# *Introduction*



A l'heure où les recommandations alimentaires se font de plus en plus nombreuses, il est bon de se tourner vers des aliments présents depuis des millénaires, comme les céréales qui regroupent le blé, le seigle, l'orge et le triticale, etc. Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière, le blé est l'espèce la plus représentative (**Djermoun, 2009**).

A la différence des baies et des fruits qui peuvent être rapidement consommées en état frais, les céréales peuvent être stockées mais doivent être préparées pour être agréables à consommer (**Jeantet et al., 2006**). Le stockage des grains est une opération complexe qui demande la prise en compte de multiples paramètres (température, humidité, etc.) lors des différentes étapes, entre la récolte et l'expédition (**Zouaoui, 2011**). Le stockage souterrain des céréales est une technique largement utilisées en milieu rural dans plusieurs régions céréalières du monde. Ce système ancestral est très bien connu pour les avantages qu'il présente : coût réduit, discrétion du stockage, réduction des effets excessifs des variations extérieures de température, création d'atmosphère confiné et enfin limitation des risques de parasitisme (**Bartali et Debbarh, 1991**). En Algérie, ce type de stockage souterrain se fait dans des silos appelés « Matmour ou Matmora » qui transforment les grains de blé dur en un produit traditionnel dit « le blé fermenté » présentant des caractéristiques spécifiques (**Benhamada et Idoui, 2020 ; Benhamada et Idoui, 2021**).

Sur le plan expérimental, il n'existe pas de travail porté sur le dosage des métaux lourds dans le blé fermenté traditionnellement, dans ce contexte on s'intéresse dans ce modeste travail à déterminer le taux de contamination du blé fermenté par ces produits toxiques, et en parallèle essayer de minimiser la contamination en utilisant une solution biologique faisant appel à des bactéries lactiques.

Notre manuscrit comprend :

Une introduction générale qui va éclaircir la problématique et l'objectif de notre travail ; Une synthèse bibliographique décrivant les métaux lourds, généralités sur le blé dur et les bactéries lactiques.

Une étude expérimentale commençant par le chapitre matériel et méthodes qui décrit les méthodes et techniques employées puis le chapitre résultats et discussions regroupant tous les résultats obtenus avec leurs discussions.

Enfin, le manuscrit est achevé par une conclusion générale et les perspectives envisagées.

# *Synthèse bibliographique*

## I. Les métaux lourds

### I.1. Définitions

Les métaux lourds sont tout élément métallique qui présente un poids spécifique élevé (densité), égal ou supérieur à 5 grammes par centimètre cube. Parmi eux, il y a, entre autres, le mercure, le chrome, le nickel, le cadmium et le plomb. Sur 111 éléments identifiés, 90 se produisent naturellement sur la terre (**Jaishankar, 2014**).

Les métaux sont généralement définis sur la base de leurs propriétés physiques à l'état solide :

1. Haute réflectivité responsable du lustre métallique caractéristique ;
2. Conductivité électrique élevée, diminuant avec augmentation de la température ;
3. Conductivité thermique élevée ;
4. Propriétés mécaniques telles que la résistance et ductilité. (**Hanane et al., 2021**)

Les métaux à l'état solide sont également caractérisés par leur structure cristalline, par la liaison chimique spécifique dans laquelle les électrons sont délocalisés et mobiles, et par les propriétés magnétiques. Ces propriétés physiques n'ont qu'une valeur limitée pour comprendre les effets toxiques systémiques, bien que certaines puissent être importantes pour comprendre les effets locaux des aérosols métalliques. Une définition plus utile des métaux pour permettre d'expliquer les effets toxiques est basée sur leurs propriétés en solution aqueuse. Cette définition est la suivante : "un métal est un élément qui, dans des conditions biologiques, peut réagir en perdant un ou plusieurs électrons pour former un cation (**Donati, 2018**).

### I.2. Origine des métaux lourds

L'origine des métaux lourds présents dans le sol et l'eau peut être naturelle, c'est le résultat de l'érosion et de décomposition progressive des roches. Les métaux lourds les plus courants sont le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le sélénium (Se), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni). Au cours des décennies, les activités humaines sont également responsables d'une augmentation substantielle de la pollution du sol et des eaux aux métaux lourds à l'exemple du cadmium (22000 tonnes), du cuivre (93000 tonnes), du plomb (783000 tonnes) et du zinc (135000 tonnes) (**Jost-Tse, 2018**).

### I.3. Effets toxiques des métaux lourds

Certains métaux lourds en faibles concentrations sont essentiels pour les processus biochimiques et physiologiques au sein des organismes vivants ; cependant, ils peuvent devenir

toxiques à des concentrations plus élevées (**Jaishankar et al., 2014**). Il faut souligner que plusieurs métaux lourds sont extrêmement toxiques même à de faibles niveaux d'exposition. Ils peuvent provoquer des dommages à plusieurs organes (**Guha et al., 2017**).

Des concentrations élevées des métaux essentiels et non essentiels (Hg, As, Cd, Pb, Cr) provoquent des effets néfastes (altération du mécanisme photosynthétique, blocage de la division cellulaire, inhibition d'activité enzymatique) dans les cellules de micro algues (**Miazek et al., 2015**).

Dans les systèmes biologiques, il a été rapporté que les métaux lourds affectent les organites cellulaires et les composants tels que la membrane cellulaire, les mitochondries, le lysosome, le réticulum endoplasmique, les noyaux et certaines enzymes impliquées dans le métabolisme, la détoxification et la réparation des dommages. Il a été constaté que les ions métalliques interagissent avec des composants cellulaires tels que l'ADN et les protéines nucléaires, provoquant des dommages à l'ADN et des changements de conformation qui peuvent conduire à une modulation du cycle cellulaire, à la cancérogenèse ou à l'apoptose (**Tchounwou et al., 2012**).

Les métaux lourds s'accumulent facilement dans l'organisme et particulièrement au niveau des reins. Chaque espèce a des effets spécifiques sur la santé humaine (tableau 1). Les symptômes de la toxicité apparaissent en cas d'absorption ou de contact avec de fortes concentrations en métaux ou de concentrations plus faibles sur une longue période (**Squinazi, 2020**).

**Tableau 1 :** Effets de principaux métaux lourds sur la santé humaine

<b>Polluant</b>	<b>Effet sur la santé</b>	<b>Référence</b>
Plomb (Pb)	Saturnisme, perturbation du système nerveux et des reins, anémie, troubles de la fonction spermatique.	<b>(Squinazi, 2020)</b>
Mercure (Hg)	Allergies, atteintes pulmonaires, atteintes neurologiques (encéphalopathie) ou rénales (tubulopathie, glomérulonéphrite) pertes de mémoire.	<b>(Andujar, 2011)</b>
Cadmium (Cd)	Système respiratoire pneumopathie, destruction des muqueuses, rein protéinurie, calculs rénaux, lésion glomérulaires et tubulaires, système squelettique perte de densité osseuse et minéralisation, maladie Itai_Itai, système reproducteur nécrose testiculaire, effets de type œstrogène, atteinte de synthèse des hormones stéroïdes.	<b>(Andujar, 2011)</b>

## I.4. Etude de quelques exemples de métaux lourds

### I.4.1. Le plomb (Pb)

#### I.4.1.1. Définition

Elément pauvre de numéro atomique (82) et de masse atomique (207g/mol), avec une température de fusion égale à 327.5 °C et une température d'ébullition de 1748.9 °C. Il apparait au-dessous du zinc (**Landis et Ho yo, 1999 ; Wright et Welbourn, 2002**), dont le corps simple est un métal gris bleuâtre mou, il s'agit d'un métal lourd (**Ramade, 1995**), la concentration moyenne en plomb de la croûte terrestre serait de l'ordre de 13 à 16 mg/kg (**Burnol et al., 2006**).

#### I.4.1.2. Propriétés physico-chimiques du plomb

Il en existe quatre isotopes naturels de plomb 204Pb, 206Pb, 207Pb et 208Pb. Leur abondance relative dans la nature est respectivement de 1,48 %, 23,6 %, 22,6 % et 53,6 %, mais leurs proportions dans les matériaux varient, en fonction de la source, ce qui peut être utilisé pour identifier l'origine d'une contamination par le plomb. Le plomb élémentaire a une faible conductivité électrique et sa masse élevée lui confère un important pouvoir d'absorption des rayonnements X, et électromagnétiques (**Adriano, 2001**) (tableau 2).

**Tableau 2** : Propriétés physico-chimiques du plomb (**Cecchi, 2008**).

Symbole	N°atomique	poinds atomique	Densité	point de fusion	point d'ébullition
Pb	82	207,2	11.34	327,43 °C	1740°C

#### I.4.1.3. Sources d'exposition

Les sources de plomb dans l'environnement peuvent être naturelles ou lié à l'activité humaine. L'absorption des vapeurs et des fumées de plomb est essentiellement respiratoire. La pénétration des poussières du métal, de ses oxydes et de ses sels est aussi (et souvent principalement) digestive, par déglutition secondaire des particules de grosses dimensions déposées dans l'arbre respiratoire et secondairement drainées jusqu'au carrefour aérodigestif et surtout par ingestion (consommation de boissons et d'aliments sur le lieu de travail, contamination des mains et activité main-bouche...) (**Garnier, 2005**).

Les aliments n'apportent, habituellement qu'une faible quantité de plomb, à condition qu'ils ne proviennent pas de végétaux cultivés (ou d'animaux élevés) dans une zone contaminée, qu'ils n'aient pas été préparés avec des ustensiles ou encore conservés dans des récipients contenant du plomb (étains décoratifs, céramiques artisanales, cristaux) (**Jouglard et al., 1996 ; Garnier,**

2000). Une étude réalisée par la Direction générale de la santé (Järup, 2003). A estimé à 24 µg/l par repas solide l'apport de plomb par les aliments.

### I.4.1.4. Toxicocinétique

L'absorption des vapeurs de plomb est respiratoire. Celle des poussières inhalées est respiratoire et digestive (Ledrans et al., 1997 ; Wilbur, 2000). En pratique, dans la plupart des situations d'exposition (professionnelles, environnementales, alimentaires), la principale voie d'absorption du plomb est digestive. Le passage systémique est beaucoup plus important chez le jeune enfant (40 - 50 %) (Garnier, 2000).

Le passage transcutané des dérivés inorganiques du plomb est très faible (< 0,5 %), si la peau est intacte (Moore et al., 1980). La distribution du plomb dans l'organisme n'est pas homogène. Elle a fait l'objet de nombreuses modélisations. Les plus généralement admises distinguent trois compartiments, en fonction de leurs cinétiques d'élimination : le sang, les tissus mous et l'os, dont les demi-vies respectives sont de 36 jours, 40 jours et 27 ans (Ledrans et al., 1997). À l'état d'équilibre, le plomb sanguin ne représente que 1 à 2 % de la quantité présente dans l'organisme. Dans le sang, lorsque la concentration de plomb dans le sang (pbs) est inférieure à 400 µg/L, 99 % du plomb se trouve dans les hématies. La fraction plasmatique augmente un peu aux plus fortes concentrations (Wilbur, 2006).

L'excrétion du plomb est principalement urinaire (> 75 %) et fécale (15 - 20 %). Le reste est éliminé dans les phanères, la sueur et les sécrétions bronchiques. La demi-vie d'élimination est très augmentée en cas d'insuffisance rénale. Il existe aussi une excrétion lactée. La concentration de plomb dans le lait est généralement comprise entre 10 et 30 % de la pbs (Ledrans et al., 1997).

### I.4.1.5. Toxicité du plomb

L'intoxication aiguë par le plomb inorganique est rare. Elle ne peut résulter que d'une ingestion massive ou d'une administration parentérale. Elle ne doit pas être confondue avec les manifestations paroxystiques de l'intoxication chronique (Jan et al., 2015). L'exposition répétée au plomb produit des effets nocifs dans de nombreux organes et tissus. Ils sont résumés dans le Tableau 3.

**Tableau 03** : Effets toxiques de l'exposition prolongée au plomb (Arif et al., 2015).

Effets	Plombémie (ug/L)
Risque de décès, chez l'adulte	2000
Risque d'encéphalopathie sévère chez l'adulte	
Syndrome de Toni-Debré-Franconi	1500
Colique saturnine	1000
Anémie	
Elévation de l'ALA urinaire	700
Douleurs abdominal et ralentissement du transit digestif	
Diminution de taux d'hémoglobine	400
Elévation de la PPZ	
Inhibition de la vitamine D	
Troubles cognitifs, chez l'enfant	100

**ALA** : acide delta-aminolévulinique ; **PPZ** : protoporphyrine-zinc

#### I.4.2. Le cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal blanc-bleuâtre, mou et très malléable, il est insoluble dans l'eau et les solvants organiques usuels. L'oxyde et le sulfure de cadmium sont pratiquement insolubles dans l'eau. Le sulfate, le nitrate et le chlorure de cadmium sont au contraire très solubles dans l'eau (Andujar et al., 2010).

##### I.4.2.1. Propriétés physico-chimiques du cadmium

Le cadmium (groupe IIB du tableau périodique) est un métal lourd qui constitue une grave menace pour la santé humaine (Godt et al., 2006).

**Tableau 4** : Propriétés physico-chimiques du Cadmium (Seiler et al., 1994).

Symbole	Masse atomique	numéro atomique	Densité	point de fusion	point d'ébullition	
<b>Pb</b>	112.4	48	11.34	8.6 g/ml	320.9°C	765°C

##### I.4.2.2. Origine du cadmium

Généralement Il n'existe pas à l'état natif mais est obtenu industriellement comme sous-produit de la métallurgie du zinc, mais est aussi présent dans des minerais de plomb et de cuivre. Par conséquent, l'activité volcanique est l'une des causes naturelles des concentrations temporairement élevées de cadmium dans l'environnement. (Bertrand et al., 2022) Le cadmium est largement utilisé dans les procédés industriels tels que : comme agent anticorrosion, comme stabilisant dans les produits en polychlorure de vinyle (PVC), comme pigment de couleur, comme absorbeur de neutrons dans les centrales nucléaires et dans la

fabrication de batteries nickel-cadmium. Les engrais phosphatés sont également riches en cadmium. Bien que certains produits contenant du cadmium puissent être recyclés, la majeure partie de la pollution générale au cadmium est causée par le déversement et l'incinération de déchets contaminés au cadmium (**Jarup, 2003**).

### **I.4.2.3. Toxicocinétique**

La plus grande partie du cadmium est liée à des protéines telles que l'albumine et la métallothionéine. Le premier organe affecté après absorption dans la circulation sanguine du tractus gastro-intestinal est le foie. Ici, le cadmium induit la production de métallothionéine. (**Persoons et al., 2020**) Après une nécrose hépatocytaire et une apoptose ultérieure, les complexes Cd-métallothionéine sont éliminés dans les sinusoides. De là, une partie du cadmium absorbé entre dans la circulation entéro-hépatique par sécrétion dans les voies biliaires sous forme de conjugués cadmium-glutathion. Le cadmium réintègre l'intestin grêle après avoir été dégradé par voie enzymatique dans l'arbre biliaire en complexes cadmium-cystéine (**Zalups et Ahmad, 2003**).

Le principal organe d'accumulation à long terme du cadmium est le rein (**Orlowski, 2003**). Ici, la demi-vie du cadmium est d'environ 10 années. Par conséquent, un apport à vie de cadmium entraîne une accumulation de cadmium dans le rein, ce qui entraîne une nécrose des cellules tubulaires rénales. Les concentrations sanguines de cadmium sont un indicateur fiable d'une exposition récente, tandis que les concentrations urinaires reflètent l'exposition passée, la charge corporelle et l'accumulation rénale (**Jin et al., 2002**). Le cadmium est excrété par les matières fécales et l'urine (**Bliefert et Perraud, 2004**).

### **I.4.2.4. Intoxication au cadmium**

Malgré sa faible teneur dans le sol, le cadmium est très toxique. Considéré comme très mobile et facilement bio disponible, il peut risquer de contaminer les nappes phréatiques par les plantes à travers la chaîne alimentaire ou en migrant plus profondément. L'alimentation (légumes, viande, lait) et le tabac seront la principale source d'absorption humaine du cadmium. Cependant, le plus grand danger demeure dans l'inhalation directe de poussières contaminées dans certains milieux récréatifs, comme les aires de jeux ou les terrains de sport (**Sarkar et al., 2002**).

### **I.4.3. Le mercure (Hg)**

Le mercure est un métal blanc argenté, brillant, très dense et très mobile. C'est le seul métal liquide à température ambiante, ce qui lui a valu son symbole (Hg) du mot grec

latinisé *hydrargyrum* (argent liquide). Le mercure élémentaire ou mercure métal est volatil aux températures ambiantes habituelles (assez pour être à l'origine d'intoxication) et également insoluble (**Bensefa-Colas, 2011**).

