

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة
Université MOULAY Tahar, Saida



كلية العلوم
Faculté des Sciences
قسم البيولوجيا
Département de Biologie

Thèse Présentée pour obtenir le diplôme de Doctorat 3^{ème} Cycle

Spécialité : Biochimie

Thème

Contribution à l'évaluation des contaminants chimiques dans les viandes rouges de la région de Saida

Présenté par : Mlle. SIDI IKHLEF Amel

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	SLIMANI Miloud	Professeur	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Examinatrice	OUABED Asmahan	Professeur	Université de Tiaret - Ibn Khaldoun
Examinateur	GHELLAI Lotfi	MCA	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Directeur de thèse	ZIANI Kaddour	MCA	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Co- Directeur de thèse	KAHLOULA Khaled	Professeur	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar

Année universitaire 2022/2023

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة
Université MOULAY Tahar, Saida



كلية العلوم
Faculté des Sciences
قسم البيولوجيا
Département de Biologie

Thèse Présentée pour obtenir le diplôme de Doctorat 3^{ème} Cycle

Spécialité : Biochimie

Thème

Contribution à l'évaluation des contaminants chimiques dans les viandes rouges de la région de Saida

Présenté par : **Mlle. SIDI IKHLEF Amel**

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	SLIMANI Miloud	Professeur	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Examinatrice	OUABED Asmahan	Professeur	Université de Tiaret - Ibn Khaldoun
Examinateur	GHELLAI Lotfi	MCA	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Directeur de thèse	ZIANI Kaddour	MCA	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar
Co- Directeur de thèse	KAHLOULA Khaled	Professeur	Université de Saida - Dr. Moulay Tahar

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

C'est avec plaisir que je réserve cette page en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

*Je tiens tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté et la patience d'accomplir ce modeste travail*

*Je tiens à exprimer ma gratitude au Directeur de cette thèse, le **Docteur ZIANI Kaddour** pour son accueil, sa patience, sa gentillesse, le temps passé ensemble et le partage de ses connaissances. Je le remercie particulièrement de m'avoir soutenu durant ces années. Il fut une aide très précieuse dans les moments les plus délicats.*

*Je voudrais adresser mes profonds remerciements au Co-directeur de thèse, le **Professeur KAHLOULA Khaled** pour sa disponibilité, son soutien constant, sa confiance, Son œil critique m'a été très précieux pour structurer le travail. Je lui suis reconnaissante de ses encouragements et ses judicieux conseils, qui m'ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je remercie sincèrement le **Professeur MOKHTAR Meriem**, pour son accueil, sa générosité et pour la réalisation des dosages quantitatifs de mes échantillons.*

*Je tiens à remercier tous les membres du jury, qui m'ont fait l'honneur d'étudier attentivement mon travail : le **Professeur SLIMANI Miloud** pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury le **Professeur OUABED Asmahan** et le **Docteur GHELLAI Lotfi** Pour le grand honneur qu'ils me font en acceptant de d'examiner ce travail.*

*Je veux vraiment à remercier tous mes enseignants de département de biologie pour leurs efforts, ainsi bénéficier de leurs compétences et de leurs connaissances. Je tiens particulièrement à exprimer mes remerciements aux **Docteurs CHIKHI Amira, HACHEM Yasmine, KEFIFA Abdelkrim, ADLI Djallal Eddine Houari, LOTH Mustapha** et **Professeur HACHEM Kadda**, j'ai eu beaucoup de chance de les avoir rencontrés et d'avoir été leur étudiante*

*Sans oublier d'exprimer ma profonde gratitude à mes très **chers parents**, pour leur soutien constant, tendresse et amour. Je leur dédie cette thèse. Je remercie mes sœurs, **Siham et Assia** pour leurs encouragements. Je remercie également mes amis et mes collègues **ARABI Wafaa, AMARI Asma, SOUIDI Sendous, TAIBI Narimen, IDRIS KHODJA Fatima, KANDOUCI Amel, BELGACEM Habiba, REGGAD Nawal...etc.** pour leur présence, leur aide et leur soutien intellectuel et moral tout au long de ma démarche*

Liste des abréviations

- AMSA** : American Meat Science Association
- ANOVA** : analyse de la variance
- AOAC**: Association of Official Analytical Chemists
- BMDL**: Bench Mark Dose Level
- C**: concentration
- Cd** : cadmium
- Cr** : chrome
- DE** : Durée d'Exposition
- DEs** : Doses estimés
- DHE** : Dose Hebdomadaire Estimé
- DHT** : Dose hebdomadaire tolérable
- DHTP** : Dose hebdomadaire tolérable provisoire
- DJC** : Dose Journalière chronique de Cancérogènes
- DJE** : Dose Journalier Estimé
- DJMTP** : Dose journalière maximale tolérable provisoire
- DJR** : Dose Journalière Recommandé
- DJT** : Dose Journalière Tolérable
- DJTP** : Dose Journalière Tolérable Provisoire
- DNR** : Dose Nutritionnels Recommandés
- DRf**: Dose orale de Référence
- EC** : European Commission
- EFSA**: European Food Safety Authority
- FAO**: Food and Agriculture Organization
- FAOSTAT**: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
- Fe**: Fer
- FE**: Fréquence d'Exposition
- FEEDAP**: EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed
- FPC** : Facteur de pente de cancer
- HCl** : Acide chlorhydrique
- HNO₃** : Acide nitrique
- IARC**: International Agency for Research on Cancer
- ID** : Indice de danger
- IEPA** : Illinois Environmental Protection Agency
- JECFA**: Joint (FAO/WHO) Expert Committee on Food Additives

LM : limite maximale

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

ME : Marge d'Exposition

ML : Métaux Lourds

Mn : manganèse

Ni : nickel

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development

p c: poids corporel

P: probability

Pb : Plomb

QD : Quotient de danger

r : facteur de corrélation Pearson`s

RC : Risque de Cancer

SAA-FG : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à Four Graphite

SEM : Standard d'Erreur a la Moyenne

TIA : Taux d'Ingestion d'Aliment

TM : Temps d'exposition Moyen

UNECE: United Nations Economic Commission for Europe

USDA: United States Department of Agriculture

USEPA: United States Environmental Protection Agency

WHO: World Health Organization

Liste des tableaux

Tableau 1: les différentes races locales	9
Tableau 2: les différentes bovines importées.....	10
Tableau 3: Muscles ou groupes musculaires de carcasses de la viande bovine	14
Tableau 4: fonctions essentielles des micronutriments métalliques dans les plantes	29
Tableau 5: Rôle des métaux lourds essentiels chez les animaux supérieurs et les humains ..	30
Tableau 6: Paramètres de validation	46
Tableau 7: Valeurs limites admissibles des éléments analysés.....	49
Tableau 8: les concentrations des ML dans la viande crue	59
Tableau 9: valeurs de p pour la corrélation de Pearson entre les ML dans la VC($p < 0,05$)....	69
Tableau 10: Coefficients de corrélation de Pearson entre le niveau de ML dans la VC.....	70
Tableau 11: valeurs de p pour la corrélation de Pearson entre les ML dans la VB ($p < 0,05$)..	70
Tableau 12: coefficients de corrélations de Pearson entre le niveau de ML dans la VB	70
Tableau 13: valeurs de p pour la corrélation de Pearson entre les ML dans la VG ($p < 0,05$).	71
Tableau 14: Coefficients de corrélation de Pearson entre le niveau de ML dans la VG	71
Tableau 15: Dose journalier et hebdomadaire estimé des ML dans la viande crue et cuite....	74
Tableau 16: Les apports calculés des ML comparés à leurs références.....	75
Tableau 17: Quotient de danger et indice de danger des ML dus à la consommation de viande bovine	78
Tableau 18: risques de cancer par la consommation de viande bovine.	80
Tableau 19: marge d'exposition par consommation de viande bovine	81

Liste des figures

Figure 1 : Les principaux sites de domestication et voies de migration des bovins taurins (Bos taurus) et indicins (Bos indicus).....	5
Figure 2: Production de la viande bovine en tonnes en Algérie 1961-2020.....	13
Figure 3: Coupes primaires de la viande bovine	14
Figure 4: classification des muscles bovins selon la tendreté.....	15
Figure 5: Organisation générale du muscle. a ; L'élément structurel du muscle squelettique. b ; Coupe longitudinale d'un sarcomère	17
Figure 6: tableau périodique des éléments métalliques	26
Figure 7: Différentes méthodes de cuisson conventionnelles (a) Bouillir (b) Griller(c) ragoût (d) Barbecue (e) Frire (f) Rôtir	38
Figure 8: Longissimus thoracis et Longissimus lumborum emplacement dans la carcasse	41
Figure 9: viande crue (a) et cuite (bouillie (b) et grillée (c)).....	42
Figure 10: procédure de dosage des métaux lourds dans la viande	44
Figure 11: perte de cuisson de la viande bovine bouilli et grillé, Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM.....	54
Figure 12: Les valeurs de pH de la viande bovine cru et cuit, Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM.....	56
Figure 13: Concentration de Fe dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM : *: $p < 0,05$	62
Figure 14: Concentration de Mn dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM	63
Figure 15: Concentration de Cr dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM : **: $p < 0,01$	64
Figure 16: Concentration de Ni dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM : *: $p < 0,05$	66
Figure 17: Concentration de Pb dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM.	67

Figure 18: Concentration de Cd dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM..... 68

Liste des communications

Publication internationale :

SIDI-IKHLEF Amel, ZIANI Kaddour, KAHLOULA Kahled, MOKHTAR Meriem, ADLI Djallal Eddine Houari, PEREZ-LOPEZ Marcos, HACHEM Kadda. Health risk assessment of the effect of two cooking methods (boiling and grilling) on the contents of some potentially toxic elements in beef meat consumed by the Algerian population. *Fresenius Environmental Bulletin*.

Communication internationale :

SIDI IKHLEF A, ZIANI K, KAHLOULA K et Mokhtar M « Évaluation de certains éléments potentiellement toxiques dans la viande de bœuf commerciale » 1er séminaire international sur les pollutions santé environnement et bio-monitoring organisé par PSEB 21, 27-28 Décembre 2021 Skikda Algérie

Communications nationales :

SIDI IKHLEF A, ZIANI K, KAHLOULA K et Mokhtar M « Effets de la cuisson sur les éléments potentiellement toxiques de la viande bovine locale ». Séminaire National Valorisation des Produits Alimentaires d'Origine Animale organisé par ISTA, 24-25 mai 2022 Tlemcen Algérie

Résumé

La viande bovine considéré comme un aliment hautement désirable et nutritif, contient une valeur biologique importante de macro et micronutriments essentiels à une bonne santé. Pourtant, l'image saine de la viande est ternie par son association négative avec des problèmes non nutritionnels comme la présence de divers contaminants toxiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de deux types de cuisson (grillage et ébullition) sur certains éléments traces métalliques essentiels comme le fer (Fe), le chrome (Cr) et le manganèse (Mn) et non essentiels comme le plomb (Pb), nickel (Ni) et cadmium (Cd) de la viande bovine consommée par la population de la ville de Saida, déterminer également le risque potentiel de toxicité pour la santé lié à la consommation de cette viande par deux groupes de population (les adultes et les enfants).

Les échantillons de viande ont été collectés auprès des principaux boucheries de la ville de Saida, puis digérés par la méthode des cendres sèches pour analyser la concentration de ces éléments à l'aide de la spectrométrie d'absorption atomique en four graphite (SAA-FG). Des niveaux élevés de Cr ($0,166\pm 0,028$ mg/kg) et Pb ($0,524\pm 0,031$ mg/kg) ont été détectés dans la viande crue, de Fe ($8,18\pm 1,94$ mg/kg) et Ni ($0,260\pm 0,367$ mg/kg), dans la viande grillée, et de Mn ($0,067\pm 0,108$ mg/kg) et Cd ($0,011\pm 0,007$ mg/kg) dans les échantillons bouillis. Les concentrations de ces éléments étaient inférieurs à la limite maximale autorisée par la réglementation internationale, mais le Pb était supérieur au niveau acceptable recommandé. Cependant, les deux procédures de cuisson ont montré une variation significative des concentrations de Fe, Mn et Ni dans les échantillons de viande.

Les valeurs d'apport estimées se situent dans les limites d'apport tolérable pour les éléments toxiques et les valeurs d'apport journalier recommandées pour les éléments essentiels pour la population totale. Les valeurs de risque non cancérigène des éléments trace métallique individuels et leur combinaison indiquent qu'il n'y a pas de risque pour la santé, de même que la viande bouillie pourrait réduire les risques probables pour la santé par rapport à la viande crue. De plus, le risque cumulé de cancer des échantillons grillés étudiés dépasse le seuil limite de risque recommandé ($> 10^{-4}$) chez les enfants, indiquant un risque de santé potentiels pour les consommateurs en particulier pour les enfants, qui sont plus vulnérables à l'exposition aux éléments toxiques.

Mots clés : la viande rouge, cuisson, risques sanitaire, contaminants chimiques, éléments non essentiels, éléments essentiels, ville de Saida.

Abstract

beef meat considered a highly desirable and nutritious food, contains an important biological value of macro and micronutrient which are essential for good health. Yet, the healthy image of meat is tarnished by its negative association with non-nutritional issues like the presence of various toxic contaminants. the purpose of this study is to evaluate the effect of two kinds of cooking (grilling and boiling) on some essential metals such as iron (Fe), chromium (Cr), and manganese (Mn) and non-essential metals such as lead (Pb), nickel (Ni) and cadmium (Cd) in beef meat consumed in Saida city, also the calculation of potential health risk toxicity associated with their consumption for the adult and children.

The samples were collected from the main butchers in Saida city, then digested by dry ash method to analyze the concentration of these elements using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS). Higher levels of Cr ($0,166\pm 0,028$ mg/ kg) and Pb ($0,524\pm 0,031$ mg/ kg) were detected in raw meat, Fe ($8,18\pm 1,94$ mg/ kg) and Ni ($0,260\pm 0,367$ mg /kg), in grilled meat, and Mn ($0,067\pm 0,108$ mg/kg) and Cd ($0,011\pm 0,007$ mg /kg) in boiled samples. the levels of these metals were below the maximum limit authorized by international regulations, except Pb was above acceptable recommended level. However, the cooking procedures showed significant variation of Fe, Mn and Ni concentrations in beef samples.

The estimated intake values are within the tolerable intake limits for toxic metals and recommended daily intake values for essential metals in all population. The noncarcinogenic risk values of the individual metals and their combined indicate that there is no health risk, also boiled meat could reduce the probabilistic health risks compared with raw meat. Furthermore, the cumulative cancer risk of grilled samples studied exceeds the recommended threshold risk limit ($> 10^{-4}$) in children, indicating a risk of potential health problems for consumers especially for children, who are more vulnerable to toxic metal exposure.

Keywords: red meat, cooking, health risks, chemical contaminants, non-essential elements, essential elements, city of Saida.

ملخص

تعتبر لحوم البقر من الأطعمة المغذية والمرغوبة للغاية، وتحتوي على قيمة بيولوجية مهمة ومغذيات دقيقة ضرورية للصحة الجيدة. ومع ذلك، فإن الصورة الصحية للحوم تشوهت بسبب ارتباطها السلبي بالمواد غير الغذائية مثل وجود العديد من الملوثات السامة. الغرض من هذه الدراسة هو تقييم تأثير نوعين من الطهي (الشوي والسلق) على بعض المعادن الأساسية مثل الحديد والكروم والمنغنيز وغير الأساسية مثل الرصاص والنيكل والكاديوم في لحوم البقر المستهلكة في مدينة سعيدة. وكذلك حساب السمية المحتملة للمخاطر الصحية المرتبطة باستهلاكها للبالغين والأطفال

جمعت العينات من الجزارين الرئيسيين في مدينة سعيدة، ثم هضمت بطريقة الرماد الجاف لتحليل تركيز هذه العناصر باستخدام مطيافية الامتصاص الذري الفرن الجرافيت. تم الكشف عن مستويات أعلى من الكروم (مغ/كغ $0,166 \pm 0,028$) والرصاص (مغ/كغ $0,542 \pm 0,031$) في اللحم النيئة، الحديد (مغ/كغ $8,18 \pm 1,94$) والنيكل (مغ/كغ $0,26 \pm 0,367$) في اللحم المشوية، والمنغنيز (مغ/كغ $0,108 \pm 0,067$) والكاديوم (مغ/كغ $0,011 \pm 0,007$) في العينات المسلوقة كان تركيز هذه المعادن أقل من الحد الأقصى المسموح به من قبل المنظمات الدولية، باستثناء الرصاص كان أعلى من المستوى الموصى به ومع ذلك، أظهرت إجراءات الطهي تبايناً ملحوظاً في تراكيز الحديد والمنغنيز والنيكل في عينات اللحم البقري

كانت قيم المقدار الممتصة ضمن حدود المسموح به للمعادن السامة وقيم المتحصل اليومي الموصى بها للمعادن الأساسية في مختلف فئات المجتمع. تشير قيم المخاطر غير المسببة للسرطان للمعادن الفردية ومجموعها إلى عدم وجود أخطار صحية، كما يمكن أن يقلل اللحم المسلوقة من المخاطر الصحية المحتملة مقارنة باللحم النيئة. علاوة على ذلك، فإن خطر الإصابة بالسرطان التراكمي للمعادن في العينات المشوية التي تمت دراستها يتجاوز حد الخطر الموصى به لدى الأطفال، مما يشير إلى خطر حدوث مشاكل صحية محتملة للمستهلكين وخاصة الأطفال، الذين هم أكثر عرضة للتعرض للمعادن السامة

الكلمات المفتاحية: لحم احمر، طبخ، أخطار صحية، ملوثات كيميائية، معادن غير الاساسية، معادن

الأساسية، مدينة سعيدة.

Table des matières

PARTIE I. INTRODUCTION	3
PARTIE II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	4
II.1 Viande bovine	5
II.1.1 Origine de bétail	5
II.1.1.1 Bovins asiatiques	6
II.1.1.2 Bovins africains	7
II.1.1.3 Bovins européens.....	7
II.1.1.4 Bovins américains.....	8
II.1.2 Races bovines en Algérie.....	8
II.1.2.1 Bovin local	9
II.1.2.2 Bovin importé.....	10
II.1.2.3 Bovin croisée	11
II.1.3 Systèmes de production	11
II.1.3.1 Système extensif	12
II.1.3.2 Système semi-intensif	12
II.1.3.3 Système intensif.....	12
II.1.4 Production de la viande bovine en Algérie	13
II.1.5 Coupes de la viande bovine	13
II.1.6 Composition de la viande	16
II.1.6.1 Humidité.....	17
II.1.6.2 Protéines	17
II.1.6.3 Graisse.....	19
II.1.6.4 Glucides	20
II.1.6.5 Vitamines	20
II.1.6.6 Minéraux	20

II.1.7 Qualité de la viande	21
II.1.7.1 Couleur.....	21
II.1.7.2 Saveur	22
II.1.7.3 Tendresse.....	22
II.1.7.3.1 Rigidité cadavérique (rigormortis).....	23
II.1.7.3.2 Vieillessement de la viande.....	23
II.1.7.3.3 pH et capacité de rétention d'eau	24
II.2 Contaminants chimiques (Métaux lourds).....	25
II.2.1 Généralité sur les contaminants chimiques.....	25
II.2.2 Définition et classification des métaux lourds	25
II.2.3 Pollution des métaux lourds.....	26
II.2.3.1 Pollution de l'environnement.....	26
II.2.3.2 Pollution alimentaire.....	28
II.2.4 Métaux lourds comme nutriment	29
II.2.5 Toxicité des métaux lourds	30
II.2.5.1 Végétaux	30
II.2.5.2 Animaux et humains	31
II.2.5.2.1 Exposition et Absorption.....	31
II.2.5.2.2 Distribution.....	32
II.2.5.2.3 Excrétion	32
II.2.5.2.4 Effets toxiques	33
II.3 Évaluation de la sécurité des viandes	33
II.3.1 Évaluation des risques	33
II.3.2 Évaluation de la sécurité des métaux lourds dans les viandes	35
II.3.3 Cuisson de la viande	36
II.3.3.1 Méthodes de cuisson.....	36

II.3.3.2 Effet de la cuisson sur les métaux lourds	38
PARTIE III. MATERIEL ET METHODES.....	40
III.1 Échantillonnage	41
III.1.1 Collection des échantillons	41
III.1.2 Processus de cuisson	41
III.2 Détermination du Potentiel d'hydrogène	42
III.3 Détermination des métaux lourds	43
III.4 Évaluation des risques.....	46
III.4.1 Paramètres d'estimation de l'apport.....	46
III.4.2 Evaluation des risques non cancérigènes	49
III.4.3 Evaluation des risques cancérigènes	50
III.5 Calculs et méthodes statistiques	52
PARTIE IV. RESULTATS ET DISCUSSION	53
IV.1 Perte de cuisson	54
IV.2 pH	55
IV.3 Teneur en métaux de la viande bovine	57
IV.4 Effets de la cuisson sur ML.....	61
IV.4.1 Effets de la cuisson sur les éléments essentiels	61
IV.4.1.1 Fer.....	61
IV.4.1.2 Manganèse	63
IV.4.1.3 Chrome	64
IV.4.2 Effets de la cuisson sur les éléments non essentiels	65
IV.4.2.1 Nickel	65
IV.4.2.2 Plomb.....	67
IV.4.2.3 Cadmium	68
IV.5 Coefficient de corrélation des matrices.....	69

IV.6 Évaluation des risques pour le consommateur de la viande bovine	72
IV.6.1 Apport journalier et hebdomadaire des ML	73
IV.6.2 Risque non cancérigène.....	77
IV.6.3 Risque cancérigène et marge d'exposition	79
PARTIE V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	82
PARTIE VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	85

PARTIE I. INTRODUCTION

Introduction

L'élevage bovin pour l'alimentation existe depuis 9 000 ans (**Goran et al., 2016**). En effet, l'Algérie se distingue par une population originelle de bovins indigènes communément appelée la race Brown Atlas, cependant, le croisement de souches locales avec des races importées comme la Holstein, la Montbéliarde et la Brown Swiss, a conduit par conséquent à la diversité des races (**Sraïri et al., 2013**).

Au cours des dernières décennies, les pays en développement ont connu une augmentation significative de la consommation de viande par rapport aux pays développés (**Hati et al., 2021**). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la consommation individuelle de viande de bovine augmentera progressivement au cours des dix prochaines années (**OECD/FAO, 2019**). En 2019, l'Algérie a produit 663563 têtes de la viande bovine frais et a atteint un taux de consommation moyen par habitant de 4,64 kg par an, en 2018 (**FAOSTAT, 2021b**).

La viande bovine est une source de protéines riche en nutriments qui peut également offrir des acides aminés essentiels (**Caspersen et al., 2020; Greenwood, 2021**). La viande bovine contient des acides aminés plus digestibles (94 %) que les haricots et le blé (respectivement 78 % et 86 %). Elle contient également des acides gras oméga-3 plus élevés que la volaille, le porc et le poisson blanc (**Li & Zhang, 2021**). De plus, la viande bovine est la meilleure source naturelle de fer et de zinc, avec environ 1,9 mg de Fe et 0,9 mg de zinc par 100 g, ce qui pourrait fournir 1/4 des besoins quotidiens en fer et en zinc d'un adulte (**Goran et al., 2016; Li & Zhang, 2021**).

Au cours du siècle dernier, l'activité anthropique a augmenté rapidement, ce qui est la principale cause de pollution par les métaux lourds dans l'environnement (**Briffa et al., 2020**), ces métaux peuvent être transférés de l'air et des sols vers l'eau ou les cultures, et les ruminants peuvent se bioaccumuler éléments toxiques par le pâturage pollués ou par de l'eau contaminée (**Liao et al., 2015; Bilandžić et al., 2020**). La classification des métaux lourds (ML) en essentiels et non essentiels dépend de la dose d'exposition. Plusieurs métaux, tels que le fer (Fe), le manganèse (Mn), et le chrome (Cr), bien qu'ayant des rôles importants dans les coenzymes et les systèmes biologiques, peuvent devenir nocifs lorsqu'ils dépassent certaines limites (**Zeinali et al., 2019; Adebiyi et al., 2020; Bilandžić et al., 2020**). Fe peut conduire à un stress oxydatif qui pourrait endommager les lipides et l'ADN, il a également été lié aux maladies d'Alzheimer et de Parkinson (**Adeyemi et al., 2016**), Mn est venu au premier plan des préoccupations des études en raison de sa neurotoxicité (**Sidoryk-Wegrzynowicz & Aschner,**

2013; Tuschl et al., 2013), Cr considéré comme des composés cancérigènes vis-à-vis du cancer du poumon, du nez et des sinus nasaux (**EFSA, 2014**). L'exposition orale au Ni pourrait affecter le système neurologique, hématologique, gastro-intestinal et immunitaire (**EFSA, 2015, 2020**), de plus, le Ni provoque principalement une dermatite allergique de contact (**Zirwas & Molenda, 2009**). Le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) sont toxiques, même à l'état de traces, ces éléments peuvent se bioaccumuler et provoquer de nombreux effets indésirables, notamment des lésions nerveuses, squelettiques et cardiovasculaires, un dysfonctionnement rénal, une mauvaise capacité reproductive et immunitaire et des tumeurs (**Chen et al., 2015; Barone et al., 2021**).

La cuisson de la viande avant sa consommation est très importante pour améliorer la digestibilité et la palatabilité de la viande, détruire les micro-organismes et inactiver l'enzyme protéolytique (**Oz et al., 2017**). Cependant, le traitement thermique peut diminuer la valeur nutritionnelle de la viande en raison des pertes de minéraux et de vitamines ainsi que de l'oxydation des lipides (**Goran et al., 2016**), certaines études ont rapporté que les procédures thermiques peuvent modifier le niveau de contaminants chimiques (**Reartes et al., 2016**) et augmentent les concentrations de métaux (**Goran et al., 2016**), cependant, quelques études ont estimé la modification de la concentration en éléments traces après une opération de chauffage (**Pistón et al., 2020**). La variation du temps de cuisson, de la méthode, de l'équipement, ainsi que de la coupe, de la taille et de la forme de la viande, ainsi que de la teneur en graisse et en os (**Tomović et al., 2015**) pourrait influencer la concentration de ces éléments.

Plusieurs études ont évalué le risque lié à la consommation de viande en estimant les doses journalières puis en les comparant à leur Doses Journalier Tolérable (DJT), Bench Mark Dose Level (BMDL) et aux Dose Nutritionnels Recommandés (DNR) établis par les organismes de santé internationaux. De plus, les méthodes Quotient de danger (QD) et risque de cancer (RC) pourraient déterminer respectivement les risques non cancérologènes et cancérologènes, respectivement pour la santé, de l'exposition aux métaux toxiques (**Abd-Elghany et al., 2020; Di Bella et al., 2020; Leite et al., 2020; Bilandžić et al., 2021**).

Cette étude a été réalisée pour étudier le contenu de certains éléments essentiels (Fe, Cr et Mn) et non essentiels (Pb, Cd et Ni) par spectrophotométrie d'absorption atomique à four graphite (GF-AAS) dans la viande de veau crue et cuite. Nous avons sélectionné deux types de cuisson : la chaleur sèche (gril) et la chaleur humide (ébullition), les plus utilisées en Algérie. Dans le même contexte, nous évaluons les risques sanitaires potentiels liés à la consommation de cette viande par la population algérienne (Saida).

**PARTIE II. SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE**

II.1 Viande bovine

II.1.1 Origine de bétail

Le mot "cattle" est un mot français "chattel ou bétail" signifie possession. la première espèce bovine était l'aurochs (*Bos primigenius*), qui, entre le Pléistocène et l'Holocène, s'est répandu du nord de l'Afrique jusqu'aux côtes pacifique et atlantique de l'Eurasie, mais cet animal sauvage a disparu, le dernier troupeau ayant été retrouvé en 1627 après JC en Pologne. On pense que les bovins ont d'abord été domestiqués en Asie, après les moutons, les chèvres, les porcs et les chiens. Les premières preuves archéologiques et génomiques ont montré que les bovins taurins (*Bos taurus*) ont été domestiqués à partir de *Bos primigeniusprimigenius*, de 8 800 à 8 300 avant JC, pendant le Néolithique dans le Croissant fertile, qui s'est diffusé à travers la Turquie en Europe, ils ont également possiblement migré à travers l'Égypte vers le nord et l'est de l'Afrique. Après 1 500 ans, les zébus (*Bos indicus*) ont été domestiqués à partir de *Bos primigeniusnomadicus* dans la vallée de l'Indus et se sont dispersés vers la Chine et l'Asie du Sud-Est ainsi qu'en Afrique de l'Est (**figure 1**). Jules César a déclaré que leur taille était un peu plus petite que celle de l'éléphant, mais leur couleur et leur forme de taureau (**Boyles & Pellegrino, 2009; Ajmone-Marsan et al., 2010; Pitt et al., 2019**).

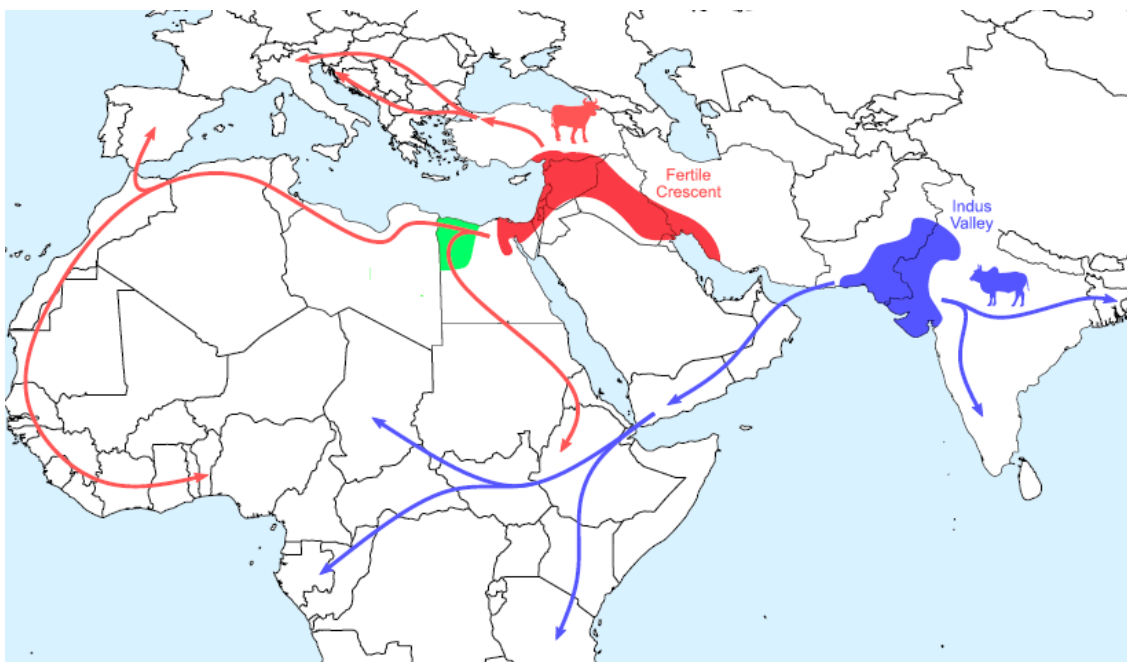


Figure 1 : Les principaux sites de domestication et voies de migration des bovins taurins (*Bos taurus*) et indicins (*Bos indicus*) (**Pitt et al., 2019**)

Aux XIXe et XXe siècles, la taxonomie des bovins était basée sur la longueur des cornes : cornes longues, cornes moyennes, cornes courtes, ou sans cornes ainsi que sur les formes crâniennes : latifrons (tête large), grandifrons (grosse tête), planifrons (tête plate) et longifrons (tête longue). De plus, de 1896 à 1993, les races ont été classées selon la couleur de la robe et l'origine géographique. En 1995, les marqueurs génétiques ont donné plus de détails sur les lignées paternelles (**Felius et al., 2014**). Les marqueurs microsatellites sont analogues à la méthode d'électrophorèse des protéines, ils reposent sur la détection de plusieurs allèles alternatifs à un locus spécifique, ce qui permet de donner des informations sur la distance génétique entre différentes populations (**Bradley et al., 1998**).

II.1.1.1 Bovins asiatiques

Les bovins *Bos taurus* sont répandus en Asie du Nord-Est (Mongolie, Chine du Nord, Corée et Japon), ces races se distinguent par un manque de bosses. Il a été croisé les races indigènes d'Asie de l'Est avec de nombreuses races européennes pour l'améliorer, mais les autochtones ont conservé les races locales comme sources génétiques uniques (**Kim et al., 2002**). Les zébus dominent l'Asie du Sud, ce sont des bovins à bosse qui se sont développés dans le sous-continent indien, puis se sont diffusés vers l'Asie du Sud-Est. Des preuves génétiques ont montré l'introgession de la taurine mâle chez les zébus du Bangladesh et du Népal, ce qui a établi des zones hybrides en Chine et en Asie centrale, comme la présence d'ADNmt indice en Mongolie (20 %) (**Kikkawa et al., 1995; Groeneveld et al., 2010**). Un autre type de bétail domestique en Asie du Sud-Est résulte des croisements de zébus avec des bovins Bali d'Indonésie, qui sont domestiqués à partir de banteng sauvage (*Bos javanicus*), l'analyse génétique a confirmé la présence d'ADNmt de banteng chez les zébus indonésiens, dans le Madura (56 %) et les races Galekan (94%). En outre, l'analyse des marqueurs génétiques des microsatellites, de l'ADNmt et de l'ADN du chromosome Y a montré que le bétail indonésien à Bali est purement d'origine Banteng. En revanche, les bovins Bali de Malaisie était d'origine mixte zébu-banteng (**Kikkawa et al., 1995; Groeneveld et al., 2010**). Les Baladi sont de petits bovins originaires d'Asie du Sud-Ouest, cependant, les races Damas sont de type laitier plus gros, ces bovins sont en déclin rapide en raison du croisement pour améliorer les races laitières et à viande. Les races jaunes chinoises étaient utilisées comme bovins de travail, mais les bovins laitiers ont été croisés avec des bovins européens principalement des Holstein (**Felius et al., 2014**).

II.1.1.2 Bovins africains

Les origines du bétail domestique africain descendaient d'aurochs sauvages, *Bos primigenius*, qui habitaient l'Afrique du Nord ; leur fossile trouvé dans la deuxième cataracte du Nil (Stock & Gifford-Gonzalez, 2013). La plupart des types de bovins en Afrique sont les zébus (*Bos indicus*) également connus sous le nom de bovins à bosse. Ils sont adaptés aux conditions environnementales difficiles telles que les températures élevées, la sécheresse et résistent également à l'infestation par les tiques, ce qui en fait le meilleur type de bétail pouvant survivre dans une grande partie de l'Afrique. Ces animaux caractérisés par la présence d'une bosse thoracique grasse, d'un grand fanon, d'un visage et de pattes longs, d'une croupe inclinée et de cornes dressées. Bien que les zébus soient sensibles à la trypanosomose, leur grande taille corporelle et leurs niveaux de production élevés en l'absence de mouche tsé-tsé les ont rendus plus attrayants pour les agriculteurs locaux. Les bovins zébus sont répartis en Afrique de l'Est et de l'Ouest (Grigson, 1991; Rege, 1999; Mwai et al., 2015; Kim et al., 2017).

Les bovins taurins étaient les premiers bovins en Afrique (Kim et al., 2017) . Ils sont classés comme *Bos taurus* avec des bovins européens sans bosse (Grigson, 1991). Les bovins taurins africains se trouvent le long du littoral méditerranéen, de l'Egypte au Maroc, ainsi que dans les parties subhumides et humides de l'Afrique de l'Ouest. Malgré leur taille plus petite et leur production inférieure par rapport aux zébus, ils ont acquis une résistance aux différentes maladies endémiques à leur environnement qui cohabitaient avec le vecteur trypanosomes africains, la mouche tsé-tsé (Grigson, 1991; Rege, 1999; Mwai et al., 2015; Kim et al., 2017). La découverte que les sanga africains ont été dérivés par croisement entre les bovins taurins et zébus vers 700 après JC, l'hybridation entre les bovins sanga et les zébus a conduit à un nouveau type de bétail nommé "Zenga", ils sont répartie dans l'est et sud d'Afrique (Groeneveld et al., 2010; Stock & Gifford-Gonzalez, 2013; Mwai et al., 2015; Kim et al., 2017; Kim et al., 2020).

II.1.1.3 Bovins européens

Bien que le *Bos primigeniusprimigenius* ait été trouvé dans la plupart des régions européennes avant il y a 11 000 ans, la génétique moléculaire et les analyses archéologiques ont révélé que les bovins taurins européens ont été domestiqués au Proche-Orient à partir d'aurochs " aurochs est un mot allemand qui signifie "bœuf primitif" ou "proto- bœuf" (Edwards et al., 2007; Bollongino et al., 2008; Schibler et al., 2014).

Selon la génétique moléculaire et de la morphologie géographique, les bovins européens ont été classés en cinq grands groupes de races, les bovins nord-européens composent des races laitières comme le pied noir, le pied rouge, le rouge baltique et l'Ayrshire nordique et les races à viande telles que le Maine -Anjou et Charolais. Bovins d'Europe centrale, à double usage à viande et laitier, y compris les races Simmental et Swiss Brown. Bovins ibériques, généralement utilisés comme races à viande. Bovins podoliens, qui se sont développés comme animaux de boucherie et de travail. Enfin les races balkaniques et anatoliennes, qui représentent les bovins taurins peu développés (Felius et al., 2014).

II.1.1.4 Bovins américains

Après la découverte de l'Amérique en 1492 par les Européens, Colomb amena le premier bétail aux Antilles lors de son second voyage en 1493, et pendant les 50 premières années de la colonisation Espagnole et Portugaise, des populations de bétail Créole introduites en Amérique du Nord, qui contient de 300 à 1000 animaux d'origine ibérique (*B. taurus*). Quelques années plus tard, ces bovins se sont propagés vers l'Amérique centrale et du Sud, le sud des États-Unis et l'Amérique latine (Lirón et al., 2006; Boyles & Pellegrino, 2009; Groeneveld et al., 2010; Giovambattista et al., 2013). Aujourd'hui, il existe différentes races créoles en Amérique. En Bolivie, nous avons pu reconnaître 4 races bovines créoles, Yacumeño créole avec une population de 1200 animaux, ils se sont adaptés à la plaine inondable tropicale saisonnière et élevés pour la viande bovine. Chaquenõ créole présent dans la forêt sèche, Saavedrenõ créole, une race laitière et bouchère vivait dans une région de plaine tropicale et Chusco créole, une race bouchère trouvée dans la plaine montagneuse de l'ouest de la Bolivie. En Argentine, ne représentent qu'une seule race bovine créole, distribuée à une grande surface et développée pour différents types d'environnement. En Colombie Bovins Hartóndel Valle avec une population de 5000 têtes, trouvés dans la forêt tropicale sèche et élevés pour le lait et la viande (Lirón et al., 2006; Giovambattista et al., 2013).

II.1.2 Races bovines en Algérie

Au cours des années 60, les bovins étaient divisés en 3 classes : les bovins locaux sont des populations autochtones appelées Bovin Laitier Local (BLL), les bovins importés sont des races à Hautes production dits Bovins Laitiers Modernes (BLM) et les bovins mixtes ou les produits de croisements dénommées Bovins Locaux Améliorés (BLA) (MADR, 2003). L'effectif total en 2017 est de 2 171 633 bovins, la race locale représente environ 78% de la

population totale, tandis que le cheptel importé et mixte est estimé à environ 22% (**Lamine & Eddine, 2021**).

II.1.2.1 Bovin local

Tous les types de bovins autochtones en Algérie appartiendraient à un seul groupe appelé le taurin Brune de l'Atlas, son principal ancêtre serait le *Bos primigeniusmauritanicus*, découvert par Thomas dans le quaternaire de l'Afrique du Nord (**Rahmani et al.; MADR, 2003; Mennani, 2020**). Cependant, certains auteurs ont rapporté que le bovine Algérien était un mélange de race Ibérique de la province d'Oranie et du Maroc et de race Asiatique pour les animaux habitant Constantine et la Tunisie (**Amadou & Dehamchia, 2019**).

Les bovins locaux sont bien adaptés à la fois aux conditions climatiques difficiles et aux ressources alimentaires limitées, Ces animaux ont la capacité de consommer abondamment et de transformer des fourrages de faible qualité, leur aptitude à marcher en terrain difficile, ainsi que la résistance aux maladies et parasites (**MADR, 2003; Bousbia et al., 2021; Rahal et al., 2021**). Cette adaptation géographique s'est toutefois traduite par des différences dans leurs caractéristiques morphologiques telles que la taille de l'animal, la tête et la couleur du pelage gris foncé en zone forestière, blanchâtre en zone pré forestière (**Bousbia et al., 2021; Rahal et al., 2021; Yahimi et al., 2021**), on distingue plusieurs sous-populations sont clairement différenciés du point de vue phénotypique (**Tableau 1**).

Tableau 1: les différentes races locales (**MADR, 2003; Mennani, 2020; Lamine & Eddine, 2021**)

Race	Situation géographique	Caractéristique morphologie
Guelmoise	Les zones montagneuses et forestières du nord-est de l'Algérie (Guelma et Jijel)	Petite taille rustique. Un pelage de gris clair à gris foncé. La tête, le cou, les extrémités et les extrémités de la queue sont plus foncés, avec un anneau de museau clair et une muqueuse nasale noire
Chourfa	La bordure des forêts dans les zones lacustres et littorales d'El-Tarf et d'Annaba, de Jijel et de Guelma	Une robe gris clair presque blanchâtre, le mufle et les paupières sont toujours noirs
Sétifienne	Les monts du Bâbord de la wilaya de Sétif	Une bonne conformation, Le pelage noirâtre uniforme et une ligne marronne dans le dos avec une queue est longue et noire
Chélifienne	Les monts du Dahra de la région de Chlef	Une robe fauve, une tête courte avec des cornes en crochets, des orbites saillantes entourées de lunettes

		marron foncé et une longue queue noire qui touche le sol
Djerba	La région de Biskra	Un pelage brun foncé et une taille réduite. Une tête étroite, une croupe arrondie et une longue queue

Il existe d'autres races moins répandues sont les Kabyle et Chaouia, dérivent respectivement de la Guelmoise et de la Guelmoise-Cheurfa, suite aux mutations successives de l'élevage bovin. Elle est localisée en Kabylie et aux Aurès, et les populations de l'Ouest localisées dans les montagnes de Tlemcen et de Saida, lesquelles ont subi des croisements avec une race ibérique (**Kalli, 2017**). En dehors de ces races en Algérie, notamment dans le sud algérien, les races bovines zébus sont largement élevées dans les zones frontalières avec les pays subsahariens (**Rahal et al., 2021**).

