

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

Université de Ahmed Zabana de Relizane
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques



جامعة غليزان
RELIZANE UNIVERSITY

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER
Dans le cadre de la décision 008 : Diplôme Institution Economique

Spécialité : Microbiologie et controle de qualité

Intitulé

**Développement d'un complément nutritionnel naturel innovant et
étude de son impact sur la santé osseuse et l'équilibre calcique**

Présenté par :

Mlle : BEN AHMED Farah

Mlle : EL-MENAOUER Touria

Devant les membres de jury :

Président : Dr. BELHAMRA Zineb

Maître de conférences (B) (U.

Relizane)

Encadrant : Dr. Sbahi Khyra

Maître de conférences (B) (U. Relizane)

Examineur : Dr. Derradjia Amina

Maître de conférences (B) (U. Relizane)

Représentant de l'incubateur : Dr. Mellali Sarah

Maître de conférences (B) (U.

Relizane)



Représentant du partenaire économique : Mme . Mekiou Zahra (Etablissement / adresse)

Année universitaire : 2024/2025

Ré :

Avant tout, nous remercions Allah Tout-Puissant, le Clément, le Miséricordieux, qui nous a accordé la santé, la patience et la force nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Madame Sbahi Khyra pour son encadrement, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions sincèrement les membres du jury pour leur présence, leur disponibilité et leurs précieux conseils lors de l'évaluation de notre mémoire.

Nos sincères remerciements vont à l'équipe du laboratoire d'hygiène et du service d'anatomie pathologique (Anapathe) de Relizane pour leur accueil et leur collaboration, ainsi qu'à l'ensemble des professeurs de l'Université Ahmed Zabana de Relizane pour leur soutien et leurs enseignements.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail.

Dédicace

Avant tout, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour Sa lumière, Sa



Modifier avec WPS Office

miséricorde et Sa guidance qui ont illuminé chaque pas de mon chemin.

Sans Sa bénédiction, rien n'aurait été possible.

Je dédie ce travail à ma mère bien-aimée, mon pilier, ma source de force et d'inspiration. Maman, c'est grâce à tes sacrifices, ton amour inépuisable et tes prières silencieuses que j'ai pu aller si loin. Tu es la plus belle preuve que l'amour pur existe.

Je remercie ma famille pour leur soutien constant, leur compréhension et leurs encouragements qui m'ont portée dans les moments de doute et de fatigue.

À mon fiancé, Mustapha, je t'exprime toute ma gratitude pour ton soutien, ta patience et ta foi en moi. Ta confiance m'a donné la force de persévérer même quand tout semblait difficile.

Et enfin, à ma chère amie et collègue Touria, avec qui j'ai partagé cette belle aventure. Ensemble, nous avons traversé les moments de joie, les défis, les rires et les fatigues. Merci pour ton esprit, ton amitié et ta présence

Ce travail est le reflet d'un chemin de cœur, de foi et de persévérance.



Farah .

Dédicace



Modifier avec WPS Office

Je dédie ce modeste travail à mon cher père, source de force, de courage et de sagesse,
et à ma précieuse maman, mon trésor inestimable, pour son amour infini, ses prières et son soutien de chaque instant.
Je me dédie également à moi-même, pour ma patience, ma persévérance et ma foi en mes capacités.
À ma binôme Farah, avec qui j'ai partagé les efforts, les doutes et les réussites tout au long de ce parcours.
À ma tante Mimi et son mari, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence bienveillante.

À toute ma famille, qui m'aime, me soutient et croit en moi depuis toujours.

À mes enseignants et professeurs qui ont cru en mes capacités, m'ont soutenue jusqu'à la dernière étape et ont contribué à ma formation et à ma réussite.

Enfin, à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, participé à la réalisation de ce travail, je vous adresse ma profonde gratitude.



Touria .

Résumé



Modifier avec WPS Office

Ce mémoire porte sur la formulation et l'évaluation d'un complément alimentaire naturel à base de coquilles d'œufs et de feuilles de *Moringa oleifera*, destiné à la prévention et à la correction de la carence en calcium. L'objectif principal est de valoriser des ressources locales accessibles afin de développer un produit fonctionnel, riche en calcium et en composés bioactifs bénéfiques pour la santé.

La méthodologie adoptée a consisté en la préparation des ingrédients biologiques (coquilles d'œufs séchées et broyées, feuilles de *moringa* pulvérisées), suivie de leur incorporation dans un régime alimentaire expérimental. Une étude *in vivo* a été réalisée sur des rats Wistar mâles répartis en plusieurs groupes : témoin négatif, témoin positif, supplémenté en carbonate de calcium, et supplémenté en notre formule naturelle.

Différents paramètres ont été suivis, incluant les observations visuelles (état des poils, des dents, activité), le poids corporel, ainsi que des analyses histologiques. De plus, un contrôle microbiologique du complément alimentaire a été mené conformément aux normes algériennes et internationales.

Les résultats ont montré que la carence en calcium entraîne des altérations physiques significatives, tandis que la supplémentation avec le complément naturel *moringa*-coquilles d'œufs a permis une amélioration remarquable, comparable voire supérieure au carbonate de calcium.

Ce travail met en évidence l'efficacité et le potentiel d'un complément alimentaire naturel et durable, ouvrant des perspectives intéressantes pour la prévention des carences nutritionnelles et le développement de produits de santé innovants.

Mots-clés : Calcium, coquilles d'œufs, complément alimentaire, carence, rats Wistar, nutrition.

الملخص



Modifier avec WPS Office

يتناول هذا العمل البحثي إعداد وتقييم مكمل غذائي طبيعي يعتمد على قشور البيض وأوراق المورينغا وذلك بهدف الوقاية

الهدف الأساسي هو تامين الموارد الطبيعية المحلية المتوفرة لإنتاج مكمل غذائي وظيفي. من نقص الكالسيوم ومعالجته
ي
. غني بالكالسيوم و العناصر النشطة بيولوجيا المفيدة للصحة

، ثم دمجها في نظام (تجفيف وطحن قشور البيض وأوراق المورينغا)تمثلت المنهجية في تحضير المكونات البيولوجية غذائي
، حيث قُسمت إلى Wistar على ذكور الجرذان من سلالة (*in vivo*) تجريبي وقد أجريت دراسة داخل الجسم الحي
ى عدة
مجموعة شاهدة سالبة، مجموعة شاهدة موجبة، مجموعة عولجت بـكربونات الكالسيوم، وأخرى بالمكمل الغ: مجموعات
ذائي
. الطبيعي

، قياس الوزن، والتحليل النسيجية، إض(حالة الشعر، الأسنان، النشاط)تمت متابعة عدة معايير منها الملاحظات البصرية
افة إلى
. إجراء مراقبة ميكروبيولوجية للمكمل الغذائي وفق المعايير الوطنية والدولية

أظهرت النتائج أن نقص الكالسيوم يؤدي إلى تغيرات واضحة في الحالة الصحية للجرذان، بينما ساعدت المكملات الطبي
. على تحسن ملحوظ، يقارب أو يفوق ما حققته كربونات الكالسيوم (قشور بيض +مورينغا)عية

تؤكد هذه الدراسة فعالية وجدوى مكمل غذائي طبيعي ومستدام، ما يفتح آفاقا واعدا للوقاية من سوء التغذية وتطوير
منتجات صحية
. مبتكرة

الكالسيوم، المورينغا، قشور البيض، مكمل غذائي، نقص الكالسيوم، جرذان :الكلمات المفتاحية.



Abstract

This thesis focuses on the formulation and evaluation of a natural dietary supplement based on eggshells and leaves, aiming to prevent and correct calcium deficiency. The main objective is to valorize locally available resources by developing a functional product rich in calcium and bioactive compounds beneficial to health.

The methodology included the preparation of biological ingredients (dried and ground eggshells, powdered *Moringa* leaves), followed by their incorporation into an experimental diet. An *in vivo* study was conducted on male Wistar rats, divided into four groups: negative control, positive control, calcium carbonate supplementation, and supplementation with our natural formula.

Several parameters were monitored, including visual observations (hair, teeth, activity), body weight, and histological analyses. In addition, microbiological quality control of the prepared supplement was carried out according to Algerian and international standards.

The results revealed that calcium deficiency induced significant physical alterations, while supplementation with the moringa–eggshell formula led to remarkable improvement, comparable or even superior to calcium carbonate.

This study highlights the effectiveness and potential of a natural and sustainable dietary supplement, offering promising perspectives for the prevention of nutritional deficiencies and the development of innovative health products.

Keywords: Calcium, eggshells, dietary supplement, deficiency, Wistar rats, nutrition.



Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

1.Introduction.....	1
Chapitre 01.....	3
1. La malnutrition et les carences nutritionnelles.....	4
1.2. Définition de la malnutrition.....	4
1.3. La malnutrition au tour du monde.....	4
1.4. Les causes de la malnutrition.....	5
1.4.1. Production agricole et alimentaire.....	5
1.4.2. Préservation et transformation des aliments.....	6
1.4.3. Population (démographie).....	6
1.4.4. Pauvreté (facteurs économiques).....	6
1.4.5. Politique (environnement politique et choix stratégiques).....	6
1.4.6. Pathologie (maladies et infections).....	6
1.5. Les types de malnutrition.....	7
1.5.1. La sous-nutrition.....	7
1.5.2. La malnutrition liée aux micronutriments.....	7
1.5.3. Le surpoids.....	7
1.6. Les carences en minéraux.....	8
1.6.1. Rôle et fonctionnement des minéraux.....	8



1.7. Le calcium, un minéral clé pour la santé.....	11
1.8. La carence en calcium " l'hypocalcémie" et ces conséquences.....	11
Chapitre 02.....	13
2. Les compléments alimentaires.....	14
2.1. Définition des compléments alimentaires.....	14
2.2. La composition des compléments alimentaires.....	14
2.3. Les types de compléments alimentaires et leur forme galénique.....	15
2.3.1. Types de compléments alimentaires.....	15
2.3.2. Formes galéniques des compléments alimentaires :.....	16
2.4. Motivations à la prise de compléments alimentaires.....	22
2.4.1. La prévention d'une carence.....	22
2.4.2. La recherche de l'esthétique.....	23
2.4.3. Le maintien de la jeunesse et de la santé.....	23
2.4.4. La réappropriation de sa maladie.....	23
2.5. La supplémentation en calcium.....	23
2.5.1. Mécanisme d'absorption.....	23
2.5.2. Les besoins en calcium.....	25
2.5.3. Justification de la supplémentation en calcium.....	25
2.6. Cadre réglementaire des compléments alimentaires.....	26
2.6.1. En Algérie.....	26
2.6.2. Réglementations internationales sur les compléments alimentaires.....	27
Chapitre 03.....	29
3. Intérêt nutritionnel des coquilles d'œufs et du Moringa olifera.....	30
3.1. La composition nutritionnelle des coquilles d'œufs de poules.....	30
3.2. Propriétés du calcium des coquilles d'œufs de poules et impact sur la santé.....	31
3.2.1 Santé osseuses.....	31
3.2.2 Hypertension.....	32
3.2.3. Perte de poids.....	33
3.2.4. Cancers colorectaux.....	33
3.2.5. Calculs urinaires.....	34
3.2.6. Communication cellulaire et conduction nerveuse.....	34
3.3. Applications pratiques des coquilles d'œufs de poules.....	36
3.3.1. Pharmaceutiques.....	36



3.3.2 Alimentaires.....	36
3.4.Généralités sur la plante.....	38
3.4.1.Origine, répartition géographique et importance historique du Moringa.....	39
3.4.2.Identification du Moringa et taxonomie.....	39
3.4.3. Composition phytochimique de Moringa Oleifera.....	40
3.5. Alimentation et complémentation à base de Moringa.....	44
3.6. Activités pharmacologiques.....	45
3.6.1. Activités analgésique, anti-inflammatoire et antipyrétique.....	45
3.6.2.Activité neuropharmacologique.....	46
3.6.3. L'activité anticonvulsivante.....	47
3.6.4. Activité anticancéreuse.....	47
3.6.5. Activité antioxydante.....	48
3.6.6.Activités antimicrobiennes et antivirales.....	49
Matériels et méthodes.....	50
1.Préparation du matériau à base de coquilles d'œufs.....	50
3.Etude in-vivo.....	53
3.1.Animaux de laboratoire.....	53
3.2.Rats Wistar mâles après récupération de l'Institut Pasteur d'Algérie.....	54
3.3. Protocole de préparation des rations alimentaires expérimentales.....	55
3.3.1. Préparation des Régimes de Base (Phase 01).....	55
3.3.2. Préparation des rations supplémentées (Phase 02).....	56
3.3.3. Incorporation dans les rations.....	58
3.5.Étape physiologique.....	60
3.5.1. Prélèvement sanguin.....	60
3.5.2. Procédure d'anesthésie chez les rats.....	61
3.5.3. Dissection et prélèvement osseux.....	61
3.6.Étape histologique.....	62
3.6.1. Décalcification et fixation post-décalcification.....	63
4. Contrôle microbiologique.....	65
4.1. Préparation d'échantillon à analyser.....	65
4.2. Germes analysées et méthodes.....	66
4.2.2. Flore aérobie totale (dénombrement).....	66
4.2.2. Levures et moisissures.....	67



4.2.3. Staphylococcus aureus.....	67
4.2.4. Escherichia coli.....	67
4.2.5. Salmonella spp.....	68
4.2.6. Shigella spp.....	68
4.2.7. Pseudomonas spp.....	69
Resultat et discussion.....	71
1.Caractérisation des matières premières et des régimes alimentaires.....	72
1.1. Vérification de la composition des régimes alimentaires.....	72
1.2.Composition minérale de la coquille d'œuf.....	73
1.3. Profil minéral de la plante.....	74
2. Evaluation des effets comportementaux et physiologiques de la carence et de la supplémentation calcique chez les rats.....	76
3 .Analyse de l'évolution pondérale.....	78
4. Evolution de la calcémie selon les régimes expérimentaux.....	82
5. Analyse histologique des os et cartilages.....	84
5.1.Groupe témoin.....	84
6. Résultats du contrôle de la qualité microbiologique.....	86
7.conclusion.....	92
Références bibliographiques.....	94
Annexes.....	104
Guide start-up.....	108



Liste des abréviations

Al : Aluminium.

ARNm : Acide ribonucléique messenger.

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

ATP : Adénosine triphosphate.

B2, B3, B7, B12 : Vitamines du groupe B (riboflavine, niacine, biotine, cobalamine).

β : Bêta (β -sitostérol, β -D-galactopyranoside) .

B : Vanadium.

Ca²⁺ : Ion calcium chargé positivement .

Cd : Cadmium .

E. coli : Escherichia coli.

GAE : Gallic Acid Equivalent (équivalent acide gallique) .

g/100g : Gramme pour 100 grammes.

Hg : Mercure .

JNK : c-Jun N-terminal kinase .

mg/100g : Milligramme pour 100 grammes .

M. concanensis : Moringa concanensis .

M. oleifera : Moringa oleifera.

µg/g : Microgramme par gramme 18.

Na⁺ : Ion sodium.

N- : Groupement azoté (dans N-benzyléthylthioformate).

ng/g : Nanogramme par gramme.

pH : Potentiel hydrogène.



Pb : Plomb.

p/p : Pourcentage en poids/poids.

p/v : Pourcentage poids/volume 25. *S. aureus* : Staphylococcus aureus.

V : Bore.

α -L- : Alpha-L (notation stéréochimique dans 4-(α -L-rhamnosyloxy) benzyl isothiocyanate).

ESPEN: Société Européenne de Nutrition Clinique et Métabolisme.

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IFAD : International Fund for Agricultural Development.

UNICEF : United Nations International Children's Emergency Fund.

WFP : World Food Programme.

WHO : World Health Organization.

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine.

EFSA : European Food Safety Authority.

EPA : Acide eicosapentaénoïque.

DHA: Acide docosahexaénoïque.

mmol/L : Millimoles par litre.

SGLT1 : Sodium-Glucose Linked Transporter.

Na⁺/K⁺-ATPase : Pompe sodium-potassium.

TRPV6 : Transient Receptor Potential Vanilloid type 6.

NIH : National Institutes of Health.

ISO : International Organization for Standardization.

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

mg GAE/g : Milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme.

JNK : c-Jun N-terminal Kinase.

ANOVA : Analysis of Variance.

AIN-93M : American Institute of Nutrition – 1993 Maintenance diet.

HACCP : Hazard Analysis and Critical Control Points.

CE :Conformité Européenne.



Listes des figures

Figure 1: Représente les minéraux essentiels avec leurs fonctions primaires.....	8
Figure 2: Les principaux régulateurs et contrôles physiologiques et biologiques sont illustrés (Facteur de croissance des fibroblastes 23) (FGF23) (Razzaque, 2025).....	12
Figure 3 : Les formes galéniques des compléments alimentaires les plus utiliser (Ptel,2024).....	16
Figure 4: Ampoule de vitamines (Landry, 2022).....	21
Figure 5: Les différentes parties de la plante (Anzano et al., 2021).....	39
Figure 6: Effets neuroprotecteurs de Moringa oleifera et amélioration de l'activité neuronale et réduction des processus neurodégénératifs.....	47
Figure 7: Feuilles de après rinçage et séchage à l'air libre.....	52
Figure 8: Processus de traitement des feuilles de Moringa.....	53
Figure 9: Préparation du régime alimentaire destiné aux rats expérimentaux.....	56
Figure 10: Régime alimentaire destiné aux rats expérimentaux du groupe supplémenté à la source naturelle.....	57
Figure 11: Régime alimentaire destiné aux rats expérimentaux du groupe supplémenté à la sourcesynthétique (Carbonate de Calcium).....	58
Figure 12: Les différents régimes alimentaires formulés et utilisés dans le protocole <i>in vivo</i>	58
Figure 13: La dentition d'un rat Wistar et ses excréments fécaux observées pendant l'étude.....	59
Figure 14: Rat Wistar au cours du suivi expérimental.....	59
Figure 15: Prélèvement sanguin intracardiaque (Price et al, 2021).....	60
Figure 16: Rats Wistar après l'effet de l'anesthésie à la kétamine et à la xylazine.....	61
Figure 17: Photos montrant la dissection des rats Wistar.....	62
Figure 18: Processus de décalcification à l'acide chlorhydrique (HCl) et de fixation des	



échantillons osseux pour l'étude histologique.....	63
Figure 19: Schéma représentant les différentes étapes du traitement histologique des échantillons osseux, de la fixation à l'observation microscopique.....	65
Figure 20: Schéma représentant les différentes étapes de la dilution, de l'ensemencement et de l'incubation dans le cadre de l'analyse microbiologique.....	66
Figure 21: Evolution du poids moyen (g) durant les phases de carence et de traitement	79
Figure 22: Observations histologiques du tissu osseux et cartilagineux des quatre groupes expérimentaux au microscope optique (×10), groupe témoin (A), groupe complément alimentaire (B), groupe supplément minéral (C) et groupe carencé (D).....	85

Listes des tableaux

Tableau 1: Macro et microminéraux courants, leurs sources et leurs fonctions physiologiques dans le corps humain(Razzaque et Wimalawansa, 2025).....	9
Tableau 2: Besoins journaliers recommandés en calcium (mg/jour)	25
Tableau 3: La composition nutritionnelle des coquilles d'œufs de poules (Chakraborty et Datta, 2019).....	30
Tableau 4: Application de la poudre de coquille d'œuf de poule dans les produits alimentaires (Arond, Rajagukguk, Gramza-Michałowska, 2021).....	36
Tableau 5: Composition en micronutriments de (mg/100 g) Minéral / Vitamine Quantité (mg/100 g) (Gopalakrishnan et al., 2016).....	41
Tableau 6: Les utilisations médicinales des différentes parties de l'arbre <i>Moringa</i> :.....	44
Tableau 7: Répartition des groupes expérimentaux, des cages et codes d'identification utilisés dans l'étude:.....	54
Tableau 8: Méthode de marquage des rats au niveau de la queue:.....	54
Tableau 9: Récapitulatif des paramètres d'analyses microbiologiques.....	69
Tableau 10: Composition nutritionnelle du régime normal (A) et régime carencé en calcium (B), destiné aux rats expérimentaux analysée par spectroscopie proche infrarouge (NIR).....	73
Tableau 11: Composition élémentaire de la poudre de coquilles d'œufs déterminée par spectrométrie de fluorescence X (XRF).....	74
Tableau 12: Composition élémentaire brute de la poudre de déterminée par spectrométrie de fluorescence X (XRF).....	75
Tableau 13: Paramètres visuels pendant la phase de carence (7 semaines).....	77
Tableau 14: Paramètres visuels pendant la phase de traitement (7 semaines).....	77



Tableau 15: Evolution du poids moyen (g) durant les phases de carence et de traitement.....	79
Tableau 16: Variation globale (%) du poids moyen durant les phases de carence et de traitement.....	80
Tableau 17: Évolution de la calcémie selon les régimes expérimentaux.....	82
Tableau 18: Résultats du contrôle de la qualité microbiologique.....	87

Introduction



1.Introduction

La malnutrition demeure l'un des problèmes de santé publique les plus préoccupants au niveau mondial. Elle résulte aussi bien d'un déficit quantitatif que d'un déséquilibre qualitatif de l'apport alimentaire, et se manifeste par des carences multiples en micronutriments essentiels (**Black et al., 2013**). Ces déficits nutritionnels sont à l'origine de nombreuses pathologies, allant des retards de croissance et du rachitisme chez l'enfant, à l'ostéoporose, la fragilité dentaire et l'altération des fonctions physiologiques chez l'adulte (**World Health Organization, 2020**).