### **I.4.3.1. Propriétés physico-chimiques du mercure**

Il se divise par l'agitation en fines gouttelettes. C'est aussi le seul métal dont la température d'ébullition soit inférieure à 650 °C, il se caractérise par une extrême volatilité. Le Hg se combine très facilement avec d'autres molécules, que ce soient des métaux, des molécules inorganiques ou organiques (**David et al., 2009**).

### **I.4.3.2. Sources d'exposition**

Le mercure métal a trois grands domaines d'application : dans l'industrie électrique et chimique. Il sert également à la préparation de nombreux amalgames notamment dentaires, à la réalisation de miroir ou de dorure, et à la récupération de métaux précieux (**Poupon, 2007**).

### **I.4.3.3. Toxicocinétique**

Sous forme de vapeur, le mercure élémentaire est rapidement et essentiellement absorbé par voie pulmonaire, le taux d'absorption alvéolaire étant classiquement évalué à 80 %. Le mercure élémentaire après absorption est distribué rapidement dans tous les organes, où il est rapidement oxydé en ion mercurique ( $\text{Hg}^{+2}$ ) lui permettant de se fixer sur des protéines sanguines et tissulaires ; il reste néanmoins échangeable expliquant l'action chélatrice de certains agents. Le mercure inorganique se distribue de façon similaire dans tous les organes (**ollier et al., 2017**). L'accumulation des dérivés inorganiques dans le rein et le fœtus est plus faible que le mercure métallique, ce dernier étant plus lipophile. L'élimination mercurique inorganique est principalement rénale lors d'exposition prolongée, dans une moindre mesure, elle peut être biliaire (jusqu'à 40 %), et plus faible par voie cutanée et salivaire ou dans les phanères. (**Atsdr, 1999**)

### **I.4.3.4. Intoxication au mercure**

Les intoxications aiguës par ingestion sont essentiellement liées à l'ingestion volontaire ou accidentelle de chlorure mercurique. Ceci est lié au pouvoir caustique des sels inorganiques dans le tractus digestif. Des douleurs abdominales, des vomissements sanglants, voire même des perforations digestives ont été observés (**Bensefa-Colas et al., 2011**). De plus, l'intoxication aiguë au mercure métallique peut être observée suite à l'inhalation de fortes concentrations de vapeurs de mercure produites dans une zone confinée. Les premiers

symptômes apparaissent quelques heures après l'exposition associant une asthénie, une fièvre, des céphalées et une myalgie suivie de signes d'irritation des voies respiratoires, avec une toux et une dyspnée. Le mercure métallique n'est pas une substance irritante, à l'inverse des dérivés inorganiques dont les propriétés irritantes et corrosives sont bien établies. En revanche, le mercure métal et ses dérivés inorganiques sont à l'origine de dermatites de contact allergique (Tsui et Wang, 2006).

L'intoxication chronique est liée à une exposition chronique aux vapeurs de mercure. L'organe cible chez l'Homme lors de l'inhalation de vapeurs de mercure est le système nerveux central (SNC). Lors d'expositions chroniques aux dérivés inorganiques du mercure, le rein est l'organe critique. La sévérité et la réversibilité des lésions dépendent de l'intensité et de la durée de l'exposition (Zalups, 2000).

#### **I.4.4. Le chrome (Cr)**

##### **I.4.4.1. Propriétés physico-chimiques du chrome**

Le chrome est un métal blanc, brillant et non magnétique, il appartient au groupe (VI-B) de la classification périodique des éléments de transition (Shanker et al., 2005). Les principales caractéristiques physiques du chrome sont groupées dans le tableau 4.

**Tableau 5 :** Les principales caractéristiques physiques du chrome (Mohanty et Patra, 2011).

Température de fusion	1857 °C
Température d'ébullition	2672°C
Densité	7,19 g/cm <sup>3</sup> -20°C
Isotopes naturels non radioactifs	50 (4,31%), 52 (83,76%), 53 (9,55%), 54 (2,38%)
Isotopes radioactifs	De 46 à 49, 51, 55 et 56

La spéciation du chrome hexavalent ou Cr (VI) et chrome trivalent ou Cr (III) dépend de plusieurs paramètres comme le pH, leur concentration. Selon le potentiel d'oxydoréduction et le pH dans le sol, le chrome peut exister dans quatre états, à savoir : deux formes trivalentes et deux formes hexavalentes. Dans les milieux naturels, le chrome hexavalent est principalement sous la forme de  $CrO_4^{2-}$  et la majeure partie du chrome trivalent est incluse dans des hydroxydes ou dans des complexes avec des ligands organiques (Bradl, 2005).

##### **I.4.4.2. Toxicocinétique**

La solubilité à l'eau et l'état d'oxydation des différents composés du chrome sont des facteurs qui influent le taux d'absorption de ces composés par voie orale, par inhalation ou par contact

cutané. Le Cr traverse facilement les membranes cellulaires (**Donaldson et Barreras, 1966**). La distribution tissulaire du chrome dépend de plusieurs facteurs, dont sa forme chimique, sa solubilité et la voie d'exposition. La petite fraction du chrome qui forme des complexes avec des ligands de bas poids moléculaire peut diffuser lentement dans le plasma, le sang et les cellules ou à l'extérieur de ceux-ci (**O'Flaherty, 1996 ; Kerger et al., 1996 ; O'Flaherty et al., 2001 ; Paustenbach et al., 2003**).

Lorsqu'il est issu de l'exposition au Cr (III) ou au Cr (VI), le chrome absorbé est en grande partie éliminé dans l'urine sous forme trivalente (**Suzuki et Fukuda, 1990**).

### **I.4.4.3. Intoxication au chrome**

Pour l'homme, les composés de chrome hexavalent sont plus toxiques que les composés trivalents. L'ingestion de sels de chrome entraîne une inflammation massive du tube digestif suivie d'une nécrose s'étendant de la bouche au jéjunum. Si l'issue n'est pas rapidement fatale, survient après 12 à 24 heures, des manifestations de nécrose hépatique et rénale (**Pendias, 1992**).

Les manifestations toxiques sont généralement attribuées aux dérivés hexavalents : coloration jaunâtre des dents et de la langue ; irritation des muqueuses ; allergies respiratoires ; action cancérogène (**Lauwers, 1999**).

## **II. Le blé fermenté traditionnellement**

### **II.1. Données générales sur le blé dur**

#### **II.1.1. Définition**

Le blé dur (*Triticum durum*) est une espèce tétraploïde, son grain est dur, vitreux, de couleur jaune ambre et il est utilisé pour la formation de divers produits alimentaires et la fabrication de pâtes, couscous, burghul, puddings, pain et de nombreux autres aliments traditionnels. Le grain de blé dur est riche en éléments nutritifs. Il est également associé à la réduction et à la prévention d'un certain nombre de maladies (**Shakir et al., 2022**).

Le blé dur est une culture vivrière importante dans le monde. Il est cultivé depuis des milliers d'années dans les oasis du Sahara et le bassin méditerranéen. Aujourd'hui, les petits exploitants agricoles le cultivent encore sur des terres marginales afin d'assurer une production destinée à leur propre consommation. Cependant, le blé dur n'est plus seulement une culture de base pour

la sécurité alimentaire, mais est devenu une importante culture de rapport (Tidiane Sall et al., 2019).

### II.1.2. Classification botanique

Le blé dur appartient à :

**Embranchement :** *Spermaphytes*

**S/Embranchement :** *Angiospermes*

**Classe :** *Monocotylédones*

**Super ordre :** *Commeliniflorales*

**Ordre :** *Poales*

**Famille :** *Graminacées*

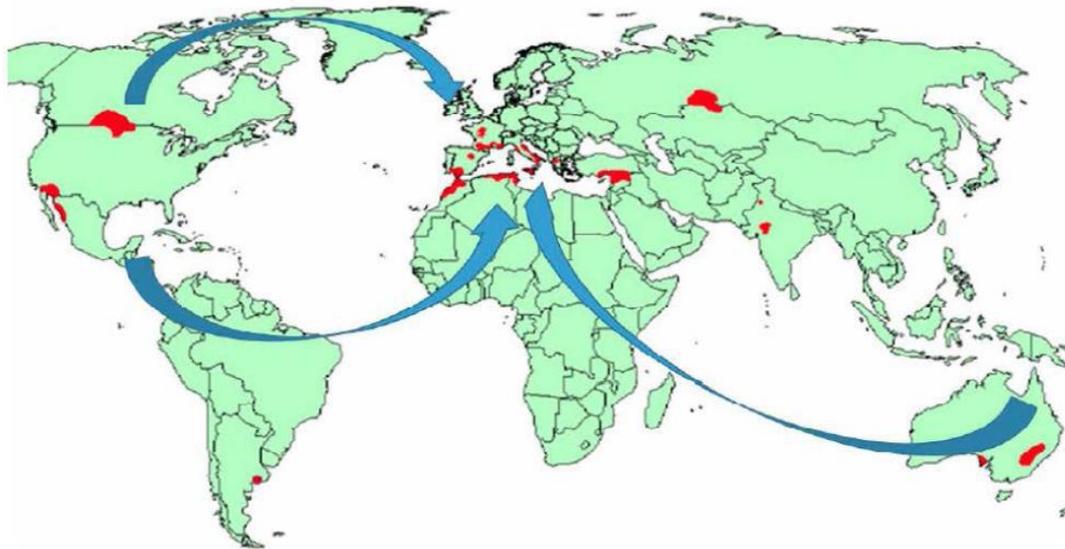
**Genre** *Triticum* sp.

**Espèce :** *Triticum durum* Desf. (Feillet, 2000)

### II.1.3. Origine génétique et géographique

Le *Triticum durum* est une espèce allo tétraploïde ( $2n = 4x = 28$ ) possédant 7 paires de chromosomes homéologues associées à deux génomes différents A et B. Le génome A vient du blé sauvage *Triticum urartu* Tum. Plus connu sous le nom *einkorn* (*Triticum monococcum*) de constitution génomique diploïde (génome AA). Par contre le génome B vient de l'espèce sauvage, diploïde, *Aegilops speltaoides* (génome BB) (Schuhwerk et al., 2011).

Le *Triticum durum* Desf est cultivé dans le monde entier sur près de 17 millions d'hectares avec une production mondiale de 38,1 millions de tonnes en 2019 (Wang, 2019). Le plus grand producteur est l'Union européenne, avec 9 millions de tonnes en 2018, suivie du Canada, de la Turquie, des États-Unis, de l'Algérie, du Mexique, du Kazakhstan, de la Syrie et de l'Inde (Tedone et al., 2017 ; Eurostat, 2019 ; Tidiane Sall et al., 2019 ; Esmail et Abdelrhim 2020 ; Xynias et al., 2020) (Figure 1).



**Figure 01.** Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde. (Megerssa et al., 2020).

En Algérie, 50 % des terres agricoles non irriguées sont cultivées en céréales, notamment en blé dur, avec un faible rendement. Ces terres sont principalement situées dans la région des Hautes Plaines, connue pour son climat semi-aride, l'Algérie couvre ses besoins nationaux en blé dur par des importations massives, avec une facture annuelle moyenne de 1 milliard de dollars (Kourat, 2021).

#### II.1.4. Structure histologique du grain de blé dur

Le grain de blé est constitué de trois parties essentielles : les enveloppes, l'amande et le germe (Mousia et al., 2004) (Figure 02).

##### II.1.4.1. Enveloppe la couche à aleurone

Les enveloppes sont constituées de quatre tissus : le péricarpe externe, le péricarpe interne, la testa et la couche nucellaire ou bande hyaline (qui correspond à l'épiderme du nucelle). Ces enveloppes et la couche à aleurone sont composées principalement de polysaccharides (arabinoxylanes, xyloglucanes et cellulose) mais aussi d'acides phénoliques lignines et de protéines (principalement albumines globulines localisées dans la couche à aleurone (Surget et Barron, 2005).

##### II.1.4.2. Amande

C'est l'organe de réserve, il est constitué de grosses cellules gorgées de réserves sous forme de grains d'amidon (Debiton, 2010). L'amande est appelée aussi endosperme ou albumen, c'est la

partie centrale du grain, tissu de stockage qui fournit au germe les réserves nécessaires pour sa croissance (Doumandji et al., 2003). Il est représenté par 81-84 % du grain de blé (Mousia et al., 2004).

### II.1.4.3. Germe

Il représente 2 à 3 % de grain du blé, et comprend deux parties (plantule et le cotylédon). Il contient l'essentiel des matières grasses du grain dans le cas des céréales (Surget et Barron, 2005). De par sa richesse en nutriments (vitamines, protides, lipides), le germe est une partie du grain qui contient l'embryon, protégé par le scutellum (Mousia et al., 2004).

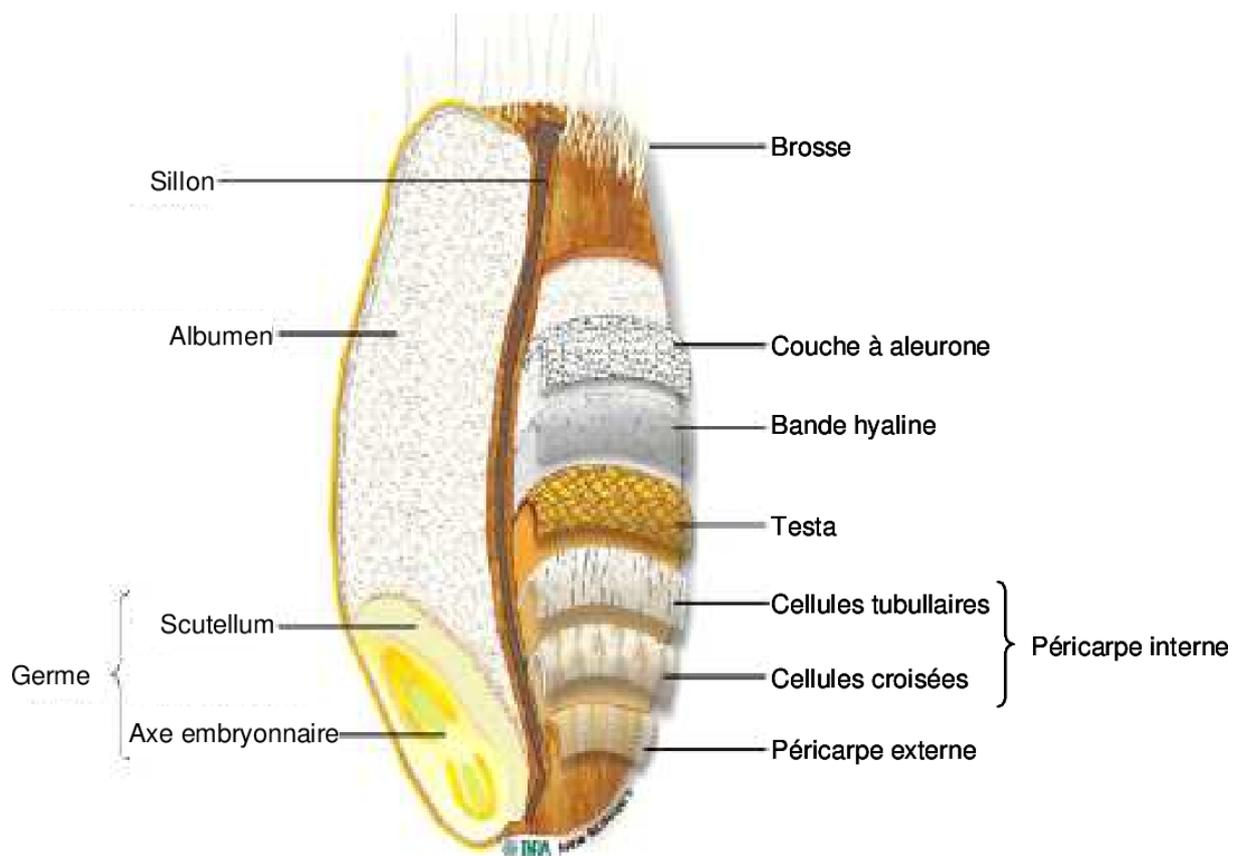


Figure 02. Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005).

## II.2. Le stockage du blé

Le stockage des céréales en général et du blé en particulier joue un rôle crucial dans les économies des pays développés et en développement. Pour assurer la disponibilité régulière des produits agricoles et/ou stabiliser l'économie d'un pays, il est nécessaire de fournir des céréales alimentaires de qualité aux consommateurs pour la fabrication de différents produits et la commercialisation, ainsi qu'aux agriculteurs pour l'ensemencement et la culture de grains de blé

sains. Afin de satisfaire la demande d'une offre abondante de blé, les grains doivent être stockés tout au long de l'année (**Ellis et al., 1992**).