II.1.2.2 Bovin importe

Ce type de bovins est conduit de manière intensive, dans les zones à fort potentiel de production fourragère, ce système est constitué d'exploitations de type privé, au niveau des plaines et des périmètres irrigués autour des agglomérations urbaines (**Bekhouché, 2011; Kalli, 2017**), sont des races d'importation à haut potentiel génétique d'origine européenne, dont l'introduction avait débuté avec la colonisation du pays (**Bendiab, 2018**). En 2012, elles représentaient 28% de l'effectif total du cheptel national, et assurait environ 70% de la production totale de lait de vache avec un rendement de l'ordre de 4 000 à 4 500 litres /tête/an (**Lamine & Eddine, 2021**). Elles comprennent principalement les races représentées dans le tableau suivant

Tableau 2: les différentes bovines importées (**Babo, 1998**)

Race	Origine	Poids et taille	Morphologie
Prim'Holstein	Pays-Bas	Grande taille, Un taureau pèse de 900 à 1200 Kg ; une vache pèse de 650 à 700Kg,	Les membres sont solides, le garrot et le poitrail sont profonds, la tête est plutôt courte avec un mufler large. La robe est larges plaques noires (ou rouge) et blanches bien délimitées avec les extrémités des pattes et la queue.
Montbéliarde	Suisse	Grande taille avec une hauteur au garrot d'environ 1,40m ; le poids de taureau est de l'ordre 1000 à 1200 kg et celui de la vache de 650 à 750 kg	La robe est blanches soutenue aux taches rouges bien délimitées ; avec une tête, un ventre et des membres blancs

Pie rouge,	Allemand	Une vache pèse de 650 à 750Kg et un taureau pèse de 1000 à 1200 Kg	Possède une tête large avec des cornes arquées vers l'avant. Le mufler est clair, La robe est blanche, ourlée de taches rouges plus ou moins régulières
Simmental	France	Une grande taille avec des bêtes qui atteignent au moins 1.4 au garrot. Un taureau pèse de 1000 à 1300 Kg ; une vache pèse de 700 à 900Kg.	Le squelette est fort et les membres solides. La robe est pie rouge, mais varie entre rouge très claire au rouge foncé, la tête et les membres blancs
Tarentaise	France	La taille est moyenne, pas plus de 1.3m de garrot, Un taureau pèse en moyenne 800 Kg ; une vache 550Kg	Possède une tête courte avec front large, son squelette fin et solide, les membres sont courts. La robe est unie de couleurs fauve, celle de taureau est plus foncée

II.1.2.3 Bovin croisée

Ce cheptel couvre les différentes populations bovines, issues de multiples croisements incontrôlés entre la race locale et les différentes races introduites, ou entre les races importées elles-mêmes pour l'amélioration de la production (**Kalli, 2017; Bendiab, 2018**), la moitié de l'élevage de ce produit se situe dans les régions montagneuses et forestières, généralement réparties dans 8 wilayas du Nord-Est du pays : Taraf, Annaba, Skikda, Jijel, Souk Ahras, Guelma, Mila, Sétif (**Kebane & Naili, 2017; Lamine & Eddine, 2021**). Ce type de matériel animal ainsi que son extension est encore peu connu ; il est fréquent d'observer dans une même localité un gradient de format et de types génétiques, traduisant une forte hétérogénéité de matériel génétique, difficilement identifiable en termes d'origine raciale (**MADR, 2003**). En 2012, la race améliorée représentait 38% de nombre nationale et produisait environ 30% de lait de vache (**Kebane & Naili, 2017**).

II.1.3 Systèmes de production

Les systèmes de production en Algérie se limitent principalement à l'élevage bovin, ovin et avicole industriel. L'élevage bovin est basé sur l'exploitation des ressources pastorales naturelles. Cet élevage est fortement associé à l'agriculture qui joue un rôle important dans l'économie agricole, d'une part la couverture des besoins nationaux en protéines animales et l'augmentation des rendements agricoles par les fumures animales et d'autre part la création des postes d'emplois en milieu rural (**MADR, 2003; Bekhouche, 2011; Bendiab, 2018**). Il existe 3 modèles de systèmes de production qui diffèrent par leur niveau de consommation d'intrants et par le matériel génétique utilisé (**MADR, 2003**).

II.1.3.1 Système extensif

C'est un système traditionnel de transhumance entre les parcours d'altitude et les zones de plaines, se localise dans les zones forestières de montagne et les hautes plaines céréalières, son alimentation est basée sur le pâturage, donc il est très dépendant des conditions climatiques. La taille des troupeaux exploités dans ce système est relativement réduite, il s'agit du type de bovin local et mixte. Le système extensif occupe une place importante dans l'économie familiale et nationale, il assure 40% de la production laitière et 78% de viande (**Bekhouché, 2011; Kalli, 2017; Amadou & Dehamchia, 2019**).

II.1.3.2 Système semi-intensif

Ce type d'élevage est localisé dans les régions de piedmonts de l'Est et du Centre du pays, il représente des bovins améliorés. Ce type d'élevage est orienté vers la production de viande mais aussi assure une production laitière non négligeable généralement destinée à l'autoconsommation. Ce système se caractérise par des troupeaux de petite taille et une utilisation modérée d'intrants, principalement conduits sur pâturage (jachère, parcours, résidus de récoltes) mais reçoivent également des compléments de foin, de la paille et du concentré. Le recours aux soins et produits vétérinaires est assez rare (**Kalli, 2017**). **Semara et al. (2013)** ont constaté que les éleveurs dans les conditions de la zone semi-aride algérienne préfèrent le système semi intensif, Dans les stratégies de production bovine, c'est l'interaction de plusieurs facteurs qui a poussé les éleveurs à privilégier tel système par rapport à l'autre.

II.1.3.3 Système intensif

Localisé dans les plaines littorales et les zones telliennes du Nord qui à fort potentiel d'irrigation, il concerne les races importées et peu des produits croisés. L'effectif moyen des troupeaux est d'environ 20 têtes, l'alimentation est basée sur le foin et la paille achetés et un complément concentré est régulièrement apporté. Les fourrages verts sont assez rarement disponibles car dans la majorité des élevages bovins, l'exploitation ne dispose pas ou dispose de très peu de terre. Ce système utilise du matériel génétique introduit, repose sur l'achat de nourriture, l'utilisation courante de produits vétérinaires et l'emploi de main-d'œuvre salariée donc il considère le système le plus coûteux (**Kalli, 2017; Amadou & Dehamchia, 2019**). L'étude de **Siad et al. (2022)** a montré que les systèmes d'élevage dans les territoires steppiques évoluent vers une forme plus intensive, la plupart des éleveurs utilisent des aliments achetés

pour les besoins de leurs troupeaux et les concentrés constituent plus de 50% de la matière sèche ingérée par les animaux.

II.1.4 Production de la viande bovine en Algérie

Le cheptel bovin a augmenté entre 1965 et 1992, passant de 800 900 à 1 342 000 têtes, cette augmentation est principalement due à l'importation de vaches laitières (**Bendiab, 2018**). Cependant, l'élevage bovin qui ne représente que 6% de l'effectif total du pays, Selon **Lamine and Eddine (2021)**, les cheptels bovins nationale reste prédomine dans le nord du pays où il représente 92% de l'effectif global, avec 63% à l'Est, 26% à l'Ouest et 3% au centre, mai seulement 8% au Sud.

Selon les données de **FAOSTAT (2022)**, la production totale de viande bovine est passée de 19 301 à 33 700 tonnes entre 1963 et 1969 (**figure 2**), cette évolution est passée à 49 820 tonnes en 1977. Au cours des années 80 et 90, elle a connu une évolution avec des valeurs de 45 800 et 38 330 respectivement. Enfin, pour les années 2000, l'évolution de ce cheptel a enregistré une moyenne de 121 362,6 tonnes. La production annuelle de viande bovine devrait être de 166 291 tonnes en 2017, cependant cette tendance a régressé en 2020 à 144 434 tonnes.

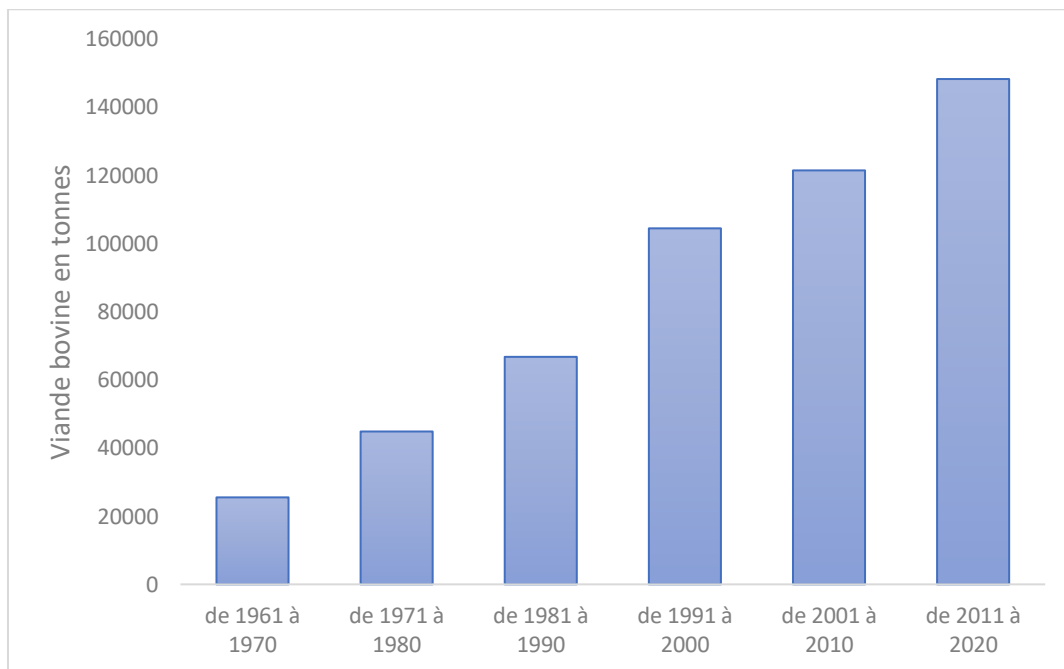


Figure 2: Production de la viande bovine en tonnes en Algérie 1961-2020 (**FAOSTAT, 2022**)

II.1.5 Coupes de la viande bovine

La haute qualité et la valeur nutritionnelle des coupes de la viande bovine à des prix raisonnables sont toujours importantes pour les consommateurs, mais ces propriétés varient

selon les différents morceaux de viande, ce qui entraîne un mélange hétérogène de muscles dans les coupes de la viande bovine (Jung et al., 2016). La figure ci-dessous représente les coupes primaires de la viande bovine, et le tableau 3 montre les principaux muscles individuels ou groupes de muscles dans les coupes de viande.

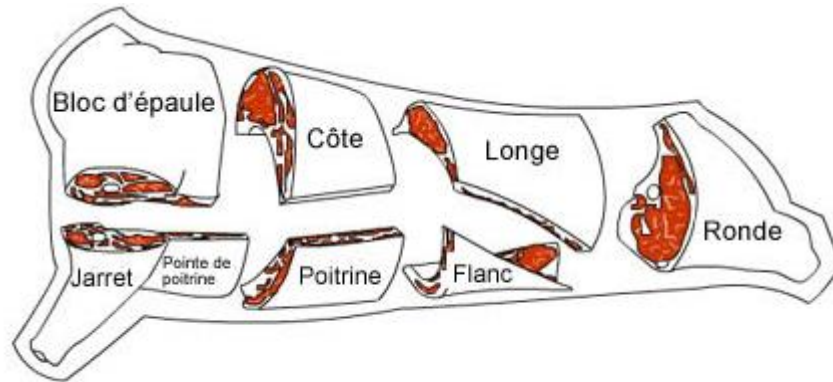


Figure 3: Coupes primaires de la viande bovine (Heloise, 2012)

Tableau 3: Muscles ou groupes musculaires de carcasses de la viande bovine (Jung et al., 2016)

Coupes primaires de la viande bovine	Muscles ou groupes musculaires
Épaule ou Palette (Chuck)	Blade combination (10 muscles); <i>Teres major subscapularis</i> ; <i>Supraspinatus</i> ; <i>Triceps brachii</i> (long head); <i>infraspinatus</i> ; Combinaison de cou (13 muscles); Combinaison d'épaule (8 muscles); <i>Triceps brachii</i> (long head) et <i>Teres major</i>
Côte (Rib)	<i>Longissimus thoracis</i> ; <i>Spinalisdorsi</i> ; <i>Trapezius</i> ; <i>Latissimusdorsi</i> ; Internal and external intercostal et <i>Serratus ventralis</i>
Longe (Loin)	<i>Longissimus lumborum</i> , <i>Psoas major</i>
Surlonge (Sirloin)	<i>Rectus femoris</i> ; <i>Vastuslateralis</i> ; <i>Gluteusmedius</i> ; <i>Biceps femoris Iliopsoas</i> ; <i>Tensorfasciae latae</i> et <i>Obliquusabdominusinternus</i>
Ronde (Round)	<i>Adductor</i> ; <i>Biceps femoris</i> ; <i>Gracilis</i> ; <i>Semimembranosus</i> et <i>Semitendinosus</i> .
Flanc (Flank)	<i>Rectusabdominis</i>
Pointe de Poitrine (Brisket)	<i>Deep pectoral</i> et <i>Superficial pectoral</i>
Jarret (Shank)	Combinaison jarret (10 muscles)

Plusieurs études ont rapporté que l'appétence et la tendreté du bœuf sont très variables, non seulement en fonction de la taille, du poids et du pH musculaire mais aussi selon la teneur

en protéines, graisses et humidité de la composition des fibres musculaires (Jeremiah et al., 2003; Jung et al., 2016). D'autres recherches ont montré que les muscles du bœuf réagissent différemment au vieillissement post-mortem, ces facteurs influencent l'intensité de la saveur, la jutosité et les pertes à la cuisson (Jeremiah et al., 2003). Calkins and Sullivan (2007) ont classé certains muscles du bœuf selon leur tendreté (figure 4).

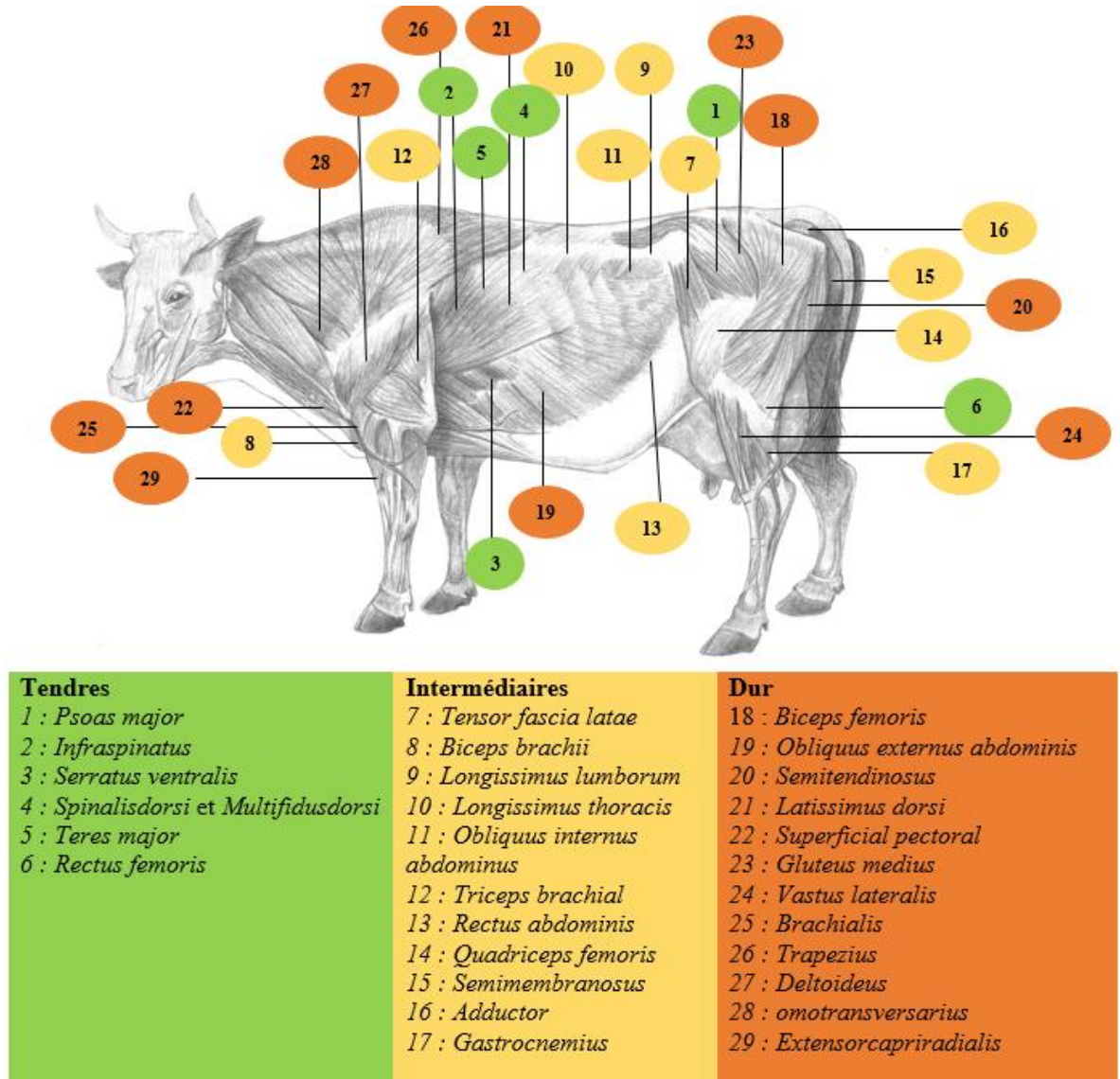


Figure 4: classification des muscles bovins selon la tendreté (Calkins & Sullivan, 2007; Purslow, 2017; Grenager et al., 2022)

Le régime alimentaire est essentiel à la qualité de la viande bovine, une étude révèle que les animaux nourris au foin avaient un poids corporel inférieur (-7 %) et plus maigres (-17 % de dépôts de graisse) que les animaux nourris au l'ensilage d'herbe. Ils ont aussi remarqué que le métabolisme du muscle *Semitendinosus* est un long muscle superficiel à l'arrière de la cuisse, était moins oxydatif chez les animaux alimentés au foin, et qu'il contenait plus de collagène

soluble ce qui se traduit par une amélioration de la tendreté de la viande produite à partir de ce muscle (**Hocquette et al., 2005**). Les facteurs génétiques, l'activité métabolique, les caractéristiques biochimiques des muscles, l'âge et le sexe influencent également la tendreté de la viande (**Hocquette et al., 2005; Temizkan et al., 2019**).

II.1.6 Composition de la viande

La définition du terme viande selon la législation alimentaire est l'ensemble des parties d'animaux Homéotherme sous forme fraîche ou transformée, susceptibles d'être consommées par l'homme. Cependant, selon le langage familier, cela signifie un tissu musculaire animal contenant une partie de la graisse (**Belitz et al., 2009**), qui est un excellent aliment fournissant une grande quantité de nutriments avec une portion typique de calories (**Caballero, 2005**). En biochimie, les muscles squelettiques sont composés d'environ 72 % d'eau, 21 % de protéines, 1 à 10 % de lipides, 1 % de cendre et 0,05 à 1 % de glucides (**Belitz et al., 2009; Font-i-Furnols et al., 2015; Listrat et al., 2015**).

A l'échelle macroscopique, le muscle squelettique (**Figure 5.a**) est constitué de fibres disposées parallèlement en faisceaux. Chacune de ces fibres séparées est entourée de tissu conjonctif appelé endomysium. Puis un fin tissu conjonctif dénommée le pérимыsium délimite un ensemble de ces faisceaux et l'épимыsium, qui est une couche externe et épaisse enveloppe le muscle. Lors de la consommation de viande, l'épимыsium est retiré (**Belitz et al., 2009; Listrat et al., 2015**).

À l'échelle microscopique, les fibres musculaires sont des cellules polynucléaires allongées, délimitées par une membrane appelée sarcolemme qui est constituée de 3 couches : l'endomysium, une couche médiane amorphe et une membrane plasmique interne, les noyaux sont entourés par le sarcoplasme et par d'autres unités cellulaires comme le réticulum sarcoplasmique, les mitochondries, les lysosomes, etc. Les myofibrilles sont des composants fondamentaux des cellules musculaires, en microscopie électronique à transmission (**Figure 5.b**) ces structures sont constituées de zones sombres (bandes A) et de zones claires (bandes I). Chaque bande I est séparée en deux par la séquence Z. L'unité répétitive entre deux stries Z sont des myofilaments composés essentiellement d'actine et de myosine qui constituent le sarcomère, l'unité contractile fonctionnelle de la myofibrille (**Belitz et al., 2009; Listrat et al., 2015; Wicks et al., 2019**).

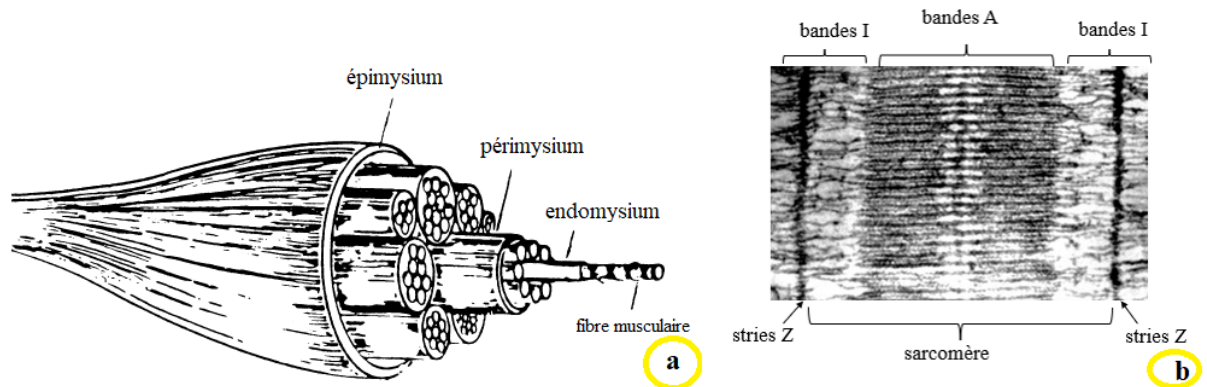


Figure 5: Organisation générale du muscle. **a** ; L'élément structurel du muscle squelettique. **b** ; Coupe longitudinale d'un sarcomère (Belitz et al., 2009)

II.1.6.1 Humidité

L'humidité constitue la majeure partie de la viande, elle est importante pour les facteurs de qualité tels que la couleur, la tendreté, la jutosité et la saveur de la viande, et pour le facteur économique, la perte d'humidité contribue à la perte de poids. L'humidité est moins présente dans les tissus adipeux, ainsi les animaux plus jeunes et plus maigres avaient une teneur en humidité plus élevée. En général, la méthode de séchage utilisée pour quantifier le taux d'humidité, le bœuf a la meilleure capacité à retenir l'eau par rapport à l'agneau et au porc (Font-i-Furnols et al., 2015; Ahmad et al., 2018).

La majeure partie de l'eau existe dans les fibres musculaires sous forme libre et une petite quantité dans les tissus conjonctifs. Lors du traitement thermique, un pourcentage important d'eau a été perdu, appelé "eau libre", et la petite partie de l'eau reste dans la fibre musculaire, appelée "eau liée". La capacité de rétention d'eau de la viande pourrait être affectée par de nombreux processus tels que le hachage, le broyage, la congélation, la décongélation, la cuisson, ainsi que l'utilisation de produits chimiques ou d'additifs organiques (Ahmad et al., 2018).

II.1.6.2 Protéines

Généralement, la viande contient 3 groupes de protéines, dont les protéines de structure représentent 11,5%, environ 20 protéines myofibrillaires différentes sont connues, principalement la myosine, l'actine et la titine sont prédominantes, ainsi que les tropomyosines et les troponines, qui interviennent dans la contraction musculaire, et diverses protéines du cytosquelette, qui jouent un rôle important dans la stabilisation des sarcomères. 5,5% sont les

protéines solubles présentes dans le jus musculaire, qui se composent d'environ 50 composants, principalement des enzymes impliquées pour soutenir la voie glycolytique et le métabolisme de l'ATP, et la myoglobine se compose de pigment rouge, elle fournit également de l'oxygène en raison de sa capacité à lier l'oxygène de manière réversible. Finalement 2 % sont des protéines insolubles représentant les protéines du tissu conjonctif, le collagène et l'élastine, enrobant la protéine structurale. La valeur protéique des coupes de viande plus riches en tissu conjonctif est plus faible, ce qui les rend coriaces et abaisse souvent leurs valeurs économiques et gustatives (**Belitz et al., 2009; Font-i-Furnols et al., 2015; Listrat et al., 2015**).

La viande rouge contient 20 à 25 g de protéines pour 100 g. La valeur nutritionnelle de la viande peut être modifiée en fonction de la présence ou de l'absence de nombreux acides aminés, seuls 20 des 192 connus sont utilisés pour former les protéines. Parmi ces vingt acides aminés, huit sont considérés comme essentiels (valine, leucine, isoleucine, phénylalanine, tryptophane, méthionine, thréonine et lysine), ne sont pas synthétisés dans le corps humain, mais sont nécessaires à son fonctionnement, donc doivent être apportés par l'alimentation et douze non essentiels (alanine, glycine, proline, cystine, sérine, tyrosine, asparagine, acide aspartique, glutamine, acide glutamique, arginine et histidine) qui peuvent être produits par le corps humain, mais seulement si leurs précurseurs alimentaires sont ingérés, sinon cela peut entraîner une malnutrition protéique (**Ahmad et al., 2018; IARC 2018; Alekseeva & Kolchina, 2019; Holloway & Wu, 2019a**). Des études antérieures ont montré que le bœuf a une teneur plus élevée en valine, leucine et lysine par rapport à l'agneau et au porc, de plus, la concentration des acides aminés est liée au type de muscle, à la race et à l'âge de l'animal, ce qui a révélé que la teneur en valine, isoleucine, méthionine, phénylalanine et arginine dans la viande augmente avec l'âge de l'animal. La composition en acides aminés pourrait également être influencée par l'application technique, y compris la chaleur, le rayonnement ionisant, le stockage, le fumage et le salage (**Ahmad et al., 2018**).

Apports nutritionnels recommandés établis pour les protéines de 0,8 g/kg/jour pour les adultes et 0,95 g/kg/jour pour les enfants, cependant d'autres études montrent que les besoins en protéines sont de 1,3 à 1,55 g/kg/jour pour une croissance optimale de 6 à 10 ans pour enfants et 1,1 à 1,5 g/kg/jour pour le maintien musculaire et osseux pour les adultes (**Holloway & Wu, 2019a**).

II.1.6.3 Graisse

Les graisses se trouvent à trois endroits principaux de l'organisme, la première se trouvant sous-cutanée et autour des organes. Celle-ci représente 40 à 50 % du poids total en viande grasse et se compose majoritairement de triglycérides. De plus, la graisse corporelle externe contient une grande quantité de graisses insaturées qui la rendent plus douce que la graisse interne qui entoure les organes. Ce tissu adipeux est visible dans la viande, qui peut se retirer pendant la transformation, avant ou après la cuisson. Deuxièmement se trouve entre les faisceaux de fibres musculaires, c'est ce qu'on appelle la graisse intermusculaire et constitue environ 4 à 8 % du poids de la viande maigre. Troisièmement, présente des petites quantités de graisse dans la structure musculaire appartenant à la graisse intramusculaire, il contient des phospholipides et certains acides gras à longue chaîne. La quantité de cette graisse varie selon les tissus et peut constituer de 1 à 3 % du poids du muscle (**Font-i-Furnols et al., 2015; Ahmad et al., 2018**).

Le pourcentage de graisse dans la viande rouge varie selon l'âge, le sexe, la race et le régime alimentaire de l'animal, ainsi que la coupe de viande (**IARC 2018**). De plus, l'alimentation joue un rôle important dans la couleur de la graisse, l'alimentation riche en céréales augmente la blancheur de la graisse de bœuf, par contre. Les bovins nourris à l'herbe ou à l'ensilage de maïs ont plus de gras jaune en raison de leur teneur en β -carotène. Bien que la plupart des consommateurs préfèrent la graisse de bœuf blanche, d'autres consommateurs associent la graisse jaune à la santé, car le bœuf nourri à l'herbe est considéré comme sain et contient de la graisse jaune (**Holloway & Wu, 2019b**).

Le composant de base des lipides de la viande sont les acides gras, qui peuvent être saturés, monoinsaturés ou polyinsaturés. Les acides gras sont des composants importants des mitochondries, de la paroi cellulaire et d'autres sites métaboliques. Les plus grandes proportions d'acides gras dans le bœuf sont monoinsaturées, suivies des acides gras saturés puis polyinsaturés de 48,9, 46,5, et 4,59 g pour 100 g d'acides gras totaux, respectivement. Les oméga 3 font partie des acides gras polyinsaturés, qui jouent un rôle crucial dans la santé humaine, notamment en tant que protecteur contre les maladies cardiovasculaires, la viande peut contribuer jusqu'à 20% de l'apport en oméga 3. Cette teneur dépend de la source de nourriture et est plus élevée dans les régimes à base de fourrage et d'herbe (**Caballero, 2005; McAfee et al., 2010; Ahmad et al., 2018; IARC 2018**).

II.1.6.4 Glucides

Les glucides sont stockés sous forme de glycogène dans le corps de l'animal où il se trouve principalement dans le foie qui contient environ la moitié des glucides totaux, et dans les muscles mais aussi stocké dans les glandes et les organes en moindre quantité. L'énergie fournie après une cascade de conversion du glycogène en glucose ; et du glucose à l'acide lactique qui est un processus complexe régulé par l'action des hormones et des enzymes. La viande n'est pas une source importante de glucides alimentaires. il ne contient que du glycogène. Ce dernier a un impact indirect sur la tendreté, la texture, la couleur et la capacité de rétention d'eau de la viande (Caballero, 2005; Ahmad et al., 2018).

II.1.6.5 Vitamines

La viande rouge est une bonne source de la plupart des vitamines hydrosolubles. En particulier les vitamines B, dont la vitamine B12, la pyridoxine (B6), l'acide folique (B9), la biotine, la niacine, l'acide pantothénique, la riboflavine et la thiamine. 100 g de bœuf ou d'agneau fournissent près des deux tiers des DJR pour la vitamine B12 et environ 25 % des DJR pour les autres vitamines B. 100g de foie de bœuf fournissent 87 % des DJR en acide folique. Les muscles des animaux plus âgés sont plus riches en vitamines B (Caballero, 2005; McAfee et al., 2010; IARC 2018; Holloway & Wu, 2019a). Les vitamines liposolubles de la viande rouge, notamment la vitamine A, la vitamine D, la vitamine E et la vitamine K, contribuent à l'importance nutritionnelle de la viande, mais elles sont présentes en faible quantité. La concentration de vitamine E est plus élevée dans les coupes de viande plus grasses et la vitamine A se trouve à des niveaux plus élevés dans le foie que dans les muscles (Caballero, 2005; IARC 2018; Holloway & Wu, 2019a)

II.1.6.6 Minéraux

Les viandes rouges possèdent une grande variété de minéraux. Parmi les macros minérales, le potassium est quantitativement le minéral prédominant suivi du phosphore puis du sodium et du magnésium, tandis que le calcium est peu présent dans les aliments musculaires. Certains des micros minéraux sont très abondants dans la viande comme le fer, le zinc, le sélénium et le cuivre. Les concentrations de fer, de zinc et de cuivre varient selon les espèces animales. Les régimes alimentaires riches en minéraux n'augmentent pas nécessairement leurs niveaux dans la viande (Caballero, 2005; Font-i-Furnols et al., 2015; Ahmad et al., 2018). Le bœuf est une riche source de fer sous forme hémique qui est plus

biodisponible que la forme non hémique. Une portion de 100 g de bœuf maigre apportera environ 1,8 mg de fer et 4,6 mg de zinc et 17 µg de sélénium correspondant respectivement à environ 14 %, 42 % et 26 % des apports nutritionnels recommandés pour ces nutriments (**Caballero, 2005; IARC 2018; Holloway & Wu, 2019a**).

II.1.7 Qualité de la viande

II.1.7.1 Couleur

La couleur de la viande joue un rôle important dans les décisions d'achat de viande des consommateurs et est donc liée à la qualité de la viande. La couleur de la viande résulte de paramètres ante et post-mortem, qui sont responsables de la concentration et de l'état chimique des pigments et de la microstructure musculaire qui déterminent les propriétés de diffusion de la lumière de la viande. Les variations de la qualité de la viande bovine sont influencées par plusieurs aspects physiologiques de l'animal, y compris l'espèce, l'âge à l'abattage, le sexe, la nutrition, les conditions avant l'abattage et la procédure d'abattage (**Font-i-Furnols et al., 2015; Holloway & Wu, 2019b; Wicks et al., 2019**).

La couleur de la viande est déterminée par l'abondance de myoglobine. La myoglobine est une protéine pigmentaire hydrosoluble qui transporte et stocke l'oxygène du sang vers les tissus musculaires. La concentration en myoglobine diffère entre les muscles selon les métabolismes musculaires et la demande énergétique, par exemple, les muscles situés près de l'os sont riches en mitochondries et utilisent le métabolisme oxydatif pour produire de l'énergie, ce qui rend la présence de myoglobine en grande quantité et donne au muscle une couleur rouge foncé. D'autre part, les muscles glycolytiques sont responsables de la libération rapide d'énergie et n'ont pas besoin d'oxygène, de sorte que l'abondance de myoglobine est réduite, donc le muscle acquiert un aspect plus pâle (**Wicks et al., 2019**). La viande provenant de bovins nourris avec des régimes riches en fourrage produit une viande maigre plus foncée que leurs régimes riches en concentrés car, à mesure que les muscles se développent et s'hypertrophient, ils deviennent plus glycolytiques. En effet, les bovins nourris à l'herbe grandissent plus lentement et ont donc plus de muscles oxydatifs (**Holloway & Wu, 2019b; Wicks et al., 2019**).

La couleur de la viande fraîche est définie par l'état chimique de la myoglobine. Lorsque la viande est exposée à l'air, de l'oxymyoglobine se forme, résultant de l'oxygénation de la myoglobine. Les viandes jusqu'à une profondeur de 1 cm, acquièrent une couleur rouge cerise brillante qui est considérée comme un indicateur de fraîcheur et d'attractif, et lorsque la viande est emballée sous vide, donne désoxymyoglobine (une forme réduite de myoglobine), qui est le

pigment musculaire violet. Au cours du stockage, la viande perd sa capacité à fixer l'oxygène ce qui induit la formation de metmyoglobine (la forme oxydée de la myoglobine) résultant du changement de Fe^{2+} en Fe^{3+} avec l'apparition d'une couleur brunâtre, qui est perçue défavorablement par le consommateur (Belitz et al., 2009; Font-i-Furnols et al., 2015; Listrat et al., 2015). En outre, les caractéristiques structurelles des muscles influencent la couleur de la viande en déterminant la réflectance de la lumière de la surface qui rend la couleur de la viande pâle, cette dernière dépendant du taux et de l'étendue de post mortem (Font-i-Furnols et al., 2015).

II.1.7.2 Saveur

La saveur est un facteur fort pour l'appréciation des consommateurs, qui est liée par le sens du goût et l'odorat, il existe de nombreux éléments organiques volatils de la viande responsable de la saveur, ces composants sont le résultat de la dégradation des lipides et la réaction de Maillard (Kerth & Miller, 2015; Holloway & Wu, 2019b).

La dégradation des lipides des tissus maigres est responsable de la saveur de la viande, ces tissus contiennent des phospholipides dans leurs membranes cellulaires, qui constituent les acides gras. Bien que ces molécules gras représentent un petit pourcentage des lipides totaux dans le bœuf, sont fortement associées à la formation de composants de la saveur, y compris des composés simples à chaîne droite tels que les alcools, les esters, les acides carboxyliques, les aldéhydes, les cétones et les hydrocarbures aliphatiques et les composés hétérocycliques aromatiques comme les lactones et les alkylfuranes. La réaction de Maillard est un type de brunissement non enzymatique qui se produit lorsque le bœuf est cuit. Elle implique des groupes carbonyle avec des acides aminés libres. Elle consiste une déshydratation et une dégradation de Strecker, l'acide aminé est décarboxylé et désaminé pour donner un aldéhyde, tandis que le dicarbone est converti en une aminocétone ou un alcool aminé. Ceux-ci conduisent à la formation de plusieurs composés aromatiques, dont les furanes, les pyrazines, les pyrroles, les oxazoles et thiophènes. Les produits lipidiques sont provenant d'une cuisson lente et basse, tandis que les produits Maillard sont issus d'une cuisson rapide et forte. Chaque type génère des composés aromatiques spécifiques et bien définis (Kerth & Miller, 2015).

II.1.7.3 Tendresse

La tendreté de la viande est un trait sensoriel très important qui influence la satisfaction du consommateur, les systèmes d'alimentation pourraient influencer la tendreté de différents

muscles mais pas de la même manière, cependant, d'autres paramètres peuvent également montrer leur effet sur la tendreté de la viande comme l'âge, le poids de la carcasse, le taux de croissance, l'activité physique et la couverture de graisse externe (**Wicks et al., 2019**). Il existe d'autres facteurs post mortem sont extrêmement liés à la tendresse :

II.1.7.3.1 Rigidité cadavérique (rigormortis)

Immédiatement après l'abattage, le muscle est mou et sec et peut être étiré avec un poids léger, mais après quelques heures, la carcasse devient raide et humide maintenant elle ne s'étire qu'avec un poids lourd. Cependant, après un certain temps, le muscle peut être facilement étendu, mais irréversible. La tendreté de la viande est formée à partir du muscle (**Belitz et al., 2009**). Les coupes doivent être retirées après la rigormortis complète, le temps de l'achèvement de la rigormortis varie selon les espèces et les conditions de refroidissement (**AMSA, 2015**).

Plusieurs réactions biochimiques impliquées dans la rigidité. Arrêt de la respiration mitochondriale avec épuisement de l'oxymyoglobine lorsque les conditions anaérobies commencent à se développer, les sources d'énergie phosphate de créatine, ATP et ADP sont dégradées et la glycolyse devient productrice d'énergie, ainsi le muscle cesse de fonctionner et l'acide lactique formé reste dans le muscle avec une diminution de la température et du pH. Ces facteurs provoquent la libération de Ca^{2+} dans le sarcoplasme qui sont stockés dans les mitochondries et dans le réticulum sarcoplasmique. La formation d'actomyosine à partir des liaisons croisées entre les têtes de myosine et l'actine ; et le muscle se raidit et perd son élasticité (**Belitz et al., 2009; Holloway & Wu, 2019b**).

II.1.7.3.2 Vieillessement de la viande

Après la rigormortis la viande redevient douce et tendre, on parle de vieillissement ou de maturation de la viande. Cette dernière est liée au degré de réticulation du collagène et de modification morphologique qui influence le cytosquelette, les lignes Z, qui séparent les sarcomères individuels sont dégradées au cours du vieillissement, par contre les protéines contractiles myosine et actine restent stables. De plus, le tissu conjonctif externe reste également intact (**Belitz et al., 2009**).

Les protéines myofibrillaires sont dégradées par les protéines de protéolyse, la μ -calpaïne et la m-calpaïne sont des endopeptidases à cystéine et qui sont activées par les ions Ca^{2+} libérés lors de la phase de rigueur. Le système calpaïne est régulé par une protéine supplémentaire, la calpastatine, qui est une protéine inhibitrice de la calpaïne et peut atténuer la protéolyse. Le rapport calpaïne/calpastatine modifie le taux de tendreté de la viande. Il a été démontré que les

calpaïnes ont un effet synergique dans le vieillissement de la viande avec les cathepsines. Ces protéolyses sont également des endopeptidases à cystéine et sont inhibées par les cystatines. Globalement, ces systèmes interviennent sur le vieillissement de la viande et donc sur la tendreté (Belitz et al., 2009; Wicks et al., 2019).

II.1.7.3.3 pH et capacité de rétention d'eau

Le pH est un attribut intéressant de qualité de la viande, il intervient dans la conversion post-mortem du muscle en viande et affecte aussi leur la capacité de rétention d'eau, par conséquent, influe les propriétés de la viande (Font-i-Furnols et al., 2015).

In vivo, les valeurs de pH du muscle d'un animal sont dans une zone neutre ($\approx 7,2$). Après l'abattage, le métabolisme musculaire devient anaérobie et le glycogène se transforme en lactate, ce qui entraîne une baisse du taux de pH. Cette diminution est proportionnelle à l'augmentation du Ca^{2+} sarcoplasmique qui stimule la glycolyse. Une valeur de pH normale mesurée dans les 45 à 60 minutes post-mortem est de 5,8 à 6,0 (également appelée pH1) (Font-i-Furnols et al., 2015). Une prédisposition génétique ou un stress aigu de l'animal, immédiatement avant ou pendant l'abattage induit une dégradation anormalement rapide du glycogène qui déclenche une diminution accélérée du pH, associée à une température élevée du muscle. Ces processus conduisent à la dénaturation des protéines. En conséquence, la viande apparaît pâle, de plus, les membranes cellulaires se désagrègent et la perte d'eau augmente ce phénomène appelé PSE (« Pale, Soft and Exudative ») (Belitz et al., 2009; Font-i-Furnols et al., 2015; Listrat et al., 2015).

La teneur en glycogène dans le muscle lors de l'abattage est responsable de l'ampleur de la chute du pH post-mortem, c'est ce qu'on appelle le pH ultime ou pHu. Les muscles glycolytiques contiennent plus de glycogène et donc un pHu plus élevé que les muscles oxydatifs. Le pHu normal se situe entre 5,5 et 5,8 dans la viande bovine (Font-i-Furnols et al., 2015). Lorsque les réserves de glycogène musculaire à l'abattage sont épuisées en raison du stress, seul un peu d'acide lactique se forme après l'abattage et les microfibrilles sont gonflées à des valeurs de pHu anormalement élevées et lient plus d'eau. Ces changements donnent à la viande une couleur plus foncée, moins adaptée au séchage et sensible aux infections microbiennes cette anomalie est connue sous le nom de DFD (Dark, Firm and Dry). Une baisse du pH post-mortem qui se traduit par un pHu très bas est appelée viande acide (Belitz et al., 2009; Font-i-Furnols et al., 2015).

La capacité de rétention d'eau est définie par la capacité de la viande à retenir l'humidité lorsqu'elle est exposée à des forces extérieures et joue un rôle important dans la tendreté et la jutosité. Ce mécanisme repose sur l'oxydation de protéines structurales principalement les myofibrilles, le pH et la force ionique. La majorité de l'eau est immobilisée dans le muscle, mais après les changements post-mortem de la morphologie musculaire et du pH, cette eau piégée est libérée (Belitz et al., 2009 ; Font-i-Furnols et al., 2015).