Parmi ces carences, celle en calcium occupe une place centrale, étant donné le rôle crucial de ce minéral dans la minéralisation osseuse, la contraction musculaire, la transmission nerveuse et la coagulation sanguine (**Wasserman, 2004 ; Diaz de Barboza, Guizzardi, et Tolosa de Talamoni, 2015**). Des apports insuffisants en calcium, fréquents dans les pays en développement mais également dans certaines populations des pays industrialisés, constituent un facteur de risque majeur de fragilité osseuse et de désordres métaboliques (**Gloux et al., 2019**). En Algérie, comme dans d'autres pays du Maghreb, la transition nutritionnelle s'est traduite par une consommation réduite de produits laitiers et un déséquilibre alimentaire favorisant la déficience en calcium (**Benmansour, Bouchenak et Belleville, 2020**).

Face à cette problématique, la recherche s'oriente de plus en plus vers des sources alternatives, naturelles et durables de calcium. Les coquilles d'œufs représentent une ressource abondante, économique et riche en carbonate de calcium biodisponible (**35 –40 %**), dont la valorisation contribue à la fois à la santé publique et à la réduction des déchets alimentaires (**Swiatkiewicz, Arczewska-Wlosek, et Jozefiak, 2015**). En parallèle, le , souvent appelé « arbre miracle », se distingue par sa richesse en micronutriments, protéines, polyphénols et minéraux, dont le calcium, et ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et nutritionnelles reconnues (**Leone et al., 2016 ; Vergara-Jimenez, Almatrafi et Fernandez, 2017**).

L'association de ces deux ingrédients constitue une stratégie innovante pour la formulation d'un complément alimentaire fonctionnel capable de corriger la carence



calcique tout en apportant des composés bioactifs synergiques bénéfiques pour l'organisme. Dans ce cadre, l'expérimentation *in vivo* sur les rats Wistar offre un modèle pertinent pour évaluer les effets d'un régime carencé en calcium et la capacité corrective de différentes suppléments, en comparant notamment le carbonate de calcium, considéré comme référence classique, à notre formulenaturelle.

Ainsi, ce travail s'inscrit dans une approche intégrant nutrition, santé publique et développement durable, visant à proposer un complément alimentaire naturel, local et efficace pour la prévention de la carence calcique et l'amélioration de l'état nutritionnel.



Chapitre 01

La malnutrition et les carences nutritionnelles



1. La malnutrition et les carences nutritionnelles

1.2. Définition de la malnutrition

La malnutrition, identifiée par l'Organisation mondiale de la santé comme la plus grande menace pour la santé publique mondiale, constitue une condition complexe liée à un déséquilibre de l'apport énergétique et nutritionnel, qu'il s'agisse d'un déficit ou d'un excès en calories, protéines ou autres nutriments essentiels. Elle regroupe ainsi la sous-nutrition et la sur-nutrition, affectant des millions de personnes à travers le monde (**Saseedharan, Shingnapurkar et Navade, 2024; Holdoway, 2024**).

Dans cette même perspective, la Société Européenne de Nutrition Clinique et Métabolisme (**ESPEN**) précise que la malnutrition résulte d'un apport ou d'une absorption inadéquats de nutriments, entraînant une altération de la composition corporelle, notamment une diminution de la masse maigre, et des répercussions sur les fonctions physiques, mentales et les résultats cliniques (**Cederholm et al., 2017**).

Ainsi, la malnutrition s'inscrit dans un cadre multifactoriel, influencé non seulement par des conditions pathologiques, mais aussi par des déterminants socio-économiques, rendant sa prévention et sa prise en charge essentielles dans tout contexte de santé (**Jebakumar et Manoj, 2012; Isenring et al., 2012**).

1.3. La malnutrition au tour du monde

La question de la sécurité alimentaire et de la nutrition s'impose aujourd'hui comme l'un des enjeux les plus pressants à l'échelle mondiale. En effet, malgré certains progrès, la situation reste préoccupante, avec des avancées insuffisantes pour inverser durablement les tendances. En 2024, 673 millions de personnes, soit 8,2 % de la population mondiale, souffraient encore de la faim. L'insécurité alimentaire modérée ou grave touchait environ 2,3 milliards de personnes (28 % de la population), tandis que près de 2,6 milliards n'avaient pas les moyens financiers nécessaires pour accéder à une alimentation saine, compromettant ainsi la qualité nutritionnelle de leur régime (**FAO, IFAD, UNICEF, WFP et WHO, 2025**).



Les disparités régionales demeurent marquées : l'Afrique reste la plus affectée, avec plus d'un habitant sur cinq sous-alimenté et plus d'un milliard de personnes privées d'une alimentation équilibrée ; l'Asie, bien qu'en amélioration en Inde et en Asie du Sud-Est, concentre le plus grand nombre absolu de personnes sous-alimentées ; l'Amérique latine et les Caraïbes, quant à elles, ont connu une baisse récente de la prévalence de la faim après un pic en 2020.

Sur le plan nutritionnel, environ 150 millions d'enfants de moins de cinq ans souffrent d'un retard de croissance, 43 millions d'émaciation et 36 millions de surpoids. L'allaitement maternel exclusif a progressé de 37 % en 2012 à près de 48 % en 2023, mais la prévalence de l'anémie chez les femmes de 15 à 49 ans a augmenté, passant de 27,6 % à 30,7 % entre 2012 et 2023, tandis que l'obésité adulte est passée de 12,1 % à 15,8 % au cours de la même période.

De plus, la diversité alimentaire minimale reste insuffisante : seulement un tiers des enfants de 6 à 23 mois et deux tiers des femmes en âge de procréer consomment une alimentation diversifiée, exposant ainsi une grande partie de la population mondiale à des carences en micronutriments essentiels.

Ces constats montrent que, malgré quelques progrès ciblés, le monde demeure largement hors trajectoire pour atteindre l'objectif de développement durable 2 (Faim zéro) d'ici 2030 (FAO, IFAD, UNICEF, WFP et WHO, 2025). Une revue systématique a révélé que 10,1 % des enfants en Algérie présentaient un retard de croissance, avec des associations significatives avec des facteurs socio-économiques (Elmighrabi et al, 2023).

1.4. Les causes de la malnutrition

Les causes de la malnutrition sont multiples et interconnectées. Selon la FAO (2024), elles peuvent être regroupées autour de six « P », correspondant à six dimensions majeures : Paix, Politique, Population, Pauvreté, Pollution et Production (FAO, 2024).

1.4.1. Production agricole et alimentaire



Une production alimentaire nationale suffisante est une condition nécessaire mais non suffisante pour éliminer la malnutrition. La Révolution verte a considérablement augmenté les rendements des céréales de base, mais de nombreux pays autosuffisants connaissent encore des taux de malnutrition élevés. Le rôle du secteur agricole est crucial, mais il doit être complété par d'autres interventions. La qualité nutritionnelle des aliments produits, et pas seulement la quantité de calories, est primordiale.

1.4.2. Préservation et transformation des aliments

Des pertes alimentaires post-récolte massives (jusqu'à 25% pour les céréales et 50% pour les fruits et légumes) réduisent considérablement la disponibilité réelle de nourriture. Investir dans la chaîne du froid, le stockage, la transformation et la conservation est essentiel pour réduire le gaspillage, améliorer la sécurité alimentaire et ajouter de la valeur aux produits locaux.

1.4.3. Population (démographie)

La pression démographique influence la quantité de nourriture disponible par personne. La taille de la famille, la densité de population et l'espacement des naissances sont des facteurs clés. Une planification familiale volontariste peut aider à améliorer la sécurité alimentaire au niveau des ménages, mais elle ne suffit pas à elle seule à résoudre le problème de la malnutrition.

1.4.4. Pauvreté (facteurs économiques)

La pauvreté est souvent la cause profonde de la malnutrition, limitant l'accès économique à une alimentation suffisante et nutritive. L'augmentation des revenus des ménages les plus pauvres est une stratégie puissante pour améliorer la nutrition. Cependant, des politiques économiques ciblées de redistribution des richesses et de subvention des aliments nutritifs sont souvent nécessaires, car la croissance économique seule ne suffit pas toujours à éradiquer la faim.

1.4.5. Politique (environnement politique et choix stratégiques)

L'engagement politique est le facteur le plus déterminant. Les idéologies, les priorités budgétaires et les cadres réglementaires influencent directement l'accès à



la nourriture, aux soins de santé et à l'éducation.

1.4.6. Pathologie (maladies et infections)

La malnutrition et les maladies forment un cercle vicieux. Les infections (diarrhée, paludisme, VIH/sida, parasites) compromettent l'absorption des nutriments et augmentent les besoins métaboliques. Inversement, la malnutrition affaiblit le système immunitaire.

1.5. Les types de malnutrition

D'après l'Organisation mondiale de la Santé (WHO, 2024), la malnutrition regroupe tous les déséquilibres dans l'apport énergétique et/ou nutritionnel. Elle se divise en trois grandes catégories principales:

1.5.1. La sous-nutrition

Elle comprend plusieurs formes : L'émaciation : perte de poids rapide et sévère par rapport à la taille, souvent due à une alimentation insuffisante ou à une infection aiguë comme la diarrhée. Le retard de croissance : taille insuffisante par rapport à l'âge, conséquence d'une sous-nutrition chronique. L'insuffisance pondérale : poids trop faible par rapport à l'âge, pouvant combiner émaciation et retard de croissance. Les carences en micronutriments : déficits en vitamines ou minéraux essentiels (comme l'iode, le fer ou la vitamine A), affectant la croissance, le développement et l'immunité.

1.5.2. La malnutrition liée aux micronutriments

Elle résulte d'un apport insuffisant ou excessif de vitamines et de minéraux. Ces nutriments sont indispensables à la production d'enzymes, d'hormones et à de nombreuses fonctions biologiques. Les carences sont particulièrement préoccupantes chez les enfants et les femmes enceintes.

1.5.3. Le surpoids

L'obésité et les maladies non transmissibles liées à l'alimentation Le surpoids et l'obésité se caractérisent par une accumulation excessive de graisse corporelle,



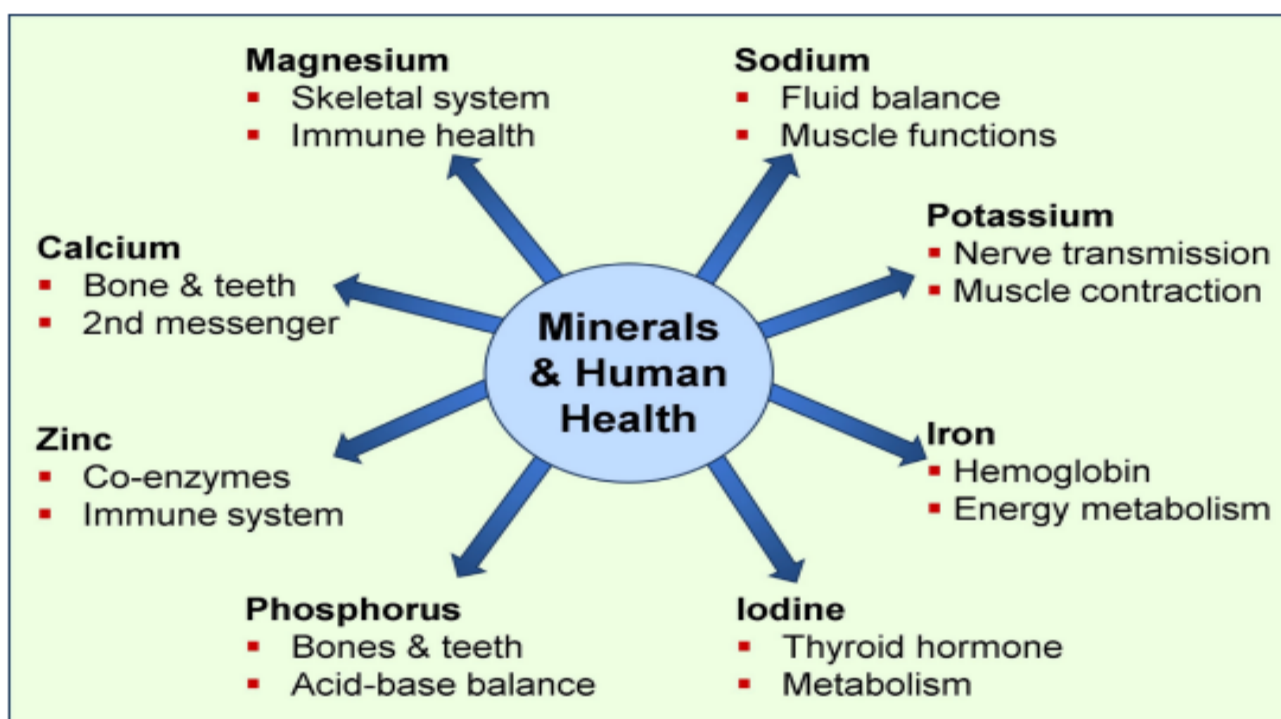
souvent liée à une consommation élevée d'aliments énergétiques et à une faible activité physique. Ces formes de malnutrition peuvent entraîner des maladies non transmissibles comme les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et certains cancers.

1.6. Les carences en minéraux

1.6.1. Rôle et fonctionnement des minéraux

Un équilibre minéral adéquat est crucial pour maintenir une santé humaine normale et prévenir les maladies. Les minéraux, qui sont essentiels au maintien de diverses fonctions physiologiques, sont classés en deux groupes principaux :

La **macro minéraux** qui comprennent principalement le calcium (Ca), le



phosphore, le magnésium (Mg), le sodium et le potassium et,

Les microminéraux (oligo-éléments), tels que le fer, le zinc, le cuivre, l'iode, le sélénium et le manganèse (Weyh, Krüger et Peeling, 2022 ; Islam et *al.*, 2018).

Les macroéléments sont nécessaires à raison d'environ 0,1 g par jour et les oligo-éléments à raison de 0,01 g par jour (Kumar, 2021).



Ces minéraux sont essentiels pour la croissance et le développement des os et des dents, ainsi que pour les fonctions physiologiques des muscles et des nerfs. De plus, les minéraux aident à maintenir l'équilibre hydrique, à réguler les niveaux de pH et servent de cofacteurs pour de nombreuses enzymes et coenzymes.

Tableau 1: Macro et microminéraux courants, leurs sources et leurs fonctions physiologiques dans le corps humain(Razzaque et Wimalawansa, 2025).

Minéraux	Sources	Principaux Fonctions Physiologiques
Calcium	Lait et produits laitiers ; poissons en conserve avec arêtes (saumon et sardines) ; tofu et boisson de soja enrichis ; verdure (brocoli et feuilles de moutarde) ; légumineuses	Important pour la santé des os et des dents ; second messenger.
Magnésium	Noix et graines, légumineuses, légumes-feuilles verts, fruits de mer et chocolat.	Maintient la santé du système squelettique et du système immunitaire.
Sodium	Sel, sauce soja et aliments transformés	Joue un rôle clé dans la régulation de la pression artérielle en influençant le volume sanguin et le tonus vasculaire ; essentiel pour la conduction des impulsions nerveuses, permettant une communication adéquate entre les cellules nerveuses ; essentiel pour la contraction et la relaxation musculaires normales ; impliqué dans le transport de divers nutriments à travers les membranes cellulaires, notamment le glucose, les acides aminés et les phosphates



Potassium	Viandes, lait, fruits et légumes frais, céréales complètes et légumineuses.	Nécessaire pour un équilibre hydrique adéquat, la transmission nerveuse et la contraction musculaire.
Fer	Abats, viandes rouges, poisson, volaille, crustacés (en particulier les palourdes), jaunes d'œufs, légumineuses, fruits secs, légumes-feuilles vert foncé et pains et céréales enrichis en fer	Fait partie d'une molécule (hémoglobine) présente dans les globules rouges qui transporte l'oxygène dans le corps nécessaire au métabolisme énergétique.
Zinc	Viandes, poissons, volailles, grains entiers et légumes	Ils sont nécessaires à la fabrication des protéines et du matériel génétique et jouent un rôle dans la perception du goût, la cicatrisation des plaies, le développement fœtal normal, la production de spermatozoïdes, la croissance et la maturation sexuelle normales, et la santé du système immunitaire.
Cuivre	Légumes, noix et graines, céréales complètes, abats, et eau potable	De nombreuses enzymes sont nécessaires pour le métabolisme du fer
Iode	Fruits de mer, aliments cultivés dans un sol riche en iode, sel iodé, pain et produits laitiers	L'iode est présente dans l'hormone thyroïdienne, qui aide à réguler la croissance, le développement et le métabolisme.



Selenium	Viande, fruits de mer et céréales riches en sélénium	Composant essentiel des enzymes antioxydantes, en particulier la glutathion peroxydase, important pour la fertilité masculine et la spermatogenèse, dans la régulation des hormones thyroïdiennes. Les enzymes contenant du sélénium aident à fabriquer l'ADN et à protéger contre les dommages cellulaires.
Manganèse	Noix et graines (noisettes, noix de pécan et pignons de pin) ; légumineuses (pois chiches, soja et lentilles) ; crustacés (moules, huîtres et palourdes)	Un composant clé de l'enzyme antioxydante superoxyde dismutase (SOD) ; il joue un rôle dans la coagulation sanguine et l'hémostase ; agit comme cofacteur de diverses enzymes.