Les premiers systèmes de stockage étaient de grands paniers faits de roseaux ou fioles d'argiles qui sont enfoncées dans le sol, ainsi que des puits, des structures de bois et des puits garnis de paille (**Druveforsd, 2004**).

Les agriculteurs des pays en développement ont recours à des méthodes de stockage traditionnelles qui exposent les grains aux attaques de rongeurs et d'insectes et créent des conditions climatiques favorables à leur prolifération ainsi qu'à celle des micro-organismes, ce qui entraîne des pertes post-récolte considérables (**Ngamo et al., 2007**). Les facteurs les plus importants qui affectent la qualité des grains stockés sont la température, l'humidité, les caractéristiques des semences, les micro-organismes, les insectes, les lieux géographiques et les structures de stockage (**Govender et al., 2008**). À des températures allant jusqu'à 35 °C, de nombreux champignons et insectes qui envahissent les grains stockés peuvent causer des dommages importants et réduire la durée de stockage des grains (**Maier, 1996**). La teneur élevée en humidité des grains (supérieure à 12 %), la température atmosphérique élevée (25 à 35 °C) et l'humidité relative (supérieure à 60 %) pendant le stockage créent un environnement favorable à la prolifération des espèces d'insectes (**Ahmad et al., 1998**). La perte de poids et la réduction de la germination des graines dues aux champignons et aux insectes, en particulier si la teneur en eau augmente pendant le stockage, ont également été signalées par certains travailleurs (**Chitio et al., 2004**).

### **II.3. Le blé fermenté traditionnellement**

#### **II.3.1. Définition**

Le blé fermenté traditionnel est le produit issu de la fermentation spontanée du blé dans des trous ou des fosses souterrains appelés « Matmour ou Matmora » (**Gourchala et al., 2014**).

#### **II.3.2. Le stockage souterrain du blé**

Le stockage souterrain des céréales est une des techniques largement utilisées en milieu rural dans plusieurs régions céréalières du monde. Ce système ancestral est très bien connu pour les avantages qu'il présente : coût réduit, discrétion du stockage, réduction des effets excessifs des variations extérieures de température, création d'atmosphère confiné et enfin limitation des risques de parasitisme (**Bartali et Debbarh, 1991**).

Le stockage du blé dur dans des trous souterrains est une méthode traditionnelle utilisée par les agriculteurs Algériens pour préparer du blé fermenté traditionnellement, ce qui donne un

produit spécial appelé localement « Mzeyet » ou « Elhamoum ». Une telle méthode est basée sur l'utilisation de trous souterrains ou de silos construits près de la ferme à des endroits généralement élevés. La durée du stockage varie de quelques mois voire même quelques années. La méthode donne au blé dur une couleur brune et une très forte odeur acide, suite à la fermentation naturelle due aux micro-organismes indigènes. Il a été constaté que cette fermentation était à dominance lactique (**Gourchala et al., 2014 ; Benhamada et Idoui, 2021**)

### **II.4. La contamination du blé dur par les métaux lourds**

Les métaux lourds tels que le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc sont des contaminants majeurs qui sont incorporés dans l'environnement par des activités humaines telles que l'utilisation d'engrais dans l'agriculture, la création de décharges, les activités industrielles urbaines, la fusion et les applications de boues d'épuration (**Nicholson et al., 2003 ; Gove et al., 2001**). En raison de la nature toxique de ces éléments métalliques, leur persistance à long terme dans le sol peut avoir la capacité d'être transportée dans la chaîne alimentaire (**Hayyat et al., 2016 ; Rizwan et al., 2016**). La pollution persistante des métaux lourds dans le sol ne dégrade pas seulement la qualité de l'atmosphère, des masses d'eau et du sol, mais constitue également une menace sérieuse pour la sécurité alimentaire et la santé publique par le biais de la chaîne alimentaire (**Wuana et Okieimen, 2011 ; Gómez-Sagasti et al., 2012**). En tant que principal puits de métaux lourds dans l'écosystème terrestre, les sols pollués par les derniers suscitent de plus en plus d'intérêt dans le monde entier. Cependant, l'évaluation des risques écoenvironnementaux et humains reste limitée. Par conséquent, l'évaluation de leur teneur dans le sol et la prévision de leur taux de transfert dans la chaîne alimentaire constituent des efforts importants.

Ces dernières années, de nombreux auteurs ont rapporté des informations sur l'accumulation de métaux dans les tissus du blé dur, tels que le cadmium (**Vergine et al., 2017 ; Hu et al., 2020**), Le cuivre (**Bravin et al., 2010**), l'arsenic (**Shi et al., 2019**), le nickel (**Dalir et Khoshgoftarmanesh, 2014**), le plomb et le chrome (**Frost et Ketchum, 2000**). Cependant, on sait peu de choses sur l'effet combiné de ces métaux sur le développement des plantes, la compartimentation des métaux dans les tissus végétaux et les réponses moléculaires.

La plupart des résultats des expériences ont montré que la concentration de métaux lourds dans les échantillons de plants de blé suivait le sol > la racine > le bourgeon > le grain. Parmi les parties de la plante, les racines ont la plus forte capacité d'accumulation pour tous les métaux lourds, qui sont les parties en contact direct avec le sol, de plus les racines sont le principal canal d'absorption des métaux lourds dans la plante de blé. En général le Cd est le métal lourd

le plus accumulé dans les trois parties de la plante, et le Cu est le métal lourd le moins accumulé dans toutes les parties de la plante (**Kolleh et al., 2021**).

Le Cd et le Pb sont considérés comme des risques environnementaux, car ils sont toxiques pour l'homme et d'autres organismes vivants (**Wang et al., 2006 ; Ghaderi et al., 2012**), et le Codex Alimentarius (CDX 193-1995, amendé en 2019) a fixé une teneur maximale de 0,2 mg kg<sup>-1</sup> pour le Cd et le Pb dans le blé (**Eskola et al., 2020**).

Bien que le Cd et le Pb ne soient pas des éléments essentiels, les plantes sont capables d'adsorber ces métaux du sol et de les stocker sur différents organes comestibles (**Florijn et Van Beusichem, 1993 ; Li et al., 1995**). Pour ces raisons, le contrôle de l'accumulation des métaux lourds dans les organes comestibles des plantes est un point clé pour préserver la santé humaine. Les plantes réagissent à la toxicité des métaux lourds en activant plusieurs mécanismes physiologiques et moléculaires. Ces réponses comprennent l'immobilisation, l'exclusion, la chélation et la compartimentation des ions métalliques, ainsi que l'expression de gènes communs liés au stress, tels que ceux impliqués dans la voie de l'éthylène et les gènes codant pour les protéines de stress (**DalCorso et al., 2019**).

### III. Les bactéries lactiques

#### III.1. Définition et caractéristiques

Les bactéries lactiques sont des microorganismes hétérotrophes à Gram positif, catalase négative, oxydase négative, nitrate réductase négative, anaérobies facultatifs, acidotolérantes, et mésophiles. Elles sont de formes variables : Cocci, ou bacilles, immobiles et asporulées, elles peuvent fermenter les glucides en produisant de l'acide lactique à plus de 50 % (**König et al., 2009**). Elles sont auxotrophes à certains facteurs de croissance : acides aminés (**Letort et Julliard, 2001**), vitamines (**Shankman et al., 1946**), et bases azotées (**Ives et Ikeda, 1997**).

#### III.2. Habitat

Les bactéries lactiques sont ubiquitaires, généralement, associées à un habitat riche en nutriments, tels que divers produits alimentaires (lait et ses dérivés) (**Cocolin et Ercolini, 2008**), les yaourts, les viandes et les poissons et les matières végétales (plantes, fruits) (**Novel, 1993**). Elles constituent aussi la flore microbienne dominante responsable de la fermentation des céréales et des plantes fourragères ensilées (**Carr et al., 2002**).

### III.3. Taxonomie et classification

Du point de vue phylogénétique, les bactéries lactiques appartiennent à la branche des *Clostridia* (Stiles et Holzappel, 1997). Elles sont classées selon la morphologie cellulaire, le mode de fermentation de glucose, mode d'utilisation du glucose et la température de croissance (Quinto et al., 2014). *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Streptococcus* sont les principaux genres (Bintsis, 2018). Selon des révisions taxonomiques, plusieurs nouveaux genres ont été proposés : *Aerococcus*, *Alloiococcus*, *Carnobacterium*, *Dolosigranulum*, *Enterococcus*, *Globicatella*, *Lactococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus*, and *Weissella* (Khalid, 2011). Récemment, les scientifiques ont reclassifié le genre *Lactobacillus* en 25 genres, y compris le genre *Lactobacillus*, qui comprend des organismes adaptés à l'hôte qui ont été désignés sous le nom de groupe *Lactobacillus delbrueckii*, *Paralactobacillus* et 23 nouveaux genres (Zheng et al., 2020).

#### III.3.1. Le genre *Lactobacillus*

Le genre *Lactobacillus* est très hétérogène (leur GC varie entre 32% et 53%). Il contient plus de 120 espèces et 20 sous-espèces, mais sa classification évolue régulièrement (Zhang et Cai, 2014). Les lactobacilles se présentent sous forme de bacilles, isolés ou en chaînettes. Ces bactéries peuvent se développer entre 2°C et 53°C avec un optimum compris entre 30°C et 40°C (Mofredj et al., 2007).

Certains lactobacilles sont utilisés pour la production de yogourts, fromages, choucroutes, cornichons, pains au levain, vins et autres produits fermentés. Ces micro-organismes sont couramment choisis comme probiotique car ils expriment de nombreuses propriétés cruciales telles qu'une haute tolérance à l'acidité des sucs gastriques et à la bile, une forte capacité à adhérer aux cellules intestinales et une activité antimicrobienne (Fijan, 2014).

#### III.3.2. Le genre *Enterococcus*

Ce genre est formé d'espèces dont les contenus en Guanine Cytosine (GC) sont voisins (37,5 % à 44 %). Par contre, si l'on se réfère aux taux d'hybridation ADN-ADN, elles apparaissent génétiquement différentes les unes des autres. Les entérocoques se présentent sous forme de coques en courtes chaînes. Elles ont la capacité de croître à une température entre 10 et 45 °C, à un pH alcalin de 9,6 dans une solution contenant 6,5 % de NaCl (Hancock et Gilmore, 2000) ; ces caractéristiques sont utilisées pour leur identification (Rice et American public Health Association 2012).

#### III.3.3. Le genre *Lactococcus*

Les lactocoques se présentent sous forme de coques en paires ou en chaînes de longueur variable. Leur température optimale de croissance est proche de 30 °C, capable à se développer à 10 °C mais pas à 45 °C (**Tamime, 2002**). Elles se développent généralement à 4 % de NaCl et à un pH proche de la neutralité, leur croissance s'arrêtant lorsque le pH du milieu atteint 4,5 (**Zhang et Cai, 2014**).

### III.3.4. Le genre *Streptococcus*

Ces microorganismes ont un contenu en GC de 35 à 46 % (**Pilet et al., 2005**). Les cellules de ce genre sont sphériques ou ovoïdes qui ont une disposition en paires ou en chaînes longues. Leur température optimale de croissance est 37 °C. Elles sont incapables à se développer à 15 °C et à pH de 9,6 (**Huys et al., 2012**).

### III.3.5. Le genre *Leuconostoc*

Le genre *Leuconostoc* ressemble le plus étroitement au genre *Lactobacillus* (**Zhang et Cai, 2014**). Les espèces de ce genre s'arrangent en paires ou en chaînes. Leur température optimale de croissance se situe entre 20 et 30 °C avec un pH optimum de croissance égal à 6,5 et leur contenu GC sont assez voisins (37 à 45%) (**Tamime, 2002**).

## III.4. Applications des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des microorganismes utilisés de diverses façons, dont on cite les principales :

### III.4.1. Les ferments ou starters de fermentation

Les bactéries lactiques peuvent être utilisées seules ou associées à des levures dans la fermentation d'aliments divers comme le lait, les produits laitiers, et certaines plantes (**Mugula et al., 2003**).

### III.4.2. Les bio conservateurs

Les bactéries lactiques sont capables de produire des métabolites et composés doués d'activité antimicrobienne, elles peuvent agir sur les microorganismes pathogènes et/ou d'altération et contribuer à prolonger la durée de vie des aliments (**Gálvez et al., 2007**).

### III.4.3. Les probiotiques

Une autre utilisation des bactéries lactiques, qui grâce à leurs propriétés fonctionnelles (telles que la production de composés antimicrobiens et la capacité d'adhésion) peuvent avoir des rôles bénéfiques sur la santé humaine et animale (**Lignon et Chiny, 2013**).

### III.5. Intérêt des bactéries lactiques dans la conservation des aliments

La bio-conservation ou bio préservation, est une méthode de conservation des aliments faisant appel à des microorganismes, appelés encore cultures protectrices, ou à leurs métabolites naturels. Ces termes sont généralement utilisés en opposition à l'ajout de conservateurs dits (chimiques) classiquement utilisés dans les industries agroalimentaires (Stiles et al., 1996 ; Singh, 2018 et Gould, 2000).

Il existe différentes voies permettant la bio préservation des aliments. Ainsi il est possible d'utiliser des microorganismes, tels que les bactéries lactiques dans des procédés ancestraux, comme la fermentation traditionnellement utilisée pour la fabrication de produit d'origine animale ou végétale. Le rôle conservateur des bactéries lactiques est principalement lié à leur compétitivité qui leur permet de croître et dominer aux dépens des autres espèces, ainsi qu'à leur capacité à produire des molécules antagonistes, peroxyde d'hydrogène, acides organiques et d'autres substances antibactériennes telles que les bactériocines en inhibant certaines souches pathogènes (Laref et al., 2013). Ces bactériocines sont de petits peptides, thermostables que les bactéries utilisent dans le cadre de la compétition contre d'autres bactéries de la même espèce (spectre étroit) ou contre des bactéries d'autres genres (large spectre). Les bactériocines les plus prometteuses dans le développement d'antibiotiques sont celles produites par les bactéries lactiques, avec les genres de base, notamment *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Streptococcus* (Dortu et Thonart, 2008).

### III.6. Les bactéries lactiques et les métaux lourds

La liaison des bactéries lactiques aux métaux lourds dépend de la souche, de la température et du pH. En raison de l'adsorption rapide de Cd et Pb à partir d'une solution aqueuse, le mécanisme de liaison passive des ions métalliques à la surface des bactéries a été suggéré plutôt que l'accumulation à l'intérieur de la cellule selon ; plusieurs mécanismes réversibles tels que l'échange d'ions et la précipitation sont impliqués dans la liaison de Cd et Pb par les bactéries lactiques (Kirillova et al., 2017).

Les études de Halttunen et al. (2007) montrent que les espèces *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* peuvent lier le Pb et le Cd en solution. Ils ont observé un phénomène de liaison rapide dans les espèces étudiées, les plus grandes quantités de Pb et de Cd étant fixées entre 5 min et 1 h (Monachese et al., 2012).

# *Etude expérimentale*

## **I. Matériel et méthodes**

Notre travail a été réalisé au niveau des laboratoires du département de biologie moléculaire et cellulaire de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de l'Université de Jijel, pendant la période Mai-juin de l'année 2022/2023.

### **I.1. Matériel**

#### **I.1.1. Matériel biologique**

Un échantillon de blé dur non fermenté (témoin) et cinq échantillons fermentés traditionnellement dans le Matmour prélevés de la région de Mila (FWJ 22, FWM22, FW122, BM2 et BM7) ont fait l'objet de la présente étude.

Deux souches de bactéries lactiques préalablement isolés du blé fermenté ont été utilisées. Ces bactéries sont : S11 (*Lactiplantibacillus plantarum*) et S30 (*Lactobacillus* sp.)

#### **I.1.2. Produits chimiques et réactifs**

L'acide chlorhydrique (HCl) a été utilisé pour le dosage des métaux lourds.

Les produits chimiques utilisés pour le dosage des protéines sont les suivants : Acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), l'acide borique, l'indicateur de Tashiro.

#### **I.1.3. Milieux de culture**

Pour l'activation et la culture des bactéries lactiques, nous avons utilisé le bouillon et la gélose Man Rogosa et Sharp (MRS).