II.2 Contaminants chimiques (Métaux lourds)

II.2.1 Généralité sur les contaminants chimiques

Actuellement, la sécurité alimentaire est un problème mondial. Il existe plusieurs substances potentiellement toxiques qui peuvent contaminer les aliments consommés par les humains. Ces contaminants peuvent être naturels comme les toxines produites par les champignons (aflatoxines, fumonisines), les végétaux (alcaloïdes pyrrolizidines) et les algues (saxitoxines, acide okadéique) ou omniprésents dans l'environnement comme les métaux lourds, les dioxines et les biphénylpolychlorés (PCB), ceux-ci peuvent être augmenté par l'activité anthropique. Certains polluants indésirables se forment lors de la transformation des aliments, par ex. cuisson, fermentation, torréfaction, hydrolyse, etc. Le terme « résidus » s'applique aux médicaments vétérinaires ou aux produits phytopharmaceutiques (p. ex. pesticides agricoles) dans les produits alimentaires qui présentent un risque pour la santé des consommateurs. Les matériaux d'emballage en contact direct avec les aliments peuvent entraîner une contamination chimique (par exemple formaldéhyde, amines aromatiques primaires, mélamine et phtalates) due à la migration de ces substances nocives dans les aliments. De plus, l'utilisation d'additifs alimentaires non approuvés ou erronés provoque une contamination (Benford, 2013; Alvito et al., 2016; Rather et al., 2017; Thompson & Darwish, 2019).

II.2.2 Définition et classification des métaux lourds

Le terme métaux lourds est utilisé pour la première fois dans un livre "Inorganic Chemistry" de Niels Bjerrum en 1936, qui est défini comme des métaux dont la densité est supérieure à 7 g/cm^3 , mais après des années cette définition a été modifiée en changeant la densité minimale qui variait de $3,5 \text{ g/cm}^3$ à 6 g/cm^3 (Faisal et al., 2020). Au fil du temps, les scientifiques ont réalisé que la densité d'un élément n'est pas suffisante pour définir un métal lourd. Par conséquent, d'autres critères ont été introduits pour sa classification tels que le poids atomique, le numéro atomique et les propriétés chimiques (Appenroth, 2010). Le tableau

périodique (**figure 6**) représente les éléments considérés comme des métaux lourds, notamment les métaux de transition (au milieu), les métaux des terres rares (en bas) et les éléments du groupe du plomb (à droite) (**Faisal et al., 2020**).

En général, les métaux lourds restent un terme obscur et font partie d'un ensemble mal défini d'éléments qui présentent des propriétés métalliques (**Singh et al., 2011**), par exemple le terme métal essentiel est principalement utilisé dans les sciences de la vie, est représenté des micronutriments, qui sont des métaux et leurs composés nécessaires au cycle de vie complet d'un organisme vivant (**Faisal et al., 2020**). Cependant, le métal ou le métalloïde est considéré comme un contaminant s'il se présente sous une forme ou à une concentration qui cause un effet nocif pour les humains ou l'environnement (**Singh et al., 2011**).

Ia										VIIIa							
1 H	IIa										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3 Li	4 Be											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
11 Na	12 Mg	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb			lb	IIb	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
55 Cs	56 Ba	57	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	113	114	115	116		
87 Fr	88 Ra	89	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112						

Lanthanides:	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Actinides:	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Figure 6: tableau périodique des éléments métalliques (**Faisal et al., 2020**)

II.2.3 Pollution des métaux lourds

II.2.3.1 Pollution de l'environnement

Les métaux lourds sont présents à l'état de traces dans la terre depuis des milliards d'années grâce au processus naturel du cycle biogéochimique. Ces sources naturelles sont constituées de : éruptions volcaniques, roches enrichies en métaux, les particules d'aérosols et incendies de forêt (**Singh et al., 2011; Zaidi et al., 2012; Bhat et al., 2020**).

Anthropique est considérée comme la principale source de pollution par les métaux lourds, elle comprend deux grands types, l'activité industrielle et agricole. Les principales activités industrielles responsables de l'introduction de métaux lourds dans l'environnement sont : (1) l'exploitation minière, avec le développement technologique l'extraction de minéraux ne cesse d'augmenter, par conséquent, une grande partie des déchets est produite à partir de roches broyées ou de résidus de minerai, ces particules peuvent être transportées par le vent ou l'eau et s'accumule dans l'environnement (**Agrawal et al., 2011**). (2) La combustion de combustibles fossiles, ce type d'activité contribue à la libération d'une large gamme de métaux sur une grande surface et sur une longue période de temps, y compris As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Se, U et V. Ces éléments ne se trouvent pas en grande quantité dans le charbon et le pétrole mais s'accumulent dans leurs dépôts et sont rejetés dans l'air lors de la combustion (**Agrawal et al., 2011**). (3) Les industries métallurgiques et électroniques, un grand nombre de métaux lourds sont utilisés dans la fabrication d'alliages, d'aciers spéciaux, de câbles, de semi-conducteurs et de nombreux autres composants électriques. Par conséquent, leur élimination ou leur recyclage en ferraille peut entraîner une pollution de l'environnement (**Agrawal et al., 2011**).

L'augmentation de la population mondiale entraîne une réduction de la surface des terres destinées à la production alimentaire, ce qui induit l'utilisation intense d'engrais, de pesticides et d'amendements des sols. Les engrais aident à fournir des nutriments supplémentaires et à modifier le pH du sol et les pesticides sont utilisés pour protéger les cultures. Cependant ces pratiques jouent un rôle important dans la contamination des sols par les métaux lourds. Le sol, les eaux de surface et les eaux souterraines sont étroitement interconnectés, de sorte que ces polluants affectent différents systèmes (**Bradl, 2005**). De plus, il a été conclu que les boues d'épuration contiennent des concentrations relativement élevées de métaux lourds, en particulier Cd, Cu, Ni et Zn, qui posent des problèmes pour la production agricole sur les sols amendés par des boues. La mise en décharge des déchets solides municipaux peut également entraîner une forte dispersion de plusieurs métaux (**Agrawal et al., 2011**).

Des autres sources de pollution comprend l'émission de métaux lourds due au trafic, l'utilisation du plomb comme agent antidétonant dans l'essence et le tabagisme (**Zaidi et al., 2012; Singh et al., 2020**). Les statistiques de la libération annuelle mondiale de métaux lourds provenant de différentes sources montrent qu'environ 22 000 tonnes (tonne métrique), 783 000 tonnes, 939 000 tonnes et 1 350 000 tonnes pour le cadmium, le plomb, le cuivre et le zinc,

respectivement, et la production totale de ferrochrome et de chromite a été estimée à 7 000 000 tonnes et 19 300 000 tonnes, respectivement (**Zaidi et al., 2012**).

II.2.3.2 Pollution alimentaire

Les métaux lourds présents dans l'air, le sol et l'eau sont transférés aux plantes et/ou aux animaux et finissent par atteindre le réseau trophique. Une étude montre que l'irrigation avec de l'eau contaminée en Cd et Pb induit l'accumulation de ces éléments dans la carotte, le chou et la laitue (**Singh et al., 2020**). Les fortes proportions de métaux lourds retrouvées chez les animaux marins ont attiré l'attention des scientifiques de l'environnement et des toxicologues, qui peinent à fournir des recommandations sur les limites acceptables pour ces contaminants. Les écosystèmes aquatiques à proximité des industries contiennent une concentration plus élevée de métaux lourds (**Singh et al., 2020**). Il a été rapporté que le méthylmercure s'accumule dans de nombreux organismes aquatiques en raison de la forte affinité pour les groupes -SH des tissus lipidiques et des protéines chez les êtres vivants, ont été signalés comme ayant des niveaux plus élevés de méthylmercure, le composé prédominant dans le poisson, avec des concentrations supérieures à 3 mg/kg détectées dans le thon (**Schrenk & Cartus, 2017; Singh et al., 2020**), de plus, la majeure partie de l'exposition à l'arsenic provient de l'ingestion de poissons et de fruits de mer, avec des quantités de 0,1 à 1,8 mg/kg (**Schrenk & Cartus, 2017; Singh et al., 2020**).

Les niveaux de plomb dans les aliments varient entre 10 et 200 mg/kg, les aliments végétaux contenant moins de plomb et de cadmium, généralement moins de 0,1 mg/kg de Cd. Des concentrations supérieures à 1 mg/kg de Pb ont été mesurées dans les abats, les champignons, les moules et les épices, et 0,2 mg/kg de Cd dans les champignons, les fèves de cacao et les graines oléagineuses. Les céréales sont considérées comme les principaux contributeurs alimentaires à l'exposition au Pb et au Cd. L'eau potable trouvée dans les maisons qui contiennent des tuyaux en plomb est responsable de l'absorption importante de Pb (**EFSA, 2009, 2010; Schrenk & Cartus, 2017**). L'utilisation de flocculants dans le traitement de l'eau potable est une source majeure de pénétration d'aluminium dans l'eau potable. De plus, l'utilisation d'additifs contenant l'Al, les matériaux d'emballage, les ustensiles de cuisine sont responsables de l'augmentation de la concentration d'Al dans les aliments. Des teneurs moyennes de 5 à 10 mg/kg ont été déterminées dans les gâteaux et pâtisseries, le pain, les produits laitiers, les fruits de mer, les produits carnés et les légumes. Des concentrations

relativement élevées ont été détectées dans le thé, les herbes, le cacao et les épices (**Schrenk & Cartus, 2017**).

II.2.4 Métaux lourds comme nutriment

Certains métaux sont essentiels dans le cycle de vie de différents organismes. Le dépôt de métaux dans les sols est absorbé par les communautés microbiennes qui affectent directement ou indirectement divers stades de la croissance, de la différenciation et du métabolisme microbiens (**Zaidi et al., 2012**). Ces éléments font partie d'une molécule d'un constituant végétal ou d'un métabolite (**Tableau 4**) (**Zaidi et al., 2012**). De plus, Les métaux lourds jouent un rôle homéostatique dans les cellules humaines et animales (**Tableau 5**), ils sont impliqués dans le métabolisme, la contraction musculaire, le contrôle de la fonction nerveuse et la régulation de la production d'électrolytes et d'hormones (**Bánfalvi, 2011**).

Tableau 4: fonctions essentielles des micronutriments métalliques dans les plantes (**Alloway, 2012**)

Élément	Fonctions
Cobalt	Il est impliqué dans la fixation symbiotique de N ₂ par Rhizobium dans les nodules racinaires des légumineuses et de certaines non-légumineuses.
Cuivre	Joue des rôles structurels et fonctionnels dans la plupart des enzymes oxydatives et des protéines de transfert d'électrons. Ces enzymes et protéines Cu-dépendant sont impliquées dans la photosynthèse, la respiration, le métabolisme des glucides et des protéines, la formation du pollen et la lignification des parois cellulaires.
Fer	Il est essentiel à divers processus dont : la photosynthèse, la synthèse de l'hormone éthylène et la production de chlorophylle. il est incorporé dans des protéines héminiques et non héminiques, telles que les cytochromes, qui sont impliquées dans de nombreux mécanismes, par exemple la formation de lignine et de subérine
Manganèse	Active plusieurs enzymes qui catalysent les réactions de décarboxylation, d'oxydoréduction et d'hydrolyse. Influence ainsi la biosynthèse des flavonoïdes, les acides gras, de l'hormone de croissance d'acide indole acétique
Molybdène	Nécessaire au fonctionnement de la nitrate réductase qui est importante pour la réduction du NO ₃ pour permettre son assimilation dans les plantes et de l'aldéhyde oxydase qui intervient dans la production des hormones de croissance.
Nickel	Composant de l'enzyme uréase et qui est indispensable pour les plantes alimentées en urée et l'enzyme hydrogénase qui intervient dans la fixation de N par les bactéries. Il est important pour la vigueur des embryons et pour la résistance aux maladies des plantes.
Zinc	Constituant des enzymes responsables de la régulation des gènes, de la biosynthèse des glucides, des protéines, de l'auxine et du pollen, de l'intégrité membranaire et de la protection cellulaire contre les radicaux libres. Les tissus méristématiques ont besoin d'une forte concentration de Zn et d'anhydrase carbonique, c'est une enzyme contenant du Zn impliquée dans la photosynthèse.

Tableau 5: Rôle des métaux lourds essentiels chez les animaux supérieurs et les humains (Alloway, 2012)

Elément	Fonctions
Chrome	Constituant du facteur de tolérance au glucose, qui potentialise l'action de l'insuline. Il participe au métabolisme des lipoprotéines
Cobalt	Sa seule fonction connue est en tant que composant de la vitamine B12 et joue un rôle majeur dans les cellules animales où la division active a lieu, par exemple, les tissus hématopoïétiques de la moelle osseuse.
Cuivre	Constitué de 12 métalloenzymes et de facteurs de transcription, il est impliqué dans le métabolisme du Fe et la biosynthèse des hémoglobines ainsi il est essentiel dans les systèmes nerveux, immunitaire et squelettique. Sa carence chez le bétail peut entraîner une perte de poids et de fertilité
Fer	C'est un composant principal de l'hémoglobine qui transporte l'oxygène dans les cellules érythrocytaires.
Manganèse	Il intervient dans la synthèse osseuse et le métabolisme des macromolécules, il active plusieurs types d'enzymes, sa carence chez les bovins provoque des malformations squelettiques et des perturbations du métabolisme des lipoprotéines, de l'insuline et des facteurs de croissance.
Molybdène	Chez les animaux, agit comme cofacteur pour plusieurs enzymes de transformation C, N et S. Chez l'homme, active la sulfite oxydase qui est nécessaire au métabolisme des acides aminés soufrés et du bisulfite conservateur dans les aliments.
Sélénium	Il est nécessaire au fonctionnement antioxydant et anti-inflammatoire, il est important pour le métabolisme des hormones thyroïdiennes. Il joue également un rôle dans la détoxification et la prévention de nombreuses maladies.
Zinc	Il est impliqué dans la réplication de l'ADN, la biosynthèse des protéines, la division cellulaire et la croissance. Il est essentiel pour les fonctions neurologiques, reproductives et immunitaires.

II.2.5 Toxicité des métaux lourds

II.2.5.1 Végétaux

Les fractions de métaux présentes dans le sol peuvent être absorbées par les plantes (Faisal et al., 2020), cela dépend de la concentration et du type de métal dans la solution du sol, du mouvement du métal dans le sol, du type de sol, de l'espèce et de la physiologie de la plante, par ex. les légumes-feuilles ont une absorption plus élevée de métaux que les légumes-racines qui ont une accumulation modérée, tandis que les légumineuses ont l'absorption la plus faible (Agrawal et al., 2011; Faisal et al., 2020). La quantité totale d'ions mobiles dans la solution du sol et la quantité de racines produites sont fortement associées à l'absorption végétale, les champignons symbiotiques nommés les mycorhizes augmentent la surface

d'absorption des racines ce qui favorise la pénétration des ions nutritifs, des niveaux élevés d'ions métalliques dans le sol favorisent le processus de leur diffusion passive à travers l'endoderme racinaire. Tandis que des faibles quantités d'ions métalliques subissent une absorption active, généralement le type de métal dicte le modèle de diffusion, par ex. Pb, Cd, Ni et Cr (III) sont considérés comme une absorption passive, tandis que la diffusion de Cu, Mo et Zn peut se produire via un transport métabolique actif ou une combinaison d'absorption passive et active (**Agrawal et al., 2011; Faisal et al., 2020**).

Des concentrations extrêmement élevées de métaux dans les tissus végétaux entraînent une réduction de la biomasse végétale et de la longueur des racines, affectant négativement la germination des graines, la photosynthèse et la respiration, ainsi que la perturbation de la biosynthèse de la chlorophylle et du métabolisme des minéraux. Même les ions essentiels à une croissance optimale des plantes, s'ils se sont accumulés en quantité inappropriée, peuvent induire une phytotoxicité (**Zaidi et al., 2012; Faisal et al., 2020**). L'action des métaux lourds chez les plantes peut être organisée par des événements, (1) interactions des ions métalliques avec les composants de la rhizosphère végétale conduisant à la formation d'espèces réactives de l'oxygène dans la paroi cellulaire, (2) au niveau du cytoplasme réagissant avec les macromolécules et métabolites induisant ainsi des changements enzymatiques, (3) affecte l'homéostasie cellulaire comme, l'absorption d'eau, le transport et la transpiration. A ce stade, les symptômes deviennent visibles, (4) Réduction de la production de chlorophylle et de caroténoïdes diminuant par conséquent la photosynthèse et la croissance des plantes, (5) Mort des cellules végétales (**Appenroth, 2010**).

II.2.5.2 Animaux et humains

II.2.5.2.1 Exposition et Absorption

La taille, la forme, la densité et la solubilité des composants métalliques en suspension dans l'air déterminent leur dépôt, leur rétention et leurs effets toxicologiques. Les composants dont le diamètre aérodynamique de masse médian est supérieur à 10 µm sont fortement capturé par les voies nasales humaines, tandis que les particules dont le diamètre aérodynamique de masse médian est inférieur à 10 µm ont le potentiel de pénétrer dans les alvéoles qui sont nommées les particules respirables (**EPA, 2004**), où elles sont moins possibilité d'être éliminées par clairance mucociliaire et plus susceptibles d'atteindre le sang (**Elder et al., 2015**).

Les métaux peuvent pénétrer dans l'organisme par le tractus gastro-intestinal par les aliments et l'eau potable. La quantité de métaux déposée sur les parois et absorbée dans la

muqueuse intestinale dépend des caractéristiques physico-chimiques du métal comme la taille, la solubilité et l'espèce (**Elder et al., 2015**). Les facteurs physiologiques comprennent l'âge, la grossesse et l'état nutritionnel du calcium et du fer, influence l'absorption des métaux. Par exemple, l'absorption du Pb est affectée par l'état nutritionnel en fer et en calcium, des études montrant qu'une carence en Fe ou en Ca augmente l'absorption du Pb. Ces mécanismes ressemblent aux interactions entre le Pb et d'autres cations divalents tels que Cd, Cu, Mg et Zn (**EFSA, 2010**). Ces particules peuvent être absorbées par diffusion passive qui dépend de la liposolubilité de la particule et de son ionisation ou par des systèmes de transport spécifiques qui dépend le métabolisme. Ainsi le pH des entérocytes détermine le degré d'ionisation et donc le taux d'absorption (**Nordberg & Fowler, 2019**).

II.2.5.2.2 Distribution

Le transport et la distribution des métaux dans l'organisme se fait selon la forme du métal présent dans le sang ou la lymphe. Plusieurs facteurs sont responsables de la distribution : la fraction de protéine liée dans le plasma, le liquide interstitiel et intracellulaire ; le taux de biotransformation ; la perméabilité membranaire au métal présent dans le plasma ; le taux de perfusion sanguine des organes ; et la disponibilité et la concentration de rotation des ligands intracellulaires pour le métal (**Elder et al., 2015**). Le terme fraction diffusible ne signifie pas la diffusion passive des métaux, mais il désigne la fraction du métal de faible poids moléculaire qui est transportée par des protéines spécifiques. La liaison entre les protéines plasmatiques et les ions métalliques varie selon le type de métal, par exemple, 99% du Cd et du Hg sont liés aux protéines plasmatiques par contre le germanium ne se lie pas, le Béryllium transporté par le gamma globuline plasmatique sous forme de phosphate colloïdal (**Elder et al., 2015**).

II.2.5.2.3 Excrétion

L'excrétion intestinale inorganique et organométallique est constituée par le foie, la bile et les sécrétions pancréatiques. Les produits chimiques et les médicaments affectent l'excrétion biliaire des métaux, par exemple, la cystéine, le glutathion réduit et la pénicillamine stimulent l'excrétion biliaire du méthylmercure. La sécrétion biliaire des métaux peut être suivie d'une réabsorption dans le tractus gastro-intestinal, cette fraction disponible étant ensuite réexcrétée dans la bile, ce processus appelé circulation entérohépatique. Cette opération se produit à des degrés divers pour de nombreux métaux, la recirculation entérohépatique est généralement connue pour les formes ioniques de Pb, Hg, As, Mn (**Nordberg & Fowler, 2019**).

L'excrétion rénale est considérée comme la principale voie d'élimination de nombreux métaux, la concentration urinaire en métal est utilisée comme indice de la charge corporelle. La physiologie rénale permet l'excrétion de la fraction ultrafiltrable du plasma. Complexe métal-protéine doit être pris en compte pour le mécanisme d'élimination rénale. Dans la filtration glomérulaire, les métaux liés aux protéines de faible poids moléculaire peuvent être excrétés du plasma dans le liquide tubulaire (Nordberg & Fowler, 2019).

II.2.5.2.4 Effets toxiques

Les biomarqueurs d'exposition, également appelés biomarqueurs de réponse ou biomarqueurs d'effet, sont la mesure de la fraction interne du métal ou du métabolite par analyse physiologique, biochimique ou comportementale. Ce sont des indicateurs puissants qui caractérisent la sensibilité des effets toxiques et la période critique pendant laquelle l'exposition peut être nocive (Flora, 2014). Les biomarqueurs les plus étudiés sont : formation d'adduits d'ADN et de protéines, aberrations chromosomiques, augmentation de la production de biomolécules endogènes telles que l'aspartate aminotransférase et la gamma glutamyl transférase, et modifications du nombre de spermatozoïdes, de globules rouges et de lymphocytes (Flora, 2014). Selon d'études épidémiologiques et écotoxicologiques, ces métaux ont été considérés comme cancérigènes pour l'homme et les animaux (Bhat et al., 2020). L'exposition aux métaux lourds principalement Hg, Pb, As, Cd, Ni, Mn, Cr, Al et Cu via l'ingestion d'aliments contaminés, peuvent causer des effets néfastes sur les systèmes immunologiques, cardiovasculaires, hématologiques, hépatiques, rénaux, neurologiques ainsi ils favorisent la production de ROS, endommagés l'ADN et les protéines (Scoullos et al., 2012; Schrenk & Cartus, 2017; Bhat et al., 2020; Fu & Xi, 2020; Singh et al., 2020).

II.3 Évaluation de la sécurité des viandes

II.3.1 Évaluation des risques

L'évaluation des risques est un processus d'estimation du danger possible suite à une exposition à un agent ou à un événement spécifique pour un organisme, une population ou un système ciblé et l'ampleur de ses effets néfastes sur la santé, l'économie ou l'écologie sur une période déterminée (Schrenk, 2012; Gerba, 2019). Le danger peut être chimique c'est-à-dire la présence d'agents pathogènes chimiques (Gerba, 2019) ou biologique dans lequel le danger est considéré comme l'agent microbiologique (Schrenk, 2012). L'évaluation des risques chimiques est définie comme un processus scientifique permettant de calculer la quantité d'un contaminant exposée aux consommateurs généraux ou aux populations sensibles telles que les

enfants et les personnes âgées dans le but de protéger la santé publique (**Dasenaki et al., 2017**). Le terme d'évaluation de la sécurité ainsi utilisé pour les produits chimiques et leurs effets néfastes dans les aliments (**Schrenk, 2012**). Les évaluations des risques sont menées par des comités d'experts scientifiques qui fournissent des décisions réglementaires dans des cadres juridiques visant à assurer, préserver et améliorer la sécurité de l'exposition humaine aux produits chimiques (**Dasenaki et al., 2017**). Les éléments clés de l'évaluation scientifique des risques sont divisés en quatre étapes :

Identification des dangers : permette de présenter le type d'effets indésirables qu'un composé a la capacité inhérente d'induire dans un organisme ou une (sous-)population (**Benford, 2013**). Une substance est considérée comme un danger si elle provoque des effets néfastes sur la santé dans des conditions d'exposition expérimentales, pertinentes ou non pour les situations humaines (**McClellan, 2018**). L'identification des dangers utilise de nombreux tests toxicologiques pour identifier le potentiel d'effets indésirables (indépendamment de la dose) à différentes phases du cycle de vie (**Benford, 2013; Dasenaki et al., 2017**).

Caractérisation des dangers : Il décrit des informations qualitatives et quantitatives sur les contaminants chimiques, qui doivent inclure une estimation de la dose-réponse et les incertitudes qui l'accompagnent pour quantifier un effet indésirable (**Dasenaki et al., 2017**). Il permet de déterminer une valeur de référence pour les composés chimiques non génotoxiques ou génotoxiques à effet de seuil limité. Il s'agit d'une dose d'exposition sans risque appréciable pour la santé pendant une période déterminée (**Schrenk, 2012**).

Évaluation de l'exposition : est une méthode de mesure de l'ampleur, de la durée et de la fréquence de l'exposition à un facteur indésirable. La nature, la quantité, les sources, le transport, les mécanismes de libération et les caractéristiques de traitement sont des paramètres essentiels pour l'évaluation de l'exposition (**Gerba, 2019**). L'évaluation de l'exposition aux contaminants chimiques dans les produits alimentaires nécessite des données sur la présence de substances chimiques dans les aliments et sur les quantités de ces aliments consommées par différents groupes de population. Ces informations sont obtenues par le biais de programmes de surveillance et d'enquêtes ou d'approches d'études générales sur l'alimentation (**Dasenaki et al., 2017**).

Estimation des risques : Une fois l'exposition à une substance chimique caractérisée et ses données toxicologiques recueillies, l'effet nocif qui en résulte peut-être détecter en intégrant les informations de l'exposition aux données toxicologiques (**Rosenfeld & Feng, 2011**), qui donne un aperçu de la possibilité d'adoption ou de la nécessité de fixer des niveaux maximaux

pour les additifs alimentaires, les contaminants environnementaux persistants ou les résidus de pesticides dans les aliments (**Heinemeyer et al., 2019**).

Le groupe scientifique CONTAM évalue si l'exposition à un contaminant chimique dans les denrées alimentaires est susceptible ou non d'avoir des effets néfastes sur la santé de l'homme. Ce groupe établit également le niveau d'exposition au risque non appréciable pour la santé, appelé valeur guide basée sur la santé telle que la dose journalière tolérable. Lors de l'évaluation, le groupe prend en considération toutes les informations toxicologiques présentes, consiste les études sur des animaux de laboratoire, les humains, les systèmes cellulaires et autres. Le groupe CONTAM établit la dose aiguë de référence pour les substances qui pourraient causer une toxicité à court terme par absorption (toxicité aiguë) et établit la dose hebdomadaire tolérable pour une exposition à long terme de substances et donc s'accumuler dans le corps (toxicité chronique) (**EFSA, 2012**).

II.3.2 Évaluation de la sécurité des métaux lourds dans les viandes

Le règlement n° 1881/2006 de la Commission européenne a fixé des LMR pour certains métaux toxiques tels que le cadmium, le plomb et le méthylmercure dans une gamme d'aliments (**EC, 2006**). Concernant la réglementation nationale, le Journal Officiel Algérien considère les métaux lourds comme des contaminants lorsqu'ils dépassent les LM tolérées, et les denrées alimentaires contenant ces contaminants ne doivent pas être mises à la consommation (**JO n°74, 2014**). Les LM autorisées pour le Pb et le Cd sont de 0,1 mg/kg et 0,05 mg/kg dans la viande bovine, respectivement (**EC, 2006**). En 2011, le 73e Comité mixte FAO/OMS a réévalué les niveaux de Cd et de Pb dans les aliments, un certain nombre de recherches ont signalé la présence de Pb et de Cd dans la viande et les produits carnés, le Pb est présent à de faibles concentrations dans les muscles des animaux par rapport aux organes (**JECFA, 2011**). Ces études ont également montré que le niveau de Cd dans les produits alimentaires d'origine animale dépend de la teneur en Cd des aliments pour animaux et ces concentrations peuvent atteindre 3 mg/kg (**Dasenaki et al., 2017**). Selon l'**EFSA (2010)**, les viandes contiennent des niveaux de Pb plus élevés que les autres aliments.

En 2009, le Cr a été interdit en tant qu'oligo-élément dans l'alimentation des animaux de ferme par le FEEDAP, l'apport alimentaire en Cr (III) est susceptible d'être d'environ 0,1 mg/jour et ne doit pas dépasser 0,3 mg/jour, les viandes d'animaux non supplémentés en Cr (III) contribuent à hauteur de 16 à 26 % de l'apport alimentaire total en Cr (III) (**FEEDAP, 2020**). Le JECFA a établi la DHTP pour l'arsenic inorganique à 15 µg/kg pc, mais après des données

supplémentaires prouvant que l'As peut provoquer le cancer du poumon, des voies urinaires et de la peau, le groupe scientifique CONTAM de l'EFSA a conclu que la DHTP du JECFA n'est plus appropriée (**Hargin & Shears, 2013**). Généralement, la viande n'était pas un contributeur majeur à l'exposition à l'arsenic (**Smith & Kim, 2017**).

Le JECFA a établi une DHTP pour le mercure inorganique de 4 µg/kg pc (**JECFA, 2021**). Par ailleurs, la réglementation européenne a fixé une DHT de 4 µg/kg pc pour le mercure inorganique et de 1,3 µg/kg pc pour le méthylmercure dans les denrées alimentaires pour toutes les tranches d'âge (**EC, 2022**). Le JECFA a déterminé une DHTP pour Al de 2 mg/kg pc pour tous les composés d'aluminium dans les aliments (**JECFA, 2011**). La Commission européenne ne fixe pas de LM pour les éléments essentiels qui jouent un rôle bénéfique pour la santé humaine, cependant le JECFA a établi la DJMTP de 0,05-0,5 mg/kg pc pour le cuivre, 0,8 mg/kg pc pour le fer et 0,3-1 mg/kg pc pour le zinc (**JECFA, 2021**).

II.3.3 Cuisson de la viande

II.3.3.1 Méthodes de cuisson

La majorité des matières premières alimentaires sont soumises à un traitement thermique avant consommation comme la cuisson, la pasteurisation ou la stérilisation (**Alfaia et al., 2013; Gheisari et al., 2016**). La cuisson confère des caractéristiques sensorielles souhaitables tout en préservant la sécurité alimentaire tandis que la pasteurisation ou la stérilisation aide à atteindre la sécurité microbiologique et élimine certaines activités enzymatiques pour augmenter la conservation des aliments (**Alfaia et al., 2013**). La cuisson de la viande peut se faire par différentes méthodes afin d'améliorer la saveur et le goût, facilitant ainsi la consommation de cette viande (**Gheisari et al., 2016; Sobral et al., 2018**). Généralement, il existe deux stratégies de chauffage pour transférer la chaleur à la viande qui sont la cuisson à la chaleur sèche comme le rôtissage, le grillage, le barbecue et la cuisson à la chaleur humide comme l'ébullition, la cuisson à la vapeur (**Alfaia et al., 2013**).

L'ébullition, méthode traditionnelle et simple de cuisson de la viande, consiste à plonger la viande dans de l'eau bouillante à 100°C généralement de 25 à 30 minutes ou plus selon l'épaisseur des morceaux (**Sobral et al., 2018; Suleman et al., 2020**). La cuisson à la vapeur utilise la chaleur de la vapeur de l'eau bouillante, c'est-à-dire que la viande n'entre pas en contact direct avec l'eau bouillante, seulement sa vapeur ; cela contribue à la texture douce des viandes (**Sobral et al., 2018**). Le ragoût est un type de cuisson à chaleur humide dans lequel la viande est cuite avec des épices et d'autres ingrédients tels que des champignons ou des légumes à une

température allant de 100 à 120°C pendant 50 à 60 minutes, cette méthode augmente le pourcentage d'acide linoléique de 5% à 11% des acides gras totaux (**Suleman et al., 2020**). Le sous-vide consiste à cuire la viande dans un sac plastique thermostable hermétique où elle est placée au bain-marie avec un temps de cuisson prolongé (heures) à basse température (**Sobral et al., 2018**).

La friture est un processus de cuisson à haute température (175 °C à 190 °C) pendant 3 à 10 minutes, dans laquelle la viande est immergée dans de la graisse, généralement dans l'huile de cuisson qui fournit un moyen efficace de transfert de chaleur. Il existe deux types de friture, la poêle et la friture. Dans la première, on utilise peu d'huile de cuisson pour cuire la viande ; dans la seconde, nécessite suffisamment d'huile de cuisson pour permettre à la viande de flotter dans l'huile. Cette technique favorise les changements physiques et chimiques tels que la dénaturation des protéines, la formation de composés aromatiques, la perte d'humidité, la formation de croûtes et les changements de couleur produits par la réaction de Maillard, qui confère à la viande des propriétés sensorielles uniques de couleur, de texture et de goût attrayant. Cependant, entraînent des pertes inévitables de nutriments et favorisent la formation de molécules pouvant affecter la qualité des viandes (**Alfaia et al., 2013; Sobral et al., 2018; Suleman et al., 2020**).

Le grillage est un processus de cuisson à sec couramment utilisé pour cuire rapidement la viande, en impliquant une source de chaleur directe telle que le rayonnement thermique ou la conduction directe, avec une température allant jusqu'à 260°C, cette méthode donne à la viande grillée une odeur et une saveur particulières dues aux réactions de Maillard (**Sobral et al., 2018; Suleman et al., 2020**). Contrairement à la cuisson au gril, le barbecue est une technique de cuisson lente, utilisant une source de chaleur indirecte telle que la fumée de la combustion du bois ou du charbon de bois, qui donne à la viande un goût fumé, tendre et juteuse (**Sobral et al., 2018**). Le rôtissage est une méthode populaire de cuisson de la viande dans le monde entier, utilisée pour rehausser la saveur via la caramélisation et le brunissement Maillard formé à la surface de la viande. Il existe différents types de rôtissage selon le type de viande, le temps (de 15 min à 2 h) et la température (entre 160 et 220 °C) (**Sobral et al., 2018; Suleman et al., 2020**).

Le micro-ondes est une technique de cuisson plus récente, utilisée pour cuire et réchauffer les aliments. Les fours à micro-ondes produisent des ondes électromagnétiques qui font vibrer les molécules d'eau de la viande et génèrent donc de la chaleur. Cependant, cette méthode de chauffage empêche une distribution uniforme de la température. Cela peut conduire

à des points froids, ce qui permet la survie des bactéries dans ces points froids de la viande (Alfaia et al., 2013; Sobral et al., 2018).



Figure 7: Différentes méthodes de cuisson conventionnelles (a) Bouillir (b) Griller(c) ragoût (d) Barbecue (e) Frire (f) Rôtir

II.3.3.2 Effet de la cuisson sur les métaux lourds

Avec l'augmentation des préoccupations concernant la présence de micropolluants dans les aliments, notamment dans les tissus animaux, il est donc important d'évaluer précisément le risque pour les consommateurs (Planche et al., 2017). Plusieurs études ont rapporté que les procédés de cuisson peuvent modifier les niveaux de polluants dans les aliments, cependant les

concentrations de ces contaminants chimiques dépendent non seulement du type de traitement thermique, mais encore plus de la quantité de contaminants dans un aliment avant d'être cuit (**Domingo & Nadal, 2016**).

Certaines études ont montré que différentes méthodes de cuisson augmentent la teneur en métaux lourds dans la viande, d'autres recherches ont documenté le contraire. Ainsi, plusieurs chercheurs concluent que les différents procédés de cuisson ne contribuent pas aux variations de concentration en métaux lourds dans les produits finaux (**Inobeme et al., 2020**). Il a été démontré que les métaux lourds dans les viandes peuvent affecter par divers mécanismes lors de la transformation thermique tels que la solubilisation élémentaire, l'évaporation de l'humidité, la perte de matières volatiles, la liaison aux macromolécules. Les métaux lourds ne s'évaporent pas ou ne se désintègrent pas en substances inoffensives, mais ils migrent à travers le milieu de traitement et sont retenus dans les viandes, par conséquent, il est important de déterminer les concentrations de métaux lourds dans la viande crue et cuit (**Diaconescu et al., 2012; Gheisari et al., 2016**).

La surveillance des contaminants chimiques dans la viande est devenue un enjeu réglementaire important. La plupart des données rapportées sur les polluants chimiques sont liées à leurs concentrations dans les produits carnés crue. Bien que ces tissus comestibles soient cuits avant consommation, les normes législatives ont ignoré l'effet de la cuisson sur les contaminants pour une estimation plus précise de l'exposition des consommateurs à ces produits chimiques et de la sécurité alimentaire.

PARTIE III. MATERIEL ET METHODES

III.1 Échantillonnage

III.1.1 Collection des échantillons

Les échantillons de viande utilisés dans cette étude provenaient de *Longissimus thoracis* et de *Longissimus lumborum* (**figure 8**) disséqués des deux moitiés de carcasse (droite et gauche) de chaque veau habituellement âgé de 6 à 10 mois et subit un système d'élevage semi-intensif. Les sept échantillons de filet ont été achetés auprès de trois différentes boucheries de la wilaya de Saida en décembre 2020 ; le poids de chaque échantillon était de 1 kg. Après le prélèvement, les échantillons ont été coupé en trois morceaux d'environ 330 g de chacun, puis emballés individuellement dans un sac en plastique stérile et stockés dans une glacière (-4°C) pendant le transport vers le laboratoire, et conservés à -20°C jusqu'à l'analyse. Le choix de cette coupe de carcasse est basé sur le fait que ce compartiment est riche en tissu musculaire, le plus utilisé dans les études sur la qualité de la viande et le plus demandée par les consommateurs.

Le filet est constitué principalement du muscle psoas major et minor psoas de forme cylindrique situé dans le quartier arrière et retiré d'une seule pièce de la face ventrale des vertèbres lombaires et de la face latérale de l'ilium (UNECE, 2004).

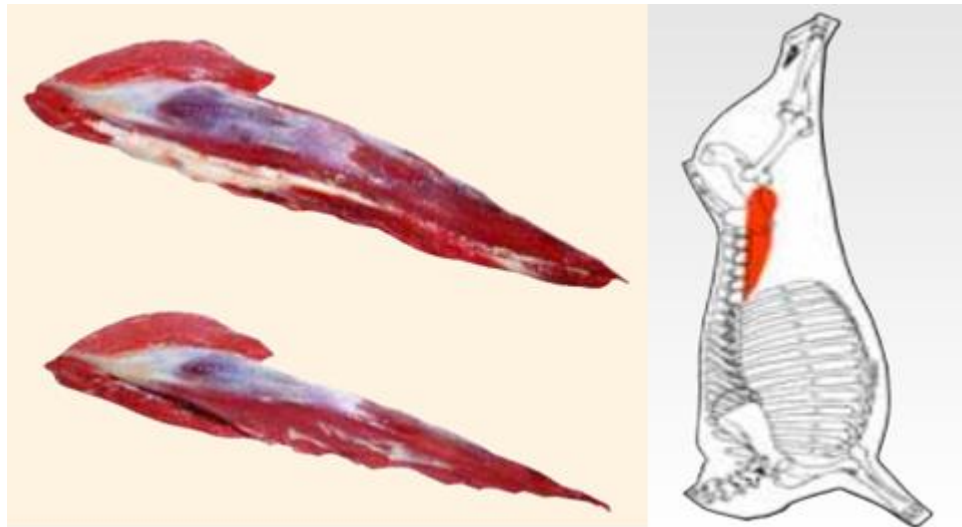


Figure 8: Longissimus thoracis et Longissimus lumborum emplacement dans la carcasse (UNECE, 2004)

III.1.2 Processus de cuisson

100 g de chaque échantillon examiné ont été découpés en des petites tranches carrées de 1,5 cm d'épaisseur puis soumis aux traitements de cuisson (Gerber et al., 2009; Lopes et al., 2015). Les morceaux ont été pesés avant la cuisson et après une période de repos de 20 min à

température ambiante après la cuisson. La perte de poids due à la cuisson a été mesurée par la différence de poids avant et après la cuisson et exprimée en pourcentage (%) (Gerber et al., 2009).

$$\text{perte de cuisson} = \frac{\text{Poids initial de viande crue} - \text{Poids final de viande cuite}}{\text{Poids initial de viande crue}} \times 100$$

Cuisson par ébullition : 4 à 5 morceaux d'échantillon ont été emballés individuellement dans un sac en polyéthylène imperméable à l'eau et immergés dans un bain-marie (Memmert, Allemagne) à 81 ° C pendant 40 min (Lopes et al., 2015). Ensuite, l'échantillon a été retiré et laissé refroidir à température ambiante.

Cuisson par grillages : Les 4 à 5 coupes préparées ont été grillées individuellement au four à 200 ° C pendant 9 min (Oz et al., 2017).

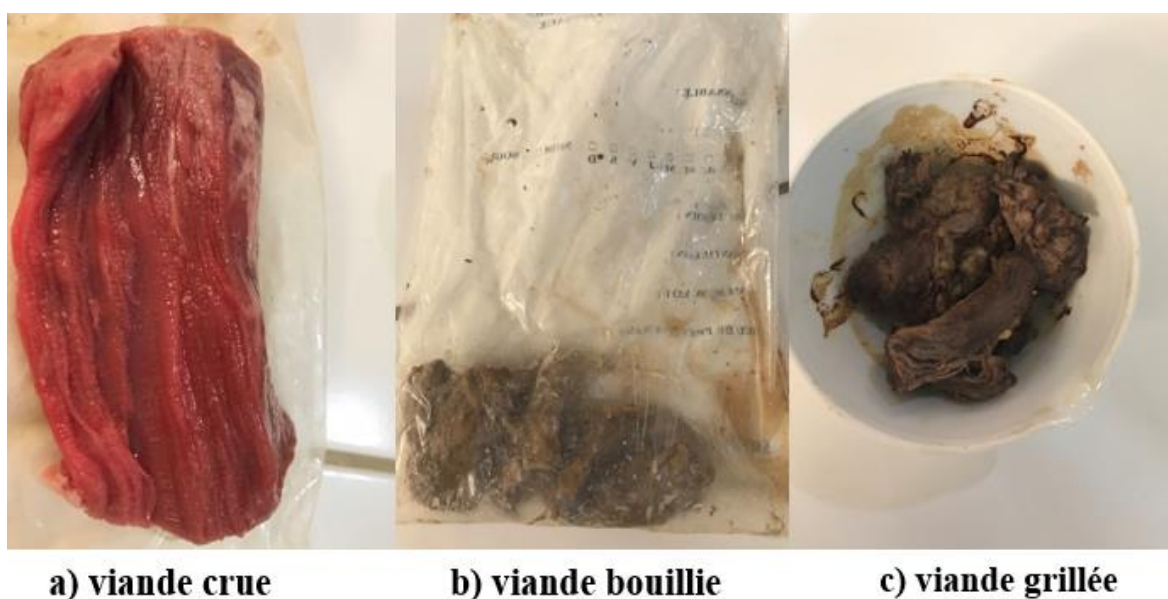


Figure 9: viande crue (a) et cuite (bouillie (b) et grillée (c))

III.2 Détermination du Potentiel d'hydrogène

Le pH a été mesuré selon la méthode décrite par la norme Algérienne (JO n° 23, 2006), une quantité suffisante de l'échantillon (100 g) a été prélevée pour mesurer le pH en plusieurs points, des cavités ont été réalisées aux endroits où l'électrode en verre s'introduisait. Le pH est déterminé à l'aide du pH-mètre de paillasse HANNA pH 20, équipé d'une électrode combinée en verre de type HANNA instruments HI1230. Le résultat du pH sera la moyenne des trois valeurs obtenues pour chaque échantillon.

Le nettoyage des électrodes en les essuyant avec un chiffon imbibé d'éther diéthylique, puis d'éthanol. Enfin, les lavés avec de l'eau distillée. L'étalonnage du pH-mètre a été effectué en utilisant des solutions tampons pH 4,00 à 20°C, 5,45 à 20°C, 6,88 à 20°C.

III.3 Détermination des métaux lourds

Le protocole du dosage des éléments traces métalliques dans les échantillons de viande bovine crue et cuite a été réalisé en utilisant la spectrométrie d'absorption atomique (SAA) après une incinération sèche a été selon **AOAC (2002)**.