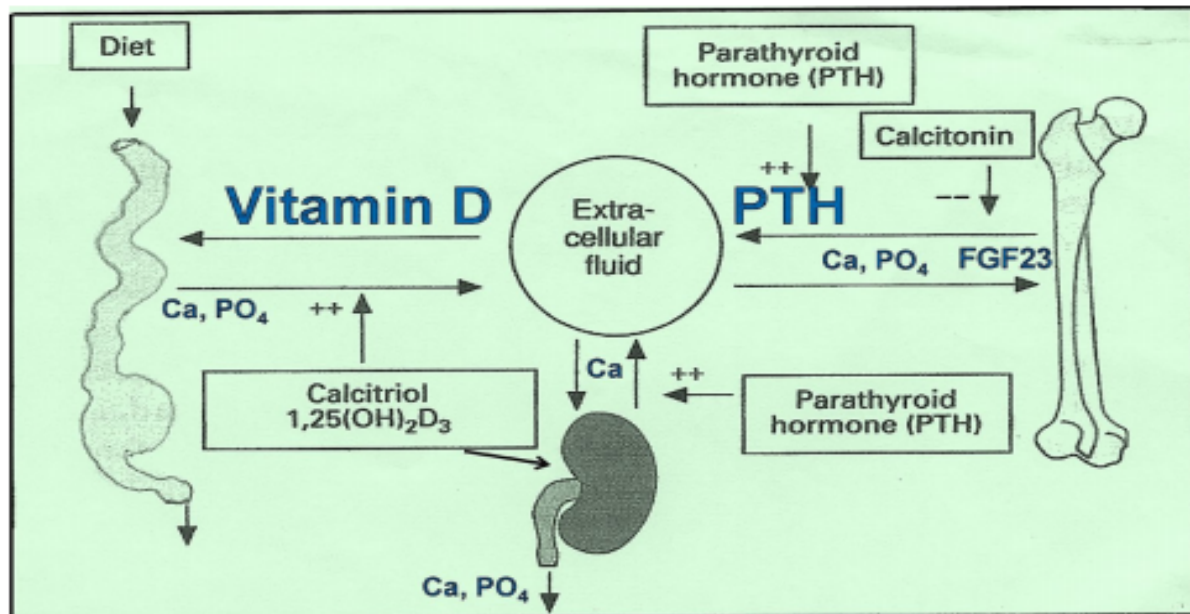
1.7. Le calcium, un minéral clé pour la santé

Le calcium (**Ca**) est essentiel à de nombreux processus physiologiques, notamment la santé osseuse, la contraction musculaire, la signalisation nerveuse et la coagulation sanguine. Environ 99 % du **Ca** de l'organisme est stocké dans les os et les dents, fournissant un soutien structurel et servant de réservoir pour maintenir les niveaux de **Ca** extracellulaire. Un apport adéquat en **Ca** prévient l'ostéoporose et maintient la densité osseuse, en particulier chez les populations vieillissantes et les femmes postménopausées (**Beto, 2015**). Au-delà de la santé squelettique, le **Ca** est un régulateur clé des fonctions cellulaires telles que l'activité enzymatique et la transduction du signal, ce qui souligne son importance dans les processus métaboliques globaux (**Berridge, 2003**). L'équilibre normal du **Ca** est essentiel aux fonctions neuronales, aux activités cardiaques et à la coagulation sanguine (**Brini et al., 2014 ; LeBrasseur, 2003**).



1.8. La carence en calcium " l'hypocalcémie" et ces conséquences

On estime que 3,5 milliards de personnes dans le monde sont menacées de



carence en **Ca** en raison d'un apport alimentaire insuffisant. Les populations des pays à revenu faible et intermédiaire, en particulier dans certaines parties de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, sont exposées à un faible apport en **Ca**. L'équilibre des niveaux de **Ca** grâce à l'alimentation et à la supplémentation, si nécessaire, est essentiel pour soutenir la santé à long terme et prévenir les complications. Les principaux régulateurs physiologiques du métabolisme du **Ca** et les mécanismes connexes sont illustrés à la **figure 2**.

Les cas où l'organisme est déficient en un seul nutriment sont très rares, la plupart des minéraux étant dépendants les uns des autres et leurs carences se produisant ensemble (Kumar, 2021).

Figure 2: Les principaux régulateurs et contrôles physiologiques et biologiques sont illustrés (Facteur de croissance des fibroblastes 23) (FGF23) (Razzaque, 2025).

Les faibles taux de calcium sérique, qui caractérise l'hypocalcémie, et pour une longue période pourrait entraîner des cataractes, des modifications dentaires, des altérations cérébrales, de l'ostéoporose et du rachitisme. . Dans plusieurs régions du

monde, le rachitisme causé par une carence en calcium est toujours présent. Une étude contrôlée randomisée en double aveugle menée auprès de 123 enfants nigériens souffrant de rachitisme a montré que l'apport de base en calcium de ces enfants était faible, presque 200 mg/jour. De plus, ces enfants ont mieux réagi au traitement au calcium seul ou combiné à la vitamine D plutôt qu'à la vitamine D seule(Marie et *al.*, 1982 ; Thacher et *al.*, 1999) .

De plus, certaines maladies et régimes spécifiques, comme les régimes végétariens, pourraient provoquer une carence en calcium. Une supplémentation en calcium est également nécessaire chez les patients atteints de maladies inflammatoires de l'intestin, en particulier ceux qui reçoivent des corticostéroïdes/glucocorticoïdes (Suskind, 2009 ; Abbasi, Prasad et Rabbani, 1980).

Chapitre 02

Les compléments alimentaires



2. Les compléments aliment

2.1. Définition des compléments

A mesure d'un mode de vie particulier de certaine population dont leur régime alimentaire n'est pas vraiment équilibré (femmes enceintes, personnes âgées, sportifs, personnes à maladies chronique ...), il est nécessaire qu'il soit complété par des apports en vitamines, minéraux et autres nutriments par les compléments alimentaires dans la plupart des cas donnent des résultats satisfaisants (**Valette, 2015**).

Selon le ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités et des Familles (**publication du 24.01.2013, mise à jour le 25.02.2025**), les compléments alimentaires ,sont définis comme « des denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés... » (**Directive 2002/46/CE du Parlement européen, transposée par le décret n°2006-352 du 20 mars 2006**).

Il existe de nombreux compléments alimentaires, à base de plantes, de vitamines et minéraux, ou d'autres concentrés de substances à but nutritionnel et physiologique (mélatonine, glucosamine...).



Ils sont commercialisés sous forme de doses telles que les gélules, pastilles, comprimés, pilules, gommes (ou "gummies"), sachets de poudre ou encore en préparations liquides (ampoules, flacons munis de compte-gouttes). Ces compléments sont présentés comme des produits qui contribuent à améliorer les apports nutritionnels des consommateurs, et les aident à mincir, affronter l'hiver, mieux digérer, avoir de beaux cheveux, réduire les désagréments de la grossesse ou de la ménopause, etc.

2.2. La composition des compléments alimentaires

Les compléments alimentaires peuvent également être qualifiés en fonction de leur composition. Par conséquent, les ingrédients utilisés dans la fabrication des compléments alimentaires doivent conduire à la préparation de produits sûrs, qui ne sont pas nocifs pour la santé des consommateurs, comme cela est établi par des données scientifiques généralement acceptées. Ainsi, Il a été défini que les substances peuvent être utilisées pour la fabrication des compléments alimentaires sont (Othman, 2012 ; Villepin et *al.*, 2006).

- Les nutriments et les substances à but nutritionnel ou physiologique.
- Les plantes et les préparations à base de plantes. Les autres ingrédients dont l'utilisation en alimentation humaine est traditionnelle ou reconnue comme telle ou autorisé.
- Les additifs, les arômes et les auxiliaires technologiques dont l'emploi est autorisé en alimentation humaine .

2.3. Les types de compléments alimentaires et leur forme galénique

2.3.1. Types de compléments alimentaires

Les compléments alimentaires peuvent être classés en plusieurs catégories selon leur

composition biochimique ou leur **objectif physiologique ou thérapeutique**. Cette typologie permet de mieux comprendre leur rôle spécifique dans le maintien ou l'amélioration de la santé.

2.3.1.1. Compléments vitaminiques

Ils sont principalement enrichis en vitamines hydrosolubles (comme les



vitamines C et B12) ou liposolubles (comme les vitamines D et E). Leur consommation est souvent indiquée pour compenser des carences nutritionnelles ou pour soutenir des fonctions physiologiques spécifiques comme l'immunité ou la santé osseuse (Gibson et *al.*, 2011 ; EFSA, 2021).

2.3.1.2. Compléments minéraux

Ces produits fournissent des minéraux essentiels tels que le **calcium**, le **magnésium**, le **fer** ou le **zinc**, nécessaires à la formation osseuse, au métabolisme énergétique ou à la prévention de l'anémie (Maughan et *al.*, 2018).

2.3.1.3. Compléments protéiques

À base de protéines isolées ou concentrées (ex. : lactosérum ou *whey*), ils sont largement utilisés par les sportifs pour favoriser la récupération musculaire ou par les personnes âgées et dénutries pour maintenir la masse maigre (Phillips et *al.*, 2016).

2.3.1.4. Compléments à base de plantes médicinales

Ces produits utilisent des extraits végétaux (comme le **ginseng**, le **gingembre** ou le **fenouil**) connus pour leurs effets antioxydants, digestifs ou tonifiants, selon les principes de la phytothérapie traditionnelle (WHO, 2013 ; Posadzki et *al.*, 2013).

2.3.1.5. Acides gras essentiels

Cette catégorie inclut les **oméga-3** (EPA, DHA) et **oméga-6**, reconnus pour leurs effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire, cognitive et inflammatoire. On les trouve dans les huiles de poisson, de lin ou de bourrache (Calder, 2015).

2.3.1.6. Fibres alimentaires

Des substances comme le **psyllium** ou l'**inuline** sont utilisées pour leur rôle dans la régulation du transit intestinal, la modulation de la glycémie et la promotion d'un microbiote intestinal sain (Slavin, 2013).

2.3.1.7. Probiotiques et prébiotiques

Les probiotiques sont des micro-organismes vivants (souvent des lactobacilles ou bifidobactéries) tandis que les prébiotiques (comme les fructo-oligosaccharides)



servent de substrat à ces bactéries. Ensemble, ils contribuent à la santé digestive, à la prévention des troubles intestinaux et à l'immunité (Hill et *al.*, 2014 ; Gibson et *al.*, 2017).

2.3.2. Formes galéniques des compléments alimentaires :

Les compléments alimentaires se présentent sous plusieurs formes galéniques, selon le mode d'administration et les préférences du consommateur :

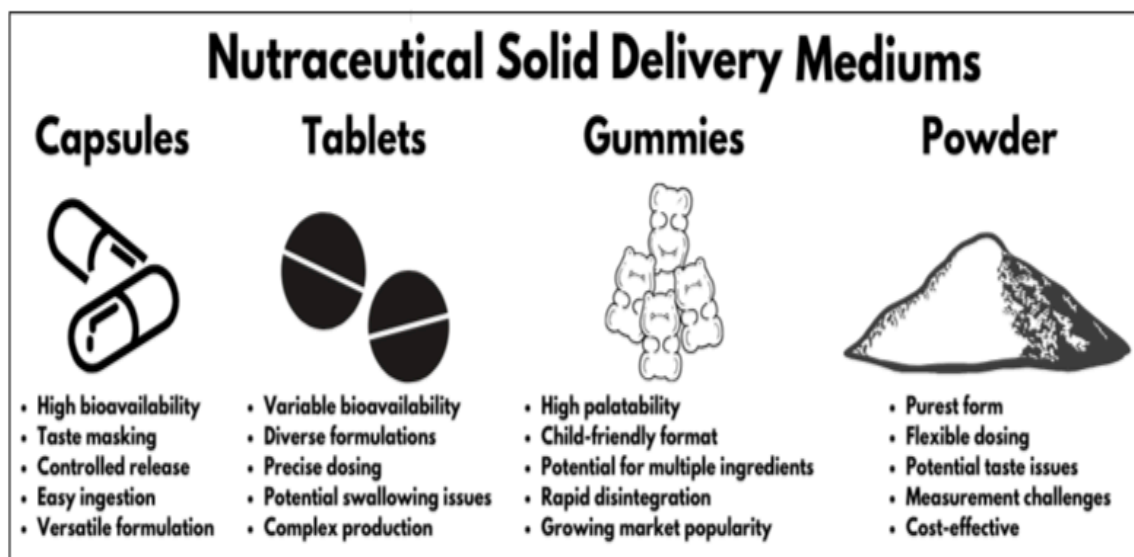


Figure 3 : Les formes galéniques des compléments alimentaires les plus utiliser (Ptel,2024).

2.3.2.1. Comprimés

Les comprimés ont leurs propres forces en tant que support de livraison de médicaments et sont la forme la plus largement utilisée dans laquelle les nutraceutiques sont développés et mis sur le marché. Les comprimés sont considérés comme une dose unitaire, tout comme les gélules. ils peuvent contenir des ingrédients autres que l'agent nutraceutique bioactif. La quantité d'ingrédient actif dans le comprimé peut varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment la tolérance chez les sujets humains et la quantité d'autres ingrédients. Par exemple, une étude a été menée sur la formulation de comprimés nutraceutiques à base de clou de girofle et de cannelle. Dans le comprimé de 400 mg, le "composé" nutraceutique (l'ingrédient actif) ne représentait que 100 mg. Alors que le lactose et le mannitol, qui étaient utilisés comme diluants dans le comprimé, étaient utilisés dans une quantité presque trois fois supérieure - 290 mg (Nagaich et *al.*, 2014). La biodisponibilité d'un comprimé, ou la vitesse et l'étendue auxquelles l'ingrédient actif

est absorbé dans la circulation sanguine, est influencée par plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci, on peut citer :

Désintégration et dissolution : Un comprimé doit d'abord se désintégrer en particules plus petites, puis se dissoudre dans les fluides gastro-intestinaux avant que le médicament puisse être absorbé. Des facteurs tels que la dureté du comprimé, la force de compression et l'utilisation de désintégrants peuvent influencer ce processus.

Taille des particules : Une taille de particules plus petite améliore généralement la vitesse de dissolution et, par conséquent, la biodisponibilité. La taille des particules, dans ce contexte, fait référence à la taille des particules individuelles de l'ingrédient nutraceutique actif (API) ou d'autres composants au sein de la formulation du comprimé

Excipients : Le choix des excipients peut avoir un impact significatif sur la désintégration, la dissolution et la libération du médicament. Par exemple, les excipients hydrophiles peuvent accélérer la désintégration, tandis que les excipients hydrophobes peuvent la retarder.

Tbleau : Les avantages, les inconvénients et l'impact sur la posologie de chaque type de comprimé (Patel, 2024).

Type de comprimé	Avantages	Inconvénients / Limites	Impact sur la posologie
Comprimés à croquer	Faciles à prendre, absorption rapide	Distribution parfois inégale, goût potentiellement désagréable	Peut nécessiter un ajustement pour garantir une absorption homogène
Comprimés enrobes	Masquent le goût, protègent le médicament, permettent une libération ciblée	Conception plus complexe	Permettent une libération dans la zone souhaitée (ex. intestin avec enrobage entérique)
Comprimés enrobes	Masquent le goût, protègent le médicament, permettent une libération ciblée	Conception plus complexe	Permettent une libération dans la zone souhaitée (ex. intestin avec enrobage entérique)
Comprimés à libération prolongée	Libération continue, meilleure observance thérapeutique	Peut altérer la concentration maximale et la durée d'action	Nécessitent une formulation précise pour maintenir une concentration



			thérapeutique constante
Comprimés classiques (non enrobés)	Simple à produire, absorption rapide	Goût parfois désagréable, risque d'irritation gastrique	Dosage direct, mais moins contrôlé comparé aux autres formes

L'efficacité d'un comprimé dépend fortement de son interaction avec l'acide gastrique et les enzymes digestives. Sa composition, ainsi que les éventuels enrobages, influencent directement la vitesse de désintégration et la libération du principe actif. Les comprimés à libération immédiate sont formulés pour se dissoudre rapidement dans l'estomac, tandis que ceux dotés d'un enrobage entérique sont conçus pour résister à l'acidité gastrique et ne se désagrègent qu'une fois arrivés dans les intestins. La variation du pH gastrique joue ainsi un rôle clé dans la solubilité et l'absorption du médicament (Patel, 2020).

Il est possible de concevoir des comprimés à libération prolongée, tout comme les gélules, mais une telle approche exige une formulation très précise afin de surmonter les contraintes liées à l'environnement stomacal. Dans le cas des nutraceutiques, ces défis sont encore plus marqués. En effet, leur composition est souvent plus complexe que celle des médicaments traditionnels, car ils contiennent une forte proportion de substances actives avec peu d'excipients. Cette caractéristique rend la fabrication plus délicate, car les propriétés physiques des ingrédients – comme la taille des particules, leur écoulement ou leur teneur en humidité – peuvent impacter fortement la qualité finale du comprimé ainsi que l'efficacité du procédé de fabrication (Patel, 2020).

Par ailleurs, certains nutraceutiques présentent une abrasivité ou une dureté accrue, ce qui peut accélérer l'usure des équipements de production. Le souci esthétique, notamment lorsqu'on utilise des colorants naturels ou que l'on souhaite obtenir un aspect visuel agréable, constitue également un défi non négligeable. Ces éléments exigent une expertise technique poussée dans le développement des comprimés nutraceutiques.

Enfin, malgré l'intérêt croissant pour les probiotiques, les comprimés restent peu utilisés dans ce domaine, car ils offrent une protection moins efficace aux micro-organismes vivants comparé aux gélules. Toutefois, des stratégies de formulation



appropriées peuvent permettre de préserver la viabilité des probiotiques pendant leur durée de conservation, bien que cela implique souvent un coût de production plus élevé (Nguyen, Anton, et Vandamme, 2016).

2.3.2.2. Gélules / Capsules

Les gélules sont l'une des méthodes les plus largement utilisées pour administrer (et ingérer) par voie orale des substances thérapeutiques. Les gélules peuvent contenir la « charge utile », c'est-à-dire les substances nutraceutiques (ou pharmaceutiques) sous diverses formes. Il peut s'agir de poudre, de semi-solides, de liquides non aqueux, enrobées d'une enveloppe gélatineuse ou végétale.

Tableau : Les points positifs et les limites des gélules avec leur références.

Points positifs	Références	Points négatifs / limites	Références
Masquage du goût désagréable Facilité d'ingestion, notamment pour les personnes sensibles Protection accrue des probiotiques jusqu'à l'intestin	Gowrimeen et al., 2018	Posologies parfois plus faibles comparées à la forme poudre (ex. garcinia cambogia : 900–1500 mg vs 3000–5000 mg)	Fassina et al., 2015 ; Ishii et al., 2003
Flexibilité d'encapsulation de divers composés Libération ciblée (estomac ou intestin) selon l'enveloppe (gélatine, HPMC, entérique) Dosage précis et minimisation de perte de composé bioactif Usage fréquent en essais cliniques (ex. : curcumine, 500–1200 mg/jour)	Keservani et al., 2017	Certains composés sont difficiles ou incompatibles à encapsuler	—
Biodisponibilité améliorée par rapport à la poudre	Kunnumakkara et al., 2016	Coût généralement plus élevé que les poudres	—
Réduction de posologie efficace pour certains actifs (ex. : garcinia cambogia)	Fassina et al., 2015		
Production plus simple que les comprimés	Ishii et al., 2003		



2.3.2.3. Poudres

Les **nutraceutiques en poudre** offrent une forme **pure et flexible** d'ingrédients actifs, avec une **meilleure concentration** et un **contrôle de dosage** plus précis. Toutefois, ils posent des défis en matière de **goût**, de **dosage exact**, et de **variabilité d'absorption**. Leur **biodisponibilité** dépend de plusieurs facteurs (taille des particules, solubilité, état digestif). Bien que leur production soit **plus simple**, des contraintes d'hygiène et de stabilité persistent. Malgré leur **moins bonne praticité**, les poudres restent intéressantes pour les personnes évitant les additifs ou ayant des besoins spécifiques (Frankling et *al.*, 2020).