#### **I.1.4. Appareillages**

Les appareillages utilisés lors de ce travail sont les suivants : Balance (Denver), balance analytique (Kernals 220.4N), bain Marie (Mettler), agitateur électrique menu d'un barreau magnétique, agitateur vortex, micropipettes (Microlite), pH-mètre, mortier et pilon, four à moufle, four Pasteur (Control), étuves (Mettler), appareil de spectroscopie d'absorption atomique avec flamme (SAA), réfrigérateur, hotte chimique.

## **I.2. Méthodes**

Les cinq échantillons du blé fermenté, MWJ22, MWM22, MW122, BM2 et BM7 et le blé non fermenté (témoin) ont fait l'objet :

- D'une analyse physico-chimique des grains ;
- D'un traitement par les bactéries lactique ;

- Enfin, un dosage des métaux lourds : plomb et cadmium.

### **I.2.1. Caractérisation physicochimique des échantillons**

#### **I.2.1.1. Poids de 1000 grains**

C'est un critère ayant un grand intérêt dans les expérimentations agronomiques. Selon **Godon et Loisel (1997)**, il s'agit de peser 5 g de blé sale, puis éliminer les impuretés, ensuite peser exactement le poids des grains entiers et compter le nombre N de ces grains. Le poids de mille grains est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Poids de 1000 grains (g)} = (p \times 100) / N$$

Où :

P : le poids des grains entiers

N : nombre des grains comptés

H : taux de l'humidité de l'échantillon en pourcentage (%)

#### **I.2.1.2. Masse à l'hectolitre**

La masse à l'hectolitre, appelée aussi poids à l'hectolitre ou poids spécifique (PS), est la masse d'un hectolitre de grain exprimée en Kilogrammes. Le volume de l'hectolitre est égal 100 litres, donc pour déterminer la masse de 1 hectolitre il s'agit de peser la masse de 100 litres (**Godon et Loisel, 1997**).

#### **I.2.1.3. Taux d'impuretés**

La recherche des impuretés est l'opération qui a pour but de séparer, de classer et de peser les différentes impuretés contenues dans un échantillon (**Godon et Loisel, 1997**).

Pour la détermination du taux d'impuretés, 5g de chaque échantillon ont été pesées, les impuretés sont éliminées puis pesées (**Mauze et al., 1972**).

Le taux d'impuretés est déterminé par la formule suivante :

$$I (\%) = (i1/i) \times 100$$

Où :

i : poids de blé fermenté

i1 : poids des impuretés

#### **I.2.1.4. Détermination de la teneur en eau et en matière sèche (AACC, 1983)**

Pour l'estimation de l'humidité des échantillons, une quantité de 2,5 g de blé est placée dans le four à 105 °C jusqu'à ce que le poids soit stable

$$H (\%) = ((P1 - P) / P1) \times 100$$

Où :

P1 : Poids avant séchage (g)

P : Poids après séchage

La matière sèche représente toute la composition de l'échantillon sauf l'eau, donc elle est déterminée comme suit :

$$MS (\%) = 100 - (H\%)$$

Où :

H% est la teneur en eau

#### **I.2.1.5. Détermination des taux des cendres (Afnor, 1972)**

Le dosage des cendres est basé sur la destruction de toute matière organique sous l'effet de la température élevée. Les cendres sont exprimées en pourcentage en masse. Ils sont le résidu de composés minéraux qui restent après incinération de 2,5 g d'un échantillon contenant des substances organiques à 500 °C pendant 5 heures.

$$MM\% = Ri \times 100 / P \times 100 / (100 - H)$$

Où :

Ri : résidu après incinération

P : prise d'essai en g

H : Humidité (%).

La différence entre la matière sèche et la masse de cendres (matière minérale) correspond à la masse de la matière organique (MO). Le taux de la matière organique dans un échantillon peut donc être donné par la différence :

$$\text{MO (\%)} = (100 - \text{MM}\%)$$

#### **I.2.1.6. Mesure du pH**

Pour l'estimation de l'acidité ou l'alcalinité des échantillons, une solution est préparée à base de 22,5 ml d'eau distillée additionnée à 2,5 g d'échantillon broyé. Après une heure de repos avec une agitation continue, la mesure du pH est réalisée à l'aide du pH-mètre (**Gacem et al., 2011**).

#### **I.2.1.7. Détermination de la teneur en protéines (méthode de Kjeldahl)**

Pour déterminer la quantité des protéines contenue dans un échantillon, on procède à un dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl qui a été développée en 1883 par un chimiste Danois « Johan KJELDAHL ». Cette dernière s'effectue en trois phases (**Kjeldahl, 1883**) :

##### **Minéralisation :**

Dans un matras de Kjeldahl, on introduit :

- ✓ 1 g de l'échantillon.
- ✓ 2 g de catalyseur (mélange de sulfate de cuivre et sulfate de potassium);
- ✓ 25 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré à 97 %.

On chauffe le matras jusqu'à ce que la couleur noire se transforme en une couleur limpide, à ce moment-là l'azote organique est transformé en azote minéral.

Ensuite, on laisse refroidir et on transverse l'échantillon minéralisé dans une fiole, on lave le matras avec l'eau distillée tout en ajustant le volume jusqu'à 100 ml.

**Distillation :**

Dans un matras, on introduit 10 ml du contenu de la fiole auquel on additionne 20 ml d'eau distillée et 30 ml de la soude à 35 %.

En parallèle, on prépare une solution d'acide borique à 40 g/L avec 10 gouttes d'indicateur de Tashiro (de couleur rose- violette en présence d'un milieu acide et verte dans le cas d'un milieu alcalin).

La distillation s'effectue dans un appareil spécifique, elle est arrêtée au bout de 4 minutes à compter du début d'ébullition.

**Titration :**

Puisqu'on utilise l'acide borique comme solution de récupération, on va alors titrer l'excès des anions de borate avec la solution de HCl à 0,1 N jusqu'à changement de la coloration du vert au rose-violet dû au virage de l'indicateur de Tashiro.

L'azote total est calculé suivant la formule représentée ci-dessous :

$$\text{Azote total (N) (\%)} = [(VB-VE) F. 0,0014. 10. 100] /M$$

Dont :

- ✓ VB : Volume de Hcl 0.1 N utilisé pour un essai blanc (ml) :
- ✓ VE : Volume de Hcl 0.1 N utilisé pour la titration de la solution à doser (ml) :
- ✓ F : Facteur de correction :
- ✓ 100 : Coefficient du pourcentage ;
- ✓ 10 : Coefficient du volume total de la solution à doser ;
- ✓ M : Masse de la prise d'essai.

Le taux d'azote total est converti en taux de protéines brutes selon la formule suivante :

$$\text{Taux de protéines brutes (\%)} = \text{N total (\%)} \times 6,2$$

D'où 6.25 est le facteur de conversion basé sur le taux moyen d'azote

**I.2.2. Traitement des échantillons par les bactéries lactiques**

**I.2.2.1. Revifiction des souches lactiques et standardisation**

Les souches lactiques préalablement congelées dans le milieu MRS bouillon à 20 % de glycérol à (-20 °C) ont été réactivées dans le bouillon et la gélose MRS. L'incubation a été faite à 37 °C pendant 24 heures (**Nionelli, 2014**).

Les solutions bactériennes ont été standardisées dans l'eau distillée stérile à 5 Mc Farland.

### **I.2.2.2. Traitement des échantillons**

Une quantité de 5 g de chaque échantillons (témoin, FWJ 22, FWM22 et FW122) a été placée dans des flacons en verre, puis traité en ajoutant soit 1 ml de l'eau distillée stérile (contrôle), soit 1 ml de la solution de la souche lactique S11, soit 1 ml de la solution de la souche lactique S30. Les échantillons ont été bien homogénéisés puis conservés dans un endroit sec à l'obscurité pendant une semaine.

Au bout d'une semaine, les échantillons ont été récupérés, lavés par l'eau distillée stérile, séchés puis préparés pour le dosage des métaux lourds.

### **I.2.3. Dosage des métaux lourds**

#### **I.2.3.1. Principe de la spectrométrie d'absorption atomique (SAA)**

La spectroscopie d'absorption atomique (SAA) détermine les concentrations de minéraux dans les échantillons (**García et Báez, 2012**). Il s'agit d'un processus impliquant l'absorption par les atomes libres d'un élément de la lumière à une longueur d'onde spécifique à cet élément. Cette méthode est très sensible et permet de détecter de petites quantités d'un élément de 1 ppm à l'aide d'une procédure à la flamme. Des niveaux inférieurs peuvent être déterminés jusqu'à 0,001 ppm en utilisant la procédure du four en graphite. Sous leur forme élémentaire, les métaux absorbent la lumière ultraviolette lorsqu'ils sont excités par la chaleur. Chaque métal a une longueur d'onde caractéristique qui sera absorbée. L'instrument AAS recherche un métal particulier en concentrant un faisceau de lumière UV à une longueur d'onde spécifique à travers une flamme et dans un détecteur.

La solution de l'échantillon est d'abord aspirée dans la chambre de pulvérisation par un tube capillaire. L'échantillon liquide est aérolisé et mélangé à des gaz combustibles tels que l'acétylène et l'air ou l'acétylène et l'oxyde nitreux dans la chambre de pulvérisation et brûlé dans une flamme et les atomes individuels de l'échantillon sont libérés pour former un nuage à l'intérieur de la flamme. Les atomes de l'élément se libèrent. Pour les faire passer de l'état fondamental à un état excité, il faut faire passer de la lumière UV à travers une lampe à cathode creuse. En absorbant la lumière UV à des longueurs d'onde spécifiques, les atomes métalliques

à l'état fondamental passent à un état électronique supérieur. La région du spectre à mesurer est sélectionnée par un monochromateur. La ligne spectrale isolée tombe sur le photomultiplicateur, le détecteur, et la sortie est amplifiée et envoyée à un dispositif de lecture, numérique ou analogique, ou à un système informatique de traitement des données. Les données sont traitées par un logiciel. L'absorption d'une longueur d'onde sélectionnée est mesurée par le changement d'intensité lumineuse qui frappe le détecteur photomultiplicateur et est directement liée à la quantité d'élément dans l'échantillon. Les déchets sont évacués par le tuyau d'évacuation **(Paul et al., 2014)**.

### **I.2.3.2. Le dosage**

Les échantillons du blés récupérés lors de la manipulation précédentes ont été incinérés à 550 °C pendant 5 heures. Pour chaque échantillon, nous avons ajouté 1 ml de l'HCL. Après une minute, nous avons filtré et ajusté le volume a 100 ml par l'eau distillée stérile **(Ayad et al., 2021)**. Les préparations ont été conservé au réfrigérateur jusqu'à analyse par SAA. Les éléments dosés sont : le plomb et le cadmium.

### **I.2.4. Etude statistique**

Les résultats obtenus sont traités par Microsoft Excel 2010, ils sont donnés sous forme de moyenne  $\pm$  écart type.

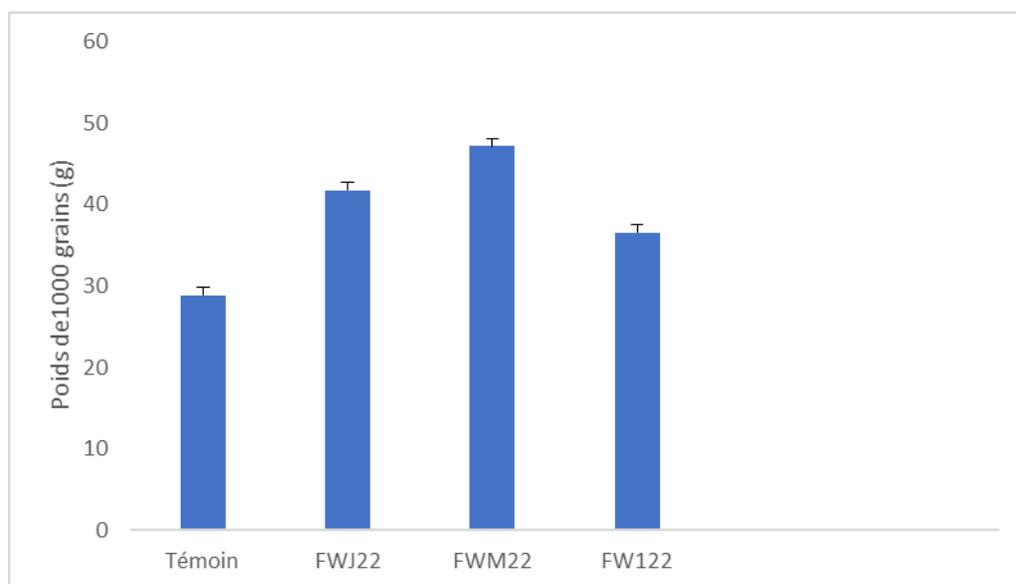
## II. Résultats et discussions

### II.1. Analyse physicochimique des échantillons du blé

#### II.1.1. Poids de mille grains

Le poids de mille grains est un critère de grand intérêt dans les expérimentations agronomiques (**Godon et Loisel, 1997**), il permet de distinguer la qualité du blé d'une manière générale. Lors du développement des grains, le poids de 1000 grains augmente et plus ils sont riches en amidon, par conséquent, on obtient un meilleur rendement en farine. Le poids de mille grains est influencé par certains facteurs principalement les conditions de culture et climatiques (**Halilat, 2004**), cependant ce paramètre permet aussi de vérifier si un grain a été conservé dans des bonnes conditions.

Les résultats de la figure ci-dessus (figure 03) présentent un poids de mille grains de  $(28.855 \text{ g} \pm 0.63)$  pour le blé non fermenté (témoin) et pour le blé fermenté des valeurs allant de  $(41.735 \text{g} \pm 1.08)$  jusqu'à  $(47.105 \text{g} \pm 1.63)$ .

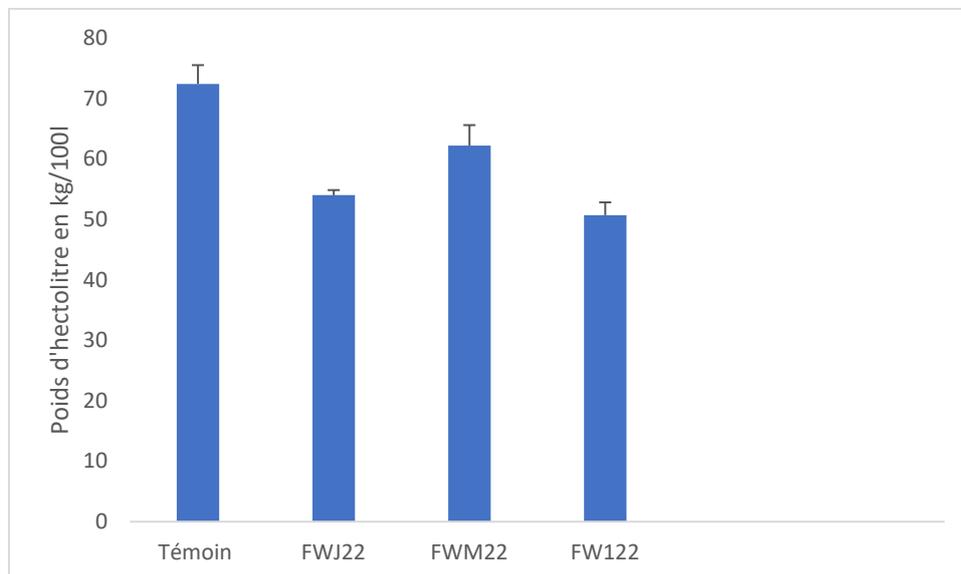


**Figure 03.** Le poids de mille grains des échantillons du blé et témoin. *FWJ22, FWM22, FW122 et le témoin.*

D'après nos résultats on constate que le poids de mille grains de témoin et FWM22 sont inclus dans l'intervalle 25-50g donnée par **Chasseray et al., (1991)**, ce poids est aussi inférieur à celui trouvé par **Gourchala et al. (2014)** qui ont enregistré une valeur de  $44 \pm 1.55 \text{g}$  pour le blé fermenté. Cette diminution est due probablement d'une partie à la perte de la matière sèche et d'autre part à l'augmentation de la teneur en eau.

### II.1.2. Masse à l'hectolitre

Il s'agit d'une mesure de la densité du grain, il indique le rendement possible en semoule. Les résultats de la masse à l'hectolitre sont illustrés dans la figure (04).