Pour chaque échantillon, 10 à 20 g ont été homogénéisés en utilisant un mortier et pesés dans un creuset en porcelaine, puis séchés dans une étuve à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constante (entre 20 à 24h) (**AOAC, 2002; Soyak et al., 2004**). Les échantillons séchés ont été placés dans un four à moufle (Nabertherm, L3/11/C6, Germany) à une température initiale inférieure à 100 °C, avec une augmentation progressive de la température de 50 °C/h à 450 °C pendant 8 à 12 h. Après refroidissement du creuset avec la prise d'essai à température ambiante, celles-ci ont été imbibées avec 1 à 3 ml d'eau distillée et évaporées sur une plaque chauffante, puis les échantillons ont été replacés dans le four à 200°C et ont augmenté la température à 450°C pendant 2 à 4 h, cette étape a été répétée jusqu'à ce que la cendre apparaisse gris-blanc.

La cendre a été digéré dans 5 ml de HCl 6M et l'acide a été évaporé sur une plaque chauffante jusqu'à siccité et refroidi à température ambiante. Après cela, le résidu final a été dissous dans un volume de 10 à 30 ml de HNO₃ 0,1M, la solution obtenue a été filtrée et les éléments métalliques ont été déterminés par spectrométrie d'absorption atomique à flamme (AA-7000 SHIMADZU, modèle d'atomiseur duel (double flamme/four)).

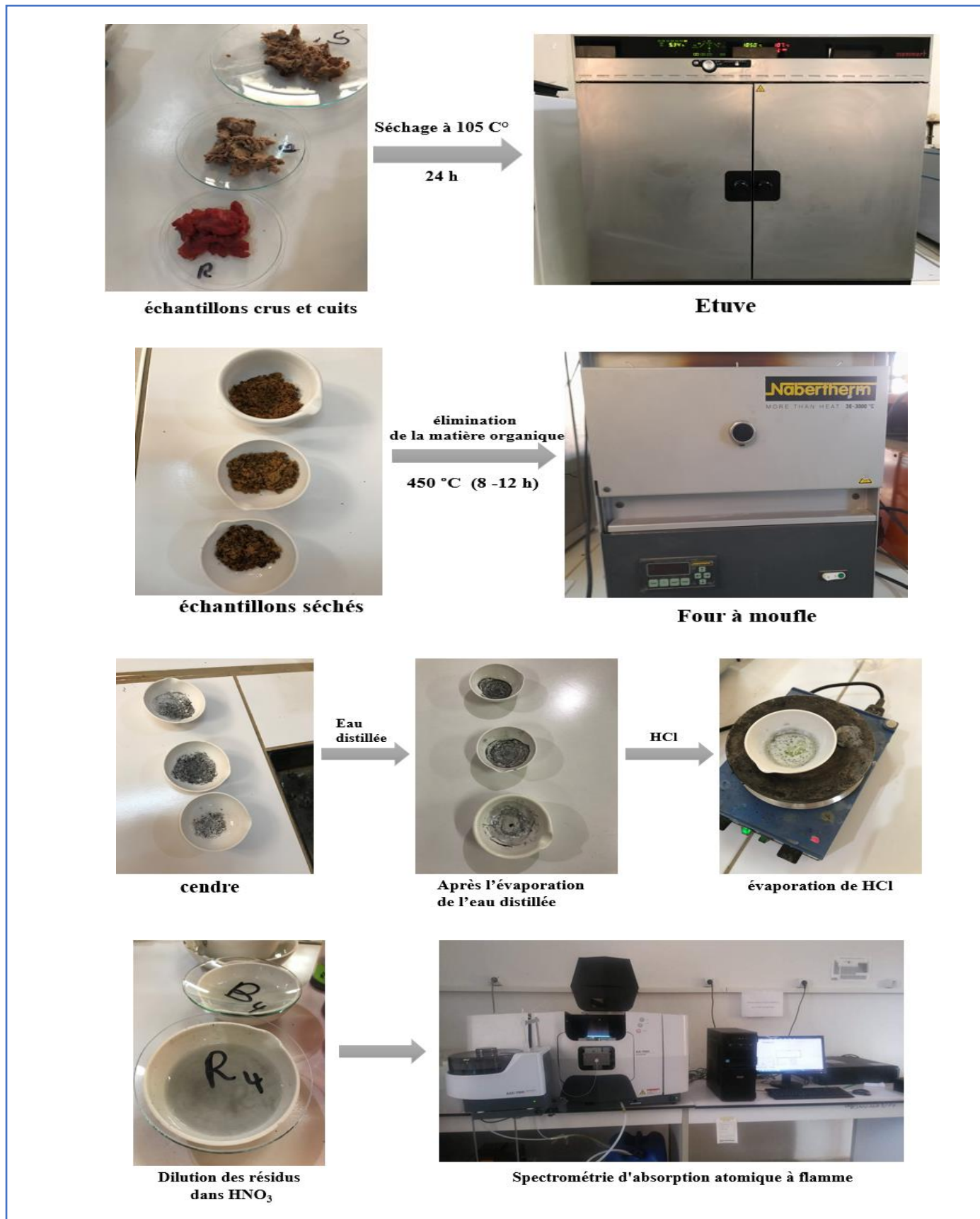


Figure 10: procédure de dosage des métaux lourds dans la viande

Produits chimiques et réactifs

Tous les réactifs et étalons étaient de haute pureté (> 90 %) et achetés auprès Sigma-Aldrich, y compris 37 % d'acide chlorhydrique (HCl), 65 % d'acide nitrique (HNO₃). De l'eau déionisée a été utilisée pour préparer toutes les solutions et dilutions aqueuses. Tous les équipements de laboratoire en plastique et en verre ont été lavés avec du HNO₃ dilué, puis rincés avec de l'eau déionisée et séchés à l'air avant chaque analyse.

Préparation des solutions étalons

Les solutions standard de plomb, de cadmium, de nickel, de manganèse, de chrome et de fer utilisées dans les expériences ont été préparées en diluant leurs solutions mères de référence appropriées (1000 ppm) obtenues auprès du fournisseur de l'instrument de spectroscopie d'absorption atomique. Des courbes d'étalonnage pour chacun des métaux sélectionnés ont été préparées en traçant l'absorbance en fonction de la concentration standard d'ions métalliques.

Analyse du contenu minéral

La détermination des concentrations de Pb, Cd, Ni, Mn, Cr et Fe dans les échantillons a été effectuée sur un spectromètre d'absorption atomique Shimadzu modèle AA-7000 (Tokyo, Japon) équipé d'un système de correction de fond utilisant une source continue, un GFA - Atomiseur électrothermique EX7, et un échantillonneur automatique ASC-7000. Des tubes en graphite L'vov (Shimadzu, Tokyo, Japon) ont été utilisés dans toutes les expériences. Des lampes à cathode creuse à l'antimoine (Hamamatsu, Photonics K.K., Japon) ont été utilisées comme source de rayonnement.

Validation de la méthode

La validation de la méthode analytique pour la détermination de Pb, Cd, Ni, Mn, Cr et Fe a été effectuée en évaluant les chiffres analytiques de mérite donnés par la Conférence internationale sur l'harmonisation (**ICH, 1994**), ceux-ci incluent la linéarité, la limite de détection (LD), limite de quantification (LQ), exactitude (récupération) et précision (répétabilité et reproductibilité) (**Commission européenne 2007 ; ISO/IEC 17025 2005 ; EURACHEM 1998**).

Tableau 6: Paramètres de validation

Élément	R ²	LD (mg/kg)	LQ (mg/kg)	%RSD
Fe	0,9996	0,28	0,94	1,44
Cr	0,9972	0,18	0,59	2,51
Mn	0,9971	0,10	0,35	0,93
Ni	0,9999	0,04	0,14	1,30
Pb	0,9992	0,04	0,15	3,58
Cd	0,9997	0,02	0,07	2,49

La linéarité de chaque composé (Pb, Cd, Ni, Mn, Cr et Fe) a été démontrée en analysant différentes concentrations de ces éléments. Les valeurs de corrélation de coefficient (r) obtenues et les paramètres de gamme pour chaque composant sont rapportés dans le tableau. Pour tous les éléments étudiés, les valeurs de R² étaient supérieures à 0,995.

La limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) ont également été déterminées. La LD et la LQ ont été calculées sur la base de 3SD/S et 10SD/S ; où SD est l'écart type du signal à blanc et S est la pente de la courbe d'étalonnage (**Lemes et Tarley., 2021**) D'après les résultats, les valeurs LD et LQ étaient (0,28 et 0,94 mg/ kg), (0,18 et 0,59 mg/kg), (0,10 et 0,35 mg/kg), (0,04 et 0,14 mg/kg), (0,04 et 0,15 mg/kg), (0,02 et 0,14 mg/kg) pour Fe, Cr, Mn, Ni, Pb et Cd respectivement. En revanche, pour le test de précision, la répétabilité a été calculée par l'analyse des éléments traces étudiés en triple exemplaire. Les résultats de l'ANOVA ont été utilisés pour calculer les écarts-types relatifs (RSD%) de la répétabilité (**AOAC International, 2012**). Les valeurs RSD% obtenues étaient comprises entre 0,93 et 3,58% pour tous les éléments analysés

III.4 Évaluation des risques

III.4.1 Paramètres d'estimation de l'apport

Dose estimée (DEs) ou Estimated Intake (EIs) est une estimation quotidienne ou hebdomadaire de la quantité d'une substance dans les aliments ou l'eau potable, qui indique si elle présente un risque appréciable pour la santé. Elle est exprimée en milligrammes de substance par kilogramme de poids corporel par jour ou par semaine et s'applique aux

substances chimiques telles que les additifs alimentaires, les métaux lourds, les résidus de pesticides et les médicaments vétérinaires (EFSA, 2022).

La détermination des DEs des ML nécessite leurs concentrations dans les échantillons et la quantité de viande consommée. Les DEs de chaque élément ont été calculés par les équations suivantes :

$$DJE = \frac{c \times TIA}{pc}$$

$$DHE = DJE \times 7$$

Où,

DJE : Dose Journalier Estimé (mg/kg/jour) ;

DHE : Dose Hebdomadaire Estimé (mg/kg/semaine) ;

C : la concentration moyenne de métaux dans les échantillons de viande (mg/ kg poids humide) ;

TIA : le taux d'ingestion d'aliment ; selon le FAOSTAT (2021a) le TIA pour la viande bovine en Algérie est de 12,71 g /jour et de 89 g/ semaine.

PC : est le poids corporel moyen de la population algérienne 69,6 kg pour adulte (Atek, 2010), et 30 kg pour enfant (Bahchachi et al., 2016).

Les valeurs DJE et DHE calculées ont ensuite été comparées aux valeurs de référence du **tableau 6**.

Où :

Dose Journalière Tolérable (DJT) : ou Tolerable Daily Intake (TDI), est une estimation de la quantité d'une substance dans les aliments ou l'eau potable qui n'est pas ajoutée délibérément et qui peut être absorbée pendant toute la vie sans risque appréciable pour la santé (EFSA, 2022).

Dose journalière tolérable provisoire (DJTP) : ou Provisional Tolerable Daily Intake (PTDI), est une valeur provisoire de l'exposition humaine quotidienne acceptable aux contaminants inévitablement présents dans les aliments (WHO, 2009).

Dose journalière maximale tolérable provisoire (DJMTP) : ou Provisional Maximum Tolerable Daily Intake (PMTDI), cette valeur représente l'exposition humaine maximale admissible résultant de la présence de nutriments essentiels ou des constituants incontournables

dans les aliments ou l'eau. Le mot "provisoire" est utilisé car les données sur les conséquences de l'exposition humaine à des faibles concentrations sont souvent rares et de nouvelles données peuvent conduire à une modification du niveau tolérable (**WHO, 2009**).

Dose hebdomadaire tolérable (DHT) : ou Tolerable Weekly Intake (TWI), est une estimation de la quantité maximale de substances dans les aliments, quels que soient les nutriments ou les contaminants, qui peuvent être consommées chaque semaine tout au long de la vie sans risquer d'effets néfastes sur la santé (**EFSA, 2022**).

Dose hebdomadaire tolérable provisoire (DHTP): ou Provisional tolerable weekly intake (PTWI), cette limite est utilisée pour les contaminants alimentaires tels que les métaux lourds aux propriétés cumulatives, est une estimation quantitative de l'exposition humaine hebdomadaire acceptable aux contaminants inévitablement associés à la consommation d'aliments (**WHO, 2009**).

Dose Nutritionnels Recommandés (DNR) : ou Recommended Dietary Allowances (RDA) es le niveau d'apport en nutriment essentiel suffisant pour répondre aux besoins nutritionnels de presque toutes (97 % à 98 %) les personnes en bonne santé (**Yates et al., 1998**).

Benchmark Dose Level (BMDL) : La dose minimale d'une substance pouvant induire un risque clair et faible pour la santé, avec un ordre de variation allant généralement de 1 à 10 % d'un effet toxique spécifique par exemple l'induction d'un cancer (**EFSA, 2022**).

Ces valeurs de référence ont été utilisées pour évaluer les concentrations des ML qui peuvent être absorbées quotidiennement ou hebdomadairement au cours de la vie sans effets néfastes sur la santé, fournissant ainsi une estimation préliminaire des risques sanitaires non cancérogènes de la population du fait de la consommation de ces substances, comme établi par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), le comité mixte d'experts de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation mondiale de la santé (JECFA), l'Organisation mondiale de la santé (WHO) et les Académie des sciences sur les références d'apport alimentaire.

Tableau 7: Valeurs limites admissibles des éléments analysés

ML	Paramètre	Valeur limite admissible	References
Fe	DJMTP DNR	0,8 mg/kg pc/jour 18(F)- 8(H) 10 Enfant mg/jour	JECFA (2018) DRI (2006)
Cr	DJT DHTP DNR	0,3 mg/kg pc/jour 0,7 mg/kg pc /semaine 0,025 (F)-0,035(H) 0,015 Enfant mg/jour	EFSA (2014) WHO (2014) DRI (2006)
Mn	DNR DHTP	1,8(F)-2.3 (H) 1,5 Enfant mg/jour 0,98 mg/kg pc/ semaine	DRI (2006) USEPA (2008)
Pb	DHTP BMDL ₀₁ BMDL ₁₀ BMDL ₀₁ DNR	0,025 mg/kg pc/ semaine 5.10^{-4} mg/kg pc/jour ¹ $6,3.10^{-4}$ mg/kg pc/jour ² $1,5.10^{-3}$ mg/kg pc/jour ³ 0,21 mg/jour /personne	JECFA (2011) EFSA (2010) EFSA (2010) EFSA (2010) JECFA (2009)
Ni	DJT BMDL ₁₀	0,013 mg/kg pc/jour $1,1.10^{-3}$ mg/kg pc/jour ⁴	EFSA (2020) EFSA (2015)
Cd	DHT DHTP DNR DJTP	$2,5.10^{-3}$ mg/kg pc/semaine 7.10^{-3} mg/kg pc/semaine 0,06 mg/jour /personne $8,3.10^{-4}$ mg/kg/jour	EFSA (2009) EFSA (2009) JECFA (2009) JECFA (2011)

DJMTP : Dose journalière maximale tolérable provisoire, **DNR** : Dose Nutritionnels Recommandés, **DJT** : Dose Journalière Tolérable, **DHTP** : Dose hebdomadaire tolérable provisoire, **BMDL** : Benchmark Dose Level, **DHT** : Dose hebdomadaire tolérable, **DJTP** : Dose journalière tolérable provisoire, **F** femme, **H** homme, Neurotoxicité¹, néphrotoxicité², effets cardiovasculaires³ et dermatite allergique chez les humains sensibles au Ni⁴

III.4.2 Evaluation des risques non cancérogènes

Quotient de danger (QD) est utilisé pour déterminer le niveau de risque pour la santé non cancéreuse dû à l'exposition à un contaminant toxique respectif. Le QD est défini comme le rapport entre l'exposition à une substance toxique et la dose de référence propre à l'oligo-élément évalué, qui est le niveau maximal auquel aucun effet nocif n'est apparu sur la santé. Si la valeur QD est inférieure à 1, cela signifie qu'aucun risque non cancérogène pour la santé n'est attendu, mais si cette valeur est supérieure à 1, dans ce cas, il est possible que des effets néfastes sur la santé se produisent (**Antoine et al., 2017**). Le QD a été estimé à l'aide de la méthodologie de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA) basée sur le tableau de niveaux de contrôle régionaux (**Antoine et al., 2017; USEPA, 2021**).

Indice de danger (ID) est la somme des quotients de danger individuels des éléments potentiellement toxiques évalués pour chaque type d'aliment. ID suppose qu'un type spécifique d'aliment consommé induit une exposition simultanée à plusieurs substances toxiques, bien que les QD de chacun des éléments contenus dans l'aliment soient individuellement inférieurs à l'unité, l'effet cumulatif de la consommation peut entraîner des effets toxiques. Si l'ID est supérieur à 1, il existe un risque potentiel non cancérigène pour la santé (**Antoine et al., 2017**).

QD et ID ont été calculés selon les équations suivants :

$$QD = \left(\frac{FE \times DE \times TIA \times C}{DRf \times PC \times TM} \right) \times 10^{-3}$$

$$ID = \sum QDs = QD_{Pb} + QD_{Cd} + QD_{Ni} + QD_{Cr} + QD_{Mn} + QD_{Fe}$$

Où,

FE : est la fréquence d'exposition (365 jours/an) ;

DE : est la durée d'exposition équivalente à la durée de vie moyenne (9 ans pour les enfants et 53 ans pour les adultes) (**Atek, 2010; Bahchachi et al., 2016**).

TIA : est le taux d'ingestion alimentaire ;

C : est la concentration moyenne de métaux dans les échantillons de viande ;

DRf : est la dose orale de référence en mg/kg/ jour ; Cd = $1,0 \times 10^{-3}$, Cr = 3×10^{-3} , Ni = 2×10^{-2} ; Pb = $4,0 \times 10^{-3}$; Mn = $1,4 \times 10^{-1}$; Fe = $7,0 \times 10^{-1}$ (**USEPA, 2021**) ;

PC : est le poids corporel ;

TM : est le temps d'exposition moyen pour les non-cancérigènes (365 jours/an \times DE).

III.4.3 Evaluation des risques cancérigènes

Le risque de cancer (RC) est utilisé pour évaluer la probabilité de développer un cancer chez un individu exposé à un contaminant cancérigène spécifique au cours de sa vie (**Antoine et al., 2017; Bleam, 2017**).

Dans l'évaluation des risques généralement basée sur la présomption d'un seuil, mais celle-ci est inappropriée pour les éléments cancérigènes, car la pénétration d'une seule molécule de ce contaminant peut conduire au cancer, même si cette probabilité est très faible (**IEPA, 2022**). La valeur de DRf n'est pas acceptable pour déterminer le RC, qui doit être remplacée par une autre valeur appelée facteur de pente de cancer (FPC) qui permet d'estimer le risque de

cancer excessif au cours de la vie de l'individu exposé (**Bleam, 2017; IEPA, 2022**). Dans notre étude, les risques potentiels de cancer sont liés au Pb, au Cd, au Ni et au Cr qui peuvent être estimés à l'aide du risque de cancer par l'équation suivante :

$$RC = DJC \times FPC$$

Où

FPC : est le facteur de pente de cancer ; Pb= $8,5 \times 10^{-3}$, Cd= 6,3, Ni= $9,1 \times 10^{-1}$ et Cr= 5×10^{-1} mg /kg /jour (**Di Bella et al., 2020; USEPA, 2021**).

DJC : est la dose journalière chronique de cancérigènes (mg/kg/ j) ; représente la dose quotidienne moyenne d'exposition à l'élément chimique, qui a été calculée selon l'équation suivante:

$$DJC = DJE \times FE \times \frac{DE_{tot}}{TM}$$

Où,

DJE : est Dose journalière estimé ;

FE : est la fréquence d'exposition (365 jours/an) ;

DE_{tot} : est la durée d'exposition (53 ans), équivalente à la durée de vie moyenne ;

TM : est le temps d'exposition moyen pour les non-cancérigènes (365 jours /an \times DE).

La probabilité de développer un cancer est liée au nombre de cas de cancer dans la population, quel que soit l'âge, correspond au risque à vie de cancer (**Bleam, 2017**), souvent le RC entre 10^{-6} et 10^{-4} est considéré comme une fourchette acceptable, où 10^{-6} et 10^{-4} signifient que le risque de développer un cancer au cours d'une vie humaine est de 1 sur 1 000 000 et 1 sur 10 000, respectivement, tandis qu'une valeur supérieure à 10^{-4} suggère un risque potentiel grave pour la santé (**Ullah et al., 2017; Zeinali et al., 2019; Di Bella et al., 2020; Polak-Juszczak & Podolska, 2021**).

La marge d'exposition (ME) est un outil utilisé pour évaluer les éventuels problèmes de sécurité associés à la présence dans les aliments de substances à la fois génotoxiques et cancérigènes. La ME est définie comme le rapport entre le point de référence, généralement la BMDL, et l'exposition théorique estimée (**EFSA, 2022**).

L'approche ME a été utilisée pour calculer le risque d'exposition alimentaire au Pb, comme recommandé par l'**EFSA (2010)**; selon l'équation suivante :

$$ME = \left(\frac{BMDL}{DJE} \right)$$

Où, **BMDL** signifie la limite de confiance inférieure qui est estimée à 1,2 µg /kg b pc/jour pour l'adulte et 0,6 µg/ kg pc/jour pour les enfants (**JECFA, 2011**).

Une ME inférieure à 1 indique un risque élevé pour la santé, tandis qu'une ME supérieure à 1 indique un faible risque acceptable (**Jin et al., 2014; Juric et al., 2018; Barone et al., 2021**).

III.5 Calculs et méthodes statistiques

Les résultats ont été exprimés sous la forme de la moyenne de l'échantillon ± SEM (standard d'erreur a la Moyenne) et le niveau de signification statistique a été défini comme $P < 0,05$. La normalité de la distribution des données a été précédemment évaluée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Selon ce dernier, les données obtenues de Mn, Ni, Pb et Cd ne répondaient pas aux exigences de ce test (sauf pour Fe et Cr). Par conséquent, l'ANOVA unidirectionnelle de Kruskal-Wallis (test non paramétrique), suivie des comparaisons multiples post-hoc de Dunn, a été appliquée aux données qui ne suivaient pas une distribution normale. Ensuite, le test de Mann-Whitney (test t pour les valeurs non paramétriques) a été appliqué pour des comparaisons par paires entre les différentes méthodes de cuisson (**Zar, 1996**). Le test de Pearson non paramétrique a été développé pour établir des corrélations entre les différents ML, qui peuvent être fortes ($r > 0,5$), modérées ($r = 0,3-0,5$) ou faibles ($r = 0,1-0,3$) (**Cohen, 1988**). Un intervalle de confiance de 95 % a été pris en compte. Toutes les statistiques descriptives et l'exploitation graphique pour décrire les résultats des différents ensembles ont été traitées avec Prism 6.00 pour Windows (GraphPad Software, La Jolla, Californie, USA).

PARTIE IV. RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1 Perte de cuisson

Les pertes à la cuisson des échantillons de viande sont indiquées dans la **figure 11**. Les pertes à la cuisson de VB varient entre 29,21% et 39,82% avec une moyenne de $35,70 \pm 3,56$, alors qu'après grillage le pourcentage le plus faible de perte à la cuisson est de 29,92% et le plus élevé est de 46,04% avec une moyenne de $38,39 \pm 5,76$. L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative ($P = 0,546$) dans les pertes à la cuisson entre les deux méthodes de cuisson pour la viande de veau.

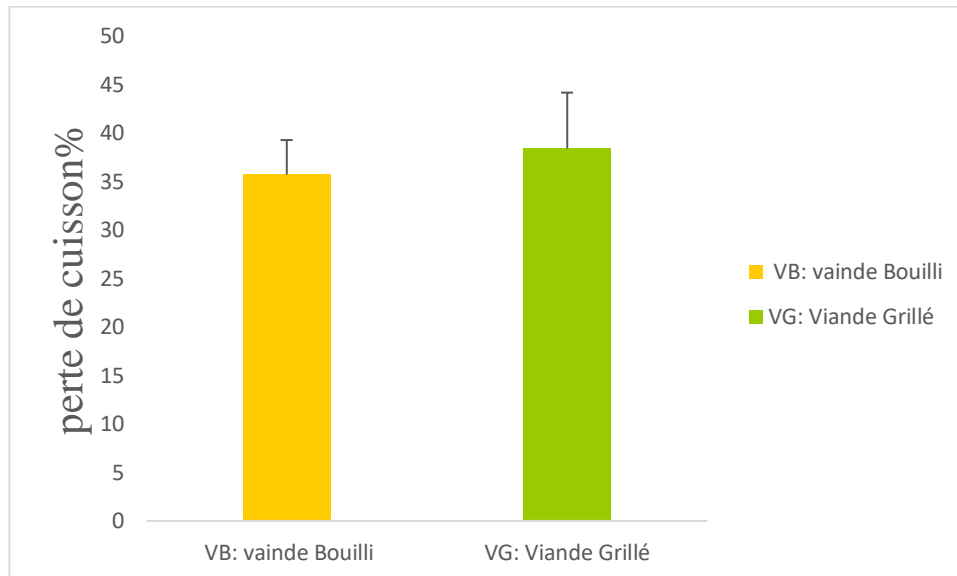


Figure 11: perte de cuisson de la viande bovine bouilli et grillé, Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM

Pistón et al. (2020) ont signalé que les pertes à la cuisson des coupes de la viande bovine provenant de l'assiette de côtes, du haut de surlonge et du jarret après le grillage variaient de 28 % à 35 %. De même, **Macharáčková et al. (2021)** ont déterminé des pertes entre 24,46 % et 34,75 % lors de la cuisson du contre-filet avec deux méthodes de grillage différentes. **Yancey et al. (2011)** ont trouvé des pertes à la cuisson allant de 26,2 % à 31,5 % dans des tranches de *longissimus thoracis* suivant cinq méthodes de cuisson différentes, **Serrano et al. (2007)** ont également observé des pertes de cuisson (11-38%) de la viande bovine cuite au four traditionnel, four à micro-ondes, grille électrique et poêle.

La perte de poids pendant la cuisson était principalement due à la perte d'eau, ainsi que de graisses et d'autres substances hydrosolubles. Ces pertes dépendent des conditions de transfert de masse lors du traitement thermique telles que la méthode, la température, le temps et la surface de cuisson (**Serrano et al., 2007; Oz & Celik, 2015**). Ces caractéristiques de cuisson provoquent l'évaporation de l'eau, le rétrécissement des protéines myofibrillaires et la

contraction du tissu conjonctif, ce qui entraîne une compression des faisceaux de fibres musculaires (Oz et al., 2016; Oz et al., 2017). Cependant, non seulement les procédures de cuisson influencent la perte de poids, mais aussi les propriétés de la viande telles que l'humidité, la teneur en matières grasses et en protéines, le pH, la taille et la forme de la viande, jouent un rôle important dans les pertes de cuisson (Serrano et al., 2007; Oz & Celik, 2015). Macharáčková et al. (2021) ont rapporté que la période de vieillissement influence les pertes à la cuisson, plus la viande est vieillie, plus les pertes à la cuisson sont faibles.

La méthode de traitement thermique affecte principalement la qualité gustative de la viande, mais d'un point de vue nutritionnel, entraîne une perte de poids totale qui provoque une diminution des éléments nutritionnels tels que les protéines solubles, les vitamines et les minéraux (Pathare & Roskilly, 2016). Dans cette étude, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été trouvée entre les deux types de traitement. Le même résultat a été trouvé par Yancey et al. (2011), aucune différence significative ($P = 0,53$) n'existait entre les méthodes de cuisson pour la perte de cuisson. Au contraire, l'analyse statistique de Serrano et al. (2007) entre les différents modes de cuisson (Four traditionnel, Four à micro-ondes, Grill électrique, Poêle à frire) a révélé que les pertes à la cuisson étaient significativement plus élevées. ($P < 0,05$) après traitement aux micro-ondes et inférieur ($P < 0,05$) après friture. De même, d'autres recherches ont étudié l'effet de quatre traitements thermiques différents (rôtissage, grillage, micro-ondes et friture) sur la perte de viande pendant la cuisson, qui indiquent que la cuisson aux micro-ondes présente la perte de cuisson la plus élevée, ce qui a été convenu avec plusieurs autres études (Pathare & Roskilly, 2016).

La perte de cuisson peut être affectée par les espèces de viande, Kılıç et al. (2014) ont observé que, les échantillons de la viande bovine avaient une perte de cuisson comparativement plus élevée ($p < 0,05$) que les échantillons de poulet, ce qui peut être lié au pH et à la capacité de rétention d'eau entre différences d'espèces animales. L'ajout de phosphates entraîne une diminution des pertes à la cuisson car il provoque une augmentation du pH de la viande qui à son tour entraîne une augmentation de la quantité d'eau retenue par les protéines myofibrillaires, améliorant ainsi la solubilité de l'actomyosine, résultant un gonflement des filaments (Roldán et al., 2014).

IV.2 pH

Les moyennes \pm SEM du pH de la viande avant et après la cuisson sont données dans la figure ci-dessous. Dans cette étude, le pH de VC a été mesuré de 4,25 à 5,32, ainsi une plage de pH de 4,52 à 5,45 et de 4,26 à 5,29 a été déterminée pour VB et VG, respectivement. Les

valeurs moyennes de pH des VC, VB et VG ont été calculées à $4,93 \pm 0,36$, $4,95 \pm 0,36$ et $4,89 \pm 0,37$, respectivement. La cuisson par ébullition provoque une légère augmentation de la valeur du pH, par contre le grillage diminue légèrement le pH par rapport au VC. Selon les résultats d'analyse statistique, les deux méthodes de cuisson n'ont pas d'effet significatif ($P > 0,05$) sur la valeur du pH par rapport aux échantillons crues.

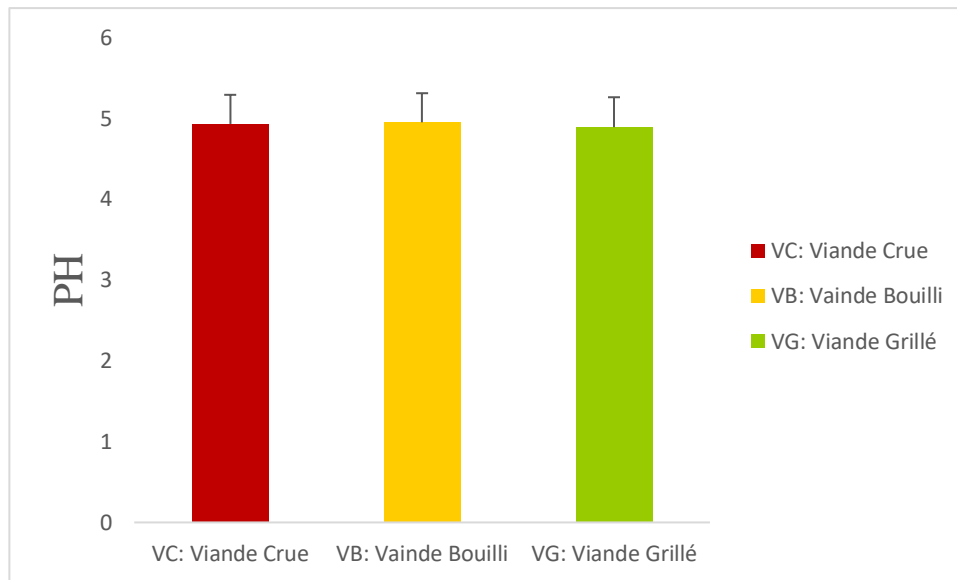


Figure 12: Les valeurs de pH de la viande bovine cru et cuit, Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM

Serrano et al. (2007) ont trouvé que le pH de la viande bovine cru était de 6,00, cependant, le grillage électrique a augmenté le pH à 6,24. **Vasanthi et al. (2007)** ont également étudié l'effet de la température sur la viande bovine, qui a conclu que l'augmentation de la température (80°C, 90°C et 100°C) du bain-marie, provoque des augmentations graduelles du pH. Le même résultat a été rapporté par **Oz et al. (2016)**, le pH de la viande cru était de 6,08, tandis que le pH de la viande bovine cuite à 150°C et 200°C était de 6,21, leur analyse statistique montre que les traitements thermiques avaient des effets significatifs ($p < 0,05$) sur la valeur du pH. L'influence de cinq processus de cuisson (ébullition, grillade, poêle et vapeur surchauffée) sur le pH de la viande a été rapportée par **Kim et al. (2018)**, leur résultat indique que le pH de la viande était significativement ($p < 0,05$) affecté par la cuisson bouillie par rapport à l'autre mode de cuisson. En revanche, d'autres études ont rapporté que différents traitements de cuisson n'avaient aucun effet significatif ($P > 0,05$) sur les valeurs de pH des viandes (**Roldán et al., 2014; Oz & Celik, 2015**). Dans la littérature, la plage de pH de 5,7 à 6,0 indique la meilleure qualité de viande (**Özcan & Bozkurt, 2015**). En général, le processus de cuisson a des effets différents sur le pH de la viande (**Kim et al., 2018**). L'augmentation des valeurs de

pH pendant la cuisson pourrait être causée par la perte de groupes acides libres, car les températures supérieures à 80°C, provoquent le clivage des liaisons impliquant les groupes sulfhydryle, hydroxyle et imidazole (Vasanthi et al., 2007; Oz & Celik, 2015; Özcan & Bozkurt, 2015). De plus, la libération d'ions calcium et magnésium par les protéines contribue à l'augmentation du pH (Roldán et al., 2014).

IV.3 Teneur en métaux de la viande bovine

Les concentrations moyennes des ML dans la viande bovine crue sont présentées dans le **tableau 7**. Dans l'ordre de la teneur essentielle en ML, Fe représente le taux le plus élevé et Mn présente la concentration la plus faible.

La viande rouge est considérée comme la meilleure source de fer et de fer hémique dans l'alimentation humaine, qui intervient dans la structure de la myoglobine et de l'hémoglobine, jouant ainsi un rôle essentiel dans le fonctionnement de plusieurs enzymes, le métabolisme de certains nutriments comme la vitamine A et l'iode et la détoxification des xénobiotiques de l'organisme (Alturiqi & Albedair, 2012; Cabrera & Saadoun, 2014; Nematollahi et al., 2021). Selon USDA (2014) la viande bovine contient 14 à 29 mg de fer par kg. Les niveaux de fer dans les échantillons de veau cru variaient de 5,15 à 8,30 mg/kg, avec une concentration moyenne de $6,49 \pm 0,41$ mg/kg. Ces données montrent que la teneur en Fe était supérieure à celle détectée par Goran et al. (2016) qui ont trouvé 3 mg/kg dans le steak de la viande bovine, en revanche était inférieure à celle obtenue par Abou-Arab (2001); Leite et al. (2020) et Bilandžić et al. (2021) avec des concentrations de 66,3 ; 37,5 et 20 mg de Fe par kg de la viande bovine. Également, Abdel-Salam et al. (2013) ont enregistré des niveaux de Fe de 18,9 et 31,98 mg/kg dans la viande de buffle et de vache, respectivement. López-Alonso et al. (2016) ont mesuré les quantités de Fe dans différentes coupes de veau, leur résultat a confirmé que le niveau de Fe variait entre les muscles avec des concentrations allant de 8,86 à 48,14 mg/kg. Cabrera and Saadoun (2014) ont trouvé des niveaux de Fe entre 17 et 46 mg/kg de viande fraîche provenant de Hereford et Braford nourris au pâturage. Cependant, la concentration la plus élevée est de 175,69 mg de Fe par kg de la viande bovine, qui a été déterminée par Alturiqi and Albedair (2012). L'utilisation de compléments alimentaires pour le bétail riches en éléments essentiels tels que Fe, Mn, Zn, Cu et Cr, est une approche courante qui vérifie la quantité élevée de cet élément dans la viande (Spears, 2019; Korish & Attia, 2020; Qashqai et al., 2020; Nematollahi et al., 2021).

Selon les recherches, une carence en chrome entraîne une réduction du métabolisme du glucose qui, à son tour, conduit au développement du diabète (Zoroddu et al., 2019).

Couramment, le Cr est utilisé comme complément alimentaire pour augmenter la sensibilisation à l'insuline chez les bovins dans plusieurs pays (**Spears, 2019**). Le niveau moyen de chrome dans le VC trouvé dans cette étude était de $0,166 \pm 0,01$ mg/kg, la concentration la plus élevée de cet élément était de 0,2 mg/kg et la plus faible était de 0,14. Selon l'**USDA (2019)**, la limite maximale autorisée pour le Cr est de 1 mg/kg, ce qui indique que le niveau de ce métal dans les échantillons est conforme aux normes. La teneur en Cr rapportée dans les échantillons de VC dans la présente étude était conforme à celle rapportée dans la viande bovine par **Leite et al. (2020)** avec un niveau moyen de 0,15 mg/kg. Des niveaux inférieurs de Cr ont été déterminés dans la viande bovine crue par **Bilandžić et al. (2020)**; **Bilandžić et al. (2021)**, dont la concentration était de 0,047 et 0,04 mg/kg, respectivement. D'autre part, des teneurs en Cr supérieures ont été enregistrées dans la viande de vache (0,3 mg/kg) et de buffle (0,49 mg/kg) collectée au Pakistan (**Abdel-Salam et al., 2013**), ainsi que dans la viande bovine de Chine (**Liang et al., 2019**) et d'Iran (**Zeinali et al., 2019**) avec une concentration moyenne de 0,5 et 0,9 mg/kg, respectivement. Cependant, ces résultats n'ont pas dépassé la limite maximale. Contrairement à l'étude rapportée par **Ihedioha et al. (2014)**, qui a trouvé un niveau dépassant la limite acceptable de 1,24 mg de Cr par kg de la viande bovine collecté au Nigeria. La légalité de l'addition de Cr comme supplément alimentaires pour les animaux varie selon les pays et les espèces animales, par exemple, l'Union européenne interdit l'ajout de Cr aux régimes alimentaires des animaux (**Spears, 2019**). Ces données peuvent expliquer cette variabilité de la teneur en Cr dans la viande entre les pays. De plus, des études récentes ont exclu le Cr de la liste des éléments essentiels (**Zoroddu et al., 2019**).

Le manganèse est un élément important dans le corps humain, il entre dans la structure de certaines enzymes telles que la manganèse superoxyde dismutase, ou active la fonction d'autres enzymes, par ex. kinases, décarboxylases (**WHO, 2021**). De plus, il joue un rôle crucial dans la formation du cartilage au cours de la croissance osseuse, une carence en Mn entraînant une malformation du squelette chez les jeunes animaux (**Hansen et al., 2006**). La teneur en manganèse dans la présente étude est comprise entre 0 et 0,09 mg/kg dans les échantillons crus, avec une moyenne de $0,0331 \pm 0,011$ mg/kg. Ces valeurs sont acceptables par rapport à la limite maximale de l'**USDA (2014)** (0,5 mg/kg de Mn). La moyenne de Mn dans les échantillons était de 0,03 mg/kg, une concentration plus proche a été trouvée dans la queue de croupe de veau (0,05 mg/Kg) par **López-Alonso et al. (2016)**, cependant leurs résultats montrent un niveau de 0,09 mg/Kg dans les coupes de filet. Nos résultats étaient inférieurs à ceux obtenus par **Chen et al. (2013)**; **Goran et al. (2016)** et **Bilandžić et al. (2021)** avec une concentration de 0,15 ;

0,12 et 0,1 mg de Mn par Kg de la viande bovine, respectivement. **Abou-Arab (2001)** a rapporté des valeurs de Mn de 0,9 et 1,1 mg/kg chez les buffles et les vaches, respectivement, qui vivaient dans les zones rurales. En revanche, une teneur en Mn beaucoup plus élevée a été observée dans la viande frais d'Arabie Saoudite 15,73 mg/kg (**Alturiqi & Albedair, 2012**), au contraire, une valeur de Mn indétectable a été observée dans la viande bovine cru de Brazil (**Leite et al., 2020**).

Tableau 8: les concentrations des ML dans la viande crue

Paramètres (mg/kg P.H)	Eléments essentiels			Eléments non essentiels		
	Fe	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Moyenne± SEM	6,49±0,41	0,166±0,011	0,0331±0,011	0,0712±0,004	0,524±0,012	0,009±0,002
Maximum levels	ND	1,0 ⁽¹⁾	0,5 ⁽¹⁾	0,5 ⁽²⁾	0,10 ⁽³⁾	0,05 ⁽⁴⁾

ND, non-disponible ; ¹(USDA, 2014) ; ²(WHO, 1991) ; ³(EC, 2021a) ; ⁴(EC, 2021b)

Les ML non essentiels, dont Pb, Ni et Cd, ne jouent aucun rôle bénéfique dans les organismes vivants. Les résultats de Pb montre le niveau le plus élevé, contrairement à Cd qui présente la valeur la plus basse.

Le nickel provoque la formation de ROS, qui augmentent le stress oxydatif dans les tissus (**Cubadda et al., 2020**). La teneur en Ni dans les portions crues de filet de veau variait de 0,06 à 0,1 mg/kg avec une concentration moyenne de $0,0712 \pm 0,004$ mg/kg, Ce résultat est en bon accord a ce rapportés par **Zeinali et al. (2019)** 0,08 mg/kg de Birjand, Iran. Ces données étaient inférieures à la limite réglementaire établie par **WHO (1991)**. Nos résultats étaient supérieurs à ceux publiés dans la littérature en Croatie par **Bilandžić et al. (2020)** et en Espagne par **López-Alonso et al. (2016)** pour les coupes fraîches de la viande bovine de 0,009 mg/kg et 0,04 mg/kg, respectivement. Inversement, la concentration en Ni dans ces différents résultats était inférieure à celle quantifiée au Pakistan par **Abdel-Salam et al. (2013)** pour le muscle de buffle (0,22 mg/kg), bien qu'elle ne dépasse pas les LM autorisées (0, 5mg/kg). La teneur en Ni dans les VC n'a pas été détectée dans les deux études de Campo Grande, Brésil (**Leite et al., 2020**) et Augusta, Italie (**Di Bella et al., 2020**).

Le plomb et le cadmium sont les principaux métaux toxiques dans les aliments qui provoquent la tératogénicité et la cancérogénicité, exercent également leurs effets néfastes sur les reins et les os (**Li & Zhang, 2021; Guo et al., 2022**).

Les quantités moyennes de plomb dans les VC étaient de $0,524 \pm 0,012$ mg/kg, la valeur maximale était de 0,57 mg/kg et la valeur minimale était de 0,46 mg/kg. Ces concentrations de Pb étaient supérieures aux limites acceptées établies par la réglementation européenne (0,1 mg/kg ; **EC, 2021a**), cette augmentation peut être liée à la pollution des aliments ou de l'eau par ce métal utilisé pour le bétail (**Nematollahi et al., 2021**). Le niveau de Pb déterminé dans la présente étude était supérieur à celui détecté dans la viande bovine de plusieurs pays tels que Croatie (**Bilandžić et al., 2020**) et Espagne (**González-Weller et al., 2006**) ont trouvé 0,002 mg/kg, également, les valeurs de 0,009, 0,048 et 0,019 mg de Pb par kg de viande ont été mesurés à Taïwan, en Iran et en Italie, respectivement (**Chen et al., 2013; Zeinali et al., 2019; Di Bella et al., 2020**). **Abou-Arab (2001)**, ont évalué la teneur en Pb dans les muscles de vaches et de buffles dans les zones rurales et industrielles égyptiennes, ses résultats montrent que la concentration de Pb dans les muscles de vaches et de buffles des zones rurales, où 0,061 et 0,052 mg/kg, respectivement, étaient inférieures à ceux détectés dans les zones industrielles, où 0,093 et 0,081 mg/kg, respectivement, cependant reste sous le seuil recommandé. Le niveau moyen de Pb dans la viande bovine collecté à Pékin, en Chine, était de 0,2 (**Liang et al., 2019**), bien que était inférieur à nos résultats, il dépassait la limite acceptable. Cependant, notre résultat était inférieur à celui trouvé par **Abdel-Salam et al. (2013)** du Pakistan (2,7 mg/kg dans la viande de vache et 3,25 dans la viande de buffle) et par **Alturiqi and Albedair (2012)** d'Arabie Saoudite avec une moyenne de 10,02 mg de Pb par kg de viande bovine.