2.3.2.4. Pastilles et gommes

Les **gummies nutraceutiques** gagnent en popularité grâce à leur **goût agréable** et leur **attrait visuel**, surtout chez les enfants (Bartkiene et *al.*, 2023). Bien qu'ils soient moins présents sur le marché que les gélules ou comprimés, ils représentent une **alternative pratique** pour délivrer plusieurs ingrédients actifs en une seule prise. Leur **matrice gélifiée**, qui commence à se dissoudre dans la bouche, peut favoriser un **début d'action plus rapide** pour certains composés (Liu et *al.*, 2024). En plus de protéger certains ingrédients bioactifs sensibles (à la lumière, chaleur ou oxygène), les gummies permettent une **administration synergique** de nutriments, mais leur **biodisponibilité** peut varier selon la formulation et les caractéristiques individuelles.

2.3.2.5. Sirops

Forme liquide concentrés sucrés ou non, sont souvent utilisés comme forme de supplémentation pour leur **absorption potentiellement plus rapide** et leur **meilleure biodisponibilité**, notamment chez les personnes ayant des difficultés à avaler des comprimés comme les enfants, personnes âgées ou patients sensibles (Texas Health, 2022) . Cette forme peut également améliorer la **conformité au traitement**, car elle est plus facile à administrer et souvent mieux tolérée (DaVinci Labs, 2025) . Toutefois, malgré ces avantages perçus, les études soulignent qu'il est nécessaire d'avoir davantage de données scientifiques robustes pour confirmer que l'augmentation de la biodisponibilité se traduit effectivement par des bénéfices cliniques réels (Nutritional Medicine Journal, 2022).



2.3.2.6. Ampoules buvables

Dose unique liquide concentrée comme les ampoules en verre d'huile de vitamine D, offrent une dose fixe et concentrée. Néanmoins, une étude menée au Pakistan a montré que la plupart des patients (80,2 %) et une majorité de médecins (66,7 %) préfèrent les comprimés à l'ampoule liquide, en partie en raison du **risque de blessure en ouvrant l'ampoule** (33 % des patients ont signalé des coupures ; particules de verre) – ce qui peut nuire à l'adhésion au traitement (Maroof et al., 2017).

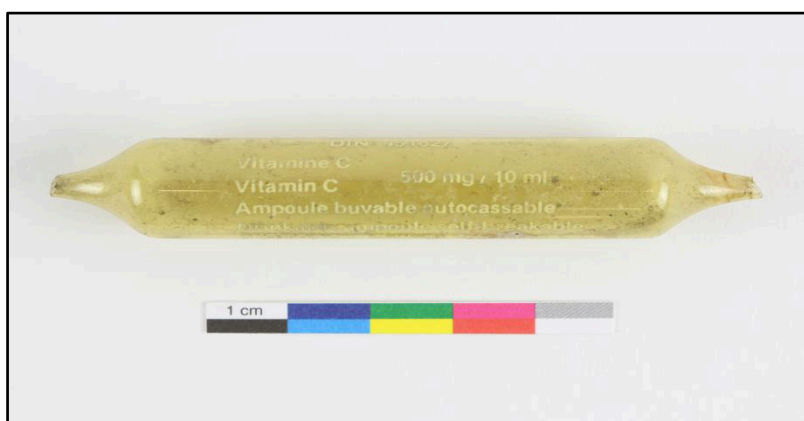


Figure 4: Ampoule de vitamines (Landry, 2022).

Tableau : Comparaison des dosages pour différentes classes de nutraceutiques (complément alimentaire) (Patel, 2024).

Fonctionnalités	Gélules	Comprimés	Poudres	Gommes
<i>Biodisponibilité</i>	Généralement élevée, surtout avec libération contrôlée.	Peut varier en fonction de la formulation, de la désintégration et de la dissolution.	Influencée par la taille des particules, la solubilité et les interactions avec les aliments.	Potentiel d'absorption rapide grâce à la désintégration orale, mais la biodisponibilité globale peut varier.
<i>Appétence</i>	Souvent élevée grâce au masquage du goût.	Elle peut varier selon la formulation, mais généralement acceptable.	Généralement faible en raison du goût et de la texture.	Elle Élevée grâce au goût et à la texture agréables.

<i>Complexité de production</i>	Modérée, nécessitant un processus d'encapsulation.	Complexe en raison des processus de compression et de revêtement.	Relativement simple, mais nécessite une manipulation minutieuse pour maintenir la qualité.	Complexité modérée en raison des processus de formulation et de moulage.
<i>Dose unique</i>	Pré-mesuré	Pré-mesuré	Généralement vendu en vrac	Pré-mesuré
<i>Acceptation des consommateurs</i>	généralement élevée en raison de la commodité et de la facilité d'utilisation.	Élevée, mais peut varier en fonction de la taille de la tablette et des difficultés de déglutition.	Peut-être plus faible en raison du côté salissant et de la difficulté à mesurer des doses précises.	Élevée, en particulier chez les enfants et ceux qui recherchent des options pratiques
<i>Stabilité et durée de conservation</i>	Généralement bonne, surtout avec un stockage approprié	Peut varier selon la formulation et l'enrobage	Peut être sensible à l'humidité, à la lumière et à l'oxygène	Peut être influencé par la teneur en sucre et les conditions de stockage
<i>Coût de production</i>	Modéré, influencé par le matériau de l'enveloppe et le processus de remplissage.	Peut varier en fonction de la formulation et de l'équipement.	Généralement plus bas en raison d'un processus de production plus simple.	Peut-être plus élevé en raison d'ingrédients et de traitements supplémentaires.
<i>Considérations réglementaires</i>	Soumis aux réglementations relatives aux compléments alimentaires, avec des exigences spécifiques pour les gélules et leur contenu.	Soumis aux réglementations relatives aux compléments alimentaires, avec des considérations supplémentaires pour les enrobages de comprimés et la compression.	Généralement moins réglementé que d'autres formes, mais toujours soumis aux normes de sécurité alimentaire.	Soumis aux réglementations relatives aux compléments alimentaires, avec des exigences spécifiques pour les ingrédients et les procédés de fabrication.
<i>Impact environnemental</i>	Peut varier selon les matériaux d'emballage et les processus de production.	Similaire aux gélules, avec des considérations supplémentaires pour les enrobages des comprimés.	Généralement moins d'impact environnemental en raison d'emballages plus simples.	Potentiel d'impact environnemental plus élevé en raison de l'emballage et de la teneur en sucre.

2.4. Motivations à la prise de compléments alimentaires

Les motivations qui poussent les individus à consommer des compléments alimentaires ont été largement explorées à travers diverses enquêtes (Synadiet, 2019). Parmi ces raisons, on retrouve :

2.4.1. La prévention d'une carence

Qu'elle soit réelle ou simplement supposée – en un ou plusieurs nutriments. Cette



motivation correspond à l'usage principal prévu des compléments alimentaires. Toutefois, elle ne représente qu'environ 15 % des cas (**Synadiet, 2019**).

2.4.2. La recherche de l'esthétique

Dans un but de minceur, d'embellissement de la peau, des cheveux, etc. Bien que cette tendance soit en diminution, elle constitue encore le premier segment en termes de volume de ventes et de chiffre d'affaires, représentant près de 50 % du total (**Synadiet, 2019**).

2.4.3. Le maintien de la jeunesse et de la santé

Cette motivation repose sur une forte croyance populaire selon laquelle la nutrition joue un rôle déterminant dans la santé et la longévité. En réalité, ce raisonnement repose sur une logique inversée : une alimentation déséquilibrée ou de mauvaise qualité est perçue comme la cause directe de nombreuses pathologies pouvant augmenter la mortalité (**Touvier et al., 2017**).

2.4.4. La réappropriation de sa maladie

En particulier dans les situations de pathologies graves, notamment lorsque les effets secondaires des traitements sont importants, ou en cas d'échec de la médecine conventionnelle. Ce type de motivation est particulièrement observé chez les patients atteints de cancer, bien qu'il puisse mener à un abandon du traitement conventionnel, compromettant ainsi les chances de guérison (**Touvier et al., 2017**).

Certaines de ces attentes sont exagérées et sont parfois alimentées par des stratégies de communication d'industriels du secteur (**Laplace, 2006**). Enfin, les consommateurs les plus fréquents de compléments alimentaires sont majoritairement des femmes, jeunes adultes et issus d'un niveau socioéconomique élevé (**Pilorin et Hébel, 2012**).

2.5. La supplémentation en calcium

Le calcium (Ca^{2+}) est un élément minéral alcalino-terreux essentiel à l'organisme. Il joue un rôle fondamental en tant que second messager intracellulaire, participant activement à plusieurs processus biologiques vitaux tels que la signalisation cellulaire, la contraction musculaire, la coagulation sanguine, la transmission nerveuse et la sécrétion hormonale. Sa concentration extracellulaire est régulée de manière très précise afin de maintenir l'homéostasie cellulaire et tissulaire



(Brown, 1991).

2.5.1. Mécanisme d'absorption

les deux voies d'absorption du calcium : paracellulaire et transcellulaire :

2.5.1.1. La voie paracellulaire

L'absorption paracellulaire du calcium se fait à travers les jonctions serrées entre les entérocytes, par un processus de diffusion passive.

Ce mécanisme dépend d'un gradient électrochimique favorable entre la lumière intestinale et le plasma. En effet, la concentration de Ca^{2+} libre dans la lumière duodénale varie entre 2 et 6 mmol/L, contre une concentration plasmatique plus faible d'environ 1,25 mmol/L, créant ainsi un gradient chimique propice à l'entrée passive du calcium (Diaz de Barboza et *al.*, 2015 ; Wasserman, 2004).

Malgré un potentiel électrique faible (environ 2,5 mV) entre la lumière intestinale et le plasma, aucun flux de sortie du calcium n'est observé, ce qui permet un maintien du transport dans le sens favorable (Charoenphandhu et *al.*, 2001).

En plus du gradient chimique, le calcium pénètre également via le flux de solvant, un mécanisme où l'eau entraîne les ions et les petites molécules hydrophiles à travers les espaces paracellulaires. Ce processus est activé par le co-transporteur sodium-glucose de type 1 (SGLT1) et la pompe Na^+/K^+ -ATPase, qui favorisent un flux osmotique d'eau et par conséquent une absorption accrue du Ca^{2+} en présence de glucose ou de galactose (Suntornsaratoon et *al.*, 2014).

La perméabilité de cette voie est modulée par des protéines des jonctions serrées, notamment les claudines. Les isoformes claudin-2, -12 et -15 facilitent le passage du calcium, tandis que claudin-1 et claudin-5 ont un rôle d'étanchéité qui limite son transport (Gloux et *al.*, 2019 ; Fujita et *al.*, 2006 ; Amasheh et *al.*, 2005).

2.5.1.2. La voie transcellulaire d'absorption du calcium

La voie transcellulaire correspond à un transport actif en trois étapes successives. D'abord, le Ca^{2+} traverse la membrane apicale des entérocytes par diffusion facilitée à travers deux canaux calciques spécifiques : TRPV5 et TRPV6, appartenant à la famille des canaux vanilloïdes. Parmi eux, TRPV6 est



particulièrement exprimé dans l'intestin et joue un rôle clé dans l'absorption intestinale du calcium (van Goor et al., 2017 ; Peng et al., 2018).

Une fois dans le cytoplasme, le calcium se lie à des protéines de liaison intracellulaires, comme la calbindine-D9k, qui facilitent son transport vers la membrane basolatérale. À ce niveau, le calcium est extrudé activement hors de la cellule via la Ca^{2+} -ATPase de la membrane plasmique (PMCA1b), un transport primaire consommant de l'ATP (Diaz de Barboza et al., 2015 ; Brown, 1991). Cette voie est finement régulée par la vitamine D active ($1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$), qui augmente l'expression des TRPV6, des protéines de liaison et de la PMCA1b, assurant ainsi une absorption efficace du calcium en fonction des besoins physiologiques (Wasserman, 2004).

2.5.2. Les besoins en calcium

varient selon l'âge, le sexe, et l'état physiologique (grossesse, allaitement, vieillesse). Plusieurs autorités sanitaires internationales telles que l'EFSA (2015), l'OMS/FAO (2004) et le NIH (2022) ont établi des apports nutritionnels de référence pour assurer une couverture optimale des besoins et prévenir les carences, notamment l'ostéoporose et les troubles du développement osseux chez les enfants.

Tableau 2: Besoins journaliers recommandés en calcium (mg/jour)

Catégorie d'âge	Apport recommandé (mg/jour)	Référence
Nourrissons (0–6 mois)	200	WHO/FAO, 2004
Nourrissons (7–12 mois)	260	WHO/FAO, 2004
Enfants (1–3 ans)	700	NIH, 2022
Enfants (4–8 ans)	1000	NIH, 2022
Adolescents (9–18 ans)	1300	EFSA, 2015 ; NIH, 2022
Adultes (19–50 ans)	1000	EFSA, 2015 ; NIH, 2022
Femmes enceintes et allaitantes	1000	WHO/FAO, 2004 ; NIH, 2022



Adultes > 50 ans	1200	EFSA, 2015 ; NIH, 2022
Personnes âgées (>70 ans	1200	NIH, 2022

2.5.3. Justification de la supplémentation en calcium

La supplémentation en calcium représente une stratégie nutritionnelle essentielle dans la prévention et le traitement des carences calciques, notamment dans les populations à risque. Bien que le calcium soit largement disponible dans l'alimentation (produits laitiers, légumes verts, poissons à arêtes, etc.), plusieurs études ont montré que de nombreux individus n'atteignent pas les apports recommandés, en particulier dans les régimes restrictifs, végétaliens, ou pauvres en produits laitiers (Weaver et al., 2016).

Chez les personnes âgées, la diminution de l'absorption intestinale du calcium due au vieillissement, combinée à une baisse de la synthèse cutanée de la vitamine D, entraîne un risque accru de déminéralisation osseuse.

Cette situation est encore aggravée chez les femmes ménopausées, en raison de la chute des œstrogènes, ce qui accélère la perte de masse osseuse (Heaney, 2001).

2.6. Cadre réglementaire des compléments alimentaires

2.6.1. En Algérie

La législation algérienne encadre la production, la commercialisation et l'étiquetage des compléments alimentaires à travers plusieurs textes juridiques.

2.6.1.1. Cadre réglementaire national en Algérie

Le décret exécutif n° 90-367 du 10 novembre 1990 constitue l'un des piliers de la réglementation algérienne en matière de sécurité alimentaire. Il définit les règles générales d'hygiène applicables à toutes les denrées alimentaires, imposant aux opérateurs du secteur de garantir la salubrité et l'innocuité des produits tout au long de la chaîne de production, de la fabrication à la consommation. Ce décret s'inscrit dans une démarche préventive visant à éviter les contaminations microbiologiques et chimiques susceptibles de nuire à la santé publique (Journal officiel de la République Algérienne, 1990).

Le décret exécutif n° 92-314 du 7 juillet 1992 encadre quant à lui les modalités d'étiquetage des denrées alimentaires, incluant les compléments alimentaires. Il



impose la mention claire et obligatoire des ingrédients, du poids net, de la date de péremption, de l'origine du produit et des modalités de conservation ou d'utilisation. Ces exigences visent à garantir une information transparente pour le consommateur et à prévenir toute forme de tromperie commerciale (**Journal officiel de la République Algérienne, 1992**).

L'**arrêté du 20 juillet 2004** vient renforcer la sécurité des aliments en fixant une liste exhaustive des additifs autorisés, tels que les colorants, conservateurs et exhausteurs de goût, ainsi que leurs dosages maximaux autorisés. Ce texte réglementaire a pour objectif de limiter les risques liés à l'utilisation excessive ou inappropriée de ces substances, en s'appuyant sur des études toxicologiques et des normes internationales (**Journal officiel de la République Algérienne, 2004**).

La **loi n° 09-03 du 25 février 2009** est dédiée à la protection du consommateur et à la répression des fraudes. Elle impose des sanctions en cas de commercialisation de produits non conformes, de publicité mensongère ou de mise sur le marché de compléments alimentaires dangereux pour la santé. Elle marque une avancée majeure en matière de responsabilité des opérateurs économiques (**Journal officiel de la République Algérienne, 2009**).

2.6.1.2. Normes algériennes spécifiques aux compléments alimentaires

Les Normes Algériennes (**NA**), élaborées par l'Institut Algérien de Normalisation (**IANOR**), complètent ce dispositif réglementaire. Elles couvrent des aspects essentiels tels que l'étiquetage spécifique des compléments alimentaires, les bonnes pratiques de fabrication (BPF), la qualité organoleptique et la sécurité microbiologique. Ces normes s'inspirent souvent des standards internationaux ISO, notamment **ISO 4833** (dénombrement des micro-organismes), **ISO 6579** (détection de Salmonella), et **ISO 21527** (levures et moisissures), garantissant ainsi un niveau de sécurité comparable aux normes mondiales (**IANOR, s.d.**).

2.6.2. Réglementations internationales sur les compléments alimentaires



À l'échelle internationale, le Codex Alimentarius, établi conjointement par la FAO et l'OMS, joue un rôle central dans l'harmonisation des normes relatives aux denrées alimentaires, y compris les compléments. Il propose des directives claires sur l'étiquetage nutritionnel des produits, stipulant notamment l'obligation d'indiquer la nature des nutriments présents, la portion journalière recommandée, des mises en garde concernant le dépassement des doses journalières, et des avertissements contre l'utilisation des compléments comme substituts d'une alimentation équilibrée (FAO/OMS, 2023).

Il interdit également toute mention susceptible de laisser croire que le produit guérit, prévient ou traite une maladie, sauf si cela est conforme aux allégations de santé autorisées. Par exemple, la mention "prévient les risques cardiovasculaires" pourrait être admise sous conditions, contrairement à "prévient l'infarctus" (Règlement CE n°1924/2006).

En parallèle, des réglementations spécifiques comme celles de l'ANSES (France) encadrent strictement l'utilisation des additifs alimentaires (colorants, antioxydants, arômes). Ces substances doivent être utilisées à des doses minimales, justifiées par une fonction technologique, et ne doivent pas masquer la mauvaise qualité d'un produit. Toutefois, des problèmes persistent, notamment lorsque les opérateurs ignorent les additifs autorisés dans les compléments, ce qui peut entraîner des non-conformités (ANSES, 2022).



Chapitre 03



Intérêt nutritionnel des coquilles d'œufs et du Moringa olifera

3. Intérêt nutritionnel des co

u *Moringa olifera*

3.1. La composition nutritionnelle

de poules

Profil nutritionnel: La coquille d'œuf de poulet est composée de la membrane coquillière et de coquille. Son poids global est inférieur de 10 à 11 % au poids de l'œuf entier. La composition chimique de la coquille d'œuf est de 98 % de matière sèche et de 2 % d'eau. D'autre part, les cendres représentent 93 % de la matière sèche, tandis que les protéines brutes ne représentent que 5 % (Scahan, 2023).

Profil minéral: Les coquilles d'œufs sont principalement constituées de minéraux essentiels, en particulier le calcium, qui est crucial pour la santé humaine. Les coquilles d'œufs sont composées d'environ 95 % de carbonate de calcium, ce qui



se traduit par environ 5,5 grammes de calcium par coquille. De plus, elles contiennent des traces d'autres minéraux tels que le magnésium, le sodium, le potassium, le zinc, le manganèse, le fer et le cuivre (Sachan, 2023 ; Tiwari et al., 2022).

La teneur en minéraux varie légèrement en fonction de la source des œufs (Graça et Emanuell, 2015).