**Figure 04.** Résultats de la masse à l'hectolitre des échantillons du blé. *FWJ22, FWM22, FW122 et le témoin.*

Selon **Chasseray, (1991)** un blé qui une masse à l'hectolitre entre 77-80 kg/hl, est un blé d'une masse élevée, lourds et de bonne valeur meunière. En effet, selon **Soltner (2005)**, la masse à l'hectolitre est un paramètre de qualité qui dépend :

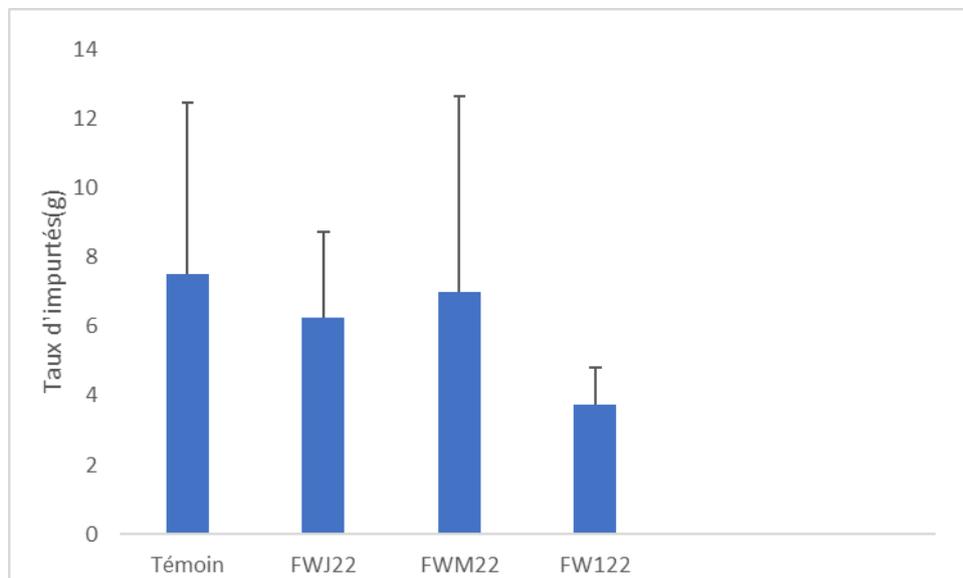
- De l'humidité (plus le grain est sec plus sa masse à l'hectolitre augmente).
- De la bonne nutrition durant la maturation (les grains échaudés sont moins présents).
- De la propreté de la récolte (les déchets plus légers diminuent la densité).

Nous avons enregistré un poids de (72.4 kg ± 3.1) pour le témoin. Ce résultat est compris dans l'intervalle proposé par **Calvel (1984)** qui est 72-82 kg/hl, par contre les résultats qui concernent le blé fermenté sont plus loin à cet intervalle : (54Kg ± 0,84), (62.2Kg ± 3.39) et (50.7Kg ± 2.12) respectivement pour l'échantillon FWJ22, FWM22 et FW122, BM7, BM2.

### II.1.3. Taux d'impuretés

Les impuretés sont l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirables dans l'échantillon. Elles sont constituées de grains cassés, altérés ou attaqués par

des prédateurs, de graines étrangères à l'espèce analysée, d'éléments d'origine organique et non organique. Les grains attaqués de blé stocké sont en corrélation avec les impuretés, les insectes vivants et morts en présence d'humidité, qui influent sur la conservation des grains de blé (Bousslah et al., 2016).

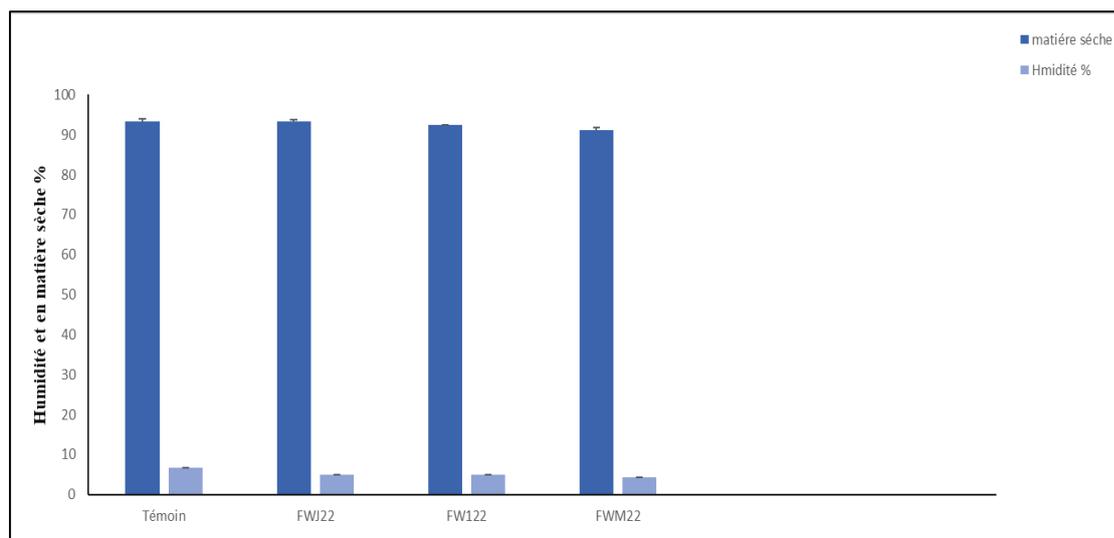


**Figure 05.** Taux des impuretés des échantillons du blé. *FWJ22, FWM22 et FW122 et le Témoin.*

Les taux des impuretés des échantillons du blé fermenté varient entre 6.25 % ± 2.47, 7 % ± 5.66, 3.75 % ± 1.06 pour les échantillons FWJ22, FWM22, FW122, respectivement (figure 08). Le témoin présente une valeur de 7.5 % ± 0,07. Nous avons noté que l'échantillon codé BM7 est le plus contaminé suivi par le Témoin, alors que l'échantillon FW122 présente la valeur la plus basse. Donc il semble être que l'échantillon FW122 était stocké dans des conditions défavorables provoquant ainsi des altérations et des cassures de grains (Bousslah et al., 2016).

#### **II.1.4. Mesure de l'humidité et de la matière sèche**

La teneur en eau des produits céréaliers présente une très grande importance sur le plan technologique, nutritionnel et économique. On entend conventionnellement par teneur en eau, la perte de masse exprimé en % subit par le produit (Willm, 1991).



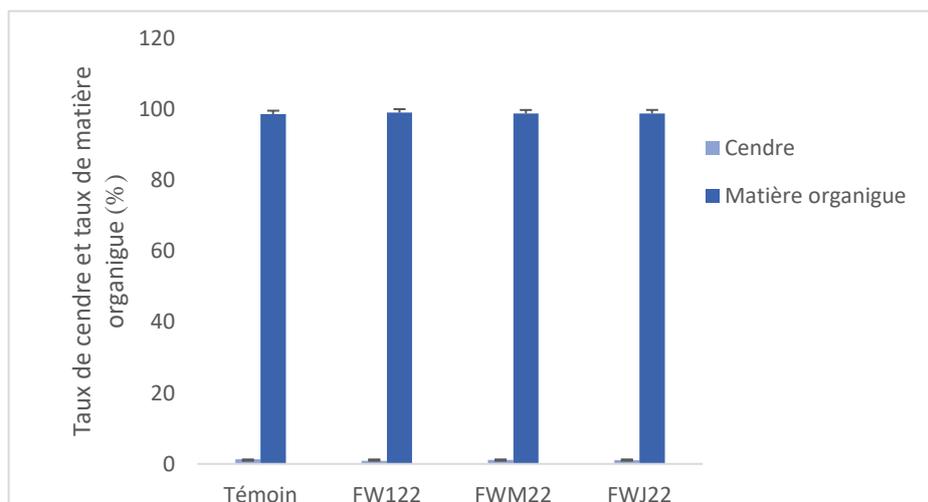
**Figure 06.** Teneur en eau et en matière sèche des échantillons du blé. *FWJ22, FWM22, FW122 et le témoin.*

Les résultats obtenus après détermination de l'humidité des échantillons sont exprimés dans la figure 06. Les valeurs moyennes de la teneur en eau des six échantillons de blé fermenté et du témoin sont plus ou moins proches et indiquent qu'il n'existe pas une différence significative en particulier pour le témoin et les échantillons codé FWJ22, FWM22 et FW122 ( $7.2 \% \pm 0.6$ ,  $6.8 \% \pm 0.6$ ,  $8.8 \% \pm 0.6$ ,  $7.6 \% \pm 0.00$ , respectivement), Ces valeurs sont plus Faibles que celles trouvées par **Doukani et al., 2013** (11.89%).

En effet, la différence d'humidité d'un échantillon à un autre peut être attribuée aux conditions climatiques, à la région de culture, et aux conditions de stockage. La teneur en eau est un critère essentiel de sa conservation (**Feillet ,2000**).

### II.1.5. Détermination de la matière minérale et organique

Le grain de blé contient des matières minérales en faible proportion et inégalement réparties, ainsi 80 % des cendres (matière minérale obtenue après incinération du produit se trouvent dans les enveloppes) contre 20 % dans l'amande, le potassium, le phosphore, le calcium et le magnésium étant les plus élevés parmi les matières minérales contenus dans le blé (**Doumandji et al., 2003**).



**Figure 07.** Teneur en matière minérale et organique des échantillons du blé. *FWJ22*, *FWM22*, *FW122* et le témoin.

Pour les des échantillons *FWJ22*, *FWM22*, *FW122*, les teneurs en matière organique sont 99.145 %, 98.905 % et 98.925 % respectivement, Alors que le taux des cendres est de 0.855 % pour *FWJ22*, 1.095 % pour *FWM22* et enfin 1.075 % pour *FW122*.

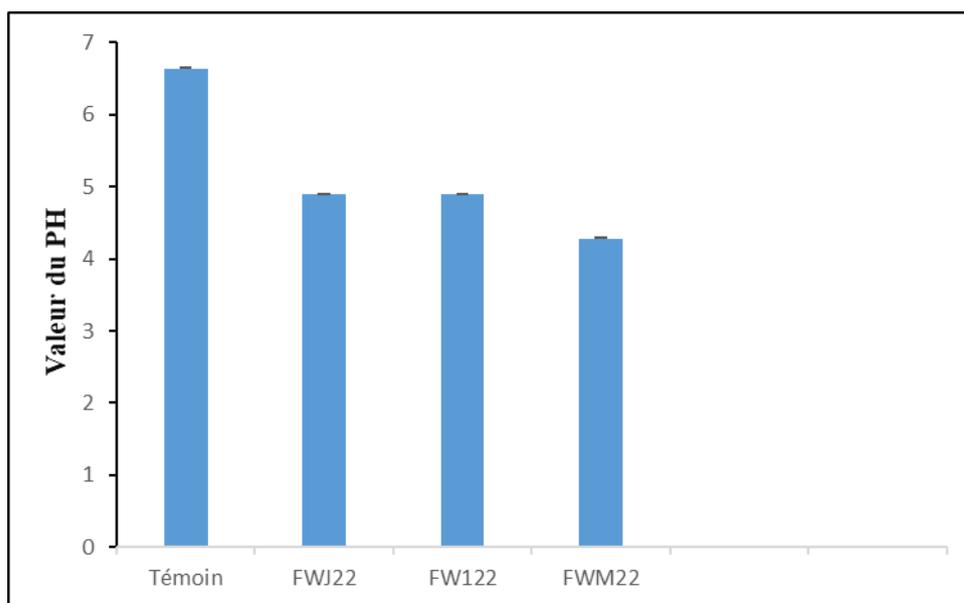
On remarque que le taux de cendres dans les échantillons le témoin, *FWJ22*, *FWM22*, *FW122* est inférieure à l'intervalle 1.5 % - 2.5 % cité par **Feillet (2000)**

En comparant nos résultats avec d'autres études faites sur les céréales fermentées, la teneur en minéraux n'est pas affectée par la fermentation à moins que certains sels soient ajoutés au produit lors de la fermentation ou par lessivage, et lorsque la partie liquide est séparée de l'aliment fermenté. (**Sahlin, 1999**). L'augmentation de la teneur en cendres du blé fermenté peut également avoir lieu suite au contact du sol lors de l'extraction du blé fermenté de l'entrepôt. (**Blandin et al., 2003, Nout et Ngoddy, 1997**).

### II.1.6. Mesure du pH

La détermination du pH nous informe sur l'évolution de l'acidité du milieu, en fonction du métabolisme des microorganismes.

D'après la figure 08, qui illustre les résultats d'analyse du pH, on remarque que les valeurs du pH varient entre  $(4.89 \pm 0.014)$ ,  $(4.89 \pm 0.00)$  et  $(4.28 \pm 0.014)$  respectivement des échantillons codé *FWJ22*, *FWM22*, *FW122* ainsi que pour le témoin qui présente la valeur  $(6.63 \pm 0.02)$ , ces valeurs sont plus élevées que les autres.



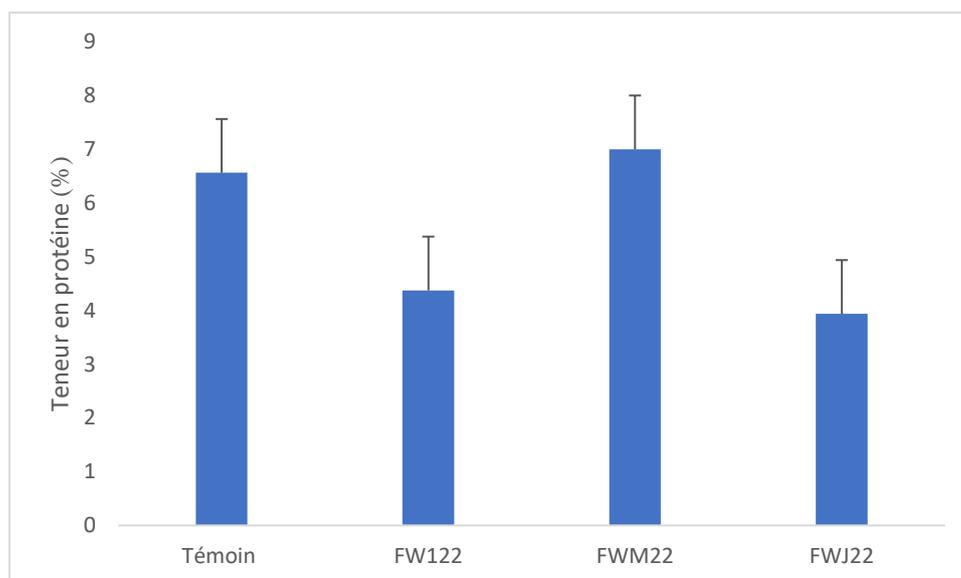
**Figure 08.** Détermination du pH dans les échantillons du blé. *FWJ22, FWM22, FW122*  
*Et le témoin.*

L'échantillon codé FWM22 semble être le plus acide, comparativement avec les autres échantillons qui sont moins acides. Cette acidité peut être due à la multiplication des microorganismes surtout les levures et moisissure et aussi les bactéries lactiques. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Doukani et al., (2013)**.

L'activité métabolique des micro-organismes qui sont impliqués dans la fermentation des céréales conduit à la production d'acides gras de courtes chaînes. Les acides formés pendant le processus de fermentation abaissent le pH, empêchant ainsi la croissance des organismes responsables de la détérioration. Le pH de ces aliments est réduit au moins à des valeurs de 4 (**Kulkarni et al., 2014 ; Boulaiche et Slatnia, 2016**).

### **II.1.7. Détermination de la teneur en protéines**

Sur le plan quantitatif, la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante. Sur le plan qualitatif, elle est basée sur les différences de propriétés des protéines, celles-ci étant liées au patrimoine génétique de la variété (**Mok, 1997**).



**Figure 09.** Teneur en protéines dans les échantillons du blé fermenté et témoin. *FWJ22, FWM22, FW122 et le témoin.*

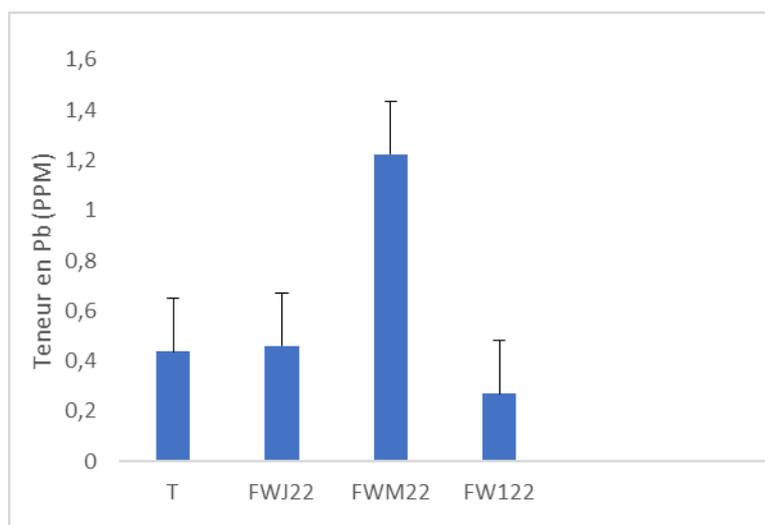
D'après le graphe ci-dessus, les valeurs des teneurs en protéines totales varient de 3,9375 % à 7 %. Les teneurs en protéines dans le Témoin et dans les échantillons codé FW122, FWJ22 sont (6,5625), (4,375), (3,9375) respectivement. Semble très éloignée de la limite suggérée par (Matz, 1991) et (Feillet, 2000), qui exigent respectivement une teneur en protéines de 7 à 18 % et de 10 à 15 %. La faible teneur en protéines de ces échantillons peut être liée à la dégradation des protéines au cours du processus fermentaire, qui favorise l'action de certaines protéases endogènes des céréales (Kamal Eldin, 2012). D'autre part, la production d'acides aminés libres résultant de l'hydrolyse des protéines céréalières au cours de la fermentation (Thiele et al., 2004) améliore la qualité nutritionnelle des céréales (Blandino et al., 2003) en augmentant la teneur en acides aminés essentiels tels que la lysine, la méthionine et le tryptophane (Adams, 1990). Par ailleurs, la teneur en protéines de l'échantillon FWM22 est (7 %) cette valeur est comprise entre les normes suggérée par (Matz, 1991).