La teneur en cadmium dans le VC variait entre 0,006 et 0,018 mg/kg, avec des quantités moyennes de $0,009 \pm 0,002$ mg/kg. Selon **EC (2021b)**, la Limite Maximale de Cd est de 0,05 mg/kg, cela signifie que la concentration de Cd dans notre résultat était acceptable. Nos résultat était plus proche à des valeurs trouvées dans le muscle de vache et de buffle dans les zones rurales d'Egypte, où **Abou-Arab (2001)** a mesuré 0,01 et 0,006 mg/kg, respectivement, cependant, la teneur en Cd a augmenté chez les animaux des zones industrielles (vaches 0,03 mg/kg et buffles 0,01 mg/kg). Des niveaux de Cd plus élevés ont été détectés par **Liang et al. (2019)** (moyenne de 0,015 mg/Kg) et **Zeinali et al. (2019)** (moyenne de 0,014 mg/kg) dans les échantillons crus collecter à Pékin, Chine et Birjand Iran respectivement par rapport à notre étude. Les concentrations de Cd mesurées 0,47 et 0,35 mg/kg dans les muscles de bovins et de buffles, respectivement, au Pakistan (**Abdel-Salam et al., 2013**) et 3,6 dans la viande d'Arabie Saoudite (**Alturiqi & Albedair, 2012**) étaient au-dessus de la limite réglementaire (0,05 mg/kg). Par contre, des niveaux inférieurs de Cd (0,002, <0,002 et < 0,001) ont été rapportés en Espagne par **González-Weller et al. (2006)**, à Taïwan par **Chen et al. (2013)** et en Croatie

par (Bilandžić et al., 2020), respectivement comparés notre résultat. Tandis que López-Alonso et al. (2016); Di Bella et al. (2020) et Leite et al. (2020) n'ont pas détecté de Cd dans la viande de bovine cru.

Le taux d'absorption des métaux non essentiels dans l'organisme animal provenant de l'environnement et des aliments est faible, ce qui explique leur teneur inférieure dans la viande par rapport aux métaux essentiels (Korish & Attia, 2020; Nematollahi et al., 2021). De plus les systèmes de production variables tels que les races, les aliments et l'environnement dans lequel les animaux vivaient sont les principaux facteurs responsables de la différence de la quantité d'éléments métalliques dans la viande entre les pays (Abd-Elghany et al., 2020).

IV.4 Effets de la cuisson sur ML

Nos résultats ont montré que la cuisson peut affecter les concentrations des ML dans la viande bovine, Plusieurs études ont été menées pour étudier l'effet de différentes méthodes de cuisson sur les ML dans les aliments. Gremiachikh et al. (2007) ont rapporté que les traitements thermiques ne pouvaient pas éliminer les éléments métalliques. De plus, la cuisson peut même augmenter la teneur de ces éléments dans les aliments (Devesa et al., 2001; Ersoy et al., 2006; Kalogeropoulos et al., 2012), alors que certaines études ont cité différentes cuissons pouvant diminuer la concentration de métaux dans les aliments (Ersoy et al., 2006; Amiard et al., 2008; Wang et al., 2014; Sharafi et al., 2019; Abd-Elghany et al., 2020). Bien que la cuisson puisse réduire la teneur en métal des aliments, il s'agit d'un processus limité, qui dépend principalement des conditions de cuisson, notamment du temps, de la température et du milieu de cuisson. Certains aliments peuvent également absorber ces ML si l'eau utilisée pour la cuisson est contaminée (Domingo, 2010).

IV.4.1 Effets de la cuisson sur les éléments essentiels

IV.4.1.1 Fer

La teneur en Fe dans les échantillons bouillis variait entre 6,50 et 9,70 mg/kg, avec une concentration moyenne de $7,99 \pm 0,37$ mg/kg, alors que, dans les échantillons grillés, elle variait entre 5,32 et 10,73 mg/kg, avec une concentration moyenne de $8,18 \pm 0,73$ mg/kg. L'analyse statistique révèle que la teneur en Fe dans les VB sont significativement supérieur ($P < 0,05$) par rapport les VC. En revanche, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été trouvée dans la concentration en fer entre les échantillons grillés et la viande crue et bouillie.

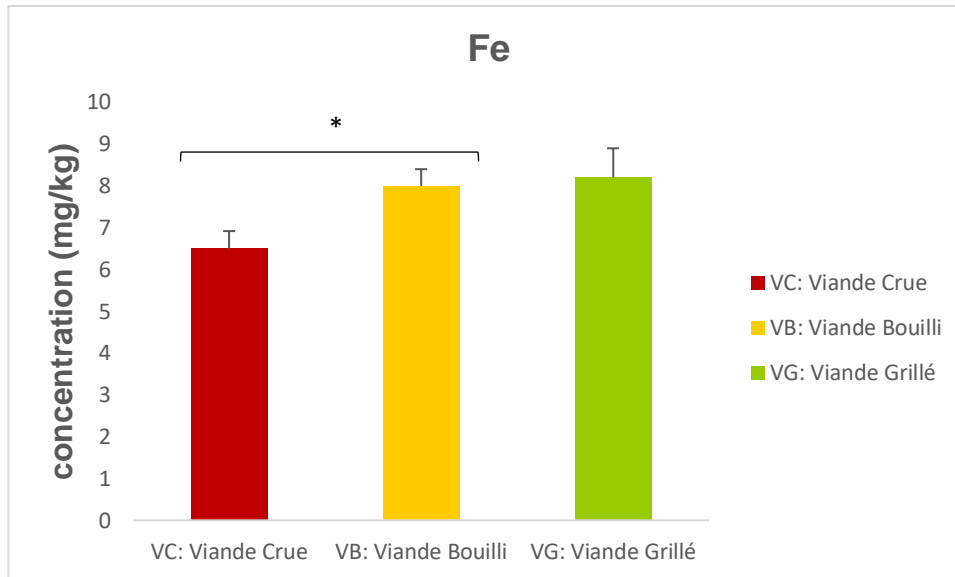


Figure 13: Concentration de Fe dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM : *: $p < 0,05$

Ces résultats sont en accord avec plusieurs études, montrent que différentes méthodes de cuisson telles que la viande bovine grillé, bouilli, braisé, rôti et frit font augmenter significativement la concentration de l'élément divalent de Fe par rapport aux échantillons crus, **Gerber et al. (2009)** trouvé une concentration élevée en Fe dans le faux-filet grillé (18,1 mg/kg) et la poitrine de bovine bouillie (17,4 mg/kg) par rapport aux échantillons crus de 16,1 et 14,2 mg/kg, respectivement, ainsi que, le résultat de **Lombardi-Boccia et al. (2005)**, qui déclarent que la concentration de Fe dans la viande cru était de 23,7 mg/kg alors que dans la viande cuite était de 33,8 mg/kg. De plus, **Purchas et al. (2014)** ont rapporté un niveau moyen de cet élément de 25,6 mg/kg après la cuisson des échantillons (braisé, rôti et frit) qui est supérieur à celui de la viande cru (19,1 mg/kg). Les traitements à la chaleur sèche peuvent augmenter la teneur en fer de la viande jusqu'à 40 %, causés principalement par les pertes d'humidité et la force d'association du fer avec les structures protéiques, par conséquent, le processus de cuisson a augmenté la condensation de cet élément dans le produit cuit (**Lombardi-Boccia et al., 2005; Czerwonka & Tokarz, 2017**). D'autres études rapportent que le processus de cuisson ne modifie pas la quantité de Fe dans la viande, **Oz et al. (2017)**, ont déterminé une concentration de 585 mg/kg Fe dans VC, et variait de 510 à 580 mg/kg pour les différentes méthodes de cuisson. Cependant, le changement de teneur en Fe pour toutes les méthodes de cuisson n'était pas significatif ($P > 0,05$), le même résultat a été observé par **Lopes et al. (2015)** pour la rétention de fer dans le muscle *Longissimus lumborum* de veau traité avec bouillir et griller. **Pistón et al. (2020)** ont constaté que le temps de cuisson prolongé entraîne une légère diminution de Fe. **Tomović et al. (2015)** montrent que l'augmentation de la

température (varie de 51 à 91 ° C) pendant le traitement par ébullition n'affecte pas de manière significative la quantité de fer dans la viande. Enfin, ces variations de résultats peuvent être liées aux conditions de traitement thermique, par exemple, l'augmentation du temps et de la température lors de la cuisson peut provoquer des pertes de fer soluble et hémunique, avec des augmentations des formes insolubles et non hémiques du fer, ainsi que le niveau de Fe dans le jus de cuisson (**Purchas et al., 2003**).

IV.4.1.2 Manganèse

L'effet de la cuisson sur la concentration de Mn dans la viande est illustré dans la figure ci-dessous. L'exposition de la viande à la température d'ébullition et au grillage permet d'enregistrer un niveau de Mn de l'ordre de $0,067 \pm 0,04$ et $0,05 \pm 0,016$ mg/kg, respectivement. Il n'existe pas d'effet significatif ($P > 0,05$) sur la teneur en Mn entre la viande cuite et crue. De plus, aucune différence significative de Mn dans la viande n'a été trouvée entre les deux méthodes cuissons. Ce qui reflète que le traitement thermique n'a pas d'effet sur cet élément.

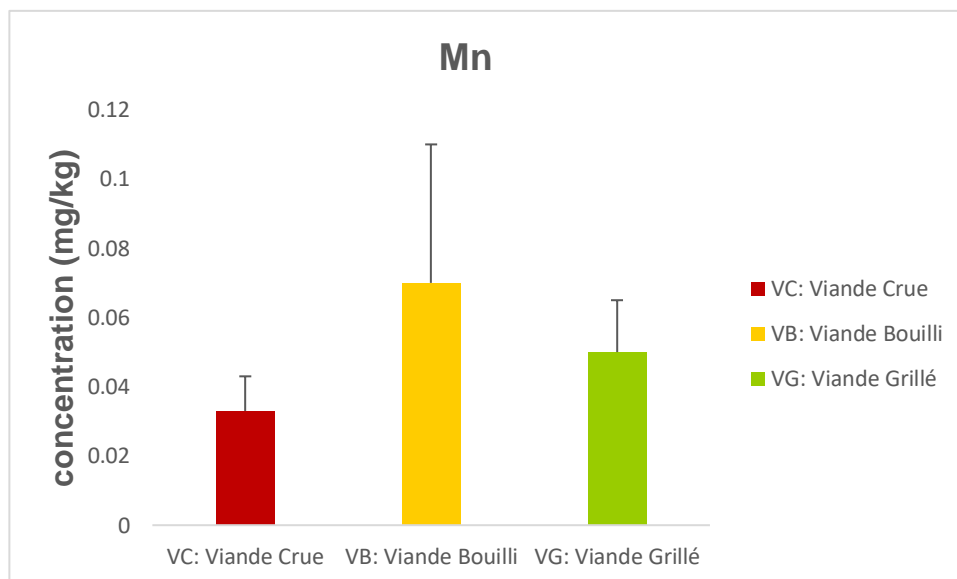


Figure 14: Concentration de Mn dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM

Le manganèse est un oligo-élément essentiel à la croissance des animaux, il est donc utilisé comme complément alimentaire dans le bétail, ce qui peut influencer la qualité de la viande (**Pajarillo et al., 2021; Yang et al., 2021**). Selon notre analyse statistique, aucune différence significative n'est observée pour la teneur en Mn des viandes cuites et crues. Les mêmes résultats sont enregistrés par **Adams and Erdman (1988)** et **Oz et al. (2017)** ils montrent que différents modes de cuisson (friture grasse, friture sans grasse, grillage, ébullition et micro-ondes) des steaks de la viande bovine n'ont pas d'effet significatif ($P > 0,05$) sur le

minéral Mn. Cependant, d'autre étude a rapporté que le braisage, le rôtissage et la friture augmentaient la concentration de l'élément divalent Mn dans la viande (**Purchas et al., 2014**). **Tomović et al. (2015)** ont utilisé différentes températures pour faire bouillir la viande, qui ont constaté que la teneur en manganèse était significativement augmentée ($P < 0,01$) dans les échantillons bouillis à 51 et 91 °C par rapport aux échantillons de viande crue, mais aucun effet significatif ($P > 0,05$) a été trouvé entre les différences température (61, 81 et 91°C). (**Pistón et al., 2020**) ont montré que la teneur en Mn diminuait légèrement d'une cuisson médiane de la viande bovine (0,12 à 0,2 mg/kg) à bien cuite (0,097 à 0,15 mg/kg). D'après nos résultats et la littérature nous pouvons conclure que les différents modes de cuisson peuvent légèrement influencer la concentration de Mn dans la viande, donc n'influencent pas la qualité de la viande.

IV.4.1.3 Chrome

La teneur en Cr des échantillons cuits variait entre 0,10 et 0,25 mg/kg, avec une concentration moyenne de $0,127 \pm 0,007$ mg/kg pour VB et de $0,162 \pm 0,018$ mg/kg pour VG (**figure 15**). Les résultats de l'ANOVA ne montrent aucune différence significative ($P > 0,05$) dans les concentrations de Cr entre (VC vs VB) et (VB vs VG). Cependant, les échantillons traités par la méthode d'ébullition présentent une diminution significative ($p < 0,01$) de la concentration en Cr par rapport aux échantillons crus. Cela signifie que les méthodes de cuisson ont des effets différents sur les niveaux de Cr dans les viandes.

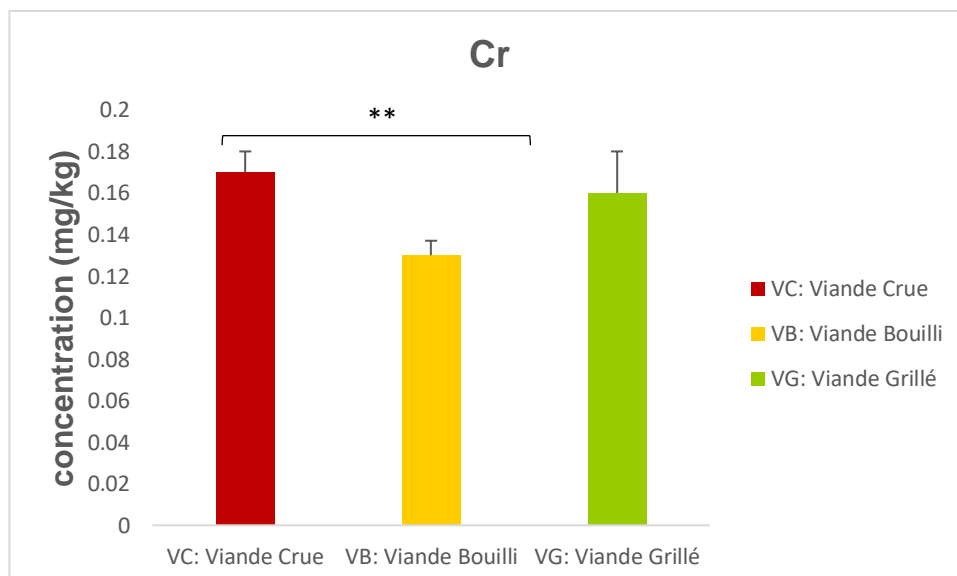


Figure 15: Concentration de Cr dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM : **: $p < 0,01$

Le chrome est un métal de transition qui existe sous forme ionisée dans la nature Cr (III) et Cr (VI). Ces états d'oxydation confèrent différentes propriétés à ce métal telles que la

mobilité, la biodisponibilité et la toxicité (**Hamilton et al., 2018**). Le Cr (III) joue un rôle important dans le métabolisme des glucides, des lipides et des protéines (**Lukaski, 2019**). Cependant, plusieurs études ont montré que la Cr supplémentaire augmente les facteurs de risque de maladies cardiovasculaires (**Shahinfar et al., 2020**). L'étude d'**Alberti-Fidanza et al. (2002)** n'a montré aucune différence significative de la teneur en Cr dans les tranches de viande crue et cuite sur plaque chauffante. **Saraiva et al. (2021)** ont évalué l'effet de la friture sans et avec huile à 95°C et 120°C sur l'oxydation du Cr dans des échantillons de la viande bovine, ils ont conclu que le traitement thermique ne produit pas l'oxydation du Cr (III) en Cr(VI), trouvant ainsi exclusivement l'espèce Cr(III) dans les échantillons analysés. De plus, aucune différence significative n'a été détectée dans les concentrations de Cr entre les viandes crues et cuites. **Huang et al. (2016)** ont étudié l'effet d'un complément alimentaire en Cr sur la qualité des poulets de chair bouillis, leurs résultats ont montré que différentes supplémentsations en Cr améliorent la qualité de la viande sous traitement thermique.

IV.4.2 Effets de la cuisson sur les éléments non essentiels

IV.4.2.1 Nickel

Concernant le taux de Ni, l'ébullition a provoqué une légère réduction de la quantité de Ni avec une concentration moyenne de $0,065 \pm 0,005$ mg/kg, cependant, la concentration de Ni dans les échantillons grillés ($0,26 \pm 0,14$ mg/kg) était élevée que celle trouvée dans l'échantillon cru. La diminution de la concentration de Ni n'était pas significative ($P > 0,05$) pour VB par rapport au VC, alors qu'elle était significativement supérieure ($P = 0,024$ et $P = 0,011$) pour les VG comparés aux VC et VB, respectivement (**Figure 16**).

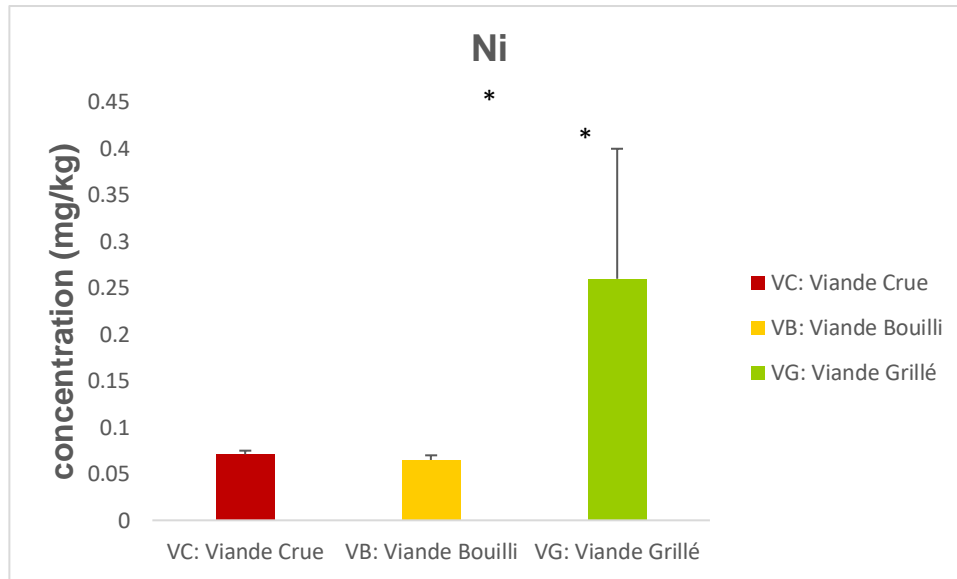


Figure 16: Concentration de Ni dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM : *: $p < 0,05$

Le nickel peut entrer dans la chaîne alimentaire par son accumulation dans les plantes et les animaux, mais une quantité importante peut se produire après sa migration à partir des matériaux métalliques de cuisine en contact avec les aliments. Si pris en considération, les ustensiles à d'acier inoxydable de bonne qualité représente 8 à 10 % de Ni, alors que sa quantité est plus importante dans l'acier inoxydable de mauvaise qualité (EFSA, 2015). **Alberti-Fidanza et al. (2002)** ont trouvé une légère augmentation de Ni dans la viande cuite et crue, ainsi que **Pistón et al. (2020)** ont conclu que l'élévation de la température et du temps de cuisson augmente la teneur en Ni de la viande bovine. Contrairement à d'autres études qui montrent une diminution significative ($P < 0,05$) de la concentration de Ni dans les viandes bouillies et frites par rapport aux échantillons de viande fraîche (**EL Bushuty & Shanshan, 2018**). Les résultats d'**Oz et al. (2017)** représentent, la friture, l'ébullition, la cuisson sur plaque chauffante, micro-ondes et four n'a pas affecté ($P > 0,05$) la teneur en Ni de la viande bovine par rapport au cru. Cependant, la quantité totale de Ni dans les aliments ne montre pas la concentration de nickel qui provoque des effets néfastes sur la santé des consommateurs, car une partie de Ni reste liée à la matrice alimentaire pendant la digestion, donc seule la fraction absorbée par l'épithélium intestinal et pénètre dans le système sanguin, cela peut représenter la quantité maximale possible de ce métal dans le corps (**Babaahmadifooladi et al., 2021**).

IV.4.2.2 Plomb

Nous avons enregistré une concentration de Pb compris entre 0,26 - 0,6 mg/kg pour VB et entre 0,36 - 0,64 mg/kg pour VG. Cependant, la teneur moyenne en Pb de viande bouilli et grillé est supérieure aux limites tolérables de l'ordre $0,408 \pm 0,052$ et $0,506 \pm 0,046$ mg/kg, respectivement. Aucune différence significative ($P > 0,05$) dans les niveaux de Pb n'a été détectée avant et après la cuisson des échantillons, ainsi qu'entre les deux méthodes de cuisson. Le même résultat a été observé par **Oz et al. (2017)**, qui déclarent que les différentes méthodes de cuisson (friture, ébullition et grillade) n'ont pas influencé la concentration de Pb par rapport aux steaks de la viande bovine crus.

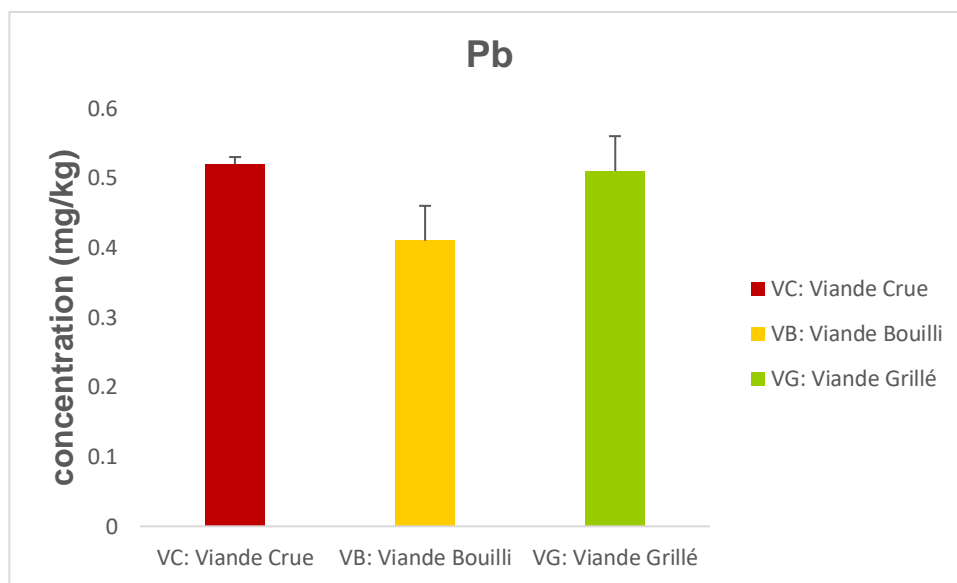


Figure 17: Concentration de Pb dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM.

Les animaux peuvent absorber le plomb par inhalation ou ingestion de plantes contaminées. Cependant, le Pb n'est pas bio-amplifié dans la chaîne alimentaire, selon l'**EFSA (2012)** moins de 6% de l'apport en Pb provient de la viande et des produits carnés, probablement parce que son stockage se fait principalement dans les os ce qui réduit le risque de transmission à travers la chaîne alimentaire (**Malavolti et al., 2020**). Dans des recherches précédentes, ont montré que le traitement thermique pouvait affecter les niveaux de Pb dans la viande, **Planche et al. (2017)** ont trouvé que la friture de la viande bovine augmentait significativement ($p < 0,05$) la concentration de Pb avec une moyenne de 0,15 mg/kg par rapport à la viande crue avec une concentration moyenne de 0,12 mg/kg, aussi les résultats d'**Alberti-Fidanza et al. (2002)** ont indiqué, la teneur de cet élément dans les échantillons cuits en plaque chauffante est supérieure comparé au VC. Tandis que **Perello et al. (2008)** ont rapporté que la concentration de Pb dans

la viande frite était de 0,014 mg/kg et dans les échantillons grillés était de 0,018 mg/kg, ce qui était inférieur à leur niveau dans les échantillons de steak de veau cru (0,084 mg/kg). La combinaison du pH avec une température élevée peut induire des changements dans la structure chimique des éléments métalliques ou les dissocier des protéines. Par conséquent, la diminution des niveaux de métaux est associée à la réduction de la masse protéique et à la libération de ces polluants dans la perte d'eau. Les métaux lourds peuvent être liés aux acides aminés solubles et aux protéines non coagulées (Hajeb et al., 2014).

IV.4.2.3 Cadmium

Les teneurs en Cd variaient de $4,3 \cdot 10^{-3}$ à 0,027 mg/kg avec une concentration moyenne de $0,011 \pm 0,003$ mg/kg dans les échantillons bouillants et variaient de $8 \cdot 10^{-4}$ à 0,019 mg/kg avec une moyenne de $6,7 \cdot 10^{-3} \pm 0,003$ mg/kg dans les échantillons à griller. L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative ($P > 0,05$) entre les concentrations mesurées dans tous les échantillons (crus, bouillis et grillés). Ces résultats indiquent que les méthodes de cuisson n'influencent pas le niveau cet élément toxique dans les viandes.

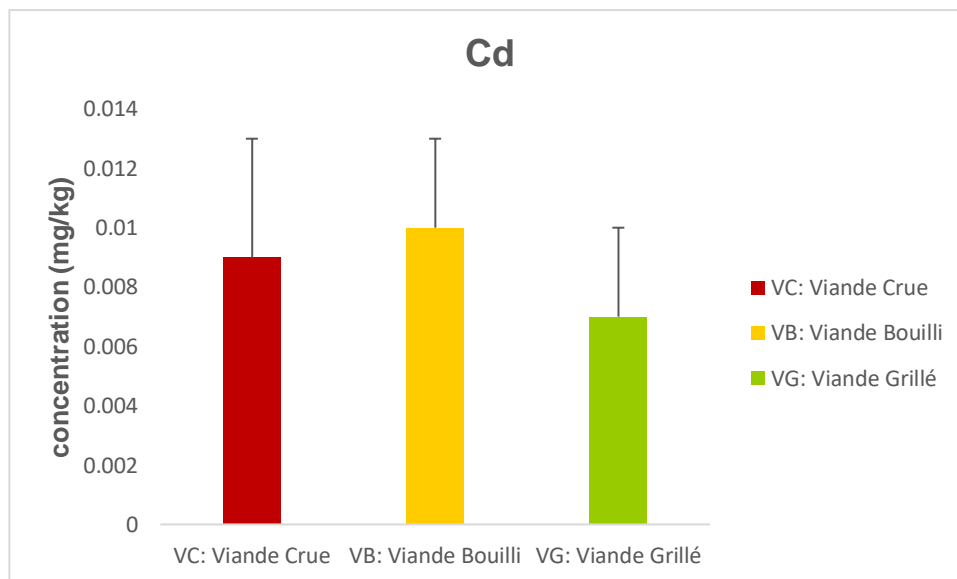


Figure 18: Concentration de Cd dans la viande avant et après cuisson. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm SEM

Le cadmium est omniprésent dans l'environnement à de faibles concentrations (Yuan et al., 2014). Le tabac est une source majeure d'exposition au Cd chez l'homme, mais chez les non-fumeurs, l'alimentation est la principale source de cadmium. Par conséquent, la surveillance du Cd dans les aliments est importante pour la santé publique (Aranha et al., 2016; Olmedo et al., 2017). L'absorption de 5 à 10 % du Cd ingéré, réduit l'absorption d'autres éléments essentiels tels que le calcium et le zinc, ainsi les personnes qui souffrent d'anémie

ferrique le taux d'absorption du Cd par le tractus gastro-intestinal augmente et peut atteindre 20% (Nordberg, 2007).

Les concentrations de Cd dans notre étude n'ont montré aucune différence significative ($P > 0,05$) avant et après la cuisson de la viande, des résultats similaires ont été rapportés par **Alberti-Fidanza et al. (2002)**, le niveau de Cd était de 3mg et 3,1mg dans 100g de viande bovine crue et cuite, respectivement. **Perello et al. (2008)** ont trouvé 0,002 mg/kg de teneur en Cd dans la viande de veau crue, cependant la concentration de ce métal a diminué lors du traitement thermique, dont ils n'ont pas détecté le Cd dans la viande frite et grillée. Une autre étude a montré que la concentration de Cd dans la friture de la viande bovine (0,151 mg/kg) est significativement supérieure ($p < 0,05$) que dans la viande crue (0,116 mg/kg). Pendant la cuisson, la chaleur accélère la dégradation des protéines et la perte de poids et d'eau, de sorte que les métaux lourds peuvent également être affectés par la chaleur appliquée en diminuant ou en augmentant (**Domingo, 2010**).

IV.5 Coefficient de corrélation des matrices

Le test de corrélation de Pearson a été effectué pour étudier la force linéaire et la direction entre deux variables sur une échelle de -1 (relation inverse parfaite) à 0 (aucune relation) à +1 (relation sympathique parfaite). **Les tableaux (8, 9), (10, 11) et (12, 13)** représentent la matrice de corrélation entre les ML présents dans les échantillons crus, bouillants et grillés, respectivement.

Suite à l'étude statistique, les résultats des échantillons crus ne montrent aucune corrélation significative entre les éléments essentiels et entre les ML essentiels et non essentiels, cependant, nous avons enregistré une corrélation négative significative entre Pb et Ni ($r = -0,823$, $P = 0,023$).

Tableau 9: valeurs de p pour la corrélation de Pearson entre les ML dans la VC ($p < 0,05$)

	Fe	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Fe						
Cr	0,771					
Mn	0,712	0,099				
Ni	0,126	0,765	0,531			
Pb	0,163	0,637	0,891	0,023*		
Cd	0,217	0,390	0,624	0,793	0,755	

Tableau 10: Coefficients de corrélation de Pearson entre le niveau de ML dans la VC

	Fe	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Fe						
Cr	-0,136					
Mn	0,172	0,671				
Ni	-0,634	-0,140	-0,288			
Pb	0,590	-0,219	0,064	-0,823		
Cd	-0,534	0,388	-0,227	-0,123	-0,146	

Concernant les échantillons bouillis, les résultats du test de Pearson indiquent des corrélations positives significatives entre les ML essentiels Mn/Fe ($r = 0,804$, $P = 0,029$), Mn/Cr ($r = 0,824$, $P = 0,023$) et Fe/Cr ($r = 0,777$, $P = 0,040$), alors qu'aucune corrélation significative n'a été observée entre les ML non essentiels.

Tableau 11: valeurs de p pour la corrélation de Pearson entre les ML dans la VB ($p < 0,05$)

	Fe	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Fe						
Cr	0,040*					
Mn	0,029*	0,023*				
Ni	0,855	0,406	0,389			
Pb	0,457	0,949	0,668	0,810		
Cd	0,074	0,597	0,322	0,400	0,090	

Tableau 12: coefficients de corrélations de Pearson entre le niveau de ML dans la VB

	Fe	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Fe						
Cr	0,777					
Mn	0,804	0,824				
Ni	-0,086	0,376	0,389			
Pb	-0,339	-0,030	-0,199	-0,113		
Cd	-0,709	-0,244	-0,441	0,380	0,685	

Par ailleurs, l'analyse statistique de la viande grillée représente qu'il n'existe pas des corrélations significatives entre les ML non essentiels, ainsi qu'entre les éléments essentiel et

non essentiel. Néanmoins, les résultats de ce test montrent des corrélations positives significatives entre certaines paires des ML essentiels Mn/Fe ($r = 0,839$, $P = 0,018$) et Mn/Cr ($r = 0,760$, $P = 0,047$).

Tableau 13: valeurs de p pour la corrélation de Pearson entre les ML dans la VG ($p < 0,05$).

	Fe	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Fe						
Cr	0,318					
Mn	0,018*	0,047*				
Ni	0,998	0,292	0,734			
Pb	0,187	0,172	0,222	0,298		
Cd	0,934	0,493	0,773	0,544	0,294	

Tableau 14: Coefficients de corrélation de Pearson entre le niveau de ML dans la VG

	Fe	Cr	Mn	Ni	Pb	Cd
Fe						
Cr	0,445					
Mn	0,839	0,760				
Ni	-0,001	-0,466	-0,158			
Pb	0,565	0,580	0,530	-0,461		
Cd	-0,039	0,314	-0,135	-0,279	0,464	

Une forte corrélation positive peut signifier qu'il existe une affinité chimique ou une origine héréditaire similaire des métaux dans les échantillons, à l'inverse d'une forte corrélation négative (Adebiyi et al., 2020). Nos résultats montrent la présence d'une faible corrélation négative entre Pb et Ni dans le VC les mêmes résultats ont été observés par Tunca et al. (2013) et Susanti et al. (2020). De plus, nous avons enregistré des corrélations positives significatives entre les éléments essentiels dans les viandes cuites. Cependant, l'analyse statistique n'indique aucune corrélation significative entre les éléments essentiels et non essentiels dans les viandes avant et après cuisson. L'étude de Rudy (2010) montre que le niveau élevé de Cd dans la viande provoque l'augmentation de Pb dans ce tissu, ainsi, il explique que l'augmentation de Pb et Cd dans la viande est principalement associée à la teneur élevée en graisse et en cendres. Davoodi

and Kojouri (2015) a remarqué une forte corrélation positive entre les métaux non essentiels Cd/Pb ($r = 0,939$; $P = 0,018$) dans la viande ovine, cependant, **Ainerua et al. (2020)** ont détecté une corrélation significativement négative entre les métaux essentiels Fe/Mn ($r = -0,8464$) dans la viande.

De plus, certaines études ont enregistré la présence de corrélation entre les éléments essentiels et non essentiels, généralement une corrélation négative de Cr avec Pb et Cd ($r = -0,458$ et $r = -0,312$, respectivement) (**Ullah et al., 2019**), aussi Fe avec Pb ($r = -0,7668$), contrairement à Mn qui était corrélé positivement avec Pb ($r = 0,9346$) dans la viande (**Ainerua et al., 2020**). L'analyse statistique de **Pilarczyk (2014)** montre une très forte corrélation positive entre les éléments non essentiels Ni avec Pb et Cd ($r = 0,89$ et $r = 0,9$) respectivement, Pb avec Cd ($r = 0,91$) également entre les métaux essentiels et non essentiels Cr/ Ni ($r = 0,92$) dans les viandes bovines de différentes races. Dans les peaux de bovins, Ni est corrélé négativement avec Pb ($r = -0,428$; $p < 0,01$), mais il est corrélé positivement avec Cd ($r = 0,543$; $p < 0,01$) et Fe ($r = 0,337$; $p < 0,01$) (**Kalu et al., 2015**). Certains auteurs expliquent les variations de corrélation entre les ML par le maintien homéostatique minéral dans le tissu musculaire. Par conséquent, la présence de transporteurs de métaux dans l'organisme tels que la métallothionéine et le chaperon, a acquis un rôle particulier dans le transport des métaux divalents, cependant, certains métaux non essentiels peuvent interagir avec ces transporteurs, ainsi que des métaux essentiels dans le muscle pourraient être liés à des interactions ou des antagonismes métalliques pour maintenir le bon équilibre minéral (**García-Vaquero et al., 2011**; **Pilarczyk, 2014**; **López-Alonso et al., 2016**). De plus, il a été postulé que Cr^{3+} et Ni peuvent perturber l'absorption de Fe (**Zoroddu et al., 2019**; **Cubadda et al., 2020**). Plusieurs chercheurs ont étudié la corrélation entre les métaux lourds et le développement de certaines maladies, **Vanidassane et al. (2021)** ont trouvé une corrélation positive significative entre certains éléments comme le Cd, Pb, Cr, Ni et le cancer du poumon, **Jablonska et al. (2017)** ont également rapporté une corrélation positive significative entre le cancer du sein et le Cd. D'autres études ont montré une corrélation significativement négative entre le Ni et le taux d'hémoglobine glyquée (**Cai et al., 2022**), au contraire le Pb était positivement associé à l'hémoglobine glyquée, ainsi le risque futur de diabète peut être prédit dans la population non diabétique (**Chang et al., 2021**).

IV.6 Évaluation des risques pour le consommateur de la viande bovine

Les métaux toxiques affectent les propriétés nutritionnelles et la qualité des viandes rouges. Dans cette étude, le risque sanitaire éventuel sur la consommation de viande bovine

commercialisée en Algérie (wilaya de Saida) a été évalué sur la base d'indices de risque sanitaire tels que la Dose Journalier Estimé (DJE), Dose Hebdomadaire Estimé (DHE), le Quotient de Danger (QD), l'Indice de Danger (ID), le Risque de Cancer (RC) et La marge d'exposition (ME). Les valeurs du DJE et du DHE ont été comparées aux limites tolérables recommandées par l'organisme international et utilisées pour déterminer le QD et le RC.

IV.6.1 Apport journalier et hebdomadaire des ML

Les apports quotidiens et hebdomadaires estimés de ML dans la viande bovine consommé par les adultes et les enfants ayant un poids corporel de 69,6 kg et 30 kg, respectivement sont présentés dans le **tableau 14**. Ensuite, les apports calculés pour chaque composé métallique ont été comparés à leurs références établies par les agences de réglementation (EFSA, JECFA, DRI, USEPA et OMS). Le pourcentage de contribution à la Dose Nutritionnels Recommandés (DNR) pour Fe, Cr, Mn, Pb et Cd, à la dose hebdomadaire provisoire/tolérable (DHT, DHTP) pour le Pb et le Cd, à la dose journalière provisoire/tolérable (DJT, DJTP) pour le Ni, le Cr et le Cd, à la dose journalière maximale tolérable provisoire pour le Fe, à la limite inférieure de confiance de la dose de référence (BMDL₀₁) pour Pb, (BMDL₁₀) pour Pb et Ni ont été calculés. Toutes les valeurs en pourcentage sont données dans le **tableau 15**.

Les DJE pour les ML essentiels Fe, Cr et Mn dans la viande crue sont respectivement de l'ordre de $1,19 \cdot 10^{-3}$, $3,02 \cdot 10^{-5}$ et $6,05 \cdot 10^{-6}$ mg/kg/jour pour les adultes et d'environ $2,75 \cdot 10^{-3}$, $7,01 \cdot 10^{-5}$, $1,4 \cdot 10^{-5}$ mg/kg/jour, respectivement, pour les enfants. Le rapport DNR le plus élevé de Fe, Cr et Mn est observé chez les enfants de 0,03 ; 0,47 et $9,35 \cdot 10^{-4}$ % respectivement. Cependant, le rapport DNR le plus bas de Fe est détecté chez les femmes ($6,57 \cdot 10^{-3}$ %) et de Cr et Mn chez les hommes avec un pourcentage de 0,09 et $2,63 \cdot 10^{-4}$. Aussi, le DJE pour l'ensemble de la population consommant de la viande cuite variait de $1,46 \cdot 10^{-3}$ à $3,47 \cdot 10^{-3}$ mg/Kg/jour pour le Fe, de $2,31 \cdot 10^{-5}$ à $6,84 \cdot 10^{-5}$ mg/Kg/jour pour le Cr et de $9,22 \cdot 10^{-6}$ à $2,8 \cdot 10^{-5}$ pour Mn, contribuant ainsi à moins de 0,03 %, 0,36 % et $1,90 \cdot 10^{-3}$ % de la DNR pour Fe, Cr et Mn, respectivement. Les valeurs DJH et DHE les plus élevées pour la viande crue et cuite (bouillie et grillée) ont été notées chez les enfants, cependant, ces valeurs pour les échantillons examinés étaient inférieures aux doses recommandées. Ces résultats indiquent que l'apport des ML essentiels présents dans la viande rouge peut ne pas entraîner d'effets néfastes sur la santé de la population.

Concernant le Fe, sa présence à l'état de trace dans l'organisme est nécessaire, car il joue un rôle important dans le maintien de nombreux processus physiologiques. Nos résultats étaient en accord avec ceux rapportés par **Bilandžić et al. (2013)** chez la viande bovine, qui ont trouvé

que la DJE est de 0,05 mg/kg/jour contribuant ainsi à 0,28 et 0,62 % du DNR pour la femme et l'homme respectivement. De plus, **Leite et al. (2020)** ont évalué le risque de consommation de plusieurs types de viande, cuites par différentes méthodes de rôtissage (gril électrique, bois et charbon), le résultat obtenu montre la DJE de Fe dû à la consommation de viande de bœuf rôtie été entre 0,03 et 0,08 mg/kg pc/jour. **Leite et al. (2020)** ont constaté que la DJE de Cr due à l'ingestion de la viande bovine rôtis au feu de bois et au charbon variait de $3,6.10^{-3}$ à $0,9$ mg/kg pc/jour. Une autre étude montre que la DHE de Cr dans la viande bovine est de $2,5.10^{-5}$ mg/kg pc pour les enfants et de $1,2.10^{-5}$ mg/kg pc pour les adultes (**Di Bella et al., 2020**). Une autre découverte similaire a également été enregistrée par **Ekhtator et al. (2017)**, qui ont constaté que la DJE de Mn ($3,2.10^{-5}$, 7.10^{-5}) pour les adultes et les enfants respectivement, en mangeant de la viande frite par les Nigériens était inférieur à la limite établie par le UE, OMS et USEPA. Également **Mohamed et al. (2019)** ont rapporté la valeur DJE de Mn $4,8.10^{-4}$ mg/kg pc/jour de viande.