Tableau 3: La composition nutritionnelle des coquilles d'œufs de poules (Chakraborty et Datta, 2019)

Minéraux spécifiques présents dans la coquille d'œuf	Unité de mesure	(Al-awwal et al., 2015)	(Hassan et al., 2015)	(Schaafsma et al., 2000)
Teneur en cendre totale	g/100g	89.9-91.1	90,2	Non mesuré
Calcium	mg/100g	35100-35400	35080	40100
Magnésium	mg/100g	370-400	262	450
Fer	mg/100g	Non mesuré	13.06	2.24
Phosphore	mg/100g	120	150.2	99
Zinc	mg/100g	Non mesuré	145.1	0.513
Sodium	mg/100g	150-170	47.9	Non mesuré
Potassium	mg/100g	100-130	50	Non mesuré
Cuivre	mg/100g	Non mesuré	4.1	0.77
Manganèse	mg/100g	Non mesuré	149.9	Non mesuré
Strontium	µg/g	Non mesuré	Non mesuré	372
Fluor	µg/g	Non mesuré	Non mesuré	3.75
Sélénium	ng/g	Non mesuré	Non mesuré	23.5
B.V.Pb.Al.Cd et Hg	–	Non mesuré	Non mesuré	En dessous de la limite de détection

Plusieurs études se sont intéressées à l'évaluation de la composition minérale des coquilles d'œufs ainsi qu'à leur sécurité microbiologique après différentes procédures d'assainissement. Les recherches ont montré que les coquilles provenant aussi bien d'œufs blancs que bruns présentent une composition



minérale similaire, dominée par une forte teneur en calcium, estimée à environ 365 mg/g.

Certaines différences mineures peuvent toutefois être observées selon les conditions d'élevage : par exemple, des teneurs plus élevées en magnésium et plus faibles en strontium ont été rapportées chez les coquilles issues de certaines catégories de poules pondeuses. En revanche, aucune concentration significative de métaux toxiques n'a été détectée.

Ces résultats confirment que la coquille d'œuf constitue une source naturelle intéressante de calcium pour la nutrition humaine, à condition qu'elle soit correctement transformée afin de garantir sa qualité sanitaire (Graça et *al.*, 2015).

3.2. Propriétés du calcium des coquilles d'œufs de poules et impact sur la santé

3.2.1 Santé osseuses

L'os est composé de 60 % de minéraux, 30 % de matrice et 10 % d'eau. Une explication très simplifiée de la formation osseuse sera utilisée pour aider à comprendre la véritable complexité de ce processus de cycle de vie continu. Pour créer de l'os nouveau ou maintenir la composition osseuse, les cellules formatrices d'os (ostéoblastes) migrent dans les vésicules matricielles non minéralisées (structure). Ceci est suivi par l'attraction du phosphore, puis des ions calcium pour créer la minéralisation (densité) de l'os. Au niveau cellulaire, les molécules de protéine de transporteur de sodium et de phosphore créent les cristaux d'hydroxyapatite en tant que précurseur de la minéralisation osseuse réelle. Le phosphore et le calcium jouent tous deux des rôles essentiels et interdépendants dans la formation de l'os nouveau et la réparation de l'os existant. Les priorités de la formation osseuse diffèrent selon les groupes de population.

Chez les enfants et les jeunes adultes, l'accent est mis sur une forte croissance et structure osseuse de base comme fondement. Vers l'âge de 25 à 30 ans, la majorité de la nouvelle formation osseuse est terminée. Après cette période de croissance, l'accent est mis sur le maintien de la densité osseuse et la prévention de



la perte osseuse. Après l'âge de 50 ans, la recherche a montré que la densité osseuse diminue souvent de manière substantielle, de sorte que l'objectif à ce stade du cycle de vie est de maintenir la densité minérale osseuse et de minimiser la perte osseuse. La perte progressive de minéralisation osseuse au fil du temps augmente le risque de fracture osseuse et de chute (**Beto ,2015**).

Le magnésium, le phosphore et le calcium, les principaux ions minéraux des os, sont cruciaux pour affecter les variations de la masse osseuse. Pour qu'une calcification et une croissance osseuses correctes aient lieu, ces ions minéraux doivent être présents dans les liquides extracellulaires à des niveaux normaux et suffisants (**Ma et al., 2020**).

3.2.2 Hypertension

Les personnes âgées souffrent fréquemment d'hypertension et d'ostéoarthrite, qui partagent toutes deux la même étiologie : une carence en calcium (**Wang et al., 2017**). On pense qu'un apport plus élevé en calcium est lié à un risque plus faible de maladies cardiovasculaires, en particulier chez les femmes ménopausées. Le calcium est connu pour jouer un rôle important dans la prise en charge de l'hypertension (**Bello, Dersjant-Li et Korver , 2020**). Le calcium aide également à réguler la pression artérielle, et certaines preuves indiquent que les personnes ou les animaux de laboratoire ayant des niveaux de calcium adéquats peuvent être protégés contre l'hypertension. La pré-éclampsie et l'hypertension induite par la grossesse ont été significativement diminuées lorsque l'apport en calcium a été augmenté (1 à 2 g/jour).

Il a été démontré que la pression artérielle systolique et diastolique diminue avec une supplémentation en calcium dans l'alimentation ; cependant, les personnes ayant un faible apport en calcium (moins de 0,8 g/jour) avaient une pression artérielle plus élevée. Il est nécessaire d'approfondir l'étude de l'effet du calcium sur les pressions artérielles systolique et diastolique (**Hsieh et al., 2021**). Selon une méta-analyse, la supplémentation en calcium pendant la grossesse chez les femmes à risque de carence en calcium réduit l'incidence de la prééclampsie de plus de 50 %.



3.2.3. Perte de poids

Le calcium peut jouer un rôle dans le contrôle du poids corporel, selon des observations montrant que la consommation d'un repas riche en calcium pendant les périodes de forte consommation d'énergie réduisait le dépôt lipidique des adipocytes et la prise de poids. Par l'intermédiaire de la parathormone, les régimes riches en calcium abaissent les ions calcium intracellulaires (**Cao et *al.*, 2020**) .

L'augmentation du calcium intracellulaire entraînerait une diminution de l'expression de la synthèse des acides gras. Cette enzyme est essentielle à la régulation du dépôt lipidique. Une perte de poids plus importante est attribuée aux lipides, tout en favorisant la dégradation du tissu adipeux, conséquence de l'oxydation accélérée suite à la prise de calcium. De plus, le calcium alimentaire encourage l'excrétion des graisses fécales, ce qui conduit à une augmentation de l'excrétion des graisses fécales.

Les personnes qui consomment beaucoup de calcium ont des niveaux plus élevés de peptide tyrosine plasmatique, ce qui améliore la satiété et réduit l'apport calorique, favorisant ainsi la perte de poids (**Kobus-Cisowska et *al.*, 2020**).

3.2.4. Cancers colorectaux

La principale cause de décès en Occident est le cancer colorectal. On a longtemps cru que le calcium alimentaire pouvait aider à prévenir les adénomes et le cancer colorectal. Il a été démontré que le calcium réduit le risque de cancer colorectal en se liant aux acides gras ionisés et aux acides biliaires cancérigènes.

Cela a rendu plus difficile la prolifération de ces substances cancérigènes dans la couche muqueuse du côlon. En se liant aux récepteurs du calcium, le calcium est également connu pour soutenir la diversité de la sélectivité des cellules du côlon. L'activation de l'isoforme protéine kinase C n'est qu'un des effets biologiques de cela. Il a été constaté que les cellules cancéreuses du côlon expriment cette protéine différemment chez l'homme et l'animal.

De nombreuses études cliniques ont démontré que les suppléments de



calcium peuvent aider à défendre les cellules du côlon contre les changements pré-malins. L'utilisation de suppléments de calcium et l'apparition du cancer du côlon distal semblent être liées (Tiwari et al., 2022).

3.2.5. Calculs urinaires

Sabar AG (2011) a tenté d'éliminer les calculs d'acide urique purs des voies urinaires en utilisant de la poudre de coquille d'œuf. La coquille d'œuf broyée et stérilisée a été dissoute dans du jus de citron frais. Le mélange a été administré par voie orale à 85 patients présentant différents types de calculs urinaires pendant 7 jours consécutifs avant le petit-déjeuner. Tous les patients ont subi des examens échographiques et de pyélographie intraveineuse pour localiser la position et détecter le diamètre du calcul. L'examen susmentionné, ainsi que des tests biochimiques pour le diagnostic des ingrédients des calculs, ont été répétés à la fin du traitement et de l'excrétion de fragments de calculs dans l'urine.

Le traitement a éliminé tous (100 %) les calculs chez les patients atteints d'un calcul d'acide urique pur, tandis qu'il a éliminé les calculs de 40 % des patients atteints de calculs mixtes (acide urique/oxalate de calcium). Les résultats étaient très prometteurs, en particulier contre un calcul d'acide urique pur (Sabar, 2011).

3.2.6. Communication cellulaire et conduction nerveuse

Les cellules doivent communiquer afin de répondre aux changements de conditions, et cette communication nécessite des messagers dont les concentrations fluctuent dans le temps. Les ions calcium ont un impact profond sur la vie et la mort d'une cellule. De nombreuses protéines interagissent avec les ions calcium, ce qui modifie leur comportement, leur association et leur localisation. Le calcium sert de messager universel pour presque tous les types de cellules, y compris les lymphocytes T et B et les mastocytes liés au système immunitaire. De plus, l'organisme utilise la signalisation calcique pour un certain nombre de choses, telles que la croissance et la prolifération, la différenciation et la mort cellulaire programmée (apoptose) (ARNm), qui est le processus de fabrication de copies



d'ADN en nouvelles molécules (Nassar et Alotaibi,2020).

Le Ca^{2+} est un signal intracellulaire très polyvalent qui fonctionne sur une large plage temporelle pour réguler de nombreux processus cellulaires différents. Ce système de signalisation utilise des réactions « on » qui introduisent le Ca^{2+} dans la cellule et des réactions « off » qui l'éliminent du cytoplasme. Une vaste boîte à outils de signalisation Ca^{2+} est utilisée pour assembler des systèmes de signalisation avec des dynamiques spatiales et temporelles très différentes. Des pics de Ca^{2+} rapides et hautement localisés régulent les réponses rapides, tandis que les réponses plus lentes sont contrôlées par des transitoires globaux répétitifs de Ca^{2+} ou des ondes intracellulaires de Ca^{2+} . Le Ca^{2+} joue un rôle direct dans le contrôle des schémas d'expression de ses systèmes de signalisation (Berridge et Bootman 2003).

Il régule les activités les plus importantes de toutes les cellules eucaryotes. Il est d'une importance cruciale pour les neurones car il participe à la transmission du signal dépolarisant et contribue à l'activité synaptique. Les neurones ont ainsi développé des voies de signalisation calcique étendues et complexes pour coupler le signal Ca^{2+} à leur machinerie biochimique. L'influx de Ca^{2+} dans les neurones se produit par l'intermédiaire de récepteurs membranaires et de canaux ioniques voltage-dépendants.

La libération de Ca^{2+} à partir des réserves intracellulaires, telles que le réticulum endoplasmique, par des canaux intracellulaires contribue également à l'élévation du Ca^{2+} cytosolique. À l'intérieur de la cellule, le Ca^{2+} est contrôlé par l'action tampon des protéines de liaison du Ca^{2+} cytosolique et par sa capture et sa libération par les mitochondries. La capture du Ca^{2+} dans la matrice mitochondriale stimule le cycle de l'acide citrique, améliorant ainsi la production d'ATP et l'élimination du Ca^{2+} du cytosol par les pompes entraînées par l'ATP dans le réticulum endoplasmique et la membrane plasmique.

Un échangeur $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ dans la membrane plasmique participe également au contrôle du Ca^{2+} neuronal. L'incapacité des neurones à maintenir un niveau d'énergie adéquat peut avoir un impact sur la signalisation calcique : cela se produit pendant le vieillissement et dans les processus de maladies neurodégénératives. (Brin, Calì et



Ottolini, 2014) .

3.3.Applications pratiques des coquilles d'œufs de poules

3.3.1. Pharmaceutiques

Le carbonate de calcium, un excipient pharmaceutique, est largement utilisé comme diluant dans les formes posologiques solides, comme base pour les préparations médicinales et dentaires, comme agent tampon et d'aide à la dissolution pour les comprimés dispersibles, comme additif alimentaire ainsi que comme supplément de calcium. Les coquilles d'œufs, contenant 94 % de carbonate de calcium, peuvent également être utilisées comme excipient pharmaceutique alternatif (Bello et al ,2020).

3.3.2 Alimentaires

L'utilisation des coquilles d'œufs peut apporter des bénéfices significatifs en termes de valeur nutritionnelle et, surtout, d'augmentation de la teneur en calcium. Cependant, il convient de noter que le succès de l'ajout de coquilles d'œufs dépend du type et du pH du produit alimentaire. Son ajout au pain et aux biscuits dépend du niveau de calcium souhaité, de l'acceptabilité des caractéristiques organoleptiques du produit, mais surtout, du point de vue technologique, de l'augmentation des caractéristiques rhéologiques de la pâte, du volume de la pâte et de la texture du produit final.

Dans les produits de confiserie, l'ajout de coquilles d'œufs peut affecter défavorablement les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité, tant en termes de goût que d'arôme. L'ajout de coquilles d'œufs aux produits laitiers, tels que le yaourt, le fromage frit ou le jus de canneberge, semble être le plus bénéfique et le plus souhaitable sur le plan sensoriel. L'application des coquilles d'œufs dans l'industrie alimentaire est également limitée en raison de la contamination microbiologique, et de la nécessité de broyer les coquilles de manière appropriée afin que le consommateur ne perçoive pas sa présence comme du "sable" dans le produit (Arlond, Rajagukguk, Gramza-Michałowska, 2021).



Tableau 4: Application de la poudre de coquille d'œuf de poule dans les produits alimentaires (Arlond, Rajagukguk, Gramza-Michałowska, 2021)

Produits alimentaire	Concentration de Poudre de coquille d'œuf de poule	Notes de recommandation	Références
Biscuits	6 % (p/p) de farine de blé	Teneur en calcium, texture, propriétés sensorielles, biodisponibilité du calcium	(Hassan, 2015)
Pain	8% (p/p) des ingrédients	Teneur en calcium, volume spécifique du pain, propriétés sensorielles	(Ali, Hasan , Alssiraj, 2019)
Pain	2% (p/p) de farine de blé	Augmentation des caractéristiques rhéologiques de la pâte et des propriétés nutritionnelles, diminution de l'acceptabilité générale et de l'indice olfactif	(Alsuhaibani, 2018)
Lanières de pain	Substitution de 10% (p/p) de	Modifications mineures des propriétés sensorielles	(Ali,Badawy, 2017)
Viande panée frite, pain, pizza, spaghetti	500 mg Ca/person	Modifications mineures de texture, sans modification de saveur	(Brun et <i>al.</i> , 2013)
gâteaux au chocolat	6 % (p/p) de farine de blé	Teneur en calcium, texture, propriétés sensorielles	(Ray, Barman, Roy, 2017)
Jus d'aronia, jus de canneberge	1 % de jus d'aronia et de canneberge	Teneur en calcium du jus d'aronia et de canneberge, pas de changement significatif de couleur ni de teneur en sédiments	(Lachowicz et <i>al.</i> , 2020)
Muffin	8 g/500 g de farine de	Teneur en minéraux, propriétés	(Afzal et <i>al.</i> ,



	blé	sensorielles	2020)
Nham (saucisse de porc fermentée à la thaïlandaise)	150 mg de Ca/100 g de Nham (poudre de coquille d'œuf transformée en lactate de calcium de coquille d'œuf)	Aucune différence dans les scores sensoriels de goût acide, de saveur et d'acceptation globale	(Daengprok et <i>al.</i> , 2002)
Ser smazony (pâte à tartiner polonaise)	265 mg/100 g de ser smazony	Teneur en calcium augmentée > 2,5 fois, la biodisponibilité du calcium était plus élevée après l'ajout de lysine et de vitamine K.	(Kobus-Cisowska et <i>al.</i> , 2020)
Pain blanc	1 à 1,5 % (p/p) des ingrédients	Score total élevé à l'évaluation sensorielle	(Platon et <i>al.</i> , 2020)
Pain blanc	2 % (p/p) de substitution de farine à pain	L'acceptation du consommateur dans l'évaluation sensorielle	(Chileket <i>al.</i> , 2018)
Yaourt	0,15–0,30 % (p/v) de lait	Aucun effet défavorable significatif sur les propriétés physicochimiques, microbiennes et sensorielles	(Al Mijan, Choi et Kwak, 2014)
Yaourt (au lait de vache et de bufflonne)	0,3 % de yaourt (poudre de coquille d'œuf nanométrique)	Composition, texture et qualités sensorielles acceptables	(El-Shibiny et <i>al.</i> , 2018).

3.4.Généralités sur la plante

Eespèce originaire du sous-continent indien, est un arbre à croissance rapide appartenant à la famille des *Moringaceae*. Il peut atteindre 10 à 12 mètres de hauteur et s'adapte aussi bien aux climats humides qu'aux zones arides. Réputé pour sa résilience face à la sécheresse et ses usages multiples – notamment alimentaires et médicaux – il est surnommé « l'arbre miracle ». Les jeunes gousses et les feuilles vertes sont couramment utilisées comme légumes nutritifs.

Grâce à sa richesse en protéines, vitamines et minéraux, il constitue un excellent complément alimentaire. Ses feuilles contiennent jusqu'à dix fois plus de



vitamine A que les carottes, sept fois plus de vitamine C que les oranges, dix-sept fois plus de calcium que le lait, et quinze fois plus de potassium que les bananes (Rockwood, Anderson, et Casamatta, 2013).

À maturité, l'arbre se reconnaît par ses feuilles pennées, ses fleurs bisexuées fortement pollinisées par les abeilles et les souimangas, et ses longues gousses ligneuses qui s'ouvrent en trois valves contenant des graines globuleuses. Selon le cultivar, il commence à fructifier entre 6 et 12 mois après la plantation. Les gousses mûrissent environ trois mois après la floraison et doivent être récoltées rapidement. Chaque gousse contient en moyenne 26 graines d'environ 1 cm de diamètre (Leone



et *al.*, 2015).

Figure 5: Les différentes parties de la plante (Anzano et *al.*, 2021)

3.4.1. Origine, répartition géographique et importance historique du Moringa

La famille des *Moringaceae* est composée de 14 espèces connues, parmi lesquelles et *Moringa stenopetala* sont les plus couramment cultivées en Inde du Sud, en Éthiopie, aux Philippines, au Soudan et dans d'autres pays tropicaux (Fahey, 2005). *M. oleifera* et *M. concanensis* se trouvent presque partout au Bangladesh (Ahmed et al., 2009). Le moringa est bien connu depuis l'Antiquité pour ses valeurs nutritionnelles et médicinales, et il était utilisé par les Romains, les Grecs, les Égyptiens et dans le nord du Nigéria (Dalziel, 1956 ; Keay, 1989).

3.4.2. Identification du *Moringa* et taxonomie

L'appartient à la classification botanique suivante :

Embranchement : Spermatophytes.

Sous - Embranchement : Angiosperme

Classe : Dicotylédones

Sous-Classe : Dilleniidae

Ordre : Capparales (capparidacées)

Famille : Moringaceae

Genre : *Moringa*

Espèce : *Oleifera*.

3.4.3. Composition phytochimique de *Moringa Oleifera*

La recherche sur et ses dérivés a profondément exploré ses nombreux aspects. Plus de 90 composés distincts ont été identifiés dans le genre *Moringa*, montrant des bénéfices thérapeutiques potentiels. Les protéines, acides aminés (Mahmood et al., 2010), acides phénoliques (López-Salazar et al., 2019), caroténoïdes (Saini et al., 2014), alcaloïdes (Sahakitpichan et al., 2011), glucosinolates (Abd Rani et al., 2018), flavonoïdes (Abdull Razis et al., 2014), stérols (Anzano et al., 2021), terpènes (Matic et al., 2018), tanins et saponines (Bhattacharya et al., 2014), acides gras (Faizi et al., 1994), glycosides et polysaccharides sont quelques exemples de la diversité des substances incluses dans cette classification.