## II. Teneur en métaux lourds dans les échantillons du blé

### II.1. Cas du plomb

Le plomb est parmi les éléments les plus toxiques qui existent dans la nature. Ses effets négatifs sur la croissance et la photosynthèse des plantes ne sont plus à démontrer (Ashraf et al., 2011). Le plomb était présent dans nos échantillons avec les valeurs suivantes 0.43, 0.45, 1.22, 0.26,

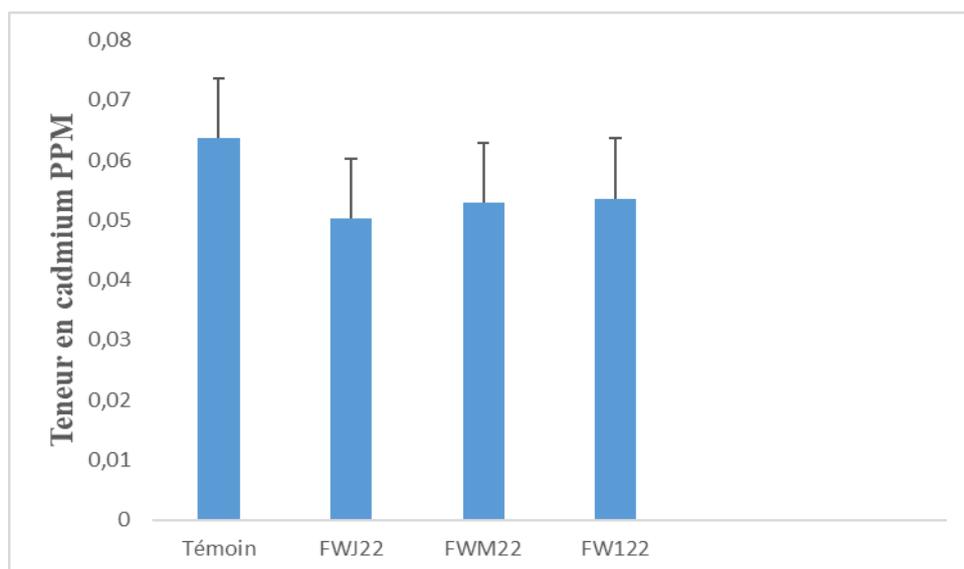
0.45 et 0.41 ppm respectivement pour le témoin, FWJ22, FWM22 et FW122.



**Figure 10.** Teneur en plomb dans les échantillons du blé. *FWJ22, FWM2, FW122 et le Témoin.*

Concernant l'échantillon FWJ22 et le témoin leur contenu en plomb est presque le même, mais pour l'échantillon FW122, on note que sa teneur en plomb est environ la moitié de celle des autres échantillons et pour l'échantillon FWM22, il contient le double par rapport au témoin, Ces résultats ne sont pas en accord avec la littérature, en effet, **Miller (1996)**, a enregistré une valeur de 1.2 ppm, une valeur qui est proche que celle de l'échantillon FWM22.

## II.2. Cas du cadmium



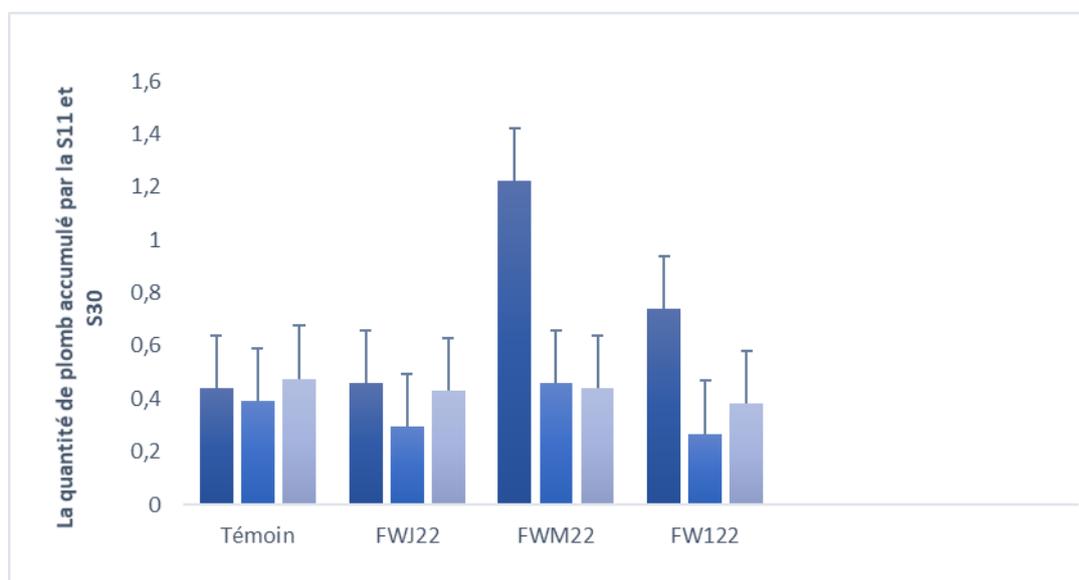
**Figure 11.** Teneur en cadmium dans les échantillons du blé. *FWJ22, FWM22, FW122 et Le Témoin.*

D'après la **figure 11**, la teneur la plus faible enregistrée est celle de FWJ22 avec une valeur de 0.0502 ppm. Et la teneur la plus élevée est enregistrée dans l'échantillon codé avec une valeur de 0.0529 ppm. Les valeurs intermédiaires sont respectivement de l'ordre 0.0637, 0.0529, et 0.0536 ppm pour le témoin, FWM22 et FW122 respectivement.

Par ailleurs, plusieurs études ont été réalisées pour recenser les niveaux des contaminations des productions de grande culture (céréales) par le cadmium en conditions d'agriculture classique, non soumise à des pollutions identifiées. Dans la plupart des cas, les valeurs moyennes ou médianes sont inférieures aux valeurs actuellement règlementées en Europe pour l'alimentation humaine (0.2 mg/kg) (**Denaix et al., 2010**).

### II.3. Décontamination du plomb par les bactéries lactiques

Les valeurs obtenues sont mesurées par la spectrométrie d'absorption atomique (SAA), les résultats sont exprimés en ppm. La figure 12 présente les résultats de la teneur du plomb dans les échantillons du blé traités ou non par la souche 11 et la souche 30.



**Figure 12.** Teneur en plomb dans les échantillons du blé traités ou non par S11 et S30.

*FWJ22, FWM22, FW122 et le témoin.*

Selon la figure 12, on note une diminution de la teneur du plomb dans tous les échantillons (témoin, FWJ22, FWM22, et FW122) traités par les deux souche (souche 11 et souche 30) par rapport aux échantillons non traités. On constate aussi que cette diminution est très considérable dans les échantillons traités par S11.

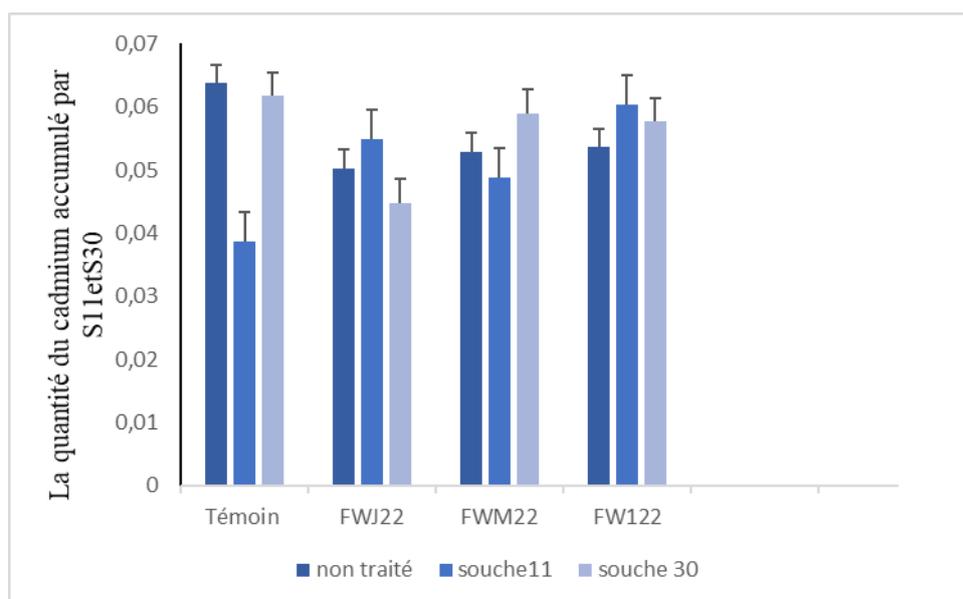
Ce résultat détermine le rôle important des bactéries lactiques dans la bioaccumulation du plomb dans les échantillons du blé. En effet, cette accumulation pourrait être associée à une adsorption physique et chimique impliquant des processus d'échange d'ions sur la surface bactérienne en raison de l'élimination rapide des métaux (**Liu et al., 2019**). Selon **Abubakr (2012)**, les bactéries lactiques ont la capacité de bioaccumulation des métaux lourds et possèdent une activité de chélation des ions métalliques.

Diverses espèces bactériennes, par ex. *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Escherichia* présentent une propriété de bioaccumulation en raison de leur petite taille et de leur capacité à se développer dans différentes conditions environnementales Le processus général d'absorption des métaux implique la liaison des ions métalliques aux groupes réactifs présents sur la paroi cellulaire bactérienne (**Abbas et al., 2014**).

D'autre part, il a été démontré que certaines souches de bactéries lactiques (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus plantarium* and *Streptococcus thermophilus*) ont la capacité de bioaccumuler le plomb. Cette bioaccumulation dépend de la concentration des souches lactiques (**Elsanhoty et al., 2016**).

#### **II.4. Décontamination du cadmium par les bactéries lactiques**

Les valeurs obtenues sont mesurées par la SAA, les résultats sont exprimés en ppm. La figure 13 présente la teneur en cadmium dans les échantillons du blé traités ou non par la souche 11 et la souche 30.



**Figure 13.** Teneur du cadmium dans les échantillons du blé traités ou non par S11 et S30. *FWJ22, FWM22, FW122 et le témoin.*

D'après la figure ci-dessus, on note que la teneur en cadmium a diminué dans le témoin après traitement par les deux souches lactiques S11 et S30. Cette diminution est beaucoup plus élevée pour la souche 11. Le même résultat est enregistré dans l'échantillon FWM22.

Pour l'échantillon FWJ22, nous avons démontré que la bioaccumulation du cadmium est importante par la souche S30.

Selon **Limcharoensuk Tossapol (2015)** et ces collaborateurs, les ions du cadmium ont été rapidement adsorbés sur la paroi cellulaire des bactéries résistantes au cadmium ; la paroi cellulaires, peuvent empêcher l'entrée d'ions métalliques dans les cellules par liaison covalente et / ou liaison ionique avec des groupes fonctionnels présent dans les peptidoglycanes, les acides téchoïques chez les bactéries Gram-positif et les phospholipides, les lipopolysaccharides chez les bactéries Gram négatif sont responsable de leur caractère anionique qui permet la fixation par la paroi cellulaire des métaux lourds sous forme cationique (**Halttunen et al., 2007**).

D'après les résultats obtenus dans cette étude on peut conclure l'existence d'interaction entre les bactéries lactiques et les métaux lourds et principalement le plomb ce qui révèle que les ces bactéries peuvent accumuler ces produits toxiques dans un but de détoxification et donc on peut les utiliser avec succès dans les domaines de bio remédiation.

# *Conclusion*

L'environnement est exposé quotidiennement à des différents polluants, parmi ces polluants les métaux lourds. Ces derniers sont connus par leur toxicité et surtout le cadmium et le plomb parce qu'ils sont les plus mobiles par rapport aux autres métaux.

Le processus du stockage souterrain du blé modifie les caractéristiques physicochimiques de ce dernier, à savoir une diminution dans les valeurs de la masse à l'hectolitre, une diminution de la teneur en protéine et une diminution des valeurs du pH. Nous avons enregistré aussi une augmentation plus au moins importante dans les valeurs du poids de 1000 grains.

Ce processus de stockage souterrain risquait aussi de contaminer le blé par des métaux lourds. En effet nous avons enregistré des valeurs du plomb allant de 0.26 ppm jusqu'à 1.22 ppm. Et pour le cadmium, les valeurs varient entre 0.0502 ppm jusqu'à 0.0691 ppm.

S'agissant de l'essai de décontamination, il en ressort des résultats que les deux souches de bactéries lactiques S11 : *Lactiplantibacillus plantarum* et S30 : *Lactobacillus sp.* ont la capacité de bioaccumuler le plomb et plus au moins le cadmium. En effet, ces deux souches lactiques possèdent la capacité de détoxification et donc on peut les utiliser avec succès dans les domaines de bio remédiation.

En fin, des études complémentaires et plus poussées restent toujours nécessaires pour déterminer précisément les interactions entre les deux souches lactiques et les métaux lourds dans le but d'optimiser la bioaccumulation de ces produits toxiques.

# *Références bibliographiques*

**-A-**

**Abbas, S. H., Ismail, I. M., Mostafa, T. M., & Sulaymon, A. H. (2014).** *Biosorption of Heavy Metals: a review. Journal of Chemical Sciences and Technology*, 3(4), 74-102.

**Abubakr, M. A., Hassan, Z., Imdakim, M. M. A., & Sharifah, N. R. S. A. (2012).** Antioxidant activity of lactic acid bacteria (LAB) fermented skim milk as determined by 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) and ferrous chelating activity (FCA). *African Journal of Microbiology Research*. 6(34), 6358-6364

**Adriano, D. C. (2001).** *Nickel* (pp. 677-705). Springer New York.

**Ahmad, M., Irshad, M., & Shahid, M. (1998).** Loss assessment in stored wheat in three villages of Gilgit. *Pakistan Journal of Zoology*, 30(1), 41-46.

**Andujar, P., Bensefa-Colas, L., & Descatha, A. (2011).** Intoxication par le mercure, *La Revue de Médecine Interne*, 32(7), 416-424.

**Andujar, P., Bensefa-Colas, L., & Descatha, A. (2010).** Acute and chronic cadmium poisoning. *La Revue de Médecine Interne*, 31(2), 107-115.

**Ashraf, M. Y., Azhar, N., Ashraf, M., Hussain, M., & Arshad, M. (2011).** Influence of lead on growth and nutrient accumulation in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Environmental Biology*, 32(5), 659.

**Atsdr, U. (1999).** Toxicological profile for mercury. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services.

**Aubert, C. (1985).** *Les aliments fermentent traditionnels : Une richesse meconnue.* Terre vivante.

**Ayad, R., Idoui, T., Haddar, H. O., & Valenzuela, S. (2021).** Depth effect on quality characteristics of traditional salted-ripened anchovy (*engraulis encrasicolus*) taken from different part of the same barrel. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 13(4).

**-B-**

**Bartali, H., & Debbarh, A. (1991).** Evaluation et amélioration de la technique traditionnelle du stockage souterrain des céréales au Maroc. *Hommes, Terre et Eaux, Revue Marocaine des Sciences et Techniques du Développement Rural*, (82), 3-20.

**Benhamada, N., & Idoui, T. (2021).** Enhancement of antioxidant properties of *Triticum durum* obtained by traditional spontaneous fermentation in underground silos. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 43, e57080-e57080.