Tableau 15: Dose journalier et hebdomadaire estimé des ML dans la viande crue et cuite

ML	EIs	VC		VB		VG	
		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Fe	DJE	$1,19.10^{-3}$	$2,75.10^{-3}$	$1,46.10^{-3}$	$3,39.10^{-3}$	$1,49.10^{-3}$	$3,47.10^{-3}$
	DHE	$8,3.10^{-3}$	0,019	0,010	0,024	0,01	0,024
Cr	DJE	$3,02.10^{-5}$	$7,01.10^{-5}$	$2,31.10^{-5}$	$5,36.10^{-5}$	$2,95.10^{-5}$	$6,84.10^{-5}$
	DHE	$2,12.10^{-4}$	$4,91.10^{-4}$	$1,62.10^{-4}$	$3,75.10^{-4}$	$2,07.10^{-4}$	$4,8.10^{-4}$
Mn	DJE	$6,05.10^{-6}$	$1,4.10^{-5}$	$1,23.10^{-5}$	$2,86.10^{-5}$	$9,22.10^{-6}$	$2,14.10^{-5}$
	DHE	$4,23.10^{-5}$	$9,82.10^{-5}$	$8,62.10^{-5}$	2.10^{-4}	$6,46.10^{-5}$	$1,5.10^{-4}$
Ni	DJE	$1,30.10^{-5}$	$3,02.10^{-5}$	$1,18.10^{-5}$	$2,74.10^{-5}$	$4,75.10^{-5}$	$1,1.10^{-4}$
	DHE	$9,11.10^{-5}$	$2,11.10^{-4}$	$8,27.10^{-5}$	$1,92.10^{-4}$	$3,33.10^{-4}$	$7,71.10^{-4}$
Pb	DJE	$9,57.10^{-5}$	$2,22.10^{-4}$	$7,45.10^{-5}$	$1,73.10^{-4}$	$9,24.10^{-5}$	$2,14.10^{-4}$
	DHE	$6,7.10^{-4}$	$1,55.10^{-3}$	$5,21.10^{-4}$	$1,21.10^{-3}$	$6,47.10^{-4}$	$1,5.10^{-3}$
Cd	DJE	$1,67.10^{-6}$	$3,84.10^{-6}$	$1,94.10^{-6}$	$4,5.10^{-6}$	$1,22.10^{-6}$	$2,83.10^{-6}$
	DHE	$1,16.10^{-5}$	$2,69.10^{-5}$	$1,36.10^{-5}$	$3,15.10^{-5}$	$8,55.10^{-6}$	2.10^{-5}

Tableau 16: Les apports calculés des ML comparés à leurs références

ML	Paramètre	VC %		VB %		VG %	
		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Fe	DJMTP	0,15	0,34	0,18	0,42	0,19	0,43
	DNR	$6,57.10^{-3}$ (F) 0,02(H)	0,03	$8,1.10^{-3}$ (F) 0,02(H)	0,03	$8,3.10^{-3}$ (F) 0,02(H)	0,03
Cr	DJT	0,01	0,02	$7,7.10^{-3}$	0,02	$9,83.10^{-3}$	0,02
	DHTP	0,03	0,07	0,02	0,05	0,03	0,07
	DNR	0,12(F) 0,09(H)	0,47	0,09(F) 0,07(H)	0,36	0,12(F) 0,08(H)	0,46
Mn	DNR	$3,36.10^{-4}$ (F) $2,63.10^{-4}$ (H)	$9,35.10^{-4}$	$6,84.10^{-4}$ (F) $5,35.10^{-4}$ (H)	1,90 E-03	$5,12.10^{-4}$ (F) $4,01.10^{-4}$ (H)	$1,43.10^{-3}$ 0,015
	DHTP	$4,3.10^{-3}$	0,01	$8,8.10^{-3}$	0,02	$6,6.10^{-3}$	
Ni	DJT	0,10	0,23	0,09	0,21	0,37	0,85
	BMDL ₁₀	1,18	2,74	1,07	2,50	4,32	10,02
Pb	DHTP	2,68	6,22	2,09	4,84	2,59	6,01
	DNR	0,05	0,11	0,04	0,08	0,04	0,10
	BMDL ₀₁	19,14	44,40	14,89	34,55	18,49	42,89
	BMDL ₁₀	15,19	35,24	11,82	27,42	14,67	34,04
	BMDL ₀₁	6,37	14,80	4,96	11,52	6,16	14,30
Cd	DHT	0,46	1,08	0,54	1,26	0,34	0,79
	DHTP	0,17	0,38	0,19	0,45	0,12	0,28
	DNR	3.10^{-3}	$6,41.10^{-3}$	$3,23.10^{-3}$	$7,50.10^{-3}$	$2,03.10^{-3}$	$4,72.10^{-3}$
	DJTP	0,20	0,46	0,23	0,54	0,15	0,34

DJMTP : Dose journalière maximale tolérable provisoire, **DNR** : Dose Nutritionnels Recommandés, **DJT** : Dose Journalière Tolérable, **DHTP** : Dose hebdomadaire tolérable provisoire, **BMDL** : Benchmark Dose Level, **DHT** : Dose hebdomadaire tolérable, **DJTP** : Dose journalière tolérable provisoire, **F** femme, **H** homme.

Les DJE à travers la consommation des ML non essentiels Ni, Pb et Cd dans les viandes rouges par la population algérienne, classées selon l'âge, sont présentées dans le tableau, Pour le Ni, la viande grillée consommée par les enfants a présenté l'apport le plus élevé ($1,1.10^{-4}$ mg/kg/jour), tandis que l'apport le plus faible a été observé dans la VB consommée par les adultes ($1,18.10^{-5}$ mg/kg/jour). En ce qui concerne l'apport en Pb le plus élevé correspond aux enfants ($2,22.10^{-4}$ et $2,14.10^{-4}$ mg/kg/jour) dans les viandes crues et grillées, respectivement, alors que la consommation la plus faible a été trouvée chez les adultes ($7,45.10^{-5}$ mg/kg /jour) dans les VB. De plus, concernant le Cd, le VB a montré l'apport alimentaire le plus élevé chez

les enfants, avec une valeur de $4,5 \cdot 10^{-6}$ mg/kg/jour, par contre l'apport minimum correspondait aux adultes $1,22 \cdot 10^{-6}$ mg/kg/jour dans la VG.

En faisant correspondre le DJE de Ni trouvé dans les viandes avant et après cuisson analysées avec les valeurs DJT et BMDL₁₀ établies pour ce métal, il a été enregistré que le pourcentage le plus élevé de DJT et BMDL₁₀ détecté dans les échantillons de VG pour enfants de 0,85% et 10,02%, respectivement, mais reste inférieur de la limite de sécurité. Selon les calculs, la dose tolérable recommandée la plus proche DHTP, BMDL₀₁, BMDL₁₀, BMDL₀₁ a été trouvée dans les échantillons crues (6,22 %, 44,40 %, 35,24 % et 14,8 respectivement) et les échantillons grillée (6,01 %, 42,89 %, 34,04 % et 14,3 respectivement) chez les enfants, cependant, étaient en dessous de la sécurité toxicologique. Concernant le rapport DHT, DHTP et DJTP le plus bas de Cd était de 0,34 % ; 0,12% et 0,15% respectivement de VG chez les adultes, tandis que les VB chez les enfants ont le pourcentage le plus élevé de DJTP, DHTP et DHT (0,54%, 0,45 et 1,26%, respectivement) mais aucun des groupes de population n'a dépassé le seuil.

Nos valeurs sont un peu élevées que les résultats observés par **Leite et al. (2020)**, la DJE de la concentration de Ni était inférieure à la limite de détection dans tous les échantillons crus et cuits de la viande bovine. Une autre étude a rapporté que le niveau DHE de Ni était de $9 \cdot 10^{-5}$ et $1,8 \cdot 10^{-4}$ mg/kg pc dans la viande bovine pour les adultes et les enfants, respectivement (**Di Bella et al., 2020**). Le JECFA a établi une DHTP pour le Pb de 25 µg/kg de poids corporel (**JECFA, 2011**) correspondant à 0,025 mg/kg de poids corporel. Cependant, l'EFSA a conclu que la DHTP actuelle, exprimée en µg/kg de poids corporel/n'est pas appropriée car ces valeurs n'étaient plus considérées comme protectrices de la santé. Pour l'évaluation des risques, l'EFSA a proposé de l'analyser en utilisant les BMDL respectives dérivées des niveaux de plomb dans le sang en milligrammes par litre (valeurs correspondantes de l'apport alimentaire en µg/kg de poids corporel/jour), qui étaient le développement de la neurotoxicité, BMDL₀₁ (0,50); effets sur la pression artérielle systolique, BMDL₀₁ (1,50) ; et les effets sur la prévalence de l'insuffisance rénale chronique, BMDL₁₀ (0,63) (**EFSA, 2009**). De plus, la DHTP du Cd établie par le **JECFA (2011)** (0,83 µg/kg p.c./jour) correspondait à $8,3E-04$ mg/kg p.c./jour, l'**EFSA (2009)** a également réévalué les données sur l'apport en cadmium par l'alimentation et a fixé une les nouveaux DHTP et DHT de 7 et 2,5 µg/kg de poids corporel, correspondant respectivement à $7 \cdot 10^{-3}$ et $2,5 \cdot 10^{-3}$ mg/kg de poids corporel/semaine. Dans cette étude, nous avons converti µg/kg de poids corporel en mg/kg de poids corporel, selon les statistiques, la probabilité de l'effet toxicologique de ces deux métaux est plus proche des enfants que des

adultes, cependant, les valeurs de sécurité sont généralement dans une plage acceptable. Les résultats actuels étaient en accord avec ceux enregistrés par **Barone et al. (2021)**, ils ont trouvé que, les apports calculés de Pb pour l'adulte étaient inférieurs aux doses tolérables, avec des pourcentages de 2,5 à 4,2% des DHTP, en ce qui concerne le Cd, l'apport mensuel estimé restait dans les limites la marge de sécurité établie, avec des pourcentages allant de 0,5 à 1,2 % du DMTP. Chez les enfants, les apports en Pb et Cd variaient respectivement de 5,6 à 9,5 % et de 1,2 à 2,4 %. Un autre résultat similaire pour la mesure DJE a été déterminé à partir de l'ingestion de viande frite de Pb (8.10^{-4} ; $1,8.10^{-3}$ mg/kg/jour) et Cd ($3,2.10^{-6}$; 7.10^{-6} mg/kg/jour) pour les adultes et les enfants, respectivement, également, ils sont inférieurs de la limite établie par la réglementation internationale (**Ekhaton et al., 2017**). Par ailleurs, des autres recherches précédentes ont rapporté que la DJE et la DHE de Cd, Pb étaient inférieurs au seuil limite dans la viande rouge pour l'ensemble de la population (**Mohamed et al., 2017; Di Bella et al., 2020; Leite et al., 2020**). Contrairement à notre étude, **Njoga et al. (2021)** ont observé un niveau élevé de la DJE de Pb (0,98 et 0,49 mg/kg/jour) et de Cd (0,019 et 0,009 mg/kg/jour) pour les enfants et les adultes, respectivement, à partir de la consommation de viande, qui sont supérieurs au DJTP fixé par WHO.

IV.6.2 Risque non cancérigène

Les valeurs QD pour les ML suivaient l'ordre décroissant de Pb > Cr > Fe > Cd > Ni > Mn, comme indiqué dans le **tableau 16**.

Pour les ML essentiels, les valeurs QD de Fe sont comprises entre $1,7.10^{-3}$ et 5.10^{-3} que l'on retrouve respectivement dans VC chez l'adulte et VG chez l'enfant. Alors que le niveau de QD le plus élevé pour les éléments essentiels a été observé de Cr (0,02) pour tous les échantillons cru et cuit chez les enfants, d'autre part, la valeur de QD la plus basse a été détectée de Mn ($4,3.10^{-5}$) dans le VC chez les adultes. Pour les ML non essentiels, les valeurs de QD varient entre ($5,9.10^{-4}$; $1,2.10^{-3}$ et 0,02) et ($5,5.10^{-3}$; $4,5.10^{-3}$ et 0,06) pour Ni, Cd et Pb, respectivement. Cependant, Ni présente la valeur de QD la plus faible dans VB chez les adultes, tandis que la valeur de QD la plus élevée est de Pb dans VC chez les enfants. Dans tous les cas, le résultat indiquait que la valeur QD de chaque métal était inférieure à 1, suggérant que toutes les catégories de la population ne subiraient pas de risques sanitaires significatifs s'ils consommaient des métaux lourds individuels dans la viande.

Nos valeurs QD de Fe étaient en accord avec celles rapportées par **Leite et al. (2020)**, ils ont trouvé que le QD de Fe variait entre 6.10^{-4} et 0,02 dans tous les types de viandes rôties, qui étaient en marge de sécurité. Concernant le QD de Cr, nos résultats sont similaires à plusieurs

autres études réalisées dans différents types de viande (bœuf et chèvre), qui ont noté que les valeurs de QD pour Cr étaient inférieures à 1 (Ihedioha & Okoye, 2013; Ekhaton et al., 2017; Mohamed et al., 2017; Liang et al., 2019; Zeinali et al., 2019; Di Bella et al., 2020; Leite et al., 2020; Njoga et al., 2021). Pour Mn, Ekhaton et al. (2017) montrent un QD de $2,3 \cdot 10^{-3}$ et $5 \cdot 10^{-3}$ dans la viande frite pour adultes et enfants, respectivement. Dans l'étude de Leite et al. (2020), la valeur QD la plus basse de Ni était ($2,3 \cdot 10^{-3}$) détectée dans l'agneau rôti au four électrique, cependant la valeur la plus élevée était de 0,44 qui a été calculée dans le bœuf rôti au four électrique, en parallèle, plusieurs auteurs ont enregistré des valeurs de QD pour Ni dans la viande bovine inférieures à 1 (Ihedioha et al., 2014; Zeinali et al., 2019; Di Bella et al., 2020). Nos résultats concernant QD de Pb et Cd étaient en accord avec de nombreuses recherches pour la viande rouge (Ihedioha & Okoye, 2013; Ekhaton et al., 2017; Mohamed et al., 2017; Liang et al., 2019; Zeinali et al., 2019; Di Bella et al., 2020; Leite et al., 2020; Njoga et al., 2021).

Tableau 17: Quotient de danger et indice de danger des ML dus à la consommation de viande bovine

ML	QD					
	VC		VB		VG	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Fe	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Cr	0,01	0,02	$7,7 \cdot 10^{-3}$	0,02	$9,8 \cdot 10^{-3}$	0,02
Mn	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Ni	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
Pb	0,02	0,06	0,02	0,04	0,02	0,05
Cd	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
ID= Σ QD	0,04	0,09	0,03	0,07	0,04	0,09

Nous avons observé que les valeurs de ID pour la somme des éléments consommés en VC et VG sont respectivement de 0,04 et 0,09 pour les adultes et les enfants, et concernant les VB sont de 0,03 chez les adultes et de 0,07 chez les enfants. De plus, l'ID était inférieur à 1, Cela signifie que la consommation de viande bovine impliquant une exposition à un mélange des six métaux examinés ne présente aucun risque non cancérigène pour la santé de la population. Aussi, Barone et al. (2021) ont trouvé que la valeur cumulée des effets de différents mélanges des éléments métalliques, pour les enfants était de 2 à 3 fois supérieure à celle des adultes. En général, les ID étaient inférieures à 1 pour différents types de viande, traitement

cuit, âge de la population et pays internationaux, suggérant l'absence de risque non cancérigène pour la santé lié à la consommation de viande rouge.

Le mécanisme d'un risque accru de cancer colorectal dû à la consommation de viande rouge peut entraîner une production accrue de composés N-nitroso cancérigènes en raison d'une surcharge en fer hémique (**Hur et al., 2019**) qui peut également entraîner un diabète de type II et des troubles cardiovasculaires (**Czerwonka & Tokarz, 2017**) ainsi qu'une concentration sanguine élevée de Fe peut provoquer un stress oxydatif qui peut potentiellement endommager des molécules biologiques importantes telles que les lipides et l'ADN et a également été lié aux maladies d'Alzheimer et de Parkinson (**Adeyemi et al., 2016**). IARC a classé les composés du Cr (VI) comme cancérigènes pour l'homme (groupe 1) en ce qui concerne le cancer du poumon ainsi que le cancer du nez et des sinus nasaux (**EFSA, 2014**). Le manganèse est un oligo-élément essentiel impliqué dans la fonction mitochondriale de réponse au stress oxydatif, la synthèse des neurotransmetteurs (**Pfalzer & Bowman, 2017**). Cependant, des preuves cumulatives ont établi que l'exposition au Mn induit une cirrhose hépatique et des symptômes de type parkinsonien ont été signalés chez des patients empoisonnés au Mn (**O'Neal & Zheng, 2015**). De plus, Mn est venu au premier plan des préoccupations des études en raison de sa neurotoxicité (**Sidoryk-Wegrzynowicz & Aschner, 2013; Tuschl et al., 2013**).

L'EFSA a estimé peu probable que l'exposition alimentaire au Ni entraîne le cancer chez l'homme. Cependant, les effets non cancérigènes sur la santé de l'exposition orale au nickel comprennent des effets sur le système gastro-intestinal, hématologique, neurologique et immunitaire (**EFSA, 2015, 2020**). De plus, le nickel est une cause très fréquente de dermatite de contact allergique (**Zirwas & Molenda, 2009**). L'exposition systémique à long terme au Pb peut causer des dommages aux effets nerveux, squelettiques, enzymatiques, endocriniens, immunitaires, rénaux, cardiovasculaires, reproductifs et développementaux (**Chen et al., 2015**). Le cadmium est classé par l'IARC (**2018**) comme un agent cancérigène du groupe 1. Des études épidémiologiques récentes portant à la fois sur des maladies cancérigènes (**Van Maele-Fabry et al., 2016**) et non cancérigènes telles que le diabète, l'hypertension, le dysfonctionnement rénal et la maladie artérielle périphérique (**Ju et al., 2012; Chen et al., 2015; Liao et al., 2015**) (**Ju et al. 2012 ; Chen et al., 2015 ; Liao et al., 2015**)

IV.6.3 Risque cancérigène et marge d'exposition

Les valeurs RC de Cr, Ni, Pb et Cd dans toute la population issue de la consommation de viande bovine sont présentées dans **le tableau 17**.

La valeur du risque de cancer varie de 1.10^{-6} à 1.10^{-4} , si le RC calculé se situe entre cet intervalle, cela signifie un risque tolérable, cependant si la valeur du RC est inférieure à 10^{-6} est perçue comme n'ayant aucun effet sur la santé et si elle est supérieure à 10^{-4} est considéré comme inacceptable (USEPA, 2021).

Les valeurs les plus élevées déterminées étaient $1,82.10^{-6}$ pour Pb et $3,42.10^{-5}$ pour Cr dans VG, ainsi que la valeur RC de $2,84.10^{-5}$ pour Cd dans VB, tous ces résultats étaient dans le groupe des enfants. De plus, le RC pour Ni était dans la limite de risque en VG (1.10^{-4}) pour le même groupe. Les valeurs RC rapportées par Di Bella et al. (2020) chez la viande bovine pour adulte sont $2, 8.10^{-6}$; $5,1.10^{-6}$; $6,7.10^{-6}$ et $4,7.10^{-8}$ pour Cd, Cr, Ni et Pb respectivement, et de $8,4.10^{-7}$; $1, .10^{-6}$; 2.10^{-6} ; $1,4.10^{-8}$ respectivement, pour les enfants, qui sont dans la limite acceptable. D'autres études ont montré que la valeur RC du Cd et du Pb était supérieure à la plage tolérable de la consommation de viande rouge (mouton, vache et chèvre), en particulier pour le groupe des enfants (Zeinali et al., 2019; Njoga et al., 2021).

Tableau 18: risques de cancer par la consommation de viande bovine.

ML	RC					
	VC		VB		VG	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Cr	$1,51.10^{-5}$	$3,51.10^{-5}$	$1,16.10^{-5}$	$2,68.10^{-5}$	$1,48.10^{-5}$	$3,42.10^{-5}$
Ni	$1,18.10^{-5}$	$2,75.10^{-5}$	$1,08.10^{-5}$	$2,49.10^{-5}$	$4,32.10^{-5}$	1.10^{-4}
Pb	$8,13.10^{-7}$	$1,89.10^{-6}$	$6,33.10^{-7}$	$1,47.10^{-6}$	$7,86.10^{-7}$	$1,82.10^{-6}$
Cd	$1,04.10^{-5}$	$2,42.10^{-5}$	$1,22.10^{-5}$	$2,84.10^{-5}$	$7,69.10^{-6}$	$1,78.10^{-5}$
Σ RC	$3,82.10^{-5}$	$8,86.10^{-5}$	$3,52.10^{-5}$	$8,16.10^{-5}$	$6,65.10^{-5}$	$1,54.10^{-4}$

Dans la présente étude, le risque cumulé de cancer (Σ RC) de ces métaux pour les adultes n'a pas dépassé le seuil de risque dans toutes les viandes crues ou cuites, cependant, chez les enfants, le Σ RC de ces ML était supérieur à la plage acceptable ($1, 54.10^{-4}$), ce qui signifie que le risque de développer un cancer lié à la consommation de viande grillée était préoccupant dans la catégorie des enfants. Le résultat du RC cumulé calculé par Barone et al. (2021) variait entre $0,97.10^{-4}$ et $1,91.10^{-4}$ pour les adultes et entre $2,25.10^{-4}$ et $4,42.10^{-4}$ pour les enfants de la consommation de viande, ce qui signifie que les enfants sont le groupe de population le plus vulnérables aux métaux toxiques.

Les valeurs limites de dose de référence (BMDL) sont utilisées pour déterminer les seuils en dessous desquels le risque pour la santé est considéré comme acceptable faible (**Gruszecka-Kosowska, 2019**) Ainsi, en utilisant l'approche de la marge d'exposition (ME), les valeurs <1 indiquent un risque élevé pour la santé, tandis que les valeurs de $ME >1$ indiquent un faible risque acceptable (**Gruszecka-Kosowska, 2019**).

Les valeurs ME de Pb sont dans le **tableau 18**, dans les échantillons crus les ME sont de 12,54 et 2,70 pour les groupes adultes et enfants respectivement, cependant dans les échantillons cuit sont comprises entre 2,80 et 16,11.

Tableau 19: marge d'exposition par consommation de viande bovine

ME	VC		VB		VG	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Pb	12,54	2,70	16,11	3,47	12,98	2,80

Ces résultats indiquent un risque négligeable pour la santé. le même observation a été rapporté par **Barone et al. (2021)** également dans leur opinion que, lors de l'évaluation de l'exposition, il existe un certain nombre d'incertitudes scientifiques, y compris à la fois techniques (par exemple, la procédure d'échantillonnage, la préparation de l'échantillon, la spéciation chimique des éléments, la variation des valeurs de consommation par régions d'un même pays, contenants alimentaires) et des facteurs biologiques (par exemple, variabilité naturelle de la réponse d'un individu, biodisponibilité des oligo-éléments après ingestion d'aliments, état nutritionnel) qui doivent être pris en compte car cela peut fausser les résultats (**Barone et al., 2021**). En outre, il n'y a aucune preuve d'un seuil en dessous duquel les effets indésirables sont 0% (**WHO, 2010; JECFA, 2011; Malavolti et al., 2020**). En conséquence, d'autres effets indésirables plus subtils peuvent encore se produire, en particulier chez les populations vulnérables telles que les enfants. En effet, le niveau d'exposition aux effets indésirables neurodéveloppementaux est bien inférieur à ceux associés à l'apparition du risque cardiovasculaire et des maladies rénales chroniques (**WHO, 2010; Malavolti et al., 2020**).

PARTIE V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

La présente étude vise à contribuer à l'évaluation des concentrations des éléments métallique essentiels et non essentiels (Fe, Mn, Cr, Ni, Pb et Cd) dans la viande bovine crue et à déterminer l'effet de la cuisson par deux méthodes différentes sèche et humide sur ces métaux. Les résultats ont été estimés en calculant les apports journaliers et hebdomadaires et en les comparant aux valeurs nutritionnelles et toxicologiques recommandées par les agences internationales.

La viande bovine est une source importante de macronutriments, principalement des protéines et des graisses qui font partie intégrante de la consommation alimentaire quotidienne de l'homme. Cet aliment est également un excellent apport en micronutriments (vitamines et minéraux) qui favorisent le bon développement et le maintien des fonctions vitales. D'autre part, ces viandes rouges peuvent contenir certaines concentrations de contaminants chimiques tels que les métaux lourds qui sont considérés comme toxiques en raison de leurs effets néfastes sur la santé humaine.

Les résultats obtenus montrent que les concentrations de Mn, Cr, Ni et Cd dans les échantillons de viande crue sont inférieures aux limites maximales autorisées par la Commission européenne et WHO, tandis que le niveau de Pb est supérieur aux LM recommandées. Ceci indique une accumulation de ce polluant dans les systèmes de production (alimentation et environnement) de l'élevage. Il n'y a pas de concentration maximale pour Fe, car il a une valeur nutritionnelle importante plutôt qu'une valeur toxique.

Cependant, le traitement thermique entraîne une augmentation significative de Fe et Ni, et une diminution significative de Cr par rapport à la viande crue. Les types de cuisson n'ont aucun effet sur la concentration de Mn, Pb et Cd dans les aliments. Cela signifie que l'application de chaleur n'influence pas la teneur en éléments toxiques des viandes. Les résultats du test de Pearson montrent une corrélation négative significative entre Ni et Pb dans les échantillons crus, d'autre part, la présence de corrélations significativement positives entre les éléments essentiels Fe-Cr, Fe-Mn et Cr-Mn dans les échantillons cuits. Aucune corrélation de Pearson n'a été détectée entre les éléments essentiels et non essentiels dans la viande avant et après la cuisson.

Les statistiques de comparaison des apports journaliers et hebdomadaires en ML par rapport à leurs valeurs de référence DNR, DHT, DHTP, DJT, DJTP et BMDL établies par les réglementations EFSA, JECFA, DRI, USEPA et WHO indiquent que l'apport de ces éléments

présents dans la viande bovine crue et cuite ne cause pas d'effets néfastes sur la santé de la population. Selon les résultats de QD de la consommation des métaux individuels et ID de la somme des métaux consommés dans les viandes cuites et crues, la population ne présente pas de risque significatif non cancérigène pour la santé. De plus, nous avons enregistré que la cuisson par ébullition diminuait les valeurs QD et ID.

Les valeurs de risque cancérigène des métaux toxiques déterminées à partir de la consommation de viande bovine par la population montrent que Cr, Pb et Cd sont en dessous de la limite de risque tandis que la consommation de Ni dans la viande grillée peut atteindre la marge de risque chez les enfants. Par ailleurs, nous avons remarqué que l'exposition à un mélange de ces métaux examinés, peut entraîner un risque de développement de cancer chez l'enfant, notamment la viande grillée. Les résultats de la marge d'exposition pour la consommation de viande contenant du Pb indiquent que le risque est très faible pour la population.

En termes de perspectives, d'autres études plus approfondies doivent être envisagées pour enrichir ce travail. Parmi ces études :

- Évaluation des métaux lourds dans d'autres types de viande.
- Évaluation d'autres contaminants chimiques tels que les résidus vétérinaires et de pesticides dans la viande.
- Étude comparative pour l'évaluation des contaminants chimiques dans la viande locale et importée
- Étude microbiologique de l'évaluation de certaines bactéries pathogènes dans les viandes.

**PARTIE VI. REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

- Abd-Elghany, S. M., Zaher, H. A., Elgazzar, M. M., & Sallam, K. I. (2020). Effect of boiling and grilling on some heavy metal residues in crabs and shrimps from the Mediterranean Coast at Damietta region with their probabilistic health risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 93, 103606. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103606>
- Abdel-Salam, N., Ahmed, S., Basir, A., Rais, A. K., Bibi, A., Ullah, R., . . . Hussain, I. (2013). Distribution of heavy metals in the liver, kidney, heart, pancreas and meat of cow, buffalo, goat, sheep and chicken from Kohat market Pakistan. *Life Sci J*, 10(7s), 937-940.
- Abou-Arab, A. A. K. (2001). Heavy metal contents in Egyptian meat and the role of detergent washing on their levels. *Food and Chemical Toxicology*, 39(6), 593-599. doi: [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(00\)00176-9](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(00)00176-9)
- Adams, C. E., & Erdman, J. W. (1988). Effects of home food preparation practices on nutrient content of foods *Nutritional evaluation of food processing* (pp. 557-605): Springer.
- Adebiyi, F. M., Ore, O. T., & Ogunjimi, I. O. (2020). Evaluation of human health risk assessment of potential toxic metals in commonly consumed crayfish (*Palaemon hastatus*) in Nigeria. *Heliyon*, 6(1), e03092. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03092>
- Adeyemi, J. A., Adedire, C. O., Paulelli, A. C., da Cunha Martins, A., Ileke, K. D., & Barbosa, F. (2016). Levels and daily intake of lead (Pb) and six essential elements in gari samples from Ondo State, Southwest Nigeria: A potential risk factor of health status. *Journal of Food Composition and Analysis*, 45, 34-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.09.015>
- Agrawal, J., Sherameti, I., & Varma, A. (2011). Detoxification of heavy metals: state of art. *Detoxification of heavy metals*, 1-34.
- Ahmad, R. S., Imran, A., & Hussain, M. B. (2018). Nutritional composition of meat. *Meat science and nutrition*, 61(10.5772).
- Ainerua, M. O., Erhunmwunse, N., Tongo, I., & Ezemonye, L. (2020). Food toxicity assessment of selected canned foods in Nigeria. *Toxicological Research*, 36(1), 45-58. doi: [10.1007/s43188-019-00001-9](https://doi.org/10.1007/s43188-019-00001-9)
- Ajmone-Marsan, P., Garcia, J. F., & Lenstra, J. A. (2010). On the origin of cattle: How aurochs became cattle and colonized the world. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 19(4), 148-157. doi: <https://doi.org/10.1002/evan.20267>

- Alberti-Fidanza, A., Burini, G., & Perriello, G. (2002). Trace elements in foods and meals consumed by students attending the faculty cafeteria. *Science of The Total Environment*, 287(1), 133-140. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01009-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01009-9)
- Alekseeva, E., & Kolchina, V. (2019). *Amino acid composition of beef obtained from the specialized meat cattle*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Alfaia, C. M., Lopes, A. F., & Prates, J. A. (2013). Cooking and diet quality: A focus on meat *Diet Quality* (pp. 257-284): Springer.
- Alloway, B. J. (2012). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (Vol. 22): Springer Science & Business Media.
- Alturiqui, A. S., & Albedair, L. A. (2012). Evaluation of some heavy metals in certain fish, meat and meat products in Saudi Arabian markets. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38(1), 45-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.08.003>
- Alvito, P., Assunção, R., Louro, H., Silva, M. J., & Vasco, E. (2016). *Food contaminants and human health: challenges in chemical mixtures*: National Institute of Health Doutor Ricardo Jorge.
- Amadou, T. I.-B. A., & Dehamchia, A. (2019). Evaluation des paramètres biochimiques sériques chez les vaches de la race locale.
- Amiard, J.-C., Amiard-Triquet, C., Charbonnier, L., Mesnil, A., Rainbow, P. S., & Wang, W.-X. (2008). Bioaccessibility of essential and non-essential metals in commercial shellfish from Western Europe and Asia. *Food and Chemical Toxicology*, 46(6), 2010-2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.01.041>
- AMSA. (2015). *Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat* (2 ed ed.). Champaign, Illinois USA: American Meat Science Association (AMSA)
- Antoine, J. M. R., Fung, L. A. H., & Grant, C. N. (2017). Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports*, 4, 181-187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.03.006>
- AOAC. (2002). Official method 999.11: Determination of lead, cadmium, copper, iron and zinc in foods. INTERNATIONAL Association of Analytical Communities, doi: <https://img.21food.cn/img/biaozhun/20100108/177/11285282.pdf>

- Appenroth, K.-J. (2010). Definition of “heavy metals” and their role in biological systems *Soil heavy metals* (pp. 19-29): Springer.
- Aranha, T. S. C. P., Oliveira, A., Queiroz, H. M., & Cadore, S. (2016). A fast alkaline treatment for cadmium determination in meat samples. *Food Control*, 59, 447-453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.015>
- Atek, M., Laid, Y., Mezimeche, N., Boutekdjiret, L., Lebcir. (2010). *L'Obésité chez l'adulte de 35 à 70 ans en Algérie*.
- Babaahmadifooladi, M., Jacxsens, L., Van de Wiele, T., Carlos da Silva Júnior, E., & Du Laing, G. (2021). Assessment of bioaccessible and dialyzable fractions of nickel in food products and their impact on the chronic exposure of Belgian population to nickel. *Food Chemistry*, 342, 128210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128210>
- Babo, D. (1998). *Races bovines françaises*: Groupe France Agricole.
- Bahchachi, N., Dahel-Mekhancha, C. C., Rolland-Cachera, M. F., Badis, N., Roelants, M., Hauspie, R., & Nezzal, L. (2016). Courbes de poids et de taille d'enfants et adolescents algériens âgés de 6 à 18 ans. *Archives de Pédiatrie*, 23(4), 340-347. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2015.12.015>
- Bánfalvi, G. (2011). *Cellular effects of heavy metals*: Springer.
- Barone, G., Storelli, A., Quaglia, N. C., Garofalo, R., Meleleo, D., Busco, A., & Storelli, M. M. (2021). Trace Metals in Pork Meat Products Marketed in Italy: Occurrence and Health Risk Characterization. *Biological Trace Element Research*, 199(8), 2826-2836. doi: [10.1007/s12011-020-02417-z](https://doi.org/10.1007/s12011-020-02417-z)
- Bekhouche, G., Nadia. (2011). *Evaluation de la durabilité des exploitations bovines laitières des Bassins de la Mitidja et d'Annaba*. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Meat. *Food chemistry*, 563-616.
- Bendiab, N. (2018). *Analyse de la conduite d'élevage bovin laitier dans la région de Sétif*.
- Benford, D. J. (2013). 8 - Risk assessment of chemical contaminants and residues in foods. In M. Rose & A. Fernandes (Eds.), *Persistent Organic Pollutants and Toxic Metals in Foods* (pp. 173-187): Woodhead Publishing.
- Bhat, R. A., Hakeem, K. R., & Dervash, M. A. (2020). *Bioremediation and Biotechnology, Vol 2: Degradation of Pesticides and Heavy Metals*: Springer.

- Bilandžić, N., Sedak, M., Čalopek, B., Đokić, M., Varenina, I., Kolanović, B. S., . . . Hruškar, M. (2021). Dietary exposure of the adult Croatian population to meat, liver and meat products from the Croatian market: Health risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 95, 103672. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103672>
- Bilandžić, N., Sedak, M., Čalopek, B., Đokić, M., Varenina, I., Solomun Kolanović, B., . . . Roncarati, A. (2020). Evaluation of Element Concentrations in Beef and Pork Meat Cuts Available to the Population in the Croatian Capital. *Foods*, 9(12), 1861.
- Bilandžić, N., Sedak, M., Đokić, M., Varenina, I., Solomun-Kolanović, B., Božić, Đ., . . . Jurković, Z. (2013). Comparative study of iron, magnesium and zinc and daily intakes in certain meats and meat products. *Slovenian Veterinary Research*, 50(3), 103-110.
- Bleam, W. (2017). Chapter 10 - Human Health and Ecological Risk Analysis. In W. Bleam (Ed.), *Soil and Environmental Chemistry (Second Edition)* (pp. 491-533): Academic Press.
- Bollongino, R., Elsner, J., Vigne, J.-D., & Burger, J. (2008). Y-SNPs do not indicate hybridisation between European aurochs and domestic cattle. *PloS one*, 3(10), e3418.
- Bousbia, A., Boudalia, S., Gueroui, Y., Hadded, K., Bouzaoui, A., Kiboub, D., & Symeon, G. (2021). Use of multivariate analysis as a tool in the morphological characterization of the main indigenous bovine ecotypes in northeastern Algeria. *PLOS ONE*, 16(7), e0255153. doi: [10.1371/journal.pone.0255153](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255153)
- Boyles, S., & Pellegrino, J. M. (2009). World beef cattle production. *Agricultural Sciences-Volume I*, 1, 157.
- Bradl, H. B. (2005). Chapter 1 Sources and origins of heavy metals. In H. B. Bradl (Ed.), *Interface Science and Technology* (Vol. 6, pp. 1-27): Elsevier.
- Bradley, D. G., Loftus, R. T., Cunningham, P., & MacHugh, D. E. (1998). Genetics and domestic cattle origins. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 6(3), 79-86. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6505\(1998\)6:3<79::AID-EVAN2>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6505(1998)6:3<79::AID-EVAN2>3.0.CO;2-R)
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Caballero, B. (2005). *Encyclopedia of human nutrition*: Elsevier.

- Cabrera, M. C., & Saadoun, A. (2014). An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Science*, 98(3), 435-444. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.033>
- Cai, J., Li, Y., Liu, S., Liu, Q., Min, x., Zhang, J., . . . Qin, J. (2022). Associations between multiple heavy metals exposure and glycated hemoglobin in a Chinese population. *Chemosphere*, 287, 132159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132159>
- Calkins, C. R., & Sullivan, G. (2007). Ranking of beef muscles for tenderness. *Universidad de Nebraska*, 1-5.
- Casperson, S. L., Conrad, Z., Raatz, S. K., Derner, J., Roemmich, J. N., Jahns, L., & Picklo, M. J. (2020). Impact of beef consumption on saturated fat intake in the United States adult population: Insights from modeling the influences of bovine genetics and nutrition. *Meat Science*, 169, 108225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108225>
- Chang, C.-W., Wang, C.-W., Wu, D.-W., Lee, W.-H., Chen, Y.-C., Liu, Y.-H., . . . Su, H.-M. (2021). Significant association between blood lead (Pb) level and haemoglobin A1c in non-diabetic population. *Diabetes & Metabolism*, 47(5), 101233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2021.101233>
- Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., & Wang, J. (2015). Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of The Total Environment*, 512-513, 143-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025>
- Chen, S.-S., Lin, Y.-W., Kao, Y.-M., & Shih, Y.-C. (2013). Trace elements and heavy metals in poultry and livestock meat in Taiwan. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 6(4), 231-236. doi: [10.1080/19393210.2013.804884](https://doi.org/10.1080/19393210.2013.804884)
- Cohen. (1988). *Differences between correlation coefficients. In: Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2th ed.). United States of America: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cubadda, F., Iacoponi, F., Ferraris, F., D'Amato, M., Aureli, F., Raggi, A., . . . Mantovani, A. (2020). Dietary exposure of the Italian population to nickel: The national Total Diet Study. *Food and Chemical Toxicology*, 146, 111813. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111813>
- Czerwonka, M., & Tokarz, A. (2017). Iron in red meat—friend or foe. *Meat Science*, 123, 157-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.09.012>
- Dasenaki, M. E., Kritikou, A. S., & Thomaidis, N. S. (2017). Chapter 17 - Meat safety: II Residues and contaminants. In F. Toldrá (Ed.), *Lawrie's Meat Science (Ninth Edition)* (pp. 591-626): Woodhead Publishing.

- Davoodi, Z., & Kojouri, G. A. (2015). Mineral, metalloid, and heavy metal status in sheep with clinical coccidiosis. *Comparative Clinical Pathology*, 24(2), 259-262. doi: 10.1007/s00580-014-1886-x
- Devesa, V., Macho, M. L., Jalón, M., Urieta, I., Muñoz, O., Súñer, M. A., . . . Montoro, R. (2001). Arsenic in cooked seafood products: study on the effect of cooking on total and inorganic arsenic contents. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(8), 4132-4140.
- Di Bella, C., Traina, A., Giosuè, C., Carpintieri, D., Lo Dico, G. M., Bellante, A., . . . Ferrantelli, V. (2020). Heavy Metals and PAHs in Meat, Milk, and Seafood From Augusta Area (Southern Italy): Contamination Levels, Dietary Intake, and Human Exposure Assessment. [Original Research]. *Frontiers in Public Health*, 8. doi: 10.3389/fpubh.2020.00273
- Diaconescu, C., Urdes, L., Diaconescu, S., & Popa, D. (2012). Effects of cooking methods on the heavy metal concentrations in the fish meat originating from different areas of Danube River. *J. Anim. Sci*, 55, 265-267.
- Domingo, J. L. (2010). Influence of Cooking Processes on the Concentrations of Toxic Metals and Various Organic Environmental Pollutants in Food: A Review of the Published Literature. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(1), 29-37. doi: 10.1080/10408390903044511
- Domingo, J. L., & Nadal, M. (2016). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat: What about environmental contaminants? *Environmental Research*, 145, 109-115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.031>
- DRI. (2006). *Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements*: National Academies Press.
- EC. (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Off. J. Eur. Union*, 364, 5-24.
- EC. (2021a). COMMISSION REGULATION (EU) 2021/1317 , amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of lead in certain foodstuffs. *Official Journal of the European Union*. doi: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1317/oj>
- EC. (2021b). COMMISSION REGULATION (EU) 2021/1323 of 10 August 2021 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in certain foodstuffs. *Official Journal of the European Union*. doi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32014R0488>

- EC. (2022). amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of mercury in fish and salt Official Journal of the European Union, 115/60. doi: <http://data.europa.eu/eli/reg/2022/617/oj>
- Edwards, C. J., Bollongino, R., Scheu, A., Chamberlain, A., Tresset, A., Vigne, J.-D., . . . Burger, J. (2007). Mitochondrial DNA analysis shows a Near Eastern Neolithic origin for domestic cattle and no indication of domestication of European aurochs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1616), 1377-1385. doi: doi:10.1098/rspb.2007.0020
- EFSA. (2009). Panel on Contaminants in the Food Chain, Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA Journal*, 7(3), 980. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980>
- EFSA. (2010). Panel on Contaminants in the Food Chain, Scientific Opinion on Lead in Food. *European Food Safety Authority (EFSA)*, , 8(4), 1570. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>
- EFSA. (2012). Risk assessment of contaminants in food and feed. *European Food Safety Authority (EFSA) Journal*, 10(10), s1004. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.s1004>
- EFSA. (2014). Panel on Contaminants in the Food Chain, Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. *EFSA Journal*, 12(3), 3595. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3595>
- EFSA. (2015). Panel on Contaminants in the Food Chain Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of nickel in food and drinking water. *EFSA Journal*, 13(2), 4002. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4002>
- EFSA. (2020). Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. *EFSA Journal*, 18(11), e06268. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6268>
- EFSA. (2022). Topics, glossary Retrieved 16/11/2022
- Ekhaton, O. C., Udowelle, N. A., Igbiri, S., Asomugha, R. N., Igweze, Z. N., & Orisakwe, O. E. (2017). Safety Evaluation of Potential Toxic Metals Exposure from Street Foods Consumed in Mid-West Nigeria. *Journal of Environmental and Public Health*, 2017, 8458057. doi: 10.1155/2017/8458057
- EL Bushuty, D., & Shanshan, N. (2018). Effects of some cooking methods and some treatments on the concentrations of heavy metals in meats. *مجلة الاقتصاد المنزلي*, 114-93 ,(34)34.