L'examen de la composition chimique des différents constituants de *M. oleifera* a révélé une multitude de composés bioactifs, principalement des métabolites secondaires. Parmi les plus notables figurent les glucosinolates ; les flavonoïdes comme le kaempférol, la vanilline et la quercétine ; ainsi que les acides phénoliques tels que les acides gallique, ellagique, chlorogénique et férulique. Ces substances possèdent des propriétés nutritionnelles, thérapeutiques et antimicrobiennes riches.

3.4.3.1. Acides aminés



Parmi les divers nutriments présents dans les différentes parties des protéines sont les plus abondantes, représentant environ 25 % du poids sec de la plante et comprenant au moins 19 acides aminés distincts, essentiels et non essentiels (Anwar et *al.*, 2007). Les graines, quant à elles, renferment environ 30 % de lipides, dominés par l'acide stéarique, l'acide palmitique et l'acide oléique (Abdulkarim et *al.*, 2005).

3.4.3.2. Vitamines et minéraux

Se distingue par une composition particulièrement riche en micronutriments essentiels. Ses feuilles constituent une source importante de minéraux tels que le calcium, le magnésium, le potassium, le phosphore, le fer, le zinc et le cuivre, qui jouent un rôle clé dans le métabolisme, la croissance osseuse et la régulation des fonctions physiologiques. Elles renferment également des vitamines en quantités notables, notamment la vitamine A, la vitamine C et la vitamine E, qui contribuent à la vision, au renforcement du système immunitaire et à la protection contre le stress oxydatif.

La présence de plusieurs vitamines du groupe B (B2, B3, B7 et B12) en fait aussi un aliment favorable au métabolisme énergétique et au bon fonctionnement du système nerveux. Grâce à cette richesse nutritionnelle, est considérée comme une plante à fort potentiel pour la prévention et la lutte contre les carences nutritionnelles (Alam et *al.*, 2016).

Les informations nutritionnelles concernant *M. oleifera* sont présentées dans le tableau (Moyo et *al.*, 2011).

Tableau 5:Composition en micronutriments de (mg/100 g) Minéral / Vitamine
Quantité (mg/100 g) (Gopalakrishnan et *al.*, 2016).

Composition en micronutriments de (mg/100 g)	
Calcium	440–3650 mg



Magnésium	24-1050 mg
soufre	134-925 mg
sodium	164-272 mg
potassium	299-2061 mg
phosphore	70-300 mg
fer	0,85-126 mg
zinc	0,16-3,30 mg
cuivre	0,6-1,1 mg
Vitamine Quantité (mg/100 g)	
Vitamine A	6,78–18,90 mg
Vitamine B2	0,15–20,50 mg
Vitamine B3	0,8–8,2 mg
Vitamine B7	4,23 mg
Vitamine B12	0,06–2,64 mg
Vitamine C	17,3–220,0 mg
Vitamine E	77 mg

3.4.3.3. Flavonoïdes

La grande variété de composés bioactifs présents dans les graines et les feuilles de *M. oleifera* est reconnue pour ses éventuels bienfaits médicaux. Les feuilles et les graines de *M. oleifera* sont riches en flavonoïdes tels que la myricétine, la rutine, le kaempférol, la quercétine, l'isorhamnétine, la procyanidine et la catéchine. De plus, on trouve des quantités notables de pigments de lutéine dans les feuilles (**Abdull Razis et al., 2014**).

3.4.3.4. Acides phénoliques

Le *M. oleifera* est riche en acides phénoliques, comprenant l'acide sinapique, syringique, cinnamique, gentisique, férulique, gallique, protocatéchuïque, caféique, épicatechine, p-coumarique, o-coumarique et la vanilline, qui appartiennent majoritairement aux dérivés des acides hydroxycinnamiques et hydroxybenzoïques présents dans les plantes. Parmi eux, l'acide gallique se distingue comme le composé le plus abondant



dans les feuilles séchées, avec une teneur d'environ 1,034 mg/g de poids sec, bien que des études antérieures aient rapporté des niveaux très faibles. En parallèle, l'acide chlorogénique et l'acide caféique ont été identifiés à des concentrations variant respectivement entre 0,018–0,489 mg/g et autour de 0,409 mg/g (Anzano et al., 2021).

3.4.3.5. Alcaloïdes

Les alcaloïdes constituent un groupe de composés azotés basiques. Les atomes d'azote de ces composés forment des amines qui peuvent être classées en amines primaires, secondaires et tertiaires. Leurs propriétés thérapeutiques les rendent particulièrement intéressants. Plusieurs alcaloïdes ont été identifiés dans les feuilles de , dont deux nouveaux alcaloïdes, la marumoside A et B, ainsi que l'aurantiamide acétate isolé des racines (Sahakitpichan et al., 2011 ; Bhattacharya et al., 2014).

De plus, la tige de la plante contient de la moringinine et des alcaloïdes de type moringinine (Faizi et al., 1994). Les glucosinolates sont également abondants dans *M. oleifera*, le plus répandu étant le 4-O-(L-rhamnopyranosyloxy)-benzyl glucosinolate, connu sous le nom de glucomoringine (Abd Rani et al., 2018).

3.4.3.6. Tanins, Acides Gras et Stérols

Les tanins sont des polyphénols naturels présents dans une grande variété de plantes, notamment les fruits, les légumes et les graines. Ils sont couramment utilisés dans l'industrie vinicole comme agents de clarification, stabilisateurs de couleur et pour équilibrer la complexité des vins en inhibant les enzymes dans les fruits infestés. La concentration de tanins dans l'arbre de *Moringa* varie, avec une teneur maximale observée dans les feuilles séchées (20,7 mg/g). Les graines contiennent également une petite quantité de tanins. Dans les graines, la proportion totale des tanins représente $0,890 \pm 0,020$ mg GAE/g de matière sèche. Les graines



de contiennent d'importants acides gras tels que l'acide arachidique, l'acide octacosanoïque, l'acide oléique et l'acide palmitique.

Cette plante contient aussi d'autres acides gras comme l'acide stéarique, l'acide linoléique, l'acide béhénique et l'acide paullinique. Les graines et les feuilles de *M. oleifera* renferment le stérol isolé β -sitostérol. L'écorce de *M. oleifera* a également été utilisée pour extraire le β -sitostérol-3-O- β -D-galactopyranoside, une autre forme de glycoside stéroïdien. Ces tanins et stérols sont responsables de diverses activités pharmacologiques (Anzano et al., 2021).

3.5. Alimentation et complémentation à base de *Moringa*

Aujourd'hui, avec la vitesse de vie actuelle, beaucoup de gens se trouvent contraints de consommer des aliments riches en calories, ce qui entraîne de nombreux problèmes de santé tels que l'obésité, l'hypertension, le diabète et d'autres maladies chroniques. Pour maintenir un mode de vie équilibré, il est essentiel d'adopter une alimentation riche en vitamines, minéraux et acides gras polyinsaturés. Dans ce cadre, les feuilles de sont reconnues comme une source alimentaire exceptionnelle, facilement digestible et riche en protéines. Les feuilles de moringa contiennent des nutriments essentiels tels que des protéines, des vitamines, du calcium, du fer, de l'acide ascorbique et des antioxydants (caroténoïdes, flavonoïdes et phénols) (Sultana et Anwar, 2008).

Selon Busani et al. (2011), elles sont particulièrement bénéfiques dans les pays en développement, où elles sont utilisées pour nourrir les enfants, renforçant leur immunité contre diverses maladies. En effet, ces feuilles sont une excellente source de nutriments et contribuent à augmenter le taux d'antioxydants dans le sang, à réduire le taux de sucre dans le sang et à diminuer l'inflammation chronique (Kasolo et al., 2010). En plus de leur valeur nutritionnelle, les feuilles de moringa ont vu leurs usages se diversifier : elles sont maintenant disponibles sous forme de capsules médicinales, en poudre, en boissons (comme le "Ziga drink") ou en infusion (Gopalakrishnan et al., 2016).



Ces formes permettent d'exploiter les propriétés de la plante de manière plus pratique et accessible pour un plus large public. En raison de ses nombreux bienfaits nutritionnels et médicaux, la moringa est souvent désignée sous le nom d'"arbre miracle" (Olagbemide et Alikwe, 2014).

Tableau 6: Les utilisations médicinales des différentes parties de l'arbre *Moringa*:

Parties	Utilisations	Références
Feuilles	Généralement utilisées pour le traitement de l'asthme, de la bronchite, de l'hyperglycémie, de la dyslipidémie, de la grippe, des brûlures d'estomac, de la syphilis, du paludisme, de la pneumonie, de la diarrhée, des maux de tête, du scorbut, des maladies de la peau, des infections oculaires et auriculaires. Elles réduisent également la pression artérielle et le cholestérol, et possèdent des propriétés anticancéreuses, antimicrobiennes, antioxydantes, antidiabétiques et antiathéroscléreuses, et agissent comme un agent neuroprotecteur.	(Rockwood et al., 2010; Thurber et Fahey, 2009), (Choudhary et al., 2013)
Les graines	Les graines de Moringa sont utilisées pour traiter l'hyperthyroïdie, la maladie de Crohn, l'arthrite due au virus herpès simplex, les rhumatismes, la goutte, les crampes, l'épilepsie et les maladies sexuellement transmissibles. Elles agissent également comme agents antimicrobiens et anti-inflammatoires.	(Rockwood et al., 2013) (Kasolo et al., 2010), (Thurber et Fahey, 2009) (Sutalangka et al., 2013)



Fleur	Utilisée comme agent hypocholestérolémiant, antiarthritique et peut soigner les problèmes urinaires et le rhume	(Sutalangka et al., 2013)
Gousses	Avaient un rôle potentiel dans le traitement de la diarrhée, des problèmes de foie et de rate, et des douleurs articulaires.	(Fuglie, 2005)

3.6. Activités pharmacologiques

3.6.1. Activités analgésique, anti-inflammatoire et antipyrétique

Presque toutes les parties du *Moringa* présentent des activités analgésiques, anti-inflammatoires et antipyrétiques. Les extraits de feuilles, graines et écorce ont montré un effet analgésique significatif, aussi bien central que périphérique, de manière dose-dépendante, avec une efficacité comparable à l'indométhacine et des propriétés antimigraineuses (Ugulu et al., 2015 ; Faizi et al., 2010 ; Kumar et al., 2010; Rout et al., 2007; Siddhuraju et al., 2002).

L'application topique a également soulagé la douleur neuropathique liée à la sclérose en plaques (Chaudhary et al., 2013).

L'activité anti-inflammatoire a été confirmée par les extraits de feuilles, d'écorce et de racine dans le modèle d'œdème induit par la carraghénane, avec une efficacité comparable au diclofénac, via une régulation des neutrophiles et de la voie JNK (Amu et al., 2015; Kumar et al., 2015; Sharma et al., 2014; Amza et al., 2011; Ishikawa et al., 2006).

Ces effets sont attribués à divers composés bioactifs tels que les tanins, flavonoïdes, alcaloïdes, caroténoïdes, β -sitostérol, vanilline, moringine et acide 9-octadécénoïque (Sharma et al., 2015; Stohs et al., 2014).

Enfin, les extraits de feuilles et de graines ont démontré une activité antipyrétique significative dans le modèle de pyrexie induite par la levure de bière (Biswas et al., 2015 ; Singh et al., 2008).



3.6.2. Activité neuropharmacologique

Les extraits de *Moringa* présentent plusieurs effets neuropharmacologiques. L'extrait de feuilles rétablit les niveaux de monoamines cérébrales et pourrait être bénéfique contre la maladie d'Alzheimer.

L'extrait éthanolique des feuilles a montré une activité anticonvulsivante en modulant la dopamine, la noradrénaline et la sérotonine lors de crises induites par la pénicilline (Amrutia et al., 2011 ; Ray et Guha, 2005).

Le méthanolique des racines exerce des effets sédatifs en prolongeant le sommeil induit par le pentobarbital sodique et le diazépam (Liu et al., 2022), tandis que la fraction acétate de toluène confirme son potentiel nootropique (Mohan et al., 2005).

De plus, les feuilles possèdent une activité anticonvulsivante dans des modèles de crises induites par le tétrazolyl-phényl et les électrochocs maximaux (Amrutia et al., 2011), et l'extrait aqueux des racines bloque les convulsions induites par la pénicilline (Ray et Guha, 2005). Enfin, l'extrait éthanolique des feuilles a démontré des propriétés anxiolytiques dans des tests comportementaux (Bhattacharya et al., 2018).



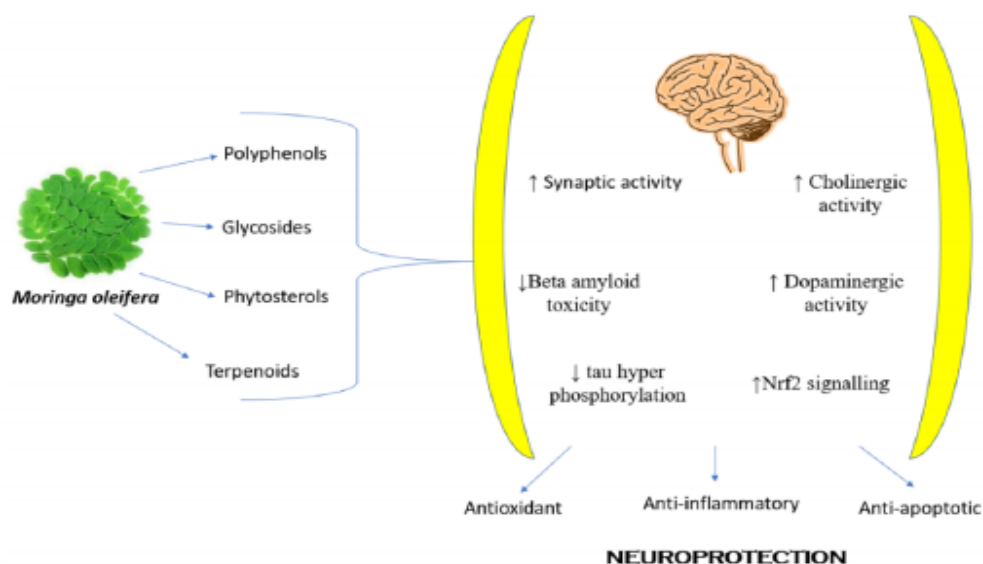


Figure 6: Effets neuroprotecteurs de *Moringa oleifera* et amélioration de l'activité neuronale et réduction des processus neurodégénératifs.

3.6.3. L'activité anticonvulsivante

Les feuilles ont été démontrées dans les modèles de pentylnetetrazole et de choc électrique maximal en utilisant des souris albinos mâles (Rout et al., 2007). L'extrait aqueux de racine a supprimé les crises épileptiques induites par la pénicilline chez les rats albinos adultes (Sharma et al., 2012; Sivaraman et al., 2009).

L'extrait éthanolique de feuilles a présenté des activités dépressive du système nerveux central et relaxante musculaire dans les appareils actophotomètre et rotarod, respectivement (Amza et al., 2011 ; Siddhuraju et al., 2002), et a également présenté une activité anxiolytique significative dans le test de l'escalier et le test du labyrinthe en croix surélevé d'une manière dose-dépendante (Ugulu et al., 2015 ; Kumar et al., 2010).

3.6.4. Activité anticancéreuse

Les extraits alcoolique et hydrométhanolique de feuilles et de fruits de *Moringa* ont montré un ralentissement significatif de la croissance tumorale dans des modèles de mélanome murin (Sharma et al., 2014 ; Kumar et al., 2008) et une activité antiproliférative sur les cellules pulmonaires A549 (Amza et al., 2015 ;

Choudhury et *al.*, 2010).

Les feuilles ont également exercé un effet antiangiogénique dose-dépendant dans la membrane chorioallantoïque de poulet (Sharma et *al.*, 2015 ; Sivaraman et *al.*, 2009).

D'autres extraits ont inhibé la colite cancérigène induite (Siddhuraju et *al.*, 2002), et montré une cytotoxicité contre diverses lignées cellulaires cancéreuses, notamment du sein, du foie, colorectal et ovarien résistant au cisplatine (Faizi et *al.*, 2010 ; Rout et *al.*, 2007). Les fleurs, quant à elles, stimulent la prolifération des cellules normales mais pas cancéreuses, tandis que les feuilles présentent des effets antitumoraux et hépatoprotecteurs, suggérant un potentiel régénératif en plus de l'action anticancéreuse (Sivaraman et *al.*, 2009).

Ces propriétés sont attribuées à divers phytoconstituants, dont la niazimicine, les carbamates, le thiocarbamate, les glycosides de nitrile, la quercétine et le kaempférol (Faizi et *al.*, 2010 ; Stohs et *al.*, 2014).

3.6.5. Activité antioxydante

Les fruits et les feuilles de ont des propriétés antioxydantes (Biswas et *al.*, 2015). L'extrait de feuilles a montré une augmentation dose-dépendante du niveau de glutathion et une diminution du niveau de malondialdéhyde ; l'extrait de fruits a montré des résultats bénéfiques dans l'élimination des radicaux libres ; l'extrait de racines a réduit significativement la peroxydation lipidique microsomale induite par le fer et le FeSO₄ d'une manière dose-dépendante (Sharma et *al.*, 2014 ; Sivaraman et *al.*, 2009).

Les gousses étaient capables de piéger les radicaux peroxy, superoxy et 2,2-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH) (Sharma et *al.*, 2011 ; Choudhury et *al.*, 2010). Outre son activité antioxydante, l'extrait de feuilles de MO a également montré une action néphroprotectrice dose-dépendante dans un modèle de néphrotoxicité induite par l'acétaminophène chez des rats mâles BALB/c (Amza et *al.*, 2015; Sharma et *al.*, 2011).



Les triterpénoïdes, la moringyne, le monopalmitate et le triglycéride dioléique, le campestérol, le stigmastérol, le β -sitostérol, l'avénastérol, la vitamine A et son précurseur le bêta-carotène ont montré contribuer aux propriétés antioxydantes (Sharma et *al.*, 2015; Stohs et *al.*, 2014).

3.6.6. Activités antimicrobiennes et antivirales

Les extraits de présentent une large gamme d'activités antimicrobiennes et antifongiques. Le N-benzyléthylthioformate, issu de l'extrait alcoolique de racine, a montré une activité à large spectre contre de nombreux microbes et champignons (Upadhyay et *al.*, 2015). Les extraits méthanoliques de feuilles se sont révélés efficaces contre des bactéries responsables d'infections urinaires, incluant *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Staphylococcus saprophyticus* (Padla et *al.*, 2012).

Les extraits de feuilles, graines et tiges ont inhibé diverses souches fongiques pathogènes comme *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* et *Trichophyton* (Upadhyay et *al.*, 2015). Le potentiel antibactérien des graines est attribué au 4-(α -l-rhamnosyloxy) benzyl isothiocyanate, tandis que le jus de feuilles a montré une activité antipathogène, supprimant jusqu'à 99 % *Botrytis cinerea* (Padla et *al.*, 2012 ; Ahmadua et *al.*, 2020).

Les fruits, riches en alcaloïdes, flavonoïdes et stéroïdes, inhibent la croissance de *Candida albicans* par dénaturation des protéines et suppression de la germination des spores (Ahmadua et *al.*, 2020).

Enfin, les extraits de noyaux de graines ont montré une efficacité contre différentes espèces d'*Aspergillus*, *Mucor*, *Bacillus cereus* et *Staphylococcus aureus*, mais une activité réduite contre *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli* ; l'extrait apolaire dérivé des graines s'est révélé sélectif contre les bactéries à Gram positif (Moodley et *al.*, 2018).