**Benhamada, N., & Idoui, T. (2021).** Enhancement of antioxidant properties of *Triticum durum* obtained by traditional spontaneous fermentation in underground silos. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 43, e57080.

**Bensefa-Colas, L., Andujar, P., & Descatha, A. (2011).** Mercury poisoning. *La Revue de Medecine Interne*, 32(7), 416-24.

**Bernard, A., & Carlier, H. (1992).** Aspects nutritionnels des constituants des aliments Influence des technologies. *Les Cahiers de l'Ecole Nationale Supérieur de Biologie Appliquée à la Nutrition et à l'Alimentation*, 8.

**Bertrand, B. A. S. T. I. N. (2022).** Pollution au plomb et au cadmium sur les terrains de maraîchage en province de Liège.

**Bintsis, T. (2018).** Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *American Institute of Mathematical Sciences Microbiology*, 4(4), 665.

**Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D., & Webb, C. (2003).** Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*, 36(6), 527-543.

**Bliefert, C., & Perraud, R. (2004).** Chimie de l'Environnement : Air, eau, sols ; déchets 1 ère édition. *De Boeck Université*, 234-251.

**Bose, S., & Bhattacharyya, A. K. (2008).** Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge. *Chemosphere*, 70(7), 1264-1272.

**Bouslah, F., El mouebbb, K., & Hamza, M. E. (2016).** Les problèmes de qualité du blé dur après stockage en Tunisie [Durum Wheat Storage Problems Quality in Tunisia].

**Bradl, H. (Ed.). (2005).** Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation. Elsevier.

**Bravin, M. N., Le Merrer, B., Denaix, L., Schneider, A., & Hinsinger, P. (2010).** Copper uptake kinetics in hydroponically-grown durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) as compared with soil's ability to supply copper. *Plant and Soil*, 331, 91-104.

**Burnol, A., Duro, L., & Grive, M. (2006).** Eléments traces métalliques : Guide méthodologique. *Rapport d'étude*, 28(06).

-C-

**Carr, F. J., Chill, D., & Maida, N. (2002).** The lactic acid bacteria: A literature survey.

*Critical reviews in microbiology*, 28(4), 281-370.

**Cecchi, M. (2008).** Devenir du plomb dans le système sol-plante : Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate) (Doctoral dissertation).

**Chitio, F. M., Pendleton, B. B., & Michels, G. J. (2004).** Resistance of stored sorghum grain to maize weevil. *Int. Sorghum Millets Newslett. (ISMN)*, 45, 35-36.

**Cocolin, L., & Ercolini, D. (Eds.). (2007).** Molecular techniques in the microbial ecology of fermented foods. Springer Science: *Academy of Management Perspectives*; Business Media.

**-D-**

**DalCorso, G., Fasani, E., Manara, A., Visioli, G., & Furini, A. (2019).** Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(14), 3412.

**Dalir, N., & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2014).** Symplastic and apoplastic uptake and root to shoot translocation of nickel in wheat as affected by exogenous amino acids. *Journal of Plant Physiology*, 171(7), 531-536.

**David, N., McKee, L. J., Black, F. J., Flegal, A. R., Conaway, C. H., Schoellhamer, D. H., & Ganju, N. K. (2009).** Mercury concentrations and loads in a large river system tributary to San Francisco Bay, California, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry : An International Journal*, 28(10), 2091-2100.

**Debiton, C. (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique

de lignées isogéniques waxy (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).

**Denaix, L., Nguyen, C., Sappin-Didier, V. V., & Schneider, A. (2010).** Synthèse sur la contamination en cadmium des productions végétales de grandes cultures. *Lettre d'actualités et d'informations du Revue Méditerranéenne des Télécommunications Quasaprove 2*, 11 p. (2010).

**Djermoun, A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, 01, 45-53.

**Doukani, K., Tabak, S., Gourchala, F., Mihoub, F., Ounes, M., & Benbaguara, M. (2013).** Caractérisation physico-chimique du blé fermenté par Stockage Souterrain (Matmora). *Revue Ecologie-Environnement*, 9, 1-10.

**Doumandji, A., Mitiche, B., & Salahedidine, D. (2003).** Cours de technologie des céréales technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes au stockage. *Office des Publications Universitaires*, 122.

**Donaldson, R. M., & Barreras, R. F. (1966).** Intestinal absorption of trace quantities of chromium. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 68(3), 484-493.

**Donati, E. R. (Ed.). (2018).** *Heavy metals in the environment: microorganisms and bioremediation*. CrC Press.

**Dortu C., Huch M., Holzapfel W.H., Franz C. M. A. P. & Thonart P. (2008).** Anti-Listerial Activity of Bacteriocin-Producing *Lactobacillus curvatus* Cwbi-B28 And *Lactobacillus Sakei* Cwbi-B1365 On Raw Beef and Poultry Meat. *Letters in Applied Microbiology*, 47(6), 581–586.

**Druvefors, U.Ä. (2004).** Yeast biocontrol of grain spoilage moulds: mode of action of *Pichia anomala*. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria*, (466).

**-E-**

**Eurostat, W. S. (2019).** Available online: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_saving\\_statistics#Final\\_energy\\_consumption\\_and\\_distance\\_to\\_2020\\_and\\_2030\\_targets](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_saving_statistics#Final_energy_consumption_and_distance_to_2020_and_2030_targets) (accessed on 13 October 2020).

**Ellis, R. H., Hong, T. D., & Roberts, E. H. (1992).** The low-moisture-content limit to the negative logarithmic relation between seed longevity and moisture content in three subspecies of rice. *Annals of Botany*, 69(1), 53-58.

**Elsanhoty, R.M., Al-Turki, I.A., & Ramadan MF. (2016).** Application of lactic acid bacteria in removing heavy metals and aflatoxin B1 from contaminated water. *Water Science and Technology*, 74(3), 625-38.

**Eskola, M., Kos, G., Elliott, C. T., Hajšlová, J., Mayar, S., & Krska, R. (2020).** Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(16), 2773-2789.

**Esmail, S. M., & Abdelrhim, A. S. (2020).** Molecular detection of stripe rust resistance genes in some Egyptian bread wheat cultivars and promising spring wheat lines. *Journal of Phytopathology and Pest Management*, 1-13.

**-F-**

**Feillet, P. (2000).** *Le grain de blé : composition et utilisation*. Editions Quae.

**Fijan, S. (2014).** Microorganisms with claimed probiotic properties: an overview of recent literature. *International journal of environmental research and public health*, 11(5), 4745-4767.

**Forijn, P. J., & Van Beusichem, M. L. (1993).** Uptake and distribution of cadmium in maize inbred lines. *Plant and soil*, 150, 25-32.

**Frost, H. L., & Ketchum Jr, L. H. (2000).** Trace metal concentration in durum wheat from application of sewage sludge and commercial fertilizer. *Advances in Environmental Research*, 4(4), 347-355.

**-G-**

**Gálvez, A., Abriouel, H., López, R. L. & Ben Omar, N., 2007.** Bacteriocin-based strategies For food biopreservation, *International Journal of Food Microbiology*, 120(1-2), 51–70.

**Garnier, R. (2000).** Verre en cristal et risque d'intoxication. *Concours Médical.*, 122, 1805.

**Garnier, R. (2005).** Toxicité du plomb et de ses dérivés. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale - Toxicologie-Pathologie*, 2(2), 67-88.

**Ghaderi, A. A., Abduli, M. A., Karbassi, A. R., Nasrabadi, T., & Khajeh, M. (2012).** Evaluating the effects of fertilizers on bioavailable metallic pollution of soils, case study of Sistan farms, Iran, 6(2), 565-570.

**Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., &**

**Groneberg, D. A. (2006).** The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of occupational medicine and toxicology*, 1(1), 1-6

**Gourama, H. 1997.** Inhibition of growth and mycotoxin production of *Penicillium* by *Lactobacillus* species. *Food science and Technologie*. 30 (3), 279–283

**Gourchala, F. R. E. H. A., Hobamahoro, A. F., Mihoub, F. A. T. M. A., & Henchiri, C. H. E. R. I. F. A. (2014).** Effect of natural fermentation on the nutritional quality of ‘‘el hammoum’’ durum wheat (*Triticum durum*) fermented product of the Algerian country. *International Journal of Bio-Technology and Research*, 4(4), 9-18.

**Gómez-Sagasti, M. T., Alkorta, I., Becerril, J. M., Epelde, L., Anza, M., & Garbisu, C. (2012).** Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 3249-3262.

**Gove, L., Cooke, C. M., Nicholson, F. A., & Beck, A. J. (2001).** Movement of water and heavy metals (Zn, Cu, Pb and Ni) through sand and sandy loam amended with biosolids under steady-state hydrological conditions. *Bioresource Technology*, 78(2), 171-179.

**Govender, V., Aveling, T. A. S., & Kritzing, Q. (2008).** The effect of traditional storage methods on germination and vigour of maize (*Zea mays* L.) from northern KwaZulu-Natal and southern Mozambique. *South African Journal of Botany*, 74(2), 190-196.

**Guha, N., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Bouvard, V., ... & Straif, K. (2017).** Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide. *The Lancet Oncology*, 18(5), 581-582.

**-H-**

**Halilat, M. T. (2004, November).** Effect of potash and nitrogen fertilization on wheat under Saharan conditions. In *IPI regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa*. Rabat, Morocco (pp. 24-28).

**Halttunen, T., Salminen, S., & Tahvonen, R. (2007).** Rapid removal of lead and cadmium from water by specific lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 114(1), 30-35.

**Hanane, A. B. I. D., Houria, B. O. U. C. H. E. N. A. F. A., & Kheira, A. B. D. E. R. R. A. H. M. A. N. E. (2021).** *Étude de l'effet des techniques culturales (semi-direct et labour) sur l'accumulation des métaux lourds dans les grains de blé dur (Triticum durum) dans la région d'Oued Smar (Alger)* (Doctoral dissertation, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie).

**Hancock, L. E., & Gilmore, M. S. (2000).** Pathogenicity of *Enterococci*. Edited by Fischetti, V.A., Novick, R.P., Ferritti, J.J., Portnoy, D.A. et Rood, J.I. Gram positive pathogens. *American Society of Microbiology*, 251- 258.

**Hayyat, A., Javed, M., Rasheed, I., Ali, S., Shahid, M. J., Rizwan, M., & Ali, Q. (2016).** Role of biochar in remediating heavy metals in soil. *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 3*, 421-437.

**Huys, G., Leisner, J., & Björkroth, J. (2012).** The lesser LAB gods: *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Weissella*, *Carnobacterium*, and affiliated genera. *Lactic Acid Bacteria : Microbiological and Functional Aspects*, 93-121.

**Hu, Z., Wang, Y., Fang, Z., Shi, G., Lou, L., Ren, K., & Cai, Q. (2020).** Italian ryegrass–rice rotation system for biomass production and cadmium removal from contaminated paddy fields. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 874-882.

**-I-**

**Ives, D. H., & Ikeda, S. (1997).** Life on the Salvage Path : The Deoxynucleoside Kinases of *Lactobacillus acidophilus* R-26. *Progress in nucleic acid research and molecular biology*, 59, 205-255.

-j-

**Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014).** Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60.

**Jan, A. T., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., Choi, I., & Haq, Q. M. R. (2015).** Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(12), 29592-29630.

**Järup, L. (2003).** Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.

**Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (Eds.). (2006).** *Science des aliments : biochimie, microbiologie, procédés, produits. Stabilisation biologique et physico-chimique*. Ed. Tec & Doc..., Paris.453 p.

**Jin, T., Nordberg, M., Frech, W., Dumont, X., Bernard, A., Ye, T. T., ... & Nordberg, G. F. (2002).** Cadmium biomonitoring and renal dysfunction among a population environmentally exposed to cadmium from smelting in China (ChinaCad). *Biometals*, 15, 397-410.

**Jost-Tse, Y. C. (2018).** *Les plantes hyperaccumulatrices de métaux lourds : une solution à la pollution des sols et de l'eau ?* Editions Publibook.

**Jouglard, J., De Haro, L., Arditti, J., & Cottin, C. (1996).** Un pichet à vin à l'origine d'un cas de saturnisme. *La Presse Médicale* (1983), 25(6), 243-246.

-K-

**Kamal-Eldin, A. (2012).** 9 Fermented Cereal and. *Fermentation: Effects on food properties*, 209.

**Kerger, B. D., Paustenbach, D. J., Corbett, G. E., & Finley, B. L. (1996).** Absorption and elimination of trivalent and hexavalent chromium in humans following ingestion of a bolus dose in drinking water. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 141(1), 145-158.

**Kirillova, A. V., Danilushkina, A. A., Irisov, D. S., Bruslik, N. L., Fakhrullin, R. F., Zakharov, Y. A., & Yarullina, D. R. (2017).** Assessment of resistance and bioremediation ability of *Lactobacillus* strains to lead and cadmium. *International Journal of microbiology*, 2017:9869145

**Kolleh, A. D., Bitondo, D., Fadil-Djenabou, S., Anaba, B. D., King, C. F., Sorella, B. A. M., & Rong, X. (2021).** Evaluation of holistic approaches to predicting the concentrations of heavy metals in pots-cultivated durum wheat (*Triticum durum* L.). *Agricultural and Biological Research*, 37(5), 177-188.

**König, H., Uden, G., & Fröhlich, J. (Eds.). (2009).** *Biology of Microorganisms on Grapes, in Must and in Wine* (pp. 3-29). Heidelberg : Springer.

**Kourat, T. (2021).** *Évaluation du changement climatique et impact sur la production du blé dur pluvial dans les Hautes plaines orientales de l'Algérie* (Doctoral dissertation).

**Kulkarni, R. M., Shetty, K. V., & Srinikethan, G. (2014).** Cadmium (II) and nickel (II) biosorption by *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(4), 1628-1635.

-L-

**Landis, W., Sofield, R., Yu, M. H., & Landis, W. G. (2003).** *Introduction to environmental toxicology: impacts of chemicals upon ecological systems*. Crc Press.

**Laref N., Guessas B., & Kihal M.2013.** Antifungal compounds production in different Temperatures, PH and on modified MRS Agar by Lactobacillus Strains. *Journal of Biological Sciences*, 13(2) :94-99.

**Lauwerys, R. R. (1999).** Chrome. *Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles*, Masson Eds, 188-198.

**LEDRANS, M., MATTEI, J., ARRIGHI, I., GENTILLY, T., SILVY, P., & FONTAINE, A. (1997).** Imprégnation saturnine des enfants exposés à un risque hydrique à Corte (Haute-Corse). 1995. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*, (46), 205-206.

**Letort, C., & Juillard, V. (2001).** Development of a minimal chemically-defined medium for the exponential growth of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Applied Microbiology*, 91(6), 1023-1029.

**Limcharoensuk T., Sooksawat N., Sumarnrote A., Awutpet T., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., & Auesukaree Ch. (2015),** Bioaccumulation and Biosorption of Cd<sup>+2</sup> And Zn<sup>+2</sup> by Bacteria Isolated from a Zinc Mine in Thailand, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122: 322-333.

**Liu, C. Y., & Shepherd, K. W. (1995).** Inheritance of B subunits of glutenin and ω-and γ-gliadins in tetraploid wheats. *Theoretical and Applied Genetics*, 90, 1149-1157.

**Liu, S., Zheng, Y., Ma, Y., Sarwar, A., Zhao, X., Luo, T., & Yang, Z. (2019).** Evaluation and proteomic analysis of lead adsorption by lactic acid bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(22), 5540.

**Li, Y. M., Chaney, R. L., Schneiter, A. A., & Miller, J. F. (1995).** Genotype variation in kernel cadmium concentration in sunflower germplasm under varying soil conditions. *Crop Science*, 35(1), 137-141.

-M-

**Maier, D. E., Adams, W. H., Throne, J. E., & Mason, L. J. (1996).** Temperature management of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae), in three locations in the United States. *Journal of Stored Products Research*, 32(3), 255-273.

**Mattarelli, P., Holzapfel, W., Franz, C. M., Endo, A., Felis, G. E., Hammes, W., & Dellaglio, F. (2014).** Recommended minimal standards for description of new taxa of the genera *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* and related genera. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(Pt\_4), 1434-1451.

**Matz, S. A. (1991).** *Chemistry and technology of cereals as food and feed*. Springer Science & Business Media.

**Megerssa, S. H., Ammar, K., Acevedo, M., Brown-Guedira, G., Ward, B., Degete, A. G., ... & Sorrells, M. E. (2020).** Multiple-race stem rust resistance loci identified in durum wheat using genome-wide association mapping. *Frontiers in Plant Science*, 11, 598509.

**Mench, M., Vangransveld, J., Didier, V., & Clijsters, H., 1994.** Evaluation of metal mobility, plant availability and immobilization by chemical agents in a limed-silt soil. *Environmental Pollution*, 86(3), 279–286.

**Miazek K., Iwanek W., Remacle C., Richel A., & Goffin D., (2015).** Effect of metals metalloids and metallic nanoparticles on microalgae growth and industrial product biosynthesis: A review, *International Journal of Molecular Sciences*, 16(10), 23929-23969.

**Miller, D. D. (1996).** Minerals in: Food Chemistry. *Ed: Fennema, OR Marcel Dekker, New York*, 617-649.

**Mohanty, M., & Patra, H. K. (2011).** Attenuation of chromium toxicity by bioremediation technology. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 210*, 1-34.

**Mok, C. K. (1997).** Mixing properties of durum wheat semolina as influenced by protein quality and quantity. *Food Science and Biotechnology*, 6(1), 1-4.

**Monachese, M., Burton, J. P., & Reid, G. (2012).** Bioremediation and tolerance of humans to heavy metals through microbial processes: a potential role for probiotics? *Applied and Environmental Microbiology*, 78(18), 6397-6404.

**Moore, M. R., Meredith, P. A., Watson, W. S., Sumner, D. J., Taylor, M. K., & Goldberg, A. (1980).** The percutaneous absorption of lead-203 in humans from cosmetic preparations containing lead acetate, as assessed by whole-body counting and other techniques. *Food and Cosmetics Toxicology*, 18(4), 399-405.

**Mousia, Z., Edherly, S., Pandiella, S. S., & Webb, C. (2004).** Effect of wheat pearling on flour quality. *Food Research International*, 37(5), 449-459.

**Mugula, J. K., Narvhus, J. A., & Sørhaug, T. (2003).** Use of starter cultures of lactic acid bacteria and yeasts in the preparation of togwa, a Tanzanian fermented food. *International journal of food microbiology*, 83(3), 307-318.

**-N-**

**Ngamo, T. S., Ngassoum, M. B., Mapongmestsem, P. M., Malaisse, F., Haubruge, E., Lognay, G., & Hance, T. (2007).** Current post harvest practices to avoid insect attacks on stored grains in northern Cameroon. *Agricultural Journal*, 2(2).

**Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C., & Chambers, B. J. (2003).** An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 311(1-3), 205-219.

**Nout, M. J. R., & Ngoddy, P. O. (1997).** Technological aspects of preparing affordable fermented complementary foods. *Food Control*, 8(5-6), 279-287.

**Novel, G. (1993).** Les bactéries lactiques. *Microbiologie industrielle, les micro-organismes d'intérêt industriel*. Leveau JY, Bouix M., Ap ri a. Paris, 170-3310.

**-O-**

**Ollier, E., Carcel, C., Bost, M., Grenet, G., Billon, A., Patat, A. M., ... & Saponi, J. M. (2017).** Intoxication sévère au chlorure de mercure. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 29(2), S42.

**Orlowski, C., & Piotrowski, J. K. (2003).** Biological levels of cadmium and zinc in the small intestine of non-occupationally exposed human subjects. *Human & Experimental Toxicology*, 22(2), 57-63.

**-P-**

**Paul, B. N., Chanda, S., Das, S., Singh, P., Pandey, B. K., & Giri, S. S. (2014).** Mineral assay in atomic absorption spectroscopy. *The Beats of Natural Sciences*, 4(1), 1-17

**Paustenbach, D., Finley, B., Mowat, F., & Kerger, B. (2003).** Human health risk and exposure assessment of chromium (VI) in tap water. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 66(14), 1295-1339.

**Pendias, H. (1992).** Trace elements in soils and plants. 4<sup>th</sup> edition, CRC press.

**Persoons, R. (2020).** Biomonitoring de l'exposition aux métaux : stratégies pour le médecin du travail. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 81(5), 701.

**Pilet, M.F., Magras, C., & Federighi, M. (2005).** *Bactéries lactiques in bactériologie alimentaire "compendium d'hygiène des aliments"*. Editions Economica. Paris : 219-242.

**Poupon, J. (2007).** L'exposition au mercure en 2007 toxicité et prise en charge. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2007(390), 51-56.

**-R-**

**Ramade, F. (1995).** *Eléments d'écologie : écologie appliquée : action de l'homme sur la biosphère*. Ediscience international. 7<sup>eme</sup> edition, DUNOD.

**Rice, E. W., & Bridgewater, L. (2012).** *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.

**Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Rizvi, H., Zia-ur-Rehman, M., Hannan, F., & Ok, Y. S. (2016).** Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 17859-17879.

-S-

**Sahlin, P. (1999).** La fermentation comme méthode de préparation des aliments. *Licence en Nutrition appliquée et Chimie des aliments. Université de Stockholm.* 63 p.

**Sarkar B. 2002.** *Heavy Metals in The Environment.* pp. 231-234/457-458.

**Schuhwerk, D., Nakhforoosh, A., Kutschka, S., Bodner, G., & Grausgruber, H. (2011).** Field-screening of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for drought tolerance. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute*, 147-154.

**Seiler, H., Sigel, A., & Sigel, H. (1994).** *Handbook on metals in clinical and analytical chemistry.* CRC Press.

**Series, C., Ghorayeb, I., Guez, S., Brochard, P., Poussin, A., Lafitte, J. Y., & Pomies, F. (1998).** Occupational exposure to cadmium and renal cancer. Apropos of a case. *La Revue de Medecine Interne*, 19(2), 131-133.

**Shakir, S., Ahmad, S., Naz, A., & Raza, N. (2022).** Nutritional Aspects of Durum Wheat. In *Bioactive Compounds from Multifarious Natural Foods for Human Health: Foods and Medicinal Plants* (pp. 21-41). Apple Academic Press.

**Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., & Avudainayagam, S. (2005).**

Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31(5), 739-753.

**Shi, G. L., Li, D. J., Wang, Y. F., Liu, C. H., Hu, Z. B., Lou, L. Q., & Cai, Q. S. (2019).** Accumulation and distribution of arsenic and cadmium in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) at different developmental stages. *Science of the Total Environment*, 667, 532-539.

**Singh, V. P. (2018).** Recent approaches in food bio-preservation-a review. *Open Veterinary Journal*, 8(1), 104-111.

**Sokegbe, O. Y., Djeri, B., Kogno, E., Kangnidossou, M., Mensah, R. T., Soncy, K., & Ameyapoh, Y. (2017).** Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n 2 de Lomé-commune : cas du quartier d'Adakpamé. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2341-2351.

**Soltner, D. (2005).** *Les grandes productions végétales*. Sciences et techniques agricoles.

**Squinazi, F. (2020).** Synthèse : Les effets du plomb sur la santé. *Environnement, Risques & Santé*, 5(1), 26.

**Stiles M. E. 1996.** Biopreservation by lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*. 70, 331–345.

**Stiles, M. E., & Holzapfel, W. H. (1997).** Lactic acid bacteria of foods and their current Taxonomy. *International Journal of Food Microbiology*, 36(1), 1-29.

**Surget, A., & Barron, C. (2005).** Histologie du grain de blé. *Industries des Céréales*, (145), 3-7.

**Suzuki, Y., & Fukuda, K. (1990).** Reduction of hexavalent chromium by ascorbic acid and glutathione with special reference to the rat lung. *Archives of Toxicology*, 64(3), 169-176.

**-T-**

**Tamime, A.Y. (2002).** Microbiology of starter cultures. Edited by Robinson, R., Zhang, H. et Cai, Y. (2014). *Dairy Microbiology Handbook*: 261-366.

**Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012).** Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 3, 133-164.

**Tedone, L., Ali, S. A., & De Mastro, G. (2017).** Optimization of nitrogen in durum wheat in the Mediterranean climate: The agronomical aspect and greenhouse gas (GHG) emissions. *Nitrogen in Agriculture-updates*, 8, 131-162.

**Thiele, C., Grassl, S., & Gänzle, M. (2004).** Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1307-1314.

**Tidiane Sall, A., Chiari, T., Legesse, W., Seid-Ahmed, K., Ortiz, R., Van Ginkel, M., & Bassi, F. M. (2019).** Durum wheat (*Triticum durum* Desf.): Origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 9(5), 263.

**Tsui, M. T., & Wang, W. X. (2006).** Acute toxicity of mercury to *Daphnia magna* under different conditions. *Environmental Science and Technology*, 40(12), 4025-4030.

**-V-**

**Vergine, M., Aprile, A., Sabella, E., Genga, A., Siciliano, M., Rampino, P., & Bellis, L. D. (2017).** Cadmium concentration in grains of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. Durum). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(30), 6240-6246.

**-W-**

**Wang, G., Su, M. Y., Chen, Y. H., Lin, F. F., Luo, D., & Gao, S. F. (2006).** Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution*, 144(1), 127-135.

**Wang, Y. (2019).** Yield losses and pyraclostrobin sensitivity in blackleg (*Leptosphaeria maculans*) of canola. *Soils and Crops Workshop*.

**Wilbur, S. B. (2006).** Toxicological profile for 1, 4-dioxane.

**Willm, C. (1991).** La mouture semi-humide de maïs. *Les industries de première transformation des céréales*. GODON B., WILLM C. Coll. *Technique et documentation*, 397-421.

**Wright, D. A., & Welbourn, P. (2002).** *Environmental Toxicology* (Vol. 11). Cambridge University Press.

**Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011).** Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *International Scholarly Research Notices*, 2011, ID 402647, 1-20.

**-X-**

**Xynias, I. N., Mylonas, I., Korpetis, E. G., Ninou, E., Tsaballa, A., Avdikos, I. D., & Mavromatis, A. G. (2020).** Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy*, 10(3), 432.

**-Z-**

**Zalups, R. K. (2000).** Molecular interactions with mercury in the kidney. *Pharmacological Reviews*, 52(1), 113-144.

**Zalups, R. K., & Ahmad, S. (2003).** Molecular handling of cadmium in transporting epithelia. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 186(3), 163-188

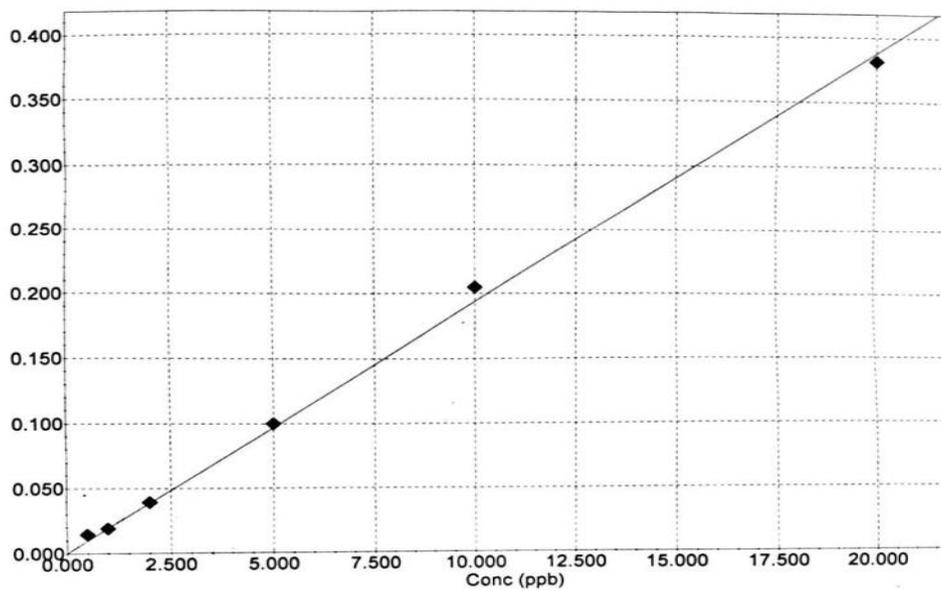
**Zhang, H., & Cai, Y. (2014).** Lactic acid bacteria fundamentals and practice. *Springer Dordrecht Heidelberg*. New York London : 536.

**Zouaoui, N. (2011).** *Effet des polyphénols sur la résistance à l'infestation fongique dans le grain de blé dur*. Mémoire de Magister en Sciences Alimentaires. Université Mentouri de Constantine. 83 p.

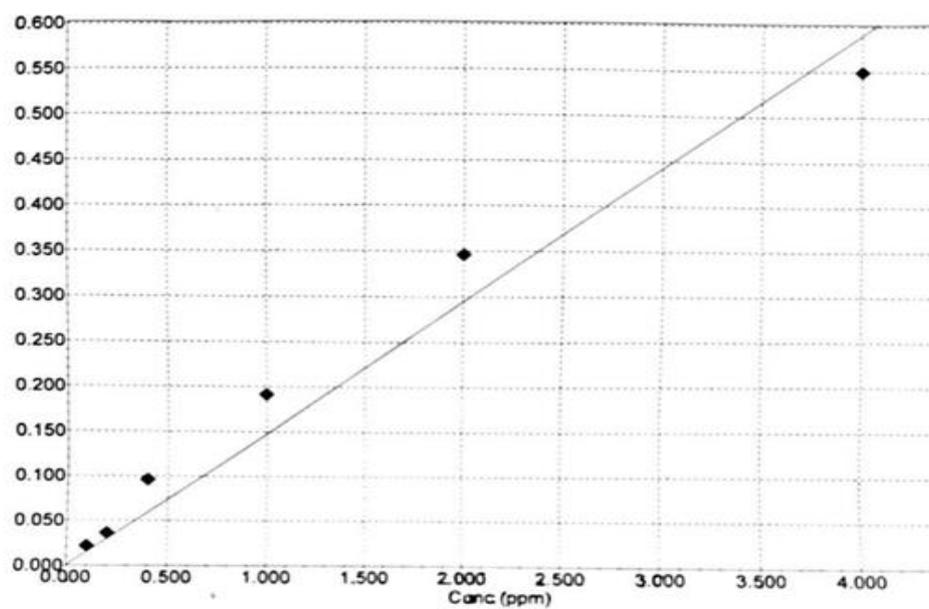
# *Annexe*

## Courbes d'étalonnage

### 1. La courbe d'étalonnage de plomb



### 2. La courbe d'étalonnage de cadmium



## Résumé

En l'Algérie, la conservation de blé dur se fait par différentes méthodes parmi ces méthodes, la conservation traditionnelle dans des entrepôts souterrain appelé « Matmour ». Cependant, la contamination par les métaux lourds est l'un des facteurs clés limitant le rendement des céréalicultures. Dans le présent travail nous nous sommes intéressés à démontrer le degré de contamination du blé fermenté par la méthode traditionnelle par les métaux lourds ainsi qu'une tentative pour remédier cette contamination en utilisant deux souches de bactéries lactiques. Les résultats ont montré une contamination plus au moins importante des échantillons en plomb et en cadmium. De plus les deux souches lactiques S11 et S30 présentaient une capacité considérable dans la bioaccumulation de ces produits toxiques. En fin, cette propriété leur permet d'être utilisées avec succès dans le domaine de remédiation.

**Mots clé :** Blé dur, métaux lourds, souches lactiques.

## Summary

In Algeria, the storage of durum wheat is done by different methods among these methods, the traditional storage in underground pits called "Matmour". However, contamination by heavy metals is one of the key factors limiting the performance of cereal crops. In this work, we were interested in demonstrating the degree of contamination of fermented wheat by the traditional method by heavy metals as well as an attempt to remedy this contamination using two strains of lactic acid bacteria. The results showed more or less significant contamination of the samples with lead and cadmium. In addition, the two lactic acid strains S11 and S30 had considerable capacity in bio sorption of these toxic products. Finally, this property allows them to be successfully used in the remediation domain.

**Key words:** durum wheat, heavy metals, lactic strain.

## ملخص

في الجزائر، يتم حفظ القمح الصلب بطرق مختلفة من بينها الحفظ التقليدي في مستودعات تحت الأرض تسمى "مطمور". ومع ذلك فإن التلوث بالمعادن الثقيلة هو أحد العوامل الرئيسية التي تحد من أداء محاصيل الحبوب. في هذا العمل كنا مهتمين بإظهار درجة تلوث القمح المخمر بالطريقة التقليدية بالمعادن الثقيلة وكذلك محاولة علاج هذا التلوث باستخدام سلالتين من بكتيريا حمض اللاكتيك. أظهرت النتائج تلوثا كبيرا إلى حد ما للعينات بالرصاص والكاديوم. بالإضافة إلى ذلك، كان لدى سلالتين من حمض اللاكتيك S11 و S30 قدرة كبيرة على التراكم البيولوجي لهذه المنتجات السامة. وأخيرا، تسمح هذه الخاصية باستخدامها بنجاح في مجال المعالج

.الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، المعادن الثقيلة، السلالات البننية