- Elder, A., Nordberg, G. F., & Kleinman, M. (2015). Chapter 3 - Routes of Exposure, Dose, and Toxicokinetics of Metals**This chapter is based on the chapter Routes of Exposure, Dose, and Metabolism of Metals by W.S. Beckett, G.F. Nordberg, and T.W. Clarkson in the third edition of this handbook. In G. F. Nordberg, B. A. Fowler & M. Nordberg (Eds.), *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* (pp. 45-74). San Diego: Academic Press.
- EPA. (2004). Air quality criteria for particulate matter. Environmental Protection Agency, Citeseer, Princeton.
- Ersoy, B., Yanar, Y., Küçükgülmez, A., & Çelik, M. (2006). Effects of four cooking methods on the heavy metal concentrations of sea bass fillets (*Dicentrarchus labrax* Linne, 1785). *Food Chemistry*, 99(4), 748-751. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.055>
- Faisal, M., Saquib, Q., Alatar, A. A., & Al-Khedhairi, A. A. (2020). *Cellular and Molecular Phytotoxicity of Heavy Metals*: Springer.
- FAOSTAT. (2021a). Food Balances (2014-): Food supply quantity, Bovine Meat 2018. (Publication no. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>). Retrieved 22/07/2021, from Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT)
- FAOSTAT. (2021b). Production: Crops and livestock products, Producing Animals/Slaughtered (Statistics) (Publication no. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>). Retrieved 26/ 11 /2021, from Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT),
- FAOSTAT. (2022). Cultures et produits animaux (Publication no. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>). Retrieved 11/07/2022, from Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT)
- FEEDAP. (2020). Safety and efficacy of Availa®Cr (chromium chelate of DL-methionine) as a feed additive for dairy cows. *EFSA Journal*, 18(2), e06026. doi: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6026>
- Felius, M., Beerling, M.-L., Buchanan, D. S., Theunissen, B., Koolmees, P. A., & Lenstra, J. A. (2014). On the History of Cattle Genetic Resources. *Diversity*, 6(4), 705-750.
- Flora, S. J. S. (2014). Chapter 29 - Metals. In R. C. Gupta (Ed.), *Biomarkers in Toxicology* (pp. 485-519). Boston: Academic Press.
- Font-i-Furnols, M., Čandek-Potokar, M., Maltin, C., & Prevolnik Povše, M. (2015). A handbook of reference methods for meat quality assessment. European Cooperation in Science and Technology (COST): Brussels, Belgium.

- Fu, Z., & Xi, S. (2020). The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 30(3), 167-176. doi: 10.1080/15376516.2019.1701594
- García-Vaquero, M., Miranda, M., Benedito, J. L., Blanco-Penedo, I., & López-Alonso, M. (2011). Effect of type of muscle and Cu supplementation on trace element concentrations in cattle meat. *Food and Chemical Toxicology*, 49(6), 1443-1449. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.03.041>
- Gerba, C. P. (2019). Chapter 29 - Risk Assessment. In M. L. Brusseau, I. L. Pepper & C. P. Gerba (Eds.), *Environmental and Pollution Science (Third Edition)* (pp. 541-563): Academic Press.
- Gerber, N., Scheeder, M. R. L., & Wenk, C. (2009). The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat. *Meat Science*, 81(1), 148-154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.012>
- Gheisari, E., Raissy, M., & Rahimi, E. (2016). The effect of different cooking methods on lead and cadmium contents of shrimp and lobster. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 6(2), 53-58.
- Giovambattista, G., Takeshima, S.-n., Ripoli, M. V., Matsumoto, Y., Franco, L. A. A., Saito, H., . . . Aida, Y. (2013). Characterization of bovine MHC DRB3 diversity in Latin American Creole cattle breeds. *Gene*, 519(1), 150-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.01.002>
- González-Weller, D., Karlsson, L., Caballero, A., Hernández, F., Gutiérrez, A., González-Iglesias, T., . . . Hardisson, A. (2006). Lead and cadmium in meat and meat products consumed by the population in Tenerife Island, Spain. *Food Additives & Contaminants*, 23(8), 757-763. doi: 10.1080/02652030600758142
- Goran, G. V., Tudoreanu, L., Rotaru, E., & Crivineanu, V. (2016). Comparative study of mineral composition of beef steak and pork chops depending on the thermal preparation method. *Meat Science*, 118, 117-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.031>
- Greenwood, P. L. (2021). Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal*, 15, 100295. doi: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100295>
- Gremiachikh, V., Tomilina, I., & Komov, V. (2007). Impact of cooking on the content of fish mercury. *Gigiena i Sanitariia*(6), 64-67.

- Grenager, N. S., Orsini, J. A., Desrochers, A., & de Lahunta, A. (2022). 5.0 Bovine Landscape Figures (1–9). In J. A. Orsini, N. S. Grenager & A. de Lahunta (Eds.), *Comparative Veterinary Anatomy* (pp. 991-1000): Academic Press.
- Grigson, C. (1991). An African origin for African cattle? — some archaeological evidence. *African Archaeological Review*, 9(1), 119-144. doi: 10.1007/bf01117218
- Groeneveld, L. F., Lenstra, J. A., Eding, H., Toro, M. A., Scherf, B., Pilling, D., . . . Consortium, T. G. (2010). Genetic diversity in farm animals – a review. *Animal Genetics*, 41(s1), 6-31. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02038.x>
- Gruszecka-Kosowska, A. (2019). Human Health Risk Assessment and Potentially Harmful Element Contents in the Fruits Cultivated in the Southern Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5096.
- Guo, Z., Chen, P., Yin, L., Zuo, M., Chen, Q., El-Seedi, H. R., & Zou, X. (2022). Determination of lead in food by surface-enhanced Raman spectroscopy with aptamer regulating gold nanoparticles reduction. *Food Control*, 132, 108498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108498>
- Hajeb, P., Sloth, J. J., Shakibazadeh, S., Mahyudin, N. A., & Afsah-Hejri, L. (2014). Toxic Elements in Food: Occurrence, Binding, and Reduction Approaches. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 457-472. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12068>
- Hamilton, E. M., Young, S. D., Bailey, E. H., & Watts, M. J. (2018). Chromium speciation in foodstuffs: A review. *Food Chemistry*, 250, 105-112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.016>
- Hansen, S. L., Spears, J. W., Lloyd, K. E., & Whisnant, C. S. (2006). Feeding a Low Manganese Diet to Heifers During Gestation Impairs Fetal Growth and Development. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4305-4311. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72477-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72477-8)
- Hargin, K. D., & Shears, G. J. (2013). 2 - Regulatory control and monitoring of heavy metals and trace elements in foods. In M. Rose & A. Fernandes (Eds.), *Persistent Organic Pollutants and Toxic Metals in Foods* (pp. 20-46): Woodhead Publishing.
- Hati, S. R. H., Zulianti, I., Achyar, A., & Safira, A. (2021). Perceptions of nutritional value, sensory appeal, and price influencing customer intention to purchase frozen beef: Evidence from Indonesia. *Meat Science*, 172, 108306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108306>

- Heinemeyer, G., Jantunen, M., & Hakkinen, P. (2019). *The practice of consumer exposure assessment*: Springer.
- Heloise. (2012). Combien y a-t-il de filets mignons sur un boeuf?
- Hocquette, J.-F., Cassar-Malek, I., Listrat, A., Jurie, C., Jailler, R., & Picard, B. (2005). Évolution des recherches sur le muscle des bovins et la qualité sensorielle de leur viande. *Cahiers Agricultures*, 14(4), 365-372 (361).
- Holloway, J. W., & Wu, J. (2019a). The Consumer and Extrinsic Meat Character *Red meat science and production* (pp. 1-17): Springer.
- Holloway, J. W., & Wu, J. (2019b). *Red meat science and production, Intrinsic Meat Character*: Springer.
- Huang, Y., Yang, J., Xiao, F., Lloyd, K., & Lin, X. (2016). Effects of Supplemental Chromium Source and Concentration on Growth Performance, Carcass Traits, and Meat Quality of Broilers Under Heat Stress Conditions. *Biological Trace Element Research*, 170(1), 216-223. doi: 10.1007/s12011-015-0443-z
- Hur, S. J., Yoon, Y., Jo, C., Jeong, J. Y., & Lee, K. T. (2019). Effect of Dietary Red Meat on Colorectal Cancer Risk—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 1812-1824. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12501>
- IARC (2018). Red meat and processed meat, Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- IEPA. (2022). Fact Sheet 2: Risk, Cancer Risk Retrieved 19/11/2022
- Ihedioha, J. N., & Okoye, C. O. B. (2013). Dietary intake and health risk assessment of lead and cadmium via consumption of cow meat for an urban population in Enugu State, Nigeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 101-106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.04.010>
- Ihedioha, J. N., Okoye, C. O. B., & Onyechi, U. A. (2014). Health risk assessment of zinc, chromium, and nickel from cow meat consumption in an urban Nigerian population. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 20(4), 281-288. doi: 10.1179/2049396714y.0000000075
- Inobeme, A., Ajai, A., Eziukwu, C., Obingwa, P., Okonkwo, S., & Ekwoba, L. (2020). Effect of cooking methods on heavy metals content of food.
- Jablonska, E., Socha, K., Reszka, E., Wiczorek, E., Skokowski, J., Kalinowski, L., . . . Wasowicz, W. (2017). Cadmium, arsenic, selenium and iron— Implications for tumor progression in breast cancer. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 53, 151-157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.05.014>

- JECFA. (2009). Evaluation of certain food additives and contaminants : sixty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva: World Health Organization.
- JECFA. (2011). Safety evaluation of certain food additives and contaminants: prepared by the Seventy-third meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Geneva: World Health Organization.
- JECFA. (2018). working document for information and use in discussions related to contaminants and toxins in the GSCTF. JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME CODEX COMMITTEE ON CONTAMINANTS IN FOODS.
- JECFA. (2021). WORKING DOCUMENT FOR INFORMATION AND USE IN DISCUSSIONS RELATED TO CONTAMINANTS AND TOXINS IN THE GSCTFF. doi: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-14%252FINFO-DOC%252FCF14_INF01x.pdf
- Jeremiah, L. E., Gibson, L. L., Aalhus, J. L., & Dugan, M. E. R. (2003). Assessment of palatability attributes of the major beef muscles. *Meat Science*, 65(3), 949-958. doi: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00307-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00307-8)
- Jin, Y., Liu, P., Sun, J., Wang, C., Min, J., Zhang, Y., . . . Wu, Y. (2014). Dietary exposure and risk assessment to lead of the population of Jiangsu province, China. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(7), 1187-1195. doi: 10.1080/19440049.2014.918283
- JO n°74. (2014). *CONTAMINANTS TOLÈRES DANS LES DENRÉES ALIMENTAIRES*. Algérie: Ministère du Commerce Algérie - Réglementation.
- JO n° 23. (2006). la méthode de mesurage du PH de la viande et des produits de la viande. *Journal Officiel de la République Algérienne*. doi: <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2006/F2006023.pdf>
- Ju, Y.-R., Chen, W.-Y., & Liao, C.-M. (2012). Assessing human exposure risk to cadmium through inhalation and seafood consumption. *Journal of Hazardous Materials*, 227-228, 353-361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.060>
- Jung, E. Y., Hwang, Y. H., & Joo, S. T. (2016). Muscle profiling to improve the value of retail meat cuts. *Meat Science*, 120, 47-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.012>

- Juric, A. K., Batal, M., David, W., Sharp, D., Schwartz, H., Ing, A., . . . Chan, L. (2018). Risk assessment of dietary lead exposure among First Nations people living on-reserve in Ontario, Canada using a total diet study and a probabilistic approach. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 55-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.09.035>
- Kalli, R., Sofia. (2017). *Approche de la filière lait en Algérie*. ENSA.
- Kalogeropoulos, N., Karavoltos, S., Sakellari, A., Avramidou, S., Dassenakis, M., & Scoullou, M. (2012). Heavy metals in raw, fried and grilled Mediterranean finfish and shellfish. *Food and Chemical Toxicology*, 50(10), 3702-3708. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.07.012>
- Kalu, E., Nwanta, J. A., & Anaga, A. O. (2015). Determination of the presence and concentration of heavy metal in cattle hides singed in Nsukka abattoir. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*, 7(1), 9-17.
- Kebane, N., & Naili, C. (2017). *Typologie des exploitations bovines laitières dans la Wilaya de Tizi-Ouzou (cas de Draa El Mizan)*. Université Mouloud Mammeri.
- Kerth, C. R., & Miller, R. K. (2015). Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(14), 2783-2798. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
- Kikkawa, Y., Amano, T., & Suzuki, H. (1995). Analysis of genetic diversity of domestic cattle in East and Southeast Asia in terms of variations in restriction sites and sequences of mitochondrial DNA. *Biochemical Genetics*, 33(1), 51-60. doi: [10.1007/bf00554558](https://doi.org/10.1007/bf00554558)
- Kılıç, B., Şimşek, A., Claus, J. R., & Atılğan, E. (2014). Encapsulated phosphates reduce lipid oxidation in both ground chicken and ground beef during raw and cooked meat storage with some influence on color, pH, and cooking loss. *Meat Science*, 97(1), 93-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.014>
- Kim, J., Hanotte, O., Mwai, O. A., Dessie, T., Bashir, S., Diallo, B., . . . Kim, H. (2017). The genome landscape of indigenous African cattle. *Genome Biology*, 18(1), 34. doi: [10.1186/s13059-017-1153-y](https://doi.org/10.1186/s13059-017-1153-y)
- Kim, K., Kwon, T., Dessie, T., Yoo, D., Mwai, O. A., Jang, J., . . . Kim, H. (2020). The mosaic genome of indigenous African cattle as a unique genetic resource for African pastoralism. *Nature Genetics*, 52(10), 1099-1110. doi: [10.1038/s41588-020-0694-2](https://doi.org/10.1038/s41588-020-0694-2)

- Kim, K. S., Yeo, J. S., & Choi, C. B. (2002). Genetic diversity of north-east Asian cattle based on microsatellite data. *Animal Genetics*, 33(3), 201-204. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.2002.00848.x>
- Kim, T.-K., Hwang, K.-E., Kim, Y.-B., Jeon, K.-H., Leem, K.-H., & Choi, Y.-S. (2018). Effects of pre-cooking methods on quality characteristics of reheated marinated pork loin. *Food Science of Animal Resources*, 38(5), 970-980.
- Korish, M. A., & Attia, Y. A. (2020). Evaluation of Heavy Metal Content in Feed, Litter, Meat, Meat Products, Liver, and Table Eggs of Chickens. *Animals*, 10(4), 727.
- Lamine, D. M., & Eddine, D. S. (2021). Caractéristiques de l'élevage bovin laitier en Algérie.
- Leite, L. C. S., Melo, E. S. d. P., Arakaki, D. G., dos Santos, E. F., & do Nascimento, V. A. (2020). Human Health Risk Assessment through Roasted Meats Consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6737.
- Li, Y., & Zhang, J. (2021). Exposure to lead and cadmium of the Belgian consumers from ceramic food contact articles. *Toxicology Reports*, 8, 548-556. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.02.015>
- Liang, G., Gong, W., Li, B., Zuo, J., Pan, L., & Liu, X. (2019). Analysis of Heavy Metals in Foodstuffs and an Assessment of the Health Risks to the General Public via Consumption in Beijing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 909.
- Liao, Q. L., Liu, C., Wu, H. Y., Jin, Y., Hua, M., Zhu, B. W., . . . Huang, L. (2015). Association of soil cadmium contamination with ceramic industry: A case study in a Chinese town. *Science of The Total Environment*, 514, 26-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.084>
- Lirón, J. P., Peral-García, P., & Giovambattista, G. (2006). Genetic Characterization of Argentine and Bolivian Creole Cattle Breeds Assessed through Microsatellites. *Journal of Heredity*, 97(4), 331-339. doi: 10.1093/jhered/esl003
- Listrat, A., Leuret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., & Bugeon, J. (2015). Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs?
- Lombardi-Boccia, G., Lanzi, S., & Aguzzi, A. (2005). Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(1), 39-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.10.007>

- Lopes, A. F., Alfaia, C. M. M., Partidário, A. M. C. P. C., Lemos, J. P. C., & Prates, J. A. M. (2015). Influence of household cooking methods on amino acids and minerals of Barrosã-PDO veal. *Meat Science*, 99, 38-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.08.012>
- López-Alonso, M., Miranda, M., Benedito, J. L., Pereira, V., & García-Vaquero, M. (2016). Essential and toxic trace element concentrations in different commercial veal cuts in Spain. *Meat Science*, 121, 47-52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.05.013>
- Lukaski, H. C. (2019). Chapter 2 - Effects of chromium(III) as a nutritional supplement. In J. B. Vincent (Ed.), *The Nutritional Biochemistry of Chromium (III) (Second Edition)* (pp. 61-77): Elsevier.
- Macharáčková, B., Bogdanovičová, K., Ježek, F., Bednář, J., Haruštiaková, D., & Kameník, J. (2021). Cooking loss in retail beef cuts: The effect of muscle type, sex, ageing, pH, salt and cooking method. *Meat Science*, 171, 108270. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108270>
- MADR. (2003). Rapport National sur les Ressources Génétiques Animales: Algérie (pp. 46). Algérie.
- Malavolti, M., Fairweather-Tait, S. J., Malagoli, C., Vescovi, L., Vinceti, M., & Filippini, T. (2020). Lead exposure in an Italian population: Food content, dietary intake and risk assessment. *Food Research International*, 137, 109370. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109370>
- McAfee, A. J., McSorley, E. M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M. W., Bonham, M. P., & Fearon, A. M. (2010). Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Science*, 84(1), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.029>
- McClellan, R. O. (2018). Chapter 1 - Concepts in Veterinary Toxicology. In R. C. Gupta (Ed.), *Veterinary Toxicology (Third Edition)* (pp. 3-36): Academic Press.
- Mennani, A. (2020). *Élevages des ruminants*
- Mohamed, H., Haris, P. I., & Brima, E. I. (2017). Estimated Dietary Intakes of Toxic Elements from Four Staple Foods in Najran City, Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1575.
- Mohamed, H., Haris, P. I., & Brima, E. I. (2019). Estimated dietary intake of essential elements from four selected staple foods in Najran City, Saudi Arabia. *BMC Chemistry*, 13(1), 73. doi: [10.1186/s13065-019-0588-5](https://doi.org/10.1186/s13065-019-0588-5)

- Mwai, O., Hanotte, O., Kwon, Y.-J., & Cho, S. (2015). African indigenous cattle: unique genetic resources in a rapidly changing world. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 28(7), 911.
- Nematollahi, A., Abdi, L., Abdi-Moghadam, Z., Fakhri, Y., Borzoei, M., Tajdar-oranj, B., . . . Mousavi Khaneghah, A. (2021). The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in sausages: a systematic review and meta-analysis study. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 55186-55201. doi: 10.1007/s11356-021-14879-2
- Njoga, E. O., Ezenduka, E. V., Ogbodo, C. G., Ogbonna, C. U., Jaja, I. F., Ofomatah, A. C., & Okpala, C. O. R. (2021). Detection, Distribution and Health Risk Assessment of Toxic Heavy Metals/Metalloids, Arsenic, Cadmium, and Lead in Goat Carcasses Processed for Human Consumption in South-Eastern Nigeria. *Foods*, 10(4), 798.
- Nordberg, G. (2007). *Handbook on the Toxicology of Metals* Third edition Salt Lake City: UT Academic Press.
- Nordberg, G., & Fowler, B. (2019). Exposure, internal dose, and toxicokinetics (TK) *Risk Assessment for Human Metal Exposures* (pp. 31-73).
- O'Neal, S. L., & Zheng, W. (2015). Manganese Toxicity Upon Overexposure: a Decade in Review. *Current Environmental Health Reports*, 2(3), 315-328. doi: 10.1007/s40572-015-0056-x
- OECD/FAO. (2019). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019–2028: Food Agriculture Organization of the United Nations* Paris, France.
- Olmedo, P., Grau-Perez, M., Fretts, A., Tellez-Plaza, M., Gil, F., Yeh, F., . . . Navas-Acien, A. (2017). Dietary determinants of cadmium exposure in the Strong Heart Family Study. *Food and Chemical Toxicology*, 100, 239-246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.12.015>
- Oz, F., Aksu, M. I., & Turan, M. (2017). The Effects of Different Cooking Methods on Some Quality Criteria and Mineral Composition of Beef Steaks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13008. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13008>
- Oz, F., & Celik, T. (2015). Proximate Composition, Color and Nutritional Profile of Raw and Cooked Goose Meat with Different Methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2442-2454. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12494>
- Oz, F., Kızıl, M., Zaman, A., & Turhan, S. (2016). The effects of direct addition of low and medium molecular weight chitosan on the formation of heterocyclic

- aromatic amines in beef chop. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 861-867. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.023>
- Özcan, A. U., & Bozkurt, H. (2015). Physical and Chemical Attributes of a Ready-to-Eat Meat Product during the Processing: Effects of Different Cooking Methods. *International Journal of Food Properties*, 18(11), 2422-2432. doi: 10.1080/10942912.2014.982256
- Pajarillo, E. A. B., Lee, E., & Kang, D.-K. (2021). Trace metals and animal health: Interplay of the gut microbiota with iron, manganese, zinc, and copper. *Animal Nutrition*, 7(3), 750-761. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.03.005>
- Pathare, P. B., & Roskilly, A. P. (2016). Quality and Energy Evaluation in Meat Cooking. *Food Engineering Reviews*, 8(4), 435-447. doi: 10.1007/s12393-016-9143-5
- Perello, G., Marti-Cid, R., Llobet, J. M., & Domingo, J. L. (2008). Effects of various cooking processes on the concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in foods. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(23), 11262-11269.
- Pfalzer, A. C., & Bowman, A. B. (2017). Relationships between essential manganese biology and manganese toxicity in neurological disease. *Current environmental health reports*, 4(2), 223-228.
- Pilarczyk, R. (2014). Concentrations of Toxic and Nutritional Essential Elements in Meat from Different Beef Breeds Reared under Intensive Production Systems. *Biological Trace Element Research*, 158(1), 36-44. doi: 10.1007/s12011-014-9913-y
- Pistón, M., Suárez, A., Bühl, V., Tissot, F., Silva, J., & Panizzolo, L. (2020). Influence of cooking processes on Cu, Fe, Mn, Ni, and Zn levels in beef cuts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 94, 103624. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103624>
- Pitt, D., Sevane, N., Nicolazzi, E. L., MacHugh, D. E., Park, S. D. E., Colli, L., . . . Orozco-terWengel, P. (2019). Domestication of cattle: Two or three events? *Evolutionary Applications*, 12(1), 123-136. doi: <https://doi.org/10.1111/eva.12674>
- Planche, C., Ratel, J., Blinet, P., Mercier, F., Angénieux, M., Chafey, C., . . . Engel, E. (2017). Effects of pan cooking on micropollutants in meat. *Food Chemistry*, 232, 395-404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.049>

- Polak-Juszczak, L., & Podolska, M. (2021). Mineral and toxic metal composition in three commercial species of Gadidae. *Journal of Food Composition and Analysis*, 95, 103658. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103658>
- Purchas, R. W., Simcock, D. C., Knight, T. W., & Wilkinson, B. H. P. (2003). Variation in the form of iron in beef and lamb meat and losses of iron during cooking and storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(7), 827-837. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00732.x>
- Purchas, R. W., Wilkinson, B. H. P., Carruthers, F., & Jackson, F. (2014). A comparison of the nutrient content of uncooked and cooked lean from New Zealand beef and lamb. *Journal of Food Composition and Analysis*, 35(2), 75-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.04.008>
- Purslow, P. P. (2017). Chapter 3 - The structure and growth of muscle. In F. Toldrá (Ed.), *Lawrie's Meat Science (Ninth Edition)* (pp. 51-103): Woodhead Publishing.
- Qashqai, H., Amanlou, H., Farahani, T. A., Farsuni, N. E., & Bakhtiary, M. K. (2020). Effects of supplemental manganese on ovarian cysts incidence and reproductive performance in early lactation Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114660. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114660>
- Rahal, O., Aissaoui, C., Ata, N., Yilmaz, O., Cemal, I., Ameer Ameer, A., & Gaouar, S. (2021). Genetic characterization of four Algerian cattle breeds using microsatellite markers. *Animal Biotechnology*, 32(6), 699-707.
- Rahmani, M. M., Hamiroune, M., & Berber, A. Caractérisations morphologique et biométrique de bovins mâles Bruns de l'Atlas en Algérie.
- Rather, I. A., Koh, W. Y., Paek, W. K., & Lim, J. (2017). The Sources of Chemical Contaminants in Food and Their Health Implications. [Mini Review]. *Frontiers in Pharmacology*, 8. doi: [10.3389/fphar.2017.00830](https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00830)
- Reartes, G. A., Di Paola Naranjo, R. D., Eynard, A. R., & Muñoz, S. E. (2016). Cooking methods and the formation of PhIP (2-Amino, 1-methyl, 6-phenylimidazo[4,5-b] pyridine) in the crust of the habitually consumed meat in Argentina. *Food and Chemical Toxicology*, 92, 88-93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.03.026>
- Rege, J. E. O. (1999). The state of African cattle genetic resources I. Classification framework and identification of threatened and extinct breeds. *Animal Genetic Resources Information*, 25, 1-25. doi: [10.1017/s1014233900003448](https://doi.org/10.1017/s1014233900003448)
- Roldán, M., Antequera, T., Pérez-Palacios, T., & Ruiz, J. (2014). Effect of added phosphate and type of cooking method on physico-chemical and sensory

- features of cooked lamb loins. *Meat Science*, 97(1), 69-75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.012>
- Rosenfeld, P. E., & Feng, L. G. H. (2011). 14 - Introduction to Human Exposure, Toxicology, and Risk Assessment. In P. E. Rosenfeld & L. G. H. Feng (Eds.), *Risks of Hazardous Wastes* (pp. 185-199). Boston: William Andrew Publishing.
- Rudy, M. (2010). Chemical composition of wild boar meat and relationship between age and bioaccumulation of heavy metals in muscle and liver tissue. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 27(4), 464-472. doi: 10.1080/19440040903493785
- Saraiva, M., Chekri, R., Guérin, T., Sloth, J. J., & Jitaru, P. (2021). Chromium speciation analysis in raw and cooked milk and meat samples by species-specific isotope dilution and HPLC-ICP-MS. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 38(2), 304-314. doi: 10.1080/19440049.2020.1859144
- Schibler, J., Elsner, J., & Schlumbaum, A. (2014). Incorporation of aurochs into a cattle herd in Neolithic Europe: single event or breeding? *Scientific Reports*, 4(1), 5798. doi: 10.1038/srep05798
- Schrenk. (2012). *Chemical contaminants and residues in food*. Sawston, Cambridge CB22 3HJ, UK Woodhead
- Schrenk, D., & Cartus, A. (2017). *Chemical contaminants and residues in food*: Woodhead Publishing.
- Scoullou, M. J., Vonkeman, G. H., Thornton, I., & Makuch, Z. (2012). *Mercury—cadmium—lead handbook for sustainable heavy metals policy and regulation* (Vol. 31): Springer Science & Business Media.
- Semara, L., Mouffok, C., & Madani, T. (2013). Livestock Farming Systems and Cattle Production Orientation in Eastern High Plains of Algeria, Cattle Farming System in Algerian Semi-Arid Region.
- Serrano, A., Librelotto, J., Cofrades, S., Sánchez-Muniz, F. J., & Jiménez-Colmenero, F. (2007). Composition and physicochemical characteristics of restructured beef steaks containing walnuts as affected by cooking method. *Meat Science*, 77(3), 304-313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.017>
- Shahinfar, H., Amini, M. R., Sheikhsossein, F., Djafari, F., Jafari, A., & Shab-Bidar, S. (2020). The effect of chromium supplementation on apolipoproteins: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 34-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.09.003>

- Sharafi, K., Yunesian, M., Mahvi, A. H., Pirsaeheb, M., Nazmara, S., & Nabizadeh Nodehi, R. (2019). Advantages and disadvantages of different pre-cooking and cooking methods in removal of essential and toxic metals from various rice types- human health risk assessment in Tehran households, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 175, 128-137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.056>
- Siad, O., Deghnouche, K., Andrighetto, I., Contiero, B., Marchesini, G., Bedjaoui, H., . . . Cortese, M. (2022). Traits of intensive livestock systems in Algerian steppe territories. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 41-50.
- Sidoryk-Wegrzynowicz, M., & Aschner, M. (2013). Manganese toxicity in the central nervous system: the glutamine/glutamate- γ -aminobutyric acid cycle. *Journal of Internal Medicine*, 273(5), 466-477. doi: <https://doi.org/10.1111/joim.12040>
- Singh, P., Singh, R. P., & Srivastava, V. (2020). *Contemporary environmental issues and challenges in era of climate change*: Springer.
- Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., & Gupta, R. (2011). Heavy metals and living systems: An overview. *Indian journal of pharmacology*, 43(3), 246.
- Smith, D. J., & Kim, M. (2017). Chapter 18 - Chemical Contamination of Red Meat. In D. Schrenk & A. Cartus (Eds.), *Chemical Contaminants and Residues in Food (Second Edition)* (pp. 451-489): Woodhead Publishing.
- Sobral, M. M. C., Cunha, S. C., Faria, M. A., & Ferreira, I. M. (2018). Domestic Cooking of Muscle Foods: Impact on Composition of Nutrients and Contaminants. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2), 309-333. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12327>
- Soylak, M., Tuzen, M., Narin, I., & Sari, H. (2004). Comparison of microwave, dry and wet digestion procedures for the determination of trace metal. *Journal of Food and Drug Analysis*, 12(3), 254-258.
- Spears, J. W. (2019). Boron, Chromium, Manganese, and Nickel in Agricultural Animal Production. *Biological Trace Element Research*, 188(1), 35-44. doi: [10.1007/s12011-018-1529-1](https://doi.org/10.1007/s12011-018-1529-1)
- Sraïri, M. T., Benyoucef, M. T., & Kraiem, K. (2013). The dairy chains in North Africa (Algeria, Morocco and Tunisia): from self sufficiency options to food dependency? SpringerPlus, 2(1), 162. doi: [10.1186/2193-1801-2-162](https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-162)
- Stock, F., & Gifford-Gonzalez, D. (2013). Genetics and African Cattle Domestication. *African Archaeological Review*, 30(1), 51-72. doi: [10.1007/s10437-013-9131-6](https://doi.org/10.1007/s10437-013-9131-6)

- Suleman, R., Wang, Z., Aadil, R. M., Hui, T., Hopkins, D. L., & Zhang, D. (2020). Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects. *Meat Science*, 167, 108172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108172>
- Susanti, R., Widiyastuti, K., Yuniastuti, A., & Fibriana, F. (2020). Feed and Water Management May Influence the Heavy Metal Contamination in Domestic Ducks from Central Java, Indonesia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(4), 177. doi: [10.1007/s11270-020-04559-1](https://doi.org/10.1007/s11270-020-04559-1)
- Temizkan, M. C., Bayraktaroglu, A. G., & Kahraman, T. (2019). Differential expression analysis of meat tenderness governing genes in different skeletal muscles of bovines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3240-3245. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9434>
- Thompson, L. A., & Darwish, W. S. (2019). Environmental Chemical Contaminants in Food: Review of a Global Problem. *Journal of Toxicology*, 2019, 2345283. doi: [10.1155/2019/2345283](https://doi.org/10.1155/2019/2345283)
- Tomović, V. M., Vujadinović, D. D., Grujić, R. P., Jakanović, M. R., Kevrešan, Ž. S., Škaljac, S. B., . . . Hromiš, N. M. (2015). Effect of Endpoint Internal Temperature on Mineral Contents of Boiled Pork Loin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1854-1858. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12422>
- Tunca, E., Ucuncu, E., Ozkan, A. D., Ulger, Z. E., & Tekinay, T. (2013). Tissue distribution and correlation profiles of heavy-metal accumulation in the freshwater crayfish *Astacus leptodactylus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 64(4), 676-691.
- Tuschl, K., Mills, P. B., & Clayton, P. T. (2013). Chapter Twelve - Manganese and the Brain. In K. P. Bhatia & S. A. Schneider (Eds.), *International Review of Neurobiology* (Vol. 110, pp. 277-312): Academic Press.
- Ullah, A. K. M., Akter, M., Musarrat, M., & Quraishi, S. B. (2019). Evaluation of Possible Human Health Risk of Heavy Metals from the Consumption of Two Marine Fish Species *Tenualosa ilisha* and *Dorosoma cepedianum*. *Biological Trace Element Research*, 191(2), 485-494. doi: [10.1007/s12011-018-1616-3](https://doi.org/10.1007/s12011-018-1616-3)
- Ullah, A. K. M. A., Maksud, M. A., Khan, S. R., Lutfu, L. N., & Quraishi, S. B. (2017). Dietary intake of heavy metals from eight highly consumed species of cultured fish and possible human health risk implications in Bangladesh. *Toxicology Reports*, 4, 574-579. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.10.002>
- UNECE, G. (2004). Viande bovine: carcasses et decoupes.

- USDA. (2014). China's maximum levels for contaminants in foods. USDA Foreign Agricultural Service GAIN Report CH14058, USDA Foreign Agricultural Service, Global Agricultural Information Network.
- USDA. (2019). USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Legacy Release. Retrieved from doi:<https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-national-nutrient-database-standard-reference-legacy-release>
- USEPA. (2008). Manganese Compound. from USEPA,
- USEPA. (2021). Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables. (Publication no. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>). Retrieved 13/12/2021, from United States Environmental Protection Agency (USEPA)
- Van Maele-Fabry, G., Lombaert, N., & Lison, D. (2016). Dietary exposure to cadmium and risk of breast cancer in postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 86, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.003>
- Vanidassane, I., Malik, P., Gupta, P., Sharma, J., Kumar, S., Gunasekar, S., . . . Ramavath, D. (2021). P54. 04 A study to determine the association of trace elements and heavy metals with lung cancer and their correlation with smoking. *Journal of Thoracic Oncology*, 16(3), S531.
- Vasanthi, C., Venkataramanujam, V., & Dushyanthan, K. (2007). Effect of cooking temperature and time on the physico-chemical, histological and sensory properties of female carabeef (buffalo) meat. *Meat Science*, 76(2), 274-280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.018>
- Wang, C., Duan, H.-Y., & Teng, J.-W. (2014). Assessment of Microwave Cooking on the Bioaccessibility of Cadmium from Various Food Matrices Using an In Vitro Digestion Model. *Biological Trace Element Research*, 160(2), 276-284. doi: [10.1007/s12011-014-0047-z](https://doi.org/10.1007/s12011-014-0047-z)
- WHO. (1991). Nickel, Nickel Carbonyl, and some Nickel Compounds Health and Safety Guide 62. World Health Organization.
- WHO. (2009). *Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food*: World Health Organization.
- WHO. (2010). Childhood lead poisoning. World Health Organization.
- WHO. (2014). *WHO Expert Committee on Biological Standardization: Sixty-Third Report* (Vol. 980): World Health Organization.

- WHO. (2021). Manganese in drinking water: background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality: World Health Organization.
- Wicks, J., Beline, M., Gomez, J. F. M., Luzardo, S., Silva, S. L., & Gerrard, D. (2019). Muscle energy metabolism, growth, and meat quality in beef cattle. *Agriculture*, 9(9), 195.
- Yahimi, A., Djellata, N., & Hanzen, C. (2021). Quelques caractéristiques morphométriques et de reproduction des taureaux de race Brune de l'Atlas en Algérie. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 74(2), 127-134.
- Yancey, J. W. S., Wharton, M. D., & Apple, J. K. (2011). Cookery method and end-point temperature can affect the Warner–Bratzler shear force, cooking loss, and internal cooked color of beef longissimus steaks. *Meat Science*, 88(1), 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.020>
- Yang, T., Wang, X., Wen, M., Zhao, H., Liu, G., Chen, X., . . . Jia, G. (2021). Effect of manganese supplementation on the carcass traits, meat quality, intramuscular fat, and tissue manganese accumulation of Pekin duck. *Poultry Science*, 100(5), 101064. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101064>
- Yates, A. A., Schlicker, S. A., & Suitor, C. W. (1998). Dietary Reference Intakes: The New Basis for Recommendations for Calcium and Related Nutrients, B Vitamins, and Choline. *Journal of the American Dietetic Association*, 98(6), 699-706. doi: [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(98\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(98)00160-6)
- Yuan, X., Wang, J., Shang, Y. e., & Sun, B. (2014). Health risk assessment of cadmium via dietary intake by adults in China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(2), 373-380. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6394>
- Zaidi, A., Wani, P. A., & Khan, M. S. (2012). *Toxicity of heavy metals to legumes and bioremediation*: Springer.
- Zar, J. H. (1996). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.
- Zeinali, T., Salmani, F., & Naseri, K. (2019). Dietary Intake of Cadmium, Chromium, Copper, Nickel, and Lead through the Consumption of Meat, Liver, and Kidney and Assessment of Human Health Risk in Birjand, Southeast of Iran. *Biological Trace Element Research*, 191(2), 338-347. doi: [10.1007/s12011-019-1637-6](https://doi.org/10.1007/s12011-019-1637-6)
- Zirwas, M. J., & Molenda, M. A. (2009). Dietary nickel as a cause of systemic contact dermatitis. *The Journal of clinical and aesthetic dermatology*, 2(6), 39.

Zoroddu, M. A., Aaseth, J., Crisponi, G., Medici, S., Peana, M., & Nurchi, V. M. (2019). The essential metals for humans: a brief overview. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 195, 120-129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013>

HEALTH RISK ASSESSMENT OF THE EFFECT OF TWO COOKING METHODS (BOILING AND GRILLING) ON THE CONTENTS OF SOME POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN BEEF MEAT CONSUMED BY THE ALGERIAN POPULATION

Amel Sidi-Ikhlef¹, Kaddour Ziani^{1,*}, Kahled Kahloula¹, Meriem Mokhtar², Djallal Eddine Houari Adli¹, Marcos Perez-Lopez³, Kadda Hachem¹

¹Laboratory of Biototoxicology, Pharmacognosy and Biological Valorization of Plants, Department of Biology, University Dr. Taher Moulay of Saida, BP. 138. 20 000 Saida, Algeria

²Laboratory of Beneficial Microorganisms, Functional Food and Health (LMBAFS), University of Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem 27000, Algeria

³Toxicology Unit, Faculty of Veterinary Medicine, University of Extremadura, Avda de la Universidad s/n, 10003 Caceres, Spain

ABSTRACT

Beef meat contains a wide range of potentially toxic elements (PTEs); some of these are essential such as iron (Fe), chromium (Cr), and manganese (Mn), while others are non-essential, such as lead (Pb), nickel (Ni) and cadmium (Cd). This paper aimed to evaluate the effect of two kinds of cooking (grilling and boiling) on some PTEs in beef meat consumed in Saida city, Algeria, as well as the assessment of potential health risks related to the consumption of beef meat contaminated with such metals. The samples ($n=21$) were collected from the main butchers in Saida city to determine the levels of these trace elements using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS). The trend of PTEs levels in analyzed raw samples was $Cd < Ni < Pb$ and $Mn < Cr < Fe$, respectively. Except for Pb, the concentrations of major studied metals were below the recommended maximum acceptable levels proposed by national and international regulations. However, the PTEs concentrations in beef meat indicated significant variation between raw and cooked meat and even among cooking procedures. Human risk assessment results showed that consuming boiled meat by the Algerian population reduced the probabilistic health risks compared with raw meat. Meanwhile, the results indicated that the Target Hazard Quotient (THQ) and Hazard Index (HI) values were less than 1. However, in children, the Target Cancer Risks (ΣTCR) of these metals were higher than the unacceptable range suggesting that the cancer risk from consuming grilled meat is considerable.

KEYWORDS:

Assessment, Beef meat, Cooking methods, Essential elements, Health risk, Toxic element

INTRODUCTION

Meat is a nutrient-rich source of proteins, amino acids, omega-3 fatty acids, and B vitamins [1]. Furthermore, beef consumption provides qualitatively and quantitatively to the mineral requirements of human nutrition. Trace elements in food can originate from the natural source in the earth's crust. In some cases, anthropogenic activity has increased rapidly, which is the leading cause of environmental pollution by heavy metals [2]. These metals interact with ecosystems and can be in many ways transferred to animals, such as contaminated water, industrial waste, and polluted air [3]. Consequently, contamination routes can lead to the bioaccumulation of chemicals in meat.

Although a few studies in Algeria have appraised PTEs in uncooked and cooked meat rather than in water, sediment, and the environment [4], hence, cooking processes effects on the levels of minerals and toxic elements in foods should not be discounted, in most investigations of dietary intake of chemicals pollutants, food analyses were carried out on raw meat. However, usually, beef meat is consumed after cooking.

For this purpose, this study was carried out to investigate the content of some essential PTEs (Fe, Cr, and Mn) and non-essential PTEs (Pb, Cd, and Ni) by graphite furnace atomic absorption spectrophotometry (GF-AAS) in uncooked and cooked beef meat. Thus, recommended daily allowance and tolerable upper levels judge monitoring the quality of this food and its safety for human consumption. We selected two kinds of cooking: dry heat (grilling) and wet heat (boiling), the most used in Algeria. In the same context, we assess the potential health risks related to the consumption of this meat by the Algerian population.

MATERIALS AND METHODS

Chemicals and reagents. All reagents and standards were supplied by Sigma-Aldrich and were high purity grade (> 90%), including 37% hydrochloric acid (HCl) 65% nitric acid (HNO₃). All aqueous solutions and dilutions were prepared using deionized water. All laboratory plastic and glassware equipment were washed with dilute HNO₃, then rinsed with deionized water and air-dried prior to each analytical run.

Samples collection. All raw samples used in this study came from *Longissimus thoracis*, and *Longissimus lumborum* dissected from both halves of the carcass (right and left) from each animal. The collected samples were purchased from different butchers in Saida city (Northern-west of Algeria). After collection, pieces were individually packed into a sterile plastic bag, kept in an icebox (-4°C) during their transportation to the laboratory, and stored at -20°C until analysis. The muscles were divided into three parts and were analyzed before and after cooking.

Cooking Processes (Boiling and grilling). Meat samples (100g) were sliced into small pieces of 1.5 cm thickness then subjected to the cooking treatments [5, 6]. The slices were weighed before and after cooking, following a 20 min rest period at room temperature. For boiling samples, meat slices were packed individually in a water-impermeable polyethylene bag and immersed in a water bath (Memmert, Germany) at 81°C for 40 min [6]. After that, the sample was removed and allowed to cool at room temperature. For cooking by grilling, the prepared cuts were grilled individually in a separate grilling pan in the oven at 200°C for 9 min [7].

Sample preparation. Muscle tissues were cleaned from excess fat and connective tissues using a clean ceramic knife, then chopped and homogenized using a blender. After that, 10-20 g of homogenate were weighed into a porcelain crucible and dried in an oven at 105°C for 24h to obtain a constant weight [8].

The dry mineralization method was used to determine heavy metal contents in beef samples as described by AOAC [8]. Briefly, the pieces were ashed in a muffle furnace (Nabertherm, L3/11/C6, Germany) at 450 °C under a gradual temperature for 8-12h until the ash had a grey-white appearance. The ash was dissolved in 5 ml of 6 mol L⁻¹ HCl, and the obtained solution evaporated to dryness. After digestion and cooling, the final residue was transferred into a volumetric flask and diluted to a final volume of 10-30 ml with 0.1 mol L⁻¹ HNO₃ with deionized water.

Standard solutions preparation. The standard solutions of Pb, Cd, Ni, Mn, Cr and Fe used in the experiments were prepared by diluting their appropriate reference stock solutions (1000 ppm) obtained from the supplier for the atomic absorption spectroscopy instrument. Calibration curves of the tested elements were developed by plotting the absorbance of metal ion standard concentration.