Matériels et méthodes



Modifier avec WPS Office

1.Préparation du matériau à base de coquilles d'œufs

Les coquilles d'œufs ont été récupérées à partir de déchets de boulangeries locales, dans une démarche de valorisation durable et écoresponsable. Après collecte, elles ont été soigneusement lavées à l'eau de robinet afin d'éliminer les résidus et les impuretés. Ensuite, une étape d'épluchage manuel a été réalisée pour retirer la membrane organique interne, souvent associée à une charge microbienne élevée ou à des contaminants indésirables. Plusieurs méthodes sont décrites dans la littérature pour faciliter cette étape, notamment l'ébullition dans l'eau pendant 10 minutes (Kingori, 2011), l'utilisation d'un bain d'acide acétique dilué (Chen et al., 2019), ou encore l'emploi de solutions enzymatiques à base de protéases pour dissoudre sélectivement la membrane (Lim et al., 2021).

Après épluchage, les coquilles ont été laissées à sécher à l'air libre à température ambiante pendant 24 heures. Elles ont ensuite été stérilisées par autoclavage à 120 °C pendant 20 minutes ensuite broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à obtention d'une poudre fine, puis tamisées à l'aide d'un tamis de 250 µm pour assurer une granulométrie homogène.

Enfin, la poudre obtenue a été stérilisée par autoclavage à 120 °C pendant 20 minutes afin de garantir l'innocuité microbiologique du matériau. La poudre stérilisée a été stockée dans un récipient hermétique, à température ambiante, à l'abri de



l'humidité et de la lumière, en attendant son incorporation dans la formulation du complément alimentaire.

Figure 7: Étapes de transformation des coquilles d'œufs _schéma explicatif

2. Préparation du matériel biologique végétale

Dans le cadre de la préparation du complément alimentaire, les feuilles de *Moringa oleifera* ont été soumises à une série d'étapes visant à garantir la qualité microbiologique et nutritionnelle du produit fini.

Après leur récolte, les feuilles fraîches ont été soigneusement lavées à l'eau du robinet afin d'éliminer les impuretés, les poussières et tout résidu potentiel. Elles ont ensuite été essuyées à l'aide de serviettes propres pour éliminer l'excès d'eau.

Ensuite, les feuilles ont été soumises à un séchage à l'air libre dans un endroit ombragé, ce qui permet de préserver les composés bioactifs sensibles à la lumière et à la chaleur. Le séchage a été poursuivi jusqu'à ce que les feuilles deviennent complètement sèches et cassantes.



Figure 7: Feuilles de après rinçage et séchage à l'air libre

La stérilisation par autoclave n'a pas été retenue dans ce protocole, car ce type de traitement thermique à haute température (121 °C sous pression) peut dégrader significativement les composés bioactifs thermosensibles contenus dans les feuilles, notamment les vitamines (A, C, E), les polyphénols et les antioxydants, qui sont essentiels à la valeur nutritionnelle du complément (Anwar et al., 2007).



Afin de préserver ces composants, un séchage à basse température (entre 45 °C et 50 °C) a été effectué dans un four ventilé pendant plusieurs heures. Cette méthode douce permet non seulement de réduire la charge microbienne, mais aussi de maintenir l'intégrité des constituants fonctionnels des feuilles (Mughal et al., 1999).

Après séchage, tout le matériel utilisé pour la transformation (broyeur, tamis, contenants, spatules...) a été soigneusement nettoyé puis désinfecté à l'aide d'alcool à 70 % pour éviter toute contamination croisée. Les feuilles de *Moringa oleifera* séchées ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à obtention d'une poudre homogène. Celle-ci a ensuite été tamisée à travers un tamis de maille fine (< 500 µm) afin d'uniformiser la granulométrie et d'assurer une texture adaptée pour une future formulation en gélules. Enfin, la poudre tamisée a été conservée dans des contenants opaques, stériles et hermétiques, stockés à température ambiante, à l'abri de l'humidité, de la lumière et de l'air.



Figure 8: Processus de traitement des feuilles de Moringa



3. Etude *in-vivo*

3.1. Animaux de laboratoire

Afin d'évaluer la tolérance, l'innocuité et l'effet potentiel du produit sur l'organisme. Pour cela, vingt-quatre (24) rats mâles de souche Wistar, exempts de tout signe clinique apparent, ont été fournis par l'Institut Pasteur d'Algérie. Les animaux ont été élevés dans des conditions conventionnelles, avec une température contrôlée à 25 °C, un cycle lumineux jour/nuit de 12 h/12 h, une alimentation équilibrée standard et un accès libre à l'eau potable.

3.2. Rats Wistar mâles après récupération de l'Institut Pasteur d'Algérie

L'expérimentation s'est déroulée en deux phases distinctes. Une première phase de carence en calcium, d'une durée de sept (7) semaines, a été appliquée aux groupes 2, 3 et 4, en excluant toute source significative de calcium de leur alimentation. Ensuite, lors de la deuxième phase, les groupes 2 et 3 ont reçu respectivement le complément naturel et le CaCO_3 chimique par voie orale, tandis que le groupe 4 a poursuivi le régime carencé sans supplémentation. Cette approche expérimentale a permis de comparer les effets de la supplémentation naturelle par rapport à la source chimique ainsi qu'aux effets d'un déficit prolongé en calcium.

Tableau 7: Répartition des groupes expérimentaux, des cages et codes d'identification utilisés dans l'étude:







Nombres des cages	Code	Répartition
Groupe 01	C1 N _n	groupe témoin recevant une alimentation équilibrée normale
Groupe 02	C2 CM _n	groupe traité par le complément alimentaire naturel à base de coquilles d'œufs et de
Groupe 03	C3 Ca _n	groupe traité par du carbonate de calcium (CaCO_3) d'origine chimique



Groupe 04	C4 Cr _n	groupe soumis à une carence en calcium, sans supplémentation
-----------	--------------------	--

Pour assurer le suivi individuel des animaux, chaque rat a été identifié à l'aide de marques sous forme de traits réalisés sur la queue, allant de 1 à 6 au sein de chaque groupe.

Tableau 8: Méthode de marquage des rats au niveau de la queue:

Numéro du rat	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Marquage des rats						

3.3. Protocole de préparation des rations alimentaires expérimentales

Ce protocole décrit la préparation des régimes alimentaires administrés à des rats de laboratoire dans le cadre d'une étude sur la carence en calcium et sa compensation. L'expérience est divisée en deux phases distinctes : une première phase d'induction d'une carence calcique modérée, suivie d'une seconde phase de supplémentation visant à corriger ce déficit à l'aide de deux sources de calcium différentes (une naturelle et une synthétique). La formulation des régimes est basée sur les standards nutritionnels établis pour les rongeurs.

3.3.1. Préparation des Régimes de Base (Phase 01)

L'objectif de cette étape est de formuler deux régimes distincts pour induire une carence calcique contrôlée chez les groupes expérimentaux, tout en maintenant un groupe témoin avec un apport normal.



3.3.1.1. Groupe Témoin (Régime Standard)

Une quantité de 15 kg d'aliment standard équilibré (selon les recommandations du standard AIN-93M pour rongeurs de laboratoire) a été préparée pour couvrir l'intégralité de la période expérimentale. Ce régime contient un apport normal en calcium et sert de référence pour comparer les effets des régimes carencés et supplémentés.

3.3.1.2. Groupe Carencé (Régime Appauvri en Calcium)

Pour les groupes soumis à la phase de carence, un régime spécifique a été formulé. Sa composition comprend une base de matières premières végétales (maïs, farine de soja, son de blé, céréales), enrichie en huile végétale, saccharose, ainsi qu'un mélange complet de vitamines, minéraux (à l'exception du calcium) et acides aminés.

Afin d'induire une hypocalcémie modérée, la teneur en carbonate de calcium (CaCO_3) a été volontairement réduite pour obtenir une concentration finale en calcium de 0,36 %. Ce régime a été administré ad libitum quotidiennement aux animaux concernés durant toute la phase de carence.



Figure 9: Préparation du régime alimentaire destiné aux rats expérimentaux

3.3.2. Préparation des rations supplémentées (Phase 02)

L'objectif de cette étape est de combler le déficit calcique identifié chez les rats carencés en utilisant deux sources de calcium distinctes, puis incorporer ces



supplémentations dans les rations des groupes expérimentaux.

Après la phase de carence, des rats adultes d'environ 400 g recevaient environ 72 mg de calcium par jour via le régime carencé, soit un déficit de 48 mg par rapport à l'apport journalier recommandé de 120 mg.

3.3.2.1. Formulation des Suppléments

Deux formulations ont été élaborées pour compenser ce déficit

A. Groupe Supplémenté à la source naturelle

Un mélange de poudre de coquille d'œuf et de poudre de *Moringa* a été préparé. Chaque rat reçoit 400 mg de poudre de *Moringa* (soit 1000 mg/kg de poids corporel), apportant environ 8 mg de calcium (teneur ~2%).

Pour atteindre l'apport cible, 105 mg de poudre de coquille d'œuf (teneur en calcium ~38%) ont été ajoutés au mélange pour fournir les 40 mg de calcium manquants.





Figure 10: Régime alimentaire destiné aux rats expérimentaux du groupe supplémenté à la source naturelle

B. Groupe Supplémenté à la source synthétique (Carbonate de Calcium)

Une quantité de 120 mg de carbonate de calcium (CaCO_3 , pureté 40% en calcium) a été utilisée pour compenser directement le déficit de 48 mg de calcium.



Figure 11: Régime alimentaire destiné aux rats expérimentaux du groupe supplémenté à la source synthétique (Carbonate de Calcium).

3.3.3. Incorporation dans les rations



Les suppléments calculés pour chaque groupe (naturel ou synthétique) ont été homogénéisés et incorporés de manière précise dans la ration alimentaire quotidienne de chaque animal, selon les modalités décrites dans la littérature (El Khir *et al.*, 2023 ; Singh *et al.*, 2018).



Figure 12: Les différents régimes alimentaires formulés et utilisés dans le protocole *in vivo*



3.4. Paramètres analysés

Pendant toute la durée de l'étude, plusieurs paramètres ont été suivis afin d'évaluer l'impact des régimes alimentaires testés sur l'état de santé des rats.

Une observation visuelle quotidienne a permis d'évaluer leur niveau d'activité, la présence éventuelle de chute de poils ainsi que l'aspect et la consistance des



selles.

Figure 13: La dentition d'un rat Wistar et ses excréments fécaux observées pendant l'étude

Le poids corporel des animaux a été enregistré de manière régulière afin de détecter toute variation significative liée aux différents régimes.



Figure 14: Rat Wistar au cours du suivi expérimental

À la fin de la période expérimentale, des analyses biochimiques ont été réalisées pour mesurer les taux de calcium sérique, indicateur direct de l'état calcique des rats. Enfin, une étude histologique des tissus (notamment osseux) a été menée pour examiner les effets du complément alimentaire sur la structure et l'intégrité cellulaire.

3.5.Étape physiologique

3.5.1. Prélèvement sanguin

Le prélèvement sanguin a été réalisé directement à partir du cœur afin d'obtenir un volume suffisant et représentatif pour les analyses biochimiques. Le sang a été recueilli dans des tubes héparines afin de prévenir la coagulation et de garantir la séparation adéquate du plasma. Cette méthode est couramment utilisée en expérimentation animale, car elle permet d'obtenir des échantillons de bonne qualité tout en limitant les artefacts liés à la coagulation ou à la dégradation des constituants biologiques (Parasuraman et *al.*, 2010).

L'héparine, en tant qu'anticoagulant, agit par inhibition de la thrombine et du facteur Xa, ce qui assure la conservation de l'intégrité du calcium sérique et des autres paramètres biochimiques mesurés (Hawkey et *al.*, 2016).

Le prélèvement intracardiaque est considéré comme une technique fiable pour les rongeurs, permettant une collecte rapide et stérile de volumes sanguins suffisants pour les analyses. Cependant, il doit être effectué immédiatement après anesthésie et sacrifice, dans le respect des normes éthiques et de bien-être animal (Diehl et *al.*, 2001).

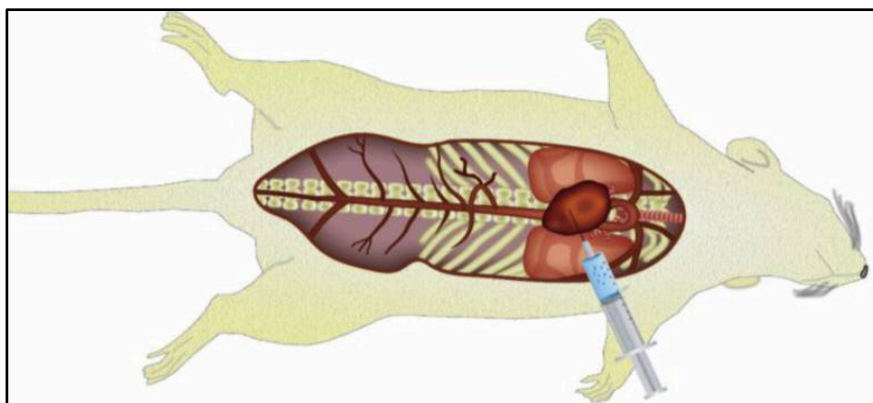


Figure 15: Prélèvement sanguin intracardiaque (Price et al, 2021).

3.5.2. Procédure d'anesthésie chez les rats

Dans le cadre de l'étude physiologique, les rats ont été anesthésiés par injection intrapéritonéal à l'aide d'un mélange de kétamine et de xylazine, aux doses respectives de **80 mg/kg** et **10 mg/kg**, conformément aux protocoles standards appliqués chez le rat adulte de laboratoire (Flecknell, 2009 ; Arras *et al.*, 2001).



Figure 16: Rats Wistar après l'effet de l'anesthésie à la kétamine et à la xylazine.

3.5.3. Dissection et prélèvement osseux

Une fois l'anesthésie profonde confirmée par l'absence de réflexe cornéen et de réaction à la stimulation douloureuse, une dissection stérile a été effectuée afin d'extraire le tibia et le fémur du membre postérieur droit.

Les os prélevés ont été soigneusement débarrassés des tissus mous et musculaires à l'aide de pinces fines et de scalpels stériles, puis immédiatement immergés dans une solution tamponnée de formol à 10 %, un fixateur couramment utilisé en histopathologie pour préserver la structure tissulaire et prévenir la dégradation post-mortem (Bancroft & Gamble, 2008). Cette fixation initiale est essentielle pour garantir la qualité des analyses histologiques ultérieures.



Figure 17: Photos montrant la dissection des rats Wistar.

3.6.Étape histologique

3.6.1. Décalcification et fixation post-décalcification

Après le prélèvement et la fixation initiale, les échantillons osseux ont été



transférés au service d'anatomie pathologique du laboratoire d'hygiène de Relizane pour la poursuite de l'étude physiologique. La première étape a consisté en une décalcification chimique réalisée dans une solution d'acide chlorhydrique dilué à 10 % (HCl 1/10), permettant la dissolution des sels minéraux. Cette étape est indispensable pour assouplir les tissus durs, facilitant ainsi leur coupe en sections fines au microtome et leur inclusion ultérieure en paraffine (Fischer *et al.*, 2008).

Après la décalcification, les échantillons ont été abondamment rincés à l'eau distillée afin d'éliminer les résidus acides susceptibles d'altérer les colorations histologiques. Les pièces osseuses ont ensuite été replacées dans une solution tamponnée de formol à 10 % pendant près de deux semaines, assurant une fixation complète et une préservation optimale des structures tissulaires avant les étapes de traitement histologique (Bancroft et Gamble, 2008).



Figure 18: Processus de décalcification à l'acide chlorhydrique (HCl) et de fixation des échantillons osseux pour l'étude histologique.

Après la décalcification, les fragments ont ensuite été découpés et placés dans des cassettes codées en vue de l'inclusion. La déshydratation a été effectuée de manière progressive par passage dans une série d'alcools à concentrations croissantes, suivie d'une imprégnation et d'un enrobage en paraffine à l'aide d'une station d'inclusion dédiée (Ouyang *et al.*, 2020).

Les blocs de paraffine ainsi obtenus ont été sectionnés à l'aide d'un microtome,



produisant des coupes fines déposées sur des lames à l'aide d'un bain-marie chauffé. Les lames ont été séchées dans une étuve, puis colorées par la technique HES (hématoxyline-éosine-safran), méthode de référence pour la mise en évidence des structures cellulaires et tissulaires (Suvarna *et al.*, 2018). Enfin, les lames ont été montées avec une résine synthétique rapide (Eukitt) et analysées au microscope optique afin d'évaluer les caractéristiques histologiques des échantillons



Figure 19: Schéma représentant les différentes étapes du traitement histologique des échantillons osseux, de la fixation à l'observation microscopique.

4. Contrôle microbiologique

Cette section décrit les méthodes d'évaluation de la qualité microbiologique du complément alimentaire à base d'herbes séchées () et de poudre de coquille d'œuf, conformément à la réglementation algérienne en vigueur (Arrêté interministériel du 2 Moharram 1438 correspondant au 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires.). Le texte réglementaire spécifie les exigences microbiologiques applicables, incluant les flores à contrôler systématiquement pour garantir la sécurité des produits.

Les analyses réalisées couvrent :

- La flore aérobie mésophile totale (indicateur général d'hygiène),
- Les levures et moisissures (risque d'altération et de mycotoxines),
- *Staphylococcus aureus* (pathogène opportuniste),
- *Escherichia coli* (indicateur de contamination fécale),
- *Salmonella spp.* (pathogène strict à absence obligatoire),
- *Shigella spp.* (pathogène entérique),
- *Pseudomonas spp.* (indicateur de contamination environnementale).

4.1. Préparation d'échantillon à analyser

1. Peser **10,0 g** d'échantillon homogène (poudre de gélule) dans un flacon stérile.
2. Ajouter **90 mL** d'eau physiologique stérile (ou tampon peptoné 0,1 %)
3. Homogénéiser 1–2 min



4. Préparer dilutions décimales successives ($10^{-2} \rightarrow 10^{-6}$) en utilisant 9 mL eau physiologique stérile.

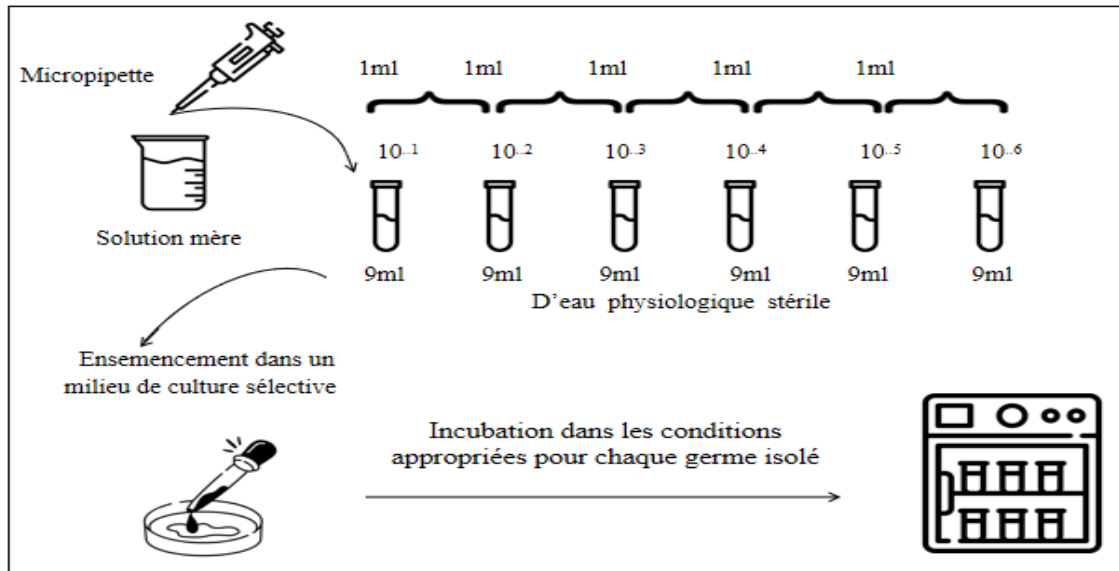


Figure 20: Schéma représentant les différentes étapes de la dilution, de l'ensemencement et de l'incubation dans le cadre de l'analyse microbiologique.

4.2. Germes analysées et méthodes

4.2.2. Flore aérobie totale (dénombrement)

- **But** : évaluer la charge microbienne totale, indicateur d'hygiène.
- **Méthode** : méthode de la plaque en profondeur (pour pourri-plate) / méthode des étalements si préférence.
- **Procédure** :
 1. Prendre 1 mL de chaque dilution (généralement $10^{-3} \rightarrow 10^{-6}$) en double.
 2. Verser dans boîte stérile, ajouter 15–20 mL de PCA préalablement fondu et refroidi, remuer pour homogénéiser.
 3. Laisser solidifier, incuber **30°C** pendant **48–72 h**.
 4. Compter les boîtes ayant 30–300 colonies ; calculer UFC/g = (moyenne colonies \times dilution factor).
- **Contrôles** : témoin milieu stérile (contrôle négatif).
- **Interprétation** : compare aux limites réglementaires internes

4.2.2. Levures et moisissures

- **But** : détection de contamination fongique, risque d'altération/mycotoxines.
- **Méthode** :
 1. Prendre 0,1 mL des dilutions appropriées, étaler en surface sur gélose nutritif .
 2. Incuber **25°C** pendant **5–7 jours** en boîte inversée.
 3. Noter aspect : colonies filamenteuses (moisissures) vs colonies lisses (levures).
- **Confirmation** : observation microscopique
- **Interprétation** : signaler espèces productrices de mycotoxines; lot non conforme si dépasse critères internes.

4.2.3. *Staphylococcus aureus*

- **But** : détection de *S. aureus* producteur d'entérotoxines.
- **Méthode** :
 1. Prélever 0,1 mL des dilutions $10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$ et étaler en surface sur milieu Baird-Parker.
 2. Incuber **35–37°C** pendant **24–48 h**.
- **Tests de confirmation** : si il y'a des colonies typique de *S. aureus*.
 - Catalase (+) (staph vs strepto).
 - Coagulase (tube ou latex) : coagulase positive = ***S. aureus***
- **Interprétation** : présence de coagulase-positive → alerte/contrôle → évaluer quantité et décision qualité selon réglementation/critères internes.

4.2.4. *Escherichia coli*

- **But** : indicateur de contamination fécale ; certains sérotypes pathogènes.
- **Méthode** :
 1. Étaler 0,1 mL des dilutions $10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$ sur MacConkey.
 2. Incuber **35–37°C** pendant **24 h**.



3. Colonies *E. coli* typiques : colonies roses/rouges sur MacConkey (fermentation lactose)
- **Tests de confirmation :**
 - Indole (+) (test tryptophane → indole),
 - Voges-Proskauer / Citrate (IMViC : ++-- pour *E. coli* classique),
- **Interprétation :** si détecté → investigation source contamination ; seuils selon normes/codex ou critères internes.

4.2.5. *Salmonella* spp

- **But :** détection d'un pathogène interdit (absence requise).
- **Méthode détaillée :**
 1. **Pré-enrichissement :** 25 g d'échantillon dans 225 mL de bouillon peptoné incubé à 37°C, 18–24 h pour favoriser réveil cellules stressées...
 2. **Isolement :** strier sur **Hektoen et SS agar** et incubé. **35–37°C** 24–48 h.
 3. Colonies suspectes : colonies vert-foncé ou translucides avec centre noir (H₂S +) sur Hektoen ; ou colonies couleurs pâles sur SS.
- **Tests de confirmation :**
 - Tests biochimiques (TSI : K/A + H₂S pour *Salmonella* ; urease – ; indole – selon espèce),
- **Interprétation :** ***Salmonella* absente** dans 25 g , si présente le lot non conforme, rappel possible.

4.2.6. *Shigella* spp

- **But :** détection d'un pathogène entérique sévère.
- **Méthode :**
 - Pré-enrichissement
 - Isolement sur SS.
 - Incuber **35–37°C**.
- **Confirmation :** galerie biochimique (TSI : K/A sans H₂S ; immobile, urease



- **Interprétation** : présence égale une gravité élevée donc le lot non conforme.

4.2.7. *Pseudomonas spp*

- **But** : détecter contamination environnementale capable d'altérer produit ou d'être opportuniste.
- **Méthode** :
 1. Étaler 0,1 mL sur **King A** (détecte pyocyanine) et **King B** (pyoverdine fluorescente).
 2. Incuber **30–37°C** pendant **24–48 h**.
 3. Observer production de pigment bleu-vert (pyocyanine) sur King A ; fluorescence verte sous UV sur King B.
- **Tests de confirmation** :
 - Oxydase (+) (test rapide),
 - Croissance à **42°C** (*P. aeruginosa* souvent positive),
 - Odeur caractéristique (odeur de raisin/maïs),
- **Interprétation** : présence significative alors il faut un contrôle hygiène environnementale et process ; pour produits stériles ou exigeant faible charge, rejet probable.

Tableau 9:Récapitulatif des paramètres d'analyses microbiologiques

Germe / Groupe ciblé	Température et Durée	Milieu principal	Méthode d'ensemencement	Intérêt du contrôle	Référence réglementaire
Flore aérobie totale	30°C – 48 à 72 h	PCA (Plate Count Agar)	En profondeur (1 mL dilution → couler PCA)	Évaluer la charge microbienne globale, indicateur d'hygiène de fabrication	Règlement (CE) n° 2073/2005 – critères d'hygiène / Cadre algérien général



Levures & moisissures	25°C – 5 à 7 jours	Gélose nutritif	En surface (0,1 mL étalé)	Détection de contaminations fongiques pouvant altérer le produit ou produire des mycotoxines	CE 2073/2005 (critères recommandés) / Algérie général
<i>Staphylococcus aureus</i>	25°C – 5 à 7 jours	Baird Parker	En surface (0,1 mL étalé).	Pathogène producteur d'entérotoxines → intoxications alimentaires	CE 2073/2005 (coagulase +), Algérie général
<i>Escherichia coli</i>	35-37°C – 24 h	MacConkey	En surface (stries ou étalement)	Indicateur de contamination fécale et possible présence d'E. coli pathogènes	CE 2073/2005 / Algérie général
<i>Salmonella spp.</i>	35-37°C – ≥ 3 jours	Bouillon peptoné → Hektoen/SS	Pré-enrichissement → isolement	Pathogène majeur, présence interdite (25 g)	CE 2073/2005 (absence dans 25 g) / Algérie général
<i>Shigella spp.</i>	35-37°C – ≥ 3 jours	SS	Pré-enrichissement + Isolement par stries	Pathogène entérique, fièvre, dysenterie	CE 2073/2005 / Algérie général



<i>Pseudomonas spp.</i>	30-37°C – 24 à 48 h	King A (pyocyanine), King B (pyoverdine)	Isolement par stries → observation pigment	Indicateur de contamination environnementale, peut altérer la qualité et causer infections opportunistes	Non spécifié dans CE 2073/2005, intégré HACCP / Algérie général
--------------------------------	------------------------	---	---	---	--

Resultat et discussion



1. Caractérisation des ma

t des régimes alimentaires

1.1. Vérification de la compo

mentaires

Avant le début de l'expér as deux régimes destinés aux rats, le régime normal et le régime carencé en calcium, ont été analysés afin de vérifier leur composition nutritionnelle et de confirmer la différence en teneur calcique prévue par le protocole.

Les analyses ont été réalisées par spectroscopie proche infrarouge (NIR), méthode rapide et non destructive permettant de déterminer les principaux constituants des aliments (protéines, lipides, amidon, cellulose, cendres, minéraux, etc.). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 13.

Les valeurs obtenues confirment la formulation correcte des deux régimes alimentaires selon les objectifs expérimentaux, le régime normal présente une teneur en calcium de 0,58%, tandis que le régime carencé présente seulement 0,36%, une teneur inférieure de près de 40 %, correspondant à un apport volontairement restreint pour simuler un état de déficit calcique. Cette différence de teneur en calcium a été confirmée par l'analyse par fluorescence X (XRF).

Selon les normes établies par le régime de référence AIN-93M pour les rats adultes (Reeves et al., 1993), la teneur recommandée en calcium est d'environ 0,5 à 0,6 %. La valeur obtenue dans le régime testé est donc inférieure d'environ 30 à 40 % à la valeur de référence, confirmant la carence minérale volontairement induite dans



la formulation expérimentale.

Le calcium est un macroélément essentiel jouant un rôle déterminant dans la minéralisation osseuse, la transmission neuromusculaire, la coagulation sanguine et la signalisation cellulaire (Bronner et Pansu, 1999). Chez le rat adulte, un apport insuffisant en calcium se traduit rapidement par une diminution de la calcémie, une mobilisation du calcium osseux et des altérations de la structure du tissu squelettique (Weaver et Heaney, 2006).

La teneur réduite observée dans le régime carencé (0,36 %) par rapport à la norme AIN-93M (0,5–0,6 %) est donc suffisante pour provoquer, à moyen terme, un état de carence modérée chez les animaux soumis à cette alimentation. Cette différence correspond bien aux proportions généralement utilisées dans les modèles expérimentaux de déficit calcique contrôlé, qui se situent entre 0,2 et 0,4 % (Zernicke et al., 1995).

Cette formulation permet donc d'induire de manière contrôlée un déséquilibre calcique tout en évitant les carences trop profondes susceptibles d'altérer la survie ou la santé des animaux. Elle constitue ainsi un modèle pertinent pour tester l'efficacité d'une supplémentation calcique naturelle, à base de coquilles d'œufs, sur la correction de la calcémie et la régénération osseuse.

Tableau 10: Composition nutritionnelle du régime normal (A) et régime carencé en calcium (B), destiné aux rats expérimentaux analysée par spectroscopie proche

A

Tests	Résultats	Mdi	Unités	Méthodes
Humidité :	2,70	7,62	%	Nir
Cendres :	3,75	6,88	%	Nir
Cellulose :	5,72	4,62	%	Nir
Proteines :	20,20	6,23	%	Nir
Mat grasses A :	12,95	13,84	%	Nir
Mat grasses B :	13,71	13,84	%	Nir
Amidon Polarimétrique :	44,94	5,43	%	Nir
Phosphore :	-1,22	11,83	%	Nir
Calcium :	0,58	7,43	%	Nir
Proteines KOH :		0,00	%	Nir
Promatest :		0,00	eq Albumine	Nir
Acidité oléique :		0,00	%	Nir
Indice Peroxide :		0,00	meq O2/kg	Nir
Indice Totox :		0,00	2*IP +1*IA	Nir

B

Tests	Résultats	Mdi	Unités	Méthodes
Humidité :	3,04	7,73	%	Nir
Cendres :	3,94	6,97	%	Nir
Cellulose :	5,89	4,77	%	Nir
Proteines :	20,86	6,41	%	Nir
Mat grasses A :	13,49	14,93	%	Nir
Mat grasses B :	14,25	14,93	%	Nir
Amidon Polarimétrique :	42,91	5,63	%	Nir
Phosphore :	-1,45	13,88	%	Nir
Calcium :	0,36	7,89	%	Nir
Proteines KOH :		0,00	%	Nir
Promatest :		0,00	eq Albumine	Nir
Acidité oléique :		0,00	%	Nir
Indice Peroxide :		0,00	meq O2/kg	Nir
Indice Totox :		0,00	2*IP +1*IA	Nir



infrarouge (NIR)

Les autres paramètres (protéines, cendres, lipides, amidon, etc.) sont restés globalement comparables entre les deux régimes, à l'exception du calcium, volontairement réduit dans le régime carencé afin d'induire une hypocalcémie expérimentale.

1.2.Composition minérale de la coquille d'œuf

L'analyse par fluorescence X (XRF) des coquilles d'œufs utilisées comme source de calcium dans le complément alimentaire montre une teneur élevée en calcium, avec une valeur brute de 64,76 % (Net unn. wt.%), correspondant à 97,66 % après normalisation (voir tableau 14). Ces résultats confirment que la coquille d'œuf est principalement constituée de carbonate de calcium (CaCO_3), en accord avec les données récentes de la littérature qui rapportent des teneurs comprises entre 95 et 98 % selon l'origine et les conditions de préparation (Huan et al., 2020 ; Liu et al., 2021 ; Alzuwaid et al., 2022).

Outre le calcium, des traces d'éléments minéraux secondaires ont été détectées : magnésium (0,74 %), phosphore (0,24 %), strontium (0,65 %), soufre (0,13 %) et des quantités négligeables d'aluminium, de zinc et de cobalt. Ces oligo-éléments, bien que présents à faible concentration, jouent un rôle important dans la minéralisation osseuse et la régulation du remodelage osseux (Sun et al., 2019 ; Ma et al., 2023).

Tableau 11: Composition élémentaire de la poudre de coquilles d'œufs déterminée



par spectrométrie de fluorescence X (XRF)

La présence concomitante de ces éléments confère aux coquilles d'œufs un intérêt physiologique supplémentaire, notamment par leurs effets synergiques sur la formation osseuse et la biodisponibilité du calcium. Ainsi, les résultats XRF confirment la qualité minérale de la source utilisée et soutiennent son utilisation dans le cadre d'une supplémentation calcique naturelle à visée osseuse.

1.3. Profil minéral de la plante

L'analyse par spectrométrie de fluorescence X (XRF) de la poudre de a permis

Mass percent (%)

Spectrum				Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
Cr	Mn	Fe	Co	Zn	Ga	Sr	Ru	Pd	Tl		

plte 02 Melange 005	0.70	0.07	0.04	0.30	0.17	0.00	0.06	97.52			
0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.01	0.07	0.68	0.28	0.04		
plte 02 Melange 004	0.96	0.11	0.03	0.26	0.22	0.00	0.04	97.32			
0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.06	0.64	0.31	0.02		
plte 02 Melange 003	0.57	0.05	0.01	0.16	0.00	0.00	0.00	98.16			
0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.07	0.64	0.28	0.01		

Mean value:				0.74	0.08	0.03	0.24	0.13	0.00	0.03	97.66
0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.07	0.65	0.29	0.02		
Std. Abw.:				0.19	0.03	0.01	0.07	0.12	0.00	0.03	0.44
0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02		
Std. Abw. rel. [%]:				26.20	36.17	50.58	30.51	88.72	0.00	91.13	0.45
141.53	43.63	173.21	57.28	90.31	35.30	8.77	3.72	5.73	81.06		
Conf. interval:				0.11	0.02	0.01	0.04	0.07	0.00	0.02	0.25
0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01		

de déterminer la composition élémentaire brute, exprimée en pourcentages massiques non normalisés (Net unn. wt.%). Les résultats montrent une proportion relativement élevée de calcium (6,65 %), suivi du potassium (5,50 %) et du soufre (4,39 %). Le fer (1,21 %), le silicium (2,02 %), le chlore (1,64 %) et le magnésium (0,70 %) sont également présents en quantités notables. Les autres éléments, tels que le phosphore (0,43 %), l'aluminium (0,87 %) et le strontium (0,12 %), apparaissent en proportions plus faibles, tandis que des traces de métaux comme le zinc, le cuivre, et le vanadium sont détectées à des teneurs inférieures à 0,1 % (voir tableau 15).



Tableau 12: Composition élémentaire brute de la poudre de déterminée par spectrométrie de fluorescence X (XRF)

Spectrum: point/plante 01 003

El	AN	Series	Net unn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	144850	1.21	4.78	3.18
Mn	25	K-series	5081	0.05	0.21	0.14
Ti	22	K-series	5746	0.13	0.51	0.40
Ca	20	K-series	187629	6.65	26.34	24.45
V	23	K-series	1534	0.03	0.10	0.07
Cl	17	K-series	22419	1.64	6.50	6.82
Si	14	K-series	20769	2.02	7.98	10.57
Al	13	K-series	3268	0.87	3.45	4.76
P	15	K-series	6635	0.43	1.69	2.03
Mg	12	K-series	626	0.70	2.78	4.26
Zn	30	K-series	3061	0.02	0.07	0.04
Cu	29	K-series	1141	0.01	0.03	0.02
Br	35	K-series	4194	0.03	0.11	0.05
Sr	38	K-series	15170	0.12	0.49	0.21
Pd	46	K-series	7875	1.37	5.42	1.89
Na	11	K-series	4	0.02	0.09	0.14
S	16	K-series	88092	4.39	17.37	20.15
K	19	K-series	116317	5.50	21.78	20.72
Se	34	K-series	725	0.00	0.02	0.01
As	33	K-series	1885	0.01	0.05	0.02
Zr	40	K-series	656	0.01	0.02	0.01
Y	39	K-series	423	0.00	0.01	0.01
Bi	83	L-series	2201	0.01	0.06	0.01
Tl	81	L-series	1737	0.02	0.07	0.01
Ba	56	L-series	627	0.02	0.08	0.02
Total:			25.26	100.00	100.00	

Ces valeurs, bien qu'exprimées sans normalisation, offrent une estimation directe de la richesse minérale de la plante analysée. La teneur élevée en calcium dans notre échantillon (6,65 %) indique que la poudre utilisée pourrait contribuer de manière significative à l'apport calcique global du complément étudié. Ce résultat est supérieur aux concentrations habituellement rapportées dans la littérature pour les feuilles de , généralement comprises entre 1 % et 3 % sur base sèche selon **Tesfaye et al., (2023)** et **Gopalakrishnan et al., (2016)**, ou encore entre 1,2 % et 2,0 % selon **Nadeem et al. (2020)**.



Cette différence peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les conditions pédoclimatiques de culture, la maturité des feuilles récoltées, ainsi que la méthode de préparation de la poudre (séchage, broyage, homogénéisation).

La présence simultanée d'éléments comme le potassium, le magnésium, le phosphore et le soufre confirme la richesse nutritionnelle globale du , reconnue dans de nombreuses études pour sa valeur nutritive et ses propriétés bioactives (**Leone et al., 2016; Anwar et al., 2007**). En particulier, la combinaison du calcium et du phosphore joue un rôle synergique important dans la minéralisation osseuse, essentielle à la solidité et à la régénération du tissu osseux (**Weaver et al., 2013**). Le potassium et le magnésium, quant à eux, participent au maintien de l'équilibre électrolytique, à la contraction musculaire et au fonctionnement normal du métabolisme cellulaire, contribuant indirectement à la santé osseuse et cardiovasculaire (**Rosanoff et al., 2021**).

Ainsi, les résultats XRF obtenus confirment que la poudre de utilisée dans ce travail constitue une source minérale naturelle particulièrement intéressante, capable de renforcer l'apport calcique du complément à base de coquilles d'œufs. Cette richesse en minéraux justifie pleinement son intégration dans le protocole expérimental destiné à évaluer la restauration de la calcémie et la régénération osseuse chez les rats carencés en calcium.

2. Evaluation des effets comportementaux et physiologiques de la carence et de la supplémentation calcique chez les rats

L'observation des paramètres visuels des rats durant la période de carence en calcium met en évidence une activité motrice réduite, une léthargie progressive, et une diminution de l'interaction sociale par rapport au groupe témoin (voir tableau 16). Ces changements comportementaux s'accompagnaient d