Mineral contents determination. Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, and Ni concentrations in the samples were determined by a Shimadzu Model AA-7000 atomic absorption spectrometer (Tokyo, Japan) equipped with a background correction system employing a continuum source, a GFA-EX7 electrothermal atomizer, and an ASC-7000 auto-sampler. L'vov graphite tubes (Shimadzu, Tokyo, Japan) were used in all experiments.

Health Risk Assessment. Intake estimation risk assessment parameters. The estimated intakes (EIs) of PTEs depended on their concentrations in samples and the associated amount of meat consumption. The EIs of each element was determined by the following equation (1) [3, 9].

$$EDI = \frac{C \times FIR}{BW} \quad (1)$$

EDI is the estimated daily intake (mg kg⁻¹ day⁻¹), C is the mean concentration of metals in meat samples (mg kg⁻¹ (w.w) wet weight basis), FIR is the food ingestion rate. However, according to FAO-STAT [10], the FIR for beef in Algeria is 12.71 g day⁻¹. The average body weight (BW) of the Algerian population is 69.6 kg for adults [11] and (30 kg) for a child [12].

The calculated EDI values were then compared to the reference values in Table 3. Tolerable Daily Intake (TDI), RAD, BMDL, Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI), Tolerable Weekly Intake (TWI), PTDI, and Provisional Maximum Tolerable Daily Intake (PMDI), which were used for the exposure assessment, can give the amounts of metals which can be ingested daily or weekly over a lifetime without appreciable health risk and provide a preliminary evaluation of non-carcinogenic risks to public health resulting from consumption of these PTEs, as established by EFSA, the joint (FAO/WHO) expert committee on Food Additives (JECFA), World Health Organization (WHO) and National Academy of Sciences on dietary reference intakes.

Non-cancer risk assessment parameters. The non-carcinogenic risks related to heavy metal exposure through consumption of beef meat was assessed by calculating the Target Hazard Quotient (THQ) and hazard index (HI) according to Equations (Eq. 2 & 3) [9, 13].

$$THQ = \left(\frac{EF \times ED \times FIR \times C}{RfD \times BW \times AT} \right) \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$HI = \sum THQ = THQ_{Pb} + THQ_{Cd} + THQ_{Ni} + THQ_{Cr} + THQ_{Mn} + THQ_{Fe} \quad (3)$$

Where, EF is exposure frequency (365 days/year); ED is the exposure duration equivalent to the average lifetime in Algeria; the ED used in this study were 9 years (children 6 to 12 years) and 53 years (adult 35 to 70 years) [11, 12]. FIR is food ingestion rate; C is the mean concentration of metals in meat samples; RfD is the oral reference dose in $\text{mg kg}^{-1} \text{day}^{-1}$; $Cd = 1.0 \times 10^{-3}$; $Cr = 3 \times 10^{-3}$; $Ni = 2 \times 10^{-2}$; $Pb = 4.0 \times 10^{-3}$; $Mn = 1,4 \times 10^{-1}$; $Fe = 7.0 \times 10^{-1}$ [14]; BW is bodyweight and AT is the averaging exposure time for non-carcinogens (365 days/year \times ED). The HI equals the sum THQ of individual PTEs (Eq. 3).

Carcinogenic Risk Assessment. Potential cancer risks associated with the studied meat through intake of carcinogenic heavy metals (Pb, Cd, and Cr) can be estimated using the Target Cancer Risk (TCR) by the Eq. (4).

$$TCR = CDI \times CSF \quad (4)$$

Where CSF is the carcinogenic slope factor of $8,5 \times 10^{-3}$, 6.3, 9.1×10^{-1} and $5 \times 10^{-1} \text{mg kg}^{-1} \text{day}^{-1}$ for Pb, Cd, Ni, and Cr, respectively [14, 15].

CDI is the chronic daily intake of carcinogens ($\text{mg kg}^{-1} \text{day}^{-1}$); it represents the lifetime average daily dose of exposure to the chemical. The CDI value was calculated based on Eq. (5)

$$CDI = EDI \times EF \times \frac{ED_{tot}}{AT} \quad (5)$$

Where EDI is the estimated daily intake, EF is the exposure frequency (365 days/year), ED_{tot} is the exposure duration (53 years), equivalent to the average lifetime, AT is the averaging exposure time for non-carcinogens (365 days/year \times ED).

Usually, the TCR between 10^{-6} (risk of developing cancer over a human lifetime is 1 in 1,000,000) and 10^{-4} (risk of developing cancer over a human lifetime is 1 in 10,000) is considered an acceptable range, while a value more than 10^{-4} involves a severe potential health risk [15, 16].

Calculations and statistical methods. Results were expressed as the sample mean \pm SE (Standard Error), and the level of statistical significance was defined as $P < 0.05$. The normality of the data distribution was previously assessed using the Shapiro-Wilk test. According to this later, the obtained data of Mn, Ni, Pb, and Cd did not fulfill the requirements for this test (except for Fe and Cr). Therefore, the Kruskal-Wallis one-way ANOVA (non-parametric test), followed by the post-hoc Dunn's multiple comparisons, was applied to data that did not follow a normal distribution. Then, the Mann-Whitney test (t-test for non-parametric values) was applied for pairwise comparisons between the different cooking methods [17]. The non-parametric Pearson's test was developed to establish correlations among the

different PTEs, which could be strong ($r > 0.5$), moderate ($r = 0.3-0.5$), or weak ($r = 0.1-0.3$) [18]. 95% interval confidence was considered. All the descriptive statistics and graphical exploitation to describe the results of different sets were processed with Prism 6.00 for Windows (GraphPad Software, La Jolla, California, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

Metals contents in beef meat. The mean \pm SD values of both concentrations of essential and non-essential PTEs in analyzed beef are given in Figure 1. In raw meat, the order of non-essential and essential PTEs contents was $Cd < Ni < Pb$ and $Mn < Cr < Fe$, respectively. Furthermore, the high values of Cr ($0.166 \pm 0.0281 \text{mg kg}^{-1}$) and Pb ($0.524 \pm 0.0313 \text{mg kg}^{-1}$) were detected in raw meat. In addition, the highest levels of Fe ($8.18 \pm 1.94 \text{mg kg}^{-1}$), Ni ($0.260 \pm 0.367 \text{mg kg}^{-1}$), in grilled meat and Mn ($0.0674 \pm 0.108 \text{mg kg}^{-1}$), Cd ($0.0106 \pm 0.00754 \text{mg kg}^{-1}$) were recorded in boiled meat, and Cd respectively.

According to World Health Organization (WHO) [19], European Commission [20] and Clever and Jie [21], the maximum authorized limits for these PTEs in meat are: 0.05mg kg^{-1} of Cd, $0,1 \text{mg kg}^{-1}$ of Pb, 1mg kg^{-1} of Cr and 0.5mg kg^{-1} of Ni wet weight basis. The mean levels of Cd, Ni, and Cr for the raw samples were below the MRLs in our study. Meanwhile, the mean concentration of Pb in uncooked samples in this work was 5-fold above the accepted limits.

We observed that the amount of Fe in meat analyzed was commonly inconsistent with values given in food composition tables [22]. Iron in bovine meat ranged from 14 to 29mg kg^{-1} [23]. According to the scientific literature, supplementation livestock feed with essential elements such as Fe, Mn, and Cr is a common approach to ensure that the meat contains the highest amount of these elements [24]. In contrast, non-essential PTEs, including Pb, Ni, and Cd, play no beneficial role in living organisms. However, our study revealed a high amount of Pb in beef, which could be explained by the presence of a higher amount of this metal in feeds used for farm animals, especially in mineral compounds [24].

Effects of cooking on essential PTEs. The effect of cooking is marked in the amounts of Fe and Cr and not in the Mn (Figure 1). The boiling process significantly increases Fe ($P = 0.017$) and Cr ($P = 0.007$) in beef meat. Then Table 1 represents the correlation matrix between the PTEs present in cooked and uncooked samples. No Pearson's correlation was detected between the essential PTEs in

raw meat. Interestingly, by appraising the relationship among essential PTEs in cooked samples, we show that there are positive and weak significant correlations between some pairs Fe-Cr ($r = 0.777$, $P = 0.040$), Fe-Mn ($r = 0.804$, $P = 0.029$), and Mn-Cr ($r = 0.824$, $P = 0.023$) in boiled meat. In addition, grilled meat obtained significant positive correlations between Mn-Fe ($r = 0.839$, $P = 0.018$) and Mn-Cr ($r = 0.760$, $P = 0.047$), and no significant correlation was found between (Fe-Cr), which may be explained by chemical affinity or the same inheritance in the samples [25], or associated with the absorption mechanism and bioaccumulation is possibly influenced by internal factors of animal physiology and by interactions among heavy metals [26-28].

Iron. The Fe levels reported in this study ranged from 5.15 to 8.30 mg kg⁻¹, with an average concentration of 6.49±1.10 mg kg⁻¹ in raw meat, 7.99±0.985 and 8.18±1.940 mg kg⁻¹ in boiled and grilled samples, respectively. Fe content was significantly higher in boiled meat than in raw meat ($P < 0.05$). Most data show that grilled, boiled, braised, roasted, and fried beef significantly increases Fe concentration compared to raw samples [5, 29, 30]. Lombardi-Boccia, et al. [29] explained that the moisture losses produced may allow significant Fe retention. In contrast, Pistón, et al. [31] found that Fe content decreased slightly in cooked beef.

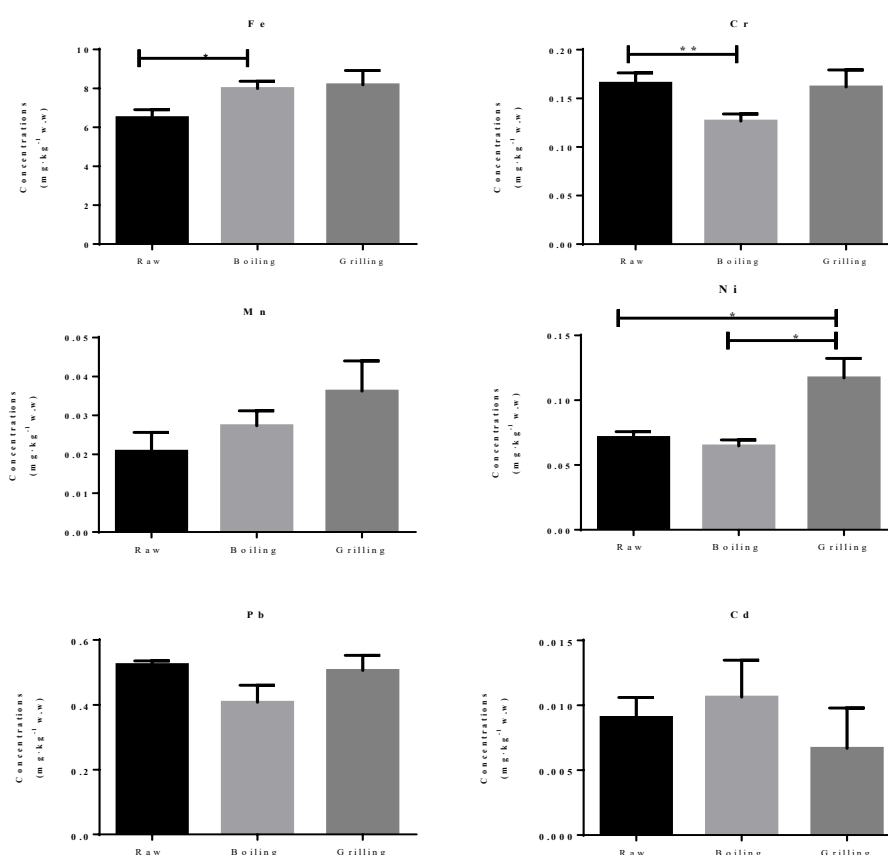


FIGURE 1

PTEs Means ± SEM in raw and cooked meat (mg. Kg⁻¹ w.w) with Mann-Whitney test, *P*-value.

TABLE 1

Correlation analysis among the examined essentials PTEs in the cooked and uncooked meat

			Raw meat		Boiled meat		Grilled meat	
			<i>r</i>	<i>P</i> -value	<i>r</i>	<i>P</i> -value	<i>r</i>	<i>P</i> -value
Essential PTEs	Fe	Cr	-0.136	0.771	0.777	0.040*	0.445	0.318
	Mn	Fe	0.172	0.712	0.804	0.029*	0.839	0.018*
	Cr	Mn	0.671	0.099	0.824	0.023*	0.760	0.047*
Non-Essential PTEs	Ni	Pb	-0.823	0.023*	-0.113	0.810	-0.461	0.298
	Cd	Ni	-0.123	0.793	0.380	0.400	-0.279	0.544
	Pb	Cd	-0.146	0.755	0.685	0.090	0.464	0.294

r: Pearson's correlation factor; *P*-value: probability and values in bold show significant correlation between every two metals. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, statistically significant coefficient of correlation.

Manganese. Mn content in the cooked samples varied between $3\text{E-}4$ and 0.3 mg kg^{-1} , with an average concentration of $0.067\pm 0.108\text{ mg kg}^{-1}$ for boiling and $0.05\pm 0.0420\text{ mg kg}^{-1}$ for grilling beef. The cooking methods did not significantly affect the Mn content of beef ($P > 0.05$). In addition, samples cooked by grilling and boiling were not significantly different from each other in terms of Mn content ($P > 0.05$), similar data reported by Oz, et al. [7] when they indicated that the various techniques of cooking did not significantly affect this component.

Chromium. The Cr concentrations of the boiled and grilled beef meat were 0.127 ± 0.019 and $0.162\pm 0.046\text{ mg kg}^{-1}$, respectively. There was no significant difference ($P > 0.05$) in Cr concentrations between cooked samples. However, the boiled meat showed a significantly lower Cr level than the control sample ($P < 0.007$). Contrary, Alberti-Fidanza, Burini et al. [32] showed no significant difference in the Cr concentration between uncooked and cooked meat, as well as Saraiva, Chekri et al. [33], studied the assessment of the impact of frying without and with oil (95°C and 120°C) on the fate of Cr (Cr (III) and Cr (VI) species) in beef samples. They found no significant difference in the mean contents of Cr species between the raw and cooked samples. On the other hand, their results showed that the oxidation of Cr (III) to Cr (VI) does not occur during the thermal cooking of beef samples. In our opinion, the rise in the metal may be linked to changes in moisture content during cooking.

Effects of cooking on non-essential PTEs.

The observed amounts of Ni were significantly different between the cooking methods (grilled and boiled) and cooked and uncooked meat. However, no effect was shown between the other metals (Figure 1).

Pearson's test was used to investigate the correlation between non-essential PTEs. No significant correlation was detected, except a weak significant negative correlation between Pb and Ni ($r = -0.823$, $P = 0.023$) was observed in raw meat (Table 1), which probably means that the metals were of different origins or had non-chemical similarities [25]. Therefore, Tunca et al. [34] reported a moderate negative correlation between Pb-Ni in the exoskeleton of Crayfish and absorption and elimination in duck meat [35]. Contrary to the present study, Garcia-Vaquero et al. [26] were observed a strong positive correlation between Pb and Ni ($r=0.470$)

Lead. Data presented in Figure 1 indicate the mean concentrations of Pb in all meats analyzed. Surprisingly, Pb contents in tested samples were higher than the limit allowed by European regulations. Therefore, no significant difference ($P > 0.05$) in Pb levels was detected before and after cooking samples and between the used cooking methods. Our

data was similar to that reported by Oz et al. [7] in beefsteaks cooked by several methods. Contrary to our results, Planche et al. [36] observed a significant increase ($p < 0.05$) in Pb with an average concentration before and after cooking of 0.116 and 0.151 mg kg^{-1} , respectively. As well as Alberti-Fidanza et al. [32] found higher Pb levels in cooked meat than raw meat; they explain that due to the lead released by cooking utensils.

Nickel. In our results, boiling caused a slight reduction for Ni in beef meat with an average concentration of 0.065 mg kg^{-1} . Although, the level of Ni in the grilled samples was higher than that recovered from the uncooked samples. The decline in Ni concentration in boiled meat was not significant ($P > 0.05$) compared to raw, whereas it was significantly raised ($P < 0.05$) for the grilled samples compared to raw and boiled. Notably, similar results were reported by Oz et al. [7] and Pistón et al. [31].

Cadmium. Cd levels ranged from $4.3\text{E-}3$ to $2.7\text{E-}2\text{ mg kg}^{-1}$ with an average concentration of $1.06\text{E-}2\text{ mg kg}^{-1}$ in the boiling samples and varied from $8\text{E-}4$ to $1.9\text{E-}2\text{ mg kg}^{-1}$ with an average of $6.7\text{E-}3\text{ mg kg}^{-1}$ in the grilling samples. Statistical analysis showed no significant difference ($P > 0.05$) between the concentrations detected in all analyzed samples. Our findings agree with the levels of Cd recorded in raw meat and cooked by Alberti-Fidanza et al. [32] On the other hand, Planche et al. [36] observed a significant increase of the Cd concentration in meat during cooking with an average concentration of 0.116 mg kg^{-1} before cooking and 0.151 mg kg^{-1} after cooking.

Human risk assessment. Intake Estimation of PTEs. Table 2. Shows the EDI of PTEs for an individual with a bodyweight of 69.6 kg and 30 kg for adults and children, respectively. In raw meat, the EDIs for Fe in both adult and children populations ranged between $1.19\text{E-}03$ and $2.75\text{E-}03$, which contributed from 0.02% for adults (M) and 0.03% for children of the RDA for Fe. In both cooked slices of meat (boiled and grilled), the EDI ranged between $1.46\text{E-}03$ and $3.47\text{E-}03$, which RDA% contributed from $8.1\text{E}03$ for adults (W) to 0.03% for children. By matching the EDI of Fe detected in raw meat tested by PMTDI values established for this metal, it was noted that the EDI of Fe in beef samples lower PMTDI established by the JECFA and in consistence with Leite et al. [37]. Therefore, these findings were similar to that reported by Bilandžić et al. [38] in beef from Croatia, who found that RAD% (0.28 and 0.62) for women and men.

The calculated Cr intakes for raw meat were $3.02\text{E-}05\text{ mg kg}^{-1}\text{day}^{-1}$ for adults and $7.01\text{E-}05\text{ mg kg}^{-1}\text{day}^{-1}$ for children. Matching the EDIs to the established TDI, PTWI, or RDA values for this metal,

we found that these values are lower than the tolerable intake limits, In addition, after both cooking procedures, the EDI of Cr in adults (2.31E-05 to 2.95E-05) or children (5.36E-05 to 6.84E-05). The EDIs values of Mn in beef meat were estimated at 6.05E-06 for adults and 1.4E-05 mg kg⁻¹ day⁻¹ for children, which contributed from 2.63E-04 to 3.36E-04% for adults and 9.35E-04% for children of the RDA. However, for both cooked beefs, the contribution of Mn ranged from 4.01E-04 to 6.84E-04% for adults and from 1.43E-03 to 1.90E-03 % for children. The highest intake of Ni corresponds to children (1.1E-04 mg kg⁻¹day⁻¹) in grilled meats, while the lowest consumption was observed in adults (1.18E-05 mg kg⁻¹day⁻¹) in boiled meats. By matching the EDI of Ni detected in the raw and cooked samples tested with the TDI and BMDL₁₀ values established for this PTE, it was noted that the highest percentage of TDI and BMDL₁₀ found in the grilled meat samples of children by 0.85% and 10.02%, respectively, but still below the safe limit. Similar result was recorded by Ekhatior et al. [9], who found that the EDI of Mn (3.2E-05, 7E-05) for both adults and children respectively, through consumption of fried meat by Nigerians were below the limits established by the EU,

WHO and USEPA. The same EDI of Cr and Ni lowered the detection limit in red meat [15, 37].

Regarding Pb, raw and grilled meat showed the highest dietary intake in children, with a value of 2.22E-04 and 2.14E-04 mg kg⁻¹ day⁻¹ respectively, whereas the minimum intake corresponded to adults 7.45E-05 mg kg⁻¹day⁻¹ in boiling beef. The EDIs of Cd through uncooked meat consumption were 1.67E-06 and 3.84E-06 mg kg⁻¹day⁻¹ for adults and children respectively, and cooked meat ranged from 1.22E-06 to 1.94E-06 mg kg⁻¹ day⁻¹ for adults and from 2.83E-06 to 4.5E-06 mg kg⁻¹ day⁻¹ for children. The present results are in agreement with the data recorded by Barone et al. [39], who found that calculated intakes of Pb (2.5 to 4.2% of the PTWI) and Cd (0.5 to 1.2% of the PTMI) for adults were lower than the tolerable daily intake recommended by JECFA [40]. Similarly, Pb and Cd intakes ranged from 5.6 to 9.5% in children and 1.2 to 2.4%, respectively. On the other hand, our results disagree with a study performed by Njoga et al. [41] in Nigeria, who found that the EDI of Pb and Cd from goat meat consumption was higher than the PTDI set by WHO.

TABLE 2
Estimated Daily Intake EDI of PTEs in raw and cooked meat compared with their references

PTEs	Parameters	Raw Meat		Boiled Meat		Grilled Meat		Intake Limit Value	References
		Adult	Children	Adult	Children	Adult	Children		
Fe	EDI	1.19E-03	2.75E-03	1.46E-03	3.39E-03	1.49E-03	3.47E-03		
	PMTDI (%)	0.15	0.34	0.18	0.42	0.19	0.43	0.8 mg.kg ⁻¹ bw.day ⁻¹	JECFA, 2019
	RDA (%)	6.57 E-03 (W) 0.02 (M)	0.03	8.1E03(W) 0.02 (M)	0.03	8.3 E-03 (W) 0.02 (M)	0.03	18 mg.day ⁻¹ (W) 8 mg.day ⁻¹ (M) 10 Child mg.day ⁻¹	DRI,2006
Cr	EDI	3.02E-05	7.01E-05	2.31E-05	5.36E-05	2.95E-05	6.84E-05		
	TDI (%)	0.01	0.02	7.7E-03	0.02	9.83 E-03	0.02	0.3 mg.kg ⁻¹ bw.day ⁻¹	EFSA, 2014
	PTWI (%)	0.03	0.07	0.02	0.05	0.03	0.07	0.7 mg/kg bw/week 0.025 (W) 0.035 (M) 0.015 Child mg.day ⁻¹	WHO, 2013 DRI,2006
Mn	EDI	6.05E-06	1.4E-05	1.23E-05 6.84 E-04	2.86E-05	9.22E-06	2.14E-05		
	RDA (%)	3.36 E-04 (W) 2.63E-04 (M)	9.35E-04	(W) 5.35 E-04 (M)	1.90 E-03	5.12 E-04 (W) 4.01 E-04 (M)	1.43 E-03	1.8 (w) 2.3 (M) 1.5 Child mg.day ⁻¹	DRI,2006
Ni	EDI	1.30E-05	3.02E-05	1.18E-05	2.74E-05	4.75E-05	1.1 E-04		
	TDI (%)	0.10	0.23	0.09	0.21	0.37	0.85	0.013 mg.kg ⁻¹ bw.day ⁻¹	EFSA, 2020,
	BMDL ₁₀ (%)	1.18	2.74	1.07	2.50	4.32	10.02	1.1E-03 mg.kg ⁻¹ bw.day ⁻¹ (d)	2015
Pb	EDI	9.57E-05	2.22 E-04	7.45E-05	1.73 E-04	9.24E-05	2.14 E-04		
	PTWI (%)	2.68	6.22	2.09	4.84	2.59	6.01	0.025 mg.kg ⁻¹ bw/week	JECFA,
	RDA (%)	0.05	0.11	0.04	0.08	0.04	0.10	0.21 mg.day ⁻¹ /person	2011, 2009
	BMDL ₀₁ (%)	19.14	44.40	14.89	34.55	18.49	42.89	5 E-04 mg.kg ⁻¹ bw.day ⁻¹ (a)	
	BMDL ₁₀ (%)	15.19	35.24	11.82	27.42	14.67	34.04	6.3 E-04 mg.kg ⁻¹ bw.day ⁻¹ (b)	EFSA,2010
	BMDL ₀₁ (%)	6.37	14.80	4.96	11.52	6.16	14.30	1.5E-03 mg.kg ⁻¹ bw.day ⁻¹ (c)	
Cd	EDI	1.67E-06	3.84E-06	1.94E-06	4.5E-06	1.22E-06	2.83E-06		
	TWI (%)	0.46	1.08	0.54	1.26	0.34	0.79	2.5 E-03 mg.kg ⁻¹ bw/week	EFSA,2009
	PTWI (%)	0.17	0.38	0.19	0.45	0.12	0.28	7 E-03 mg.kg ⁻¹ bw/week	
	RDA (%)	3 E-03	6.41 E-03	3.23E-03	7.50 E-03	2.03E-03	4.72 E-03	0.06 mg.day ⁻¹ /person	JECFA,
	PTDI (%)	0.20	0.46	0.23	0.54	0.15	0.34	8.3 E-04 mg.kg ⁻¹ .day ⁻¹	2009, 2010

PMTDI: Provisional Maximum Tolerable Daily Intake, **RDA:** Recommended Daily Allowance, **TDI:** Tolerable Daily Intake, **PTWI:** Provisional Tolerable Weekly Intake, **TWI:** Tolerable Weekly Intake, **BMDL:** Benchmark Dose Lower Confidence Limit, **PTDI:** Provisional Tolerable Daily Intake. **M:** Man, **W:** Women.

JECFA: joint (FAO/WHO) expert committee on Food Additives, **DRI:** Dietary Reference Intakes, **EFSA:** European Food Safety Authority, **WHO:** World Health Organization

(a) effects; allergic dermatitis in Ni-sensitive humans, (b) Neurotoxicity, (d) Nephrotoxicity and (c) cardiovascular

Non-carcinogenic risk. The trend of THQ values for the targeted PTEs was in the following order: Mn<Ni<Cd<Ni<Fe<Cr<Pb as shown in (Table 3).

According to the THQ calculation of the consumption of individual metals in cooked and uncooked meat, we showed that both cooking processes used in this trial increased the THQ level of Fe and Mn. However, Leite et al. [37], found that roasted beef with coal fire increased the level of Fe compared to roasted beef with electric grill and whit wood fire and roasted meat with wood fire increased the level of Mn compared to roasted beef with electric grill and coal fire. Still, both metals' THQ values for adults were below 1. On the other hand, cooking meat decreased the THQ values of Pb in children, as did Cr after boiling in adults. Contrary to our study, Barone et al. [39] reported that baked ham decreased the THQ values of Pb in adults compared to raw ham, as did Cr in children. While the THQ values of Ni decreased after boiling and increased after grilling, unlike Cd, the THQ values decreased after grilling and increased after boiling compared to uncooked meat. Other study showed, THQ of Ni level in the cow muscles was higher in children compared to adults [16]. In the same mean, THQ value of Cd in Barone et al. [39] study increased after baking ham in adults.

Consuming all metals in beef could eliminate the probabilistic health risks by boiling. The calculated HI values (0.03 and 0.07) for adults and children, respectively, were decreased compared with raw meat.

However, the HI values for grilling were similar to those for raw beef, with 0.04 and 0.09 for adults and children, respectively.

Barone et al. [39] found that the cumulative

value of the effects of different metal mixtures for children was 2 to 3 times higher than for adults.

Carcinogenic risk and margin of exposure.

The TCR values of Cr, Ni, Pb, and Cd in adults and children from the consumption of the measured samples are shown in Table 4. Furthermore, the highest values were estimated for Pb 1.82E-06 to 1.89E-06 and Cr 3.42E-05 to 3.51E-05 in the child category in raw and grilled meat, respectively, as well as for Cd 2.84E-05 in children in boiled meat, while in children the TCR for Ni was close to exceeding the risk threshold in grilled meat 1 E-04. All TCR values presented by Di Bella et al. [15] were below E-5 in Beef Cd (8.4E-07, 2.8E-06), Cr (1.6E-06; 5.1E-06), Ni (2.0E-06, 6.7E-06) Pb (1.4E-08, 4.7E-08) for children and adult, respectively. In addition, Zeinali et al. [16] showed that sheep and cow meat consumption was of concern due to an unacceptable range of Cd and Pb and goat meat, especially for children [41]. In our finding, adults' cumulative cancer risk (Σ TCR) of Cr, Ni, Pb, and Cd results was below the unacceptable range in both cooked and uncooked slices of meat. However, in children, the Σ TCR of these metals was numerically higher than the unacceptable range 1.54E-04, indicating that the cancer risk from consumption of grilled meat was of concern. Similarly, Barone et al. [39] revealed that the cumulative cancer risk for adults (0.97E-04, 1.91) indicated that raw and cooked ham consumption would result in more than 10 cancer cases per 100.000 people. For children, the cumulative cancer risk of all samples studied exceeded the recommended threshold risk (2.25E-04 4.42 E-04) with raw and baked ham consumption.

TABLE 3.
Target Hazard Quotient (THQ) and Hazard Index (HI) of PTEs due to consumption of beef for the Algerian population

PTEs	THQ					
	Raw Meat		Boiled Meat		Grilled Meat	
	Adult	Children	Adult	Children	Adult	Children
Fe	1.7E-03	4 E-03	2.1E-03	4.8 E-03	2.1 E-03	5 E-03
Cr	0.01	0.02	7.7 E-03	0.02	9.8 E-03	0.02
Mn	4.3E-05	1 E-04	8.8E-05	2 E-04	6.6E-05	1.5 E-04
Ni	6.5 E-04	1.5 E-03	5.9E-04	1.4 E-03	2.4 E-03	5.5 E-03
Pb	0.02	0.06	0.02	0.04	0.02	0.05
Cd	1.7 E-03	3.8E-03	2 E-03	4.5 E-03	1.2 E-03	2.8 E-03
HI =ΣTHQ	0.04	0.09	0.03	0.07	0.04	0.09

TABLE 4
Target Cancer Risks (TCR) through consumption of meat beef for the Algerian population

PTEs	TCR					
	Raw Meat		Boiled Meat		Grilled Meat	
	Adult	Children	Adult	Children	Adult	Children
Cr	1.51E-05	3.51E-05	1.16E-05	2.68E-05	1.48E-05	3.42E-05
Ni	1.18E-05	2.75E-05	1.08E-05	2.49E-05	4.32E-05	1 E-04
Pb	8.13E-07	1.89E-06	6.33E-07	1.47E-06	7.86E-07	1.82E-06
Cd	1.04E-05	2.42E-05	1.22E-05	2.84E-05	7.69E-06	1.78E-05
ΣTCR	3.82E-05	8.86E-05	3.52E-05	8.16E-05	6.65E-05	1.54 E-04

CONCLUSIONS

This study represents the concentration of essential and non-essential PTEs in beef meat consumed by the Algerian population. The quantified Fe, Cr, Mn, Ni, and Cd levels in raw meats were below the allowed limits. However, the content of Pb was higher than the limit established by European Commission Regulations. The cooking process slightly influenced the concentrations of these PTEs compared to uncooked beef samples. However, the Pb levels are still above the maximum limits. In addition, the result showed a positive and weak significant correlation between essential PTEs in boiling and grilling samples and a negative, weak significant correlation between Ni and Pb in raw meat. The EDI values of all PTEs were lower than the limit of JECFA, DRI, EFSA, and WHO reference levels in both population categories. The THQ and HI values from the ingestion of these PTEs in beef indicated no health risk for all populations. Moreover, Σ TCR of grilled samples exceeded the acceptable risk limit in children. Finally, beef consumption might cause a health risk for the local people, especially children. Because thermal preparation is limited in reducing PTE concentrations, further studies are recommended to assess toxic metals on a larger scale.

ACKNOWLEDGEMENTS

Funding. The General Directorate of Scientific Research and Technological Development (DGRSDT- MESRS) supported the present work.

ABBREVIATIONS

ANOVA: analysis of variance; **AOAC:** Association of Official Analytical Chemists; **AT:** Averaging exposure time; **BMDL:** Bench Mark Dose Level; **BW:** Body Weight; **C:** concentration; **Cd:** Cadmium; **CDI:** Chronic Daily Intake; **Cr:** Chromium; **DRI:** Dietary Reference Intakes; **ED:** Exposure Duration; **EDI:** Estimated Daily Intake; **EF:** Exposure Frequency; **EFSA:** European Food Safety Authority; **EURACHEM:** Europe analytical chemistry; **FAO:** Food and Agriculture Organization; **FAOSTAT:** Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database; **Fe:** Iron; **FIR:** Food Ingestion Rate; **GF-AAS:** Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry; **HCl:** Hydrochloric acid; **HI:** Hazard Index; **HNO₃:** Nitric acid; **ICH:** International Conference on Harmonization; **JECFA:** Joint (FAO/WHO) Expert Committee on Food Additives; **LOD:** limit of detection; **LOQ:** limit of quantification; **M:** Man; **Mn:** Manganese; **n:** Sample size; **Ni:** Nickel; **OECD:** Organization for Economic Co-operation and Development; **P:** Probability; **Pb:** Lead;

PMDI: Provisional Maximum Tolerable Daily Intake; **PTDI:** Provisional Tolerable Daily Intake; **PTEs:** Potentially toxic elements; **PTWI:** Provisional Tolerable Weekly Intake; **r:** Pearson's correlation factor; **R²:** Linear regression; **RDA:** Recommended Daily Allowance; **RfD:** Oral reference dose; **RSD:** Relative Standard Deviation (Reproducibility); **s:** slope; **SD:** Standard Deviation; **SE:** Standard Error; **TCR:** Target Cancer Risks; **TDI:** Tolerable Daily Intake; **THQ:** Target Hazard Quotient; **TWI:** Tolerable Weekly Intake; **USDA:** United States Department of Agriculture; **USEPA:** United States Environmental Protection Agency; **W:** Women; **WHO:** World Health Organization.

REFERENCES

- [1] Greenwood, P.L. (2021) Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal*. 15, 100295.
- [2] Briffa, J., Sinagra, E., Blundell, R. (2020) Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*. 6, e04691.
- [3] Bilandžić, N., Sedak, M., Čalopek, B., Đokić, M., Varenina, I., Solomun Kolanović, B., Božić Luburić, Đ., Varga, I., Roncarati, A. (2020) Evaluation of Element Concentrations in Beef and Pork Meat Cuts Available to the Population in the Croatian Capital. *Foods*. 9, 1861.
- [4] Alomary, A.A., Belhadj, S. (2007) Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure. *Environmental Monitoring and Assessment*. 135, 265-280.
- [5] Gerber, N., Scheeder, M.R.L., Wenk, C. (2009) The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat. *Meat Science*. 81, 148-154.
- [6] Lopes, A.F., Alfaia, C. M. M., Partidário, A. M. C. P. C., Lemos, J. P. C., Prates, J. A. M. (2015) Influence of household cooking methods on amino acids and minerals of Barrosã-PDO veal. *Meat Science*. 99, 38-43.
- [7] Oz, F., Aksu, M.I., Turan, M. (2017) The Effects of Different Cooking Methods on Some Quality Criteria and Mineral Composition of Beef Steaks. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41, e13008.
- [8] AOAC. (2002) Official method 999.11: Determination of lead, cadmium, copper, iron and zinc in foods. *AOAC Int*. 73.

- [9] Ekhaton, O.C., Udowelle, N. A., Igbiri, S., Aso-mugha, R. N., Igweze, Z. N., Orisakwe, O. E. (2017) Safety Evaluation of Potential Toxic Metals Exposure from Street Foods Consumed in Mid-West Nigeria. *Journal of Environmental and Public Health*. 8458057.
- [10] FAOSTAT Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. (2021) Online Database Food Balances (2014): Food supply quantity, Bovine Meat 2018. Accessed on 26 11 2021.
- [11] Atek, M., Laid, Y., Mezimeche, N., Boutekdjiret, L., Lebcir, H. 2010. Obesity in adults aged 35 to 70 in Algeria. TAHINA project. National Institute of Public Health Algiers Algeria, 1-93. (in French)
- [12] Bahchachi, N., Dahel-Mekhancha, C. C., Roland-Cachera, M.-F., Badis, N., Roelants, M., Hauspie, R., Nezzal, L. (2016) Weight and height local growth charts of Algerian children and adolescents (6-18 years of age). *Archives de Pediatrie: Organe Officiel de la Societe Francaise de Pediatrie*. 23, 340-347.
- [13] Liang, G., Gong, W., Li, B., Zuo, J., Pan, L., Liu, X. (2019) Analysis of Heavy Metals in Foodstuffs and an Assessment of the Health Risks to the General Public via Consumption in Beijing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16, 909.
- [14] USEPA United States Environmental Protection Agency. (2021) Online Database Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables 13.12.2021; Available from: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>. (26 07 2021)
- [15] Di Bella, C., Traina, A., Giosuè, C., Carpintieri, D., Lo Dico, G. M., Bellante, A., Del Core, M., Falco, F., Gherardi, S., Uccello, M. M., Ferrantelli, V. (2020) Heavy Metals and PAHs in Meat, Milk, and Seafood From Augusta Area (Southern Italy): Contamination Levels, Dietary Intake, and Human Exposure Assessment. *Frontiers in Public Health*. 8.
- [16] Zeinali, T., Salmani, F., Naseri, K. (2019) Dietary Intake of Cadmium, Chromium, Copper, Nickel, and Lead through the Consumption of Meat, Liver, and Kidney and Assessment of Human Health Risk in Birjand, Southeast of Iran. *Biological Trace Element Research*. 191, 338-347.
- [17] Zar, J.H. (1996) *Biostatistical analysis* Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- [18] Cohen, J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences* Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- [19] World Health Organization. (1991) Nickel, Nickel Carbonyl, and some Nickel Compounds Health and Safety Guide. 62.
- [20] Commission, E. (2006) Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Off. J. Eur. Union* 364, 5-24.
- [21] Clever, J., Jie, M. (2014) China's maximum levels for contaminants in foods. USDA Foreign Agricultural Service GAIN Report CH14058, USDA Foreign Agricultural Service, Global Agricultural Information Network.
- [22] Codex Alimentarius. (2018) Working document for information and use in discussions related to contaminants and toxins in the GSCTFF. Joint Fao/Who Food Standards Programme Codex Committee On Contaminants In Foods.
- [23] United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2019) National Nutrient Database for Standard Reference. Agricultural Research Service. National Agricultural Library.
- [24] Nematollahi, A., Abdi, L., Abdi-Moghadam, Z., Fakhri, Y., Borzoei, M., Tajdar-oranj, B., Thai, V. N., Linh, N. T. T., Mousavi Khaneghah, A. (2021) The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in sausages: a systematic review and meta-analysis study. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 55186-55201.
- [25] Adebisi, F.M., Ore, O.T., Ogunjimi, I.O. (2020) Evaluation of human health risk assessment of potential toxic metals in commonly consumed crayfish (*Palaemon hastatus*) in Nigeria. *Helvion*. 6, e03092.
- [26] García-Vaquero, M., Miranda, M., Benedito, J. L., Blanco-Penedo, I., López-Alonso, M. (2011) Effect of type of muscle and Cu supplementation on trace element concentrations in cattle meat. *Food and Chemical Toxicology*. 49, 1443-1449.
- [27] López-Alonso, M., Miranda, M., Benedito, J.L., Pereira, V., Garcia-Vaquero, M. (2016) Essential and toxic trace element concentrations in different commercial veal cuts in Spain. *Meat Science*. 121, 47-52.
- [28] Pilarczyk, R. (2014) Concentrations of Toxic and Nutritional Essential Elements in Meat from Different Beef Breeds Reared under Intensive Production Systems. *Biological Trace Element Research*. 158, 36-44.
- [29] Lombardi-Boccia, G., Lanzi, S., Aguzzi, A. (2005) Aspects of meat quality: trace elements and B vitamins in raw and cooked meats. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18, 39-46.
- [30] Purchas, R.W., Wilkinson, B. H. P., Carruthers, F., Jackson, F. (2014) A comparison of the nutrient content of uncooked and cooked lean from New Zealand beef and lamb. *Journal of Food Composition and Analysis*. 35, 75-82.

- [31] Pistón, M., Suárez, A., Bühl, V., Tissot, F., Silva, J., Panizzolo, L. (2020) Influence of cooking processes on Cu, Fe, Mn, Ni, and Zn levels in beef cuts. *Journal of Food Composition and Analysis*. 94, 103624.
- [32] Alberti-Fidanza, A., Burini, G., Perriello, G. (2002) Trace elements in foods and meals consumed by students attending the faculty cafeteria. *Science of the Total Environment*. 287, 133-140.
- [33] Saraiva, M., Chekri, R., Guérin, T., Sloth, J. J., Jitaru, P. 2021. (2021) Chromium speciation analysis in raw and cooked milk and meat samples by species-specific isotope dilution and HPLC-ICP-MS. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 38, 304-314.
- [34] Tunca, E., Ucuncu, E., Ozkan, A. D., Ulger, Z. E., Tekinay, T. (2013) Tissue Distribution and Correlation Profiles of Heavy-Metal Accumulation in the Freshwater Crayfish *Astacus leptodactylus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 64, 676-691.
- [35] Susanti, R., Widiyastuti, K., Yuniastuti, A., Fibriana, F. (2020) Feed and Water Management May Influence the Heavy Metal Contamination in Domestic Ducks from Central Java, Indonesia. *Water, Air, & Soil Pollution*. 231, 177.
- [36] Planche, C., Ratel, J., Blinet, P., Mercier, F., Angénieux, M., Chafey, C., Zinck, J., Marchond, N., Chevolleau, S., Marchand, P., Dervilly-Pinel, G., Guérin, T., Debrauwer, L., Engel, E. (2017) Effects of pan cooking on micropollutants in meat. *Food Chemistry* 232, 395-404.
- [37] Leite, L.C.S., Melo, E. S. d. P., Arakaki, D. G., dos Santos, E. F., do Nascimento, V. A. (2020) Human Health Risk Assessment through Roasted Meats Consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17, 6737.
- [38] Bilandžić, N., Sedak, M., Đokić, M., Varenina, I., Solomun-Kolanović, B., Božić, Đ., Brstilo, M., Sokolić-Mihalak, D., Jurković, Z. (2013) Comparative study of iron, magnesium and zinc and daily intakes in certain meats and meat products. *Slovenian Veterinary Research*. 50, 103-110.
- [39] Barone, G., Storelli, A., Quaglia, N. C., Garofalo, R., Meleleo, D., Busco, A., Storelli, M. M. (2021) Trace Metals in Pork Meat Products Marketed in Italy: Occurrence and Health Risk Characterization. *Biological Trace Element Research*. 199, 2826-2836.
- [40] Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2011) Safety evaluation of certain food additives and contaminants: prepared by the Seventy-third meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): World Health Organization.
- [41] Njoga, E.O., Ezenduka, E. V., Ogbodo, C. G., Ogbonna, C. U., Jaja, I. F., Ofomatah, A. C., Okpala, C. O. R. (2021) Detection, Distribution and Health Risk Assessment of Toxic Heavy Metals/Metalloids, Arsenic, Cadmium, and Lead in Goat Carcasses Processed for Human Consumption in South-Eastern Nigeria. *Foods*. 10, 798.

Received: 10.09.2022

Accepted: 01.11.2022

CORRESPONDING AUTHOR

Kaddour Ziani

Laboratory of Biototoxicology,
Pharmacognosy and Biological Valorization of
Plants,
Department of Biology,
University Dr. Taher Moulay of Saida,
BP. 138. 20 000 Saida – Algeria

e-mail: kaddour.ziani@univ-saida.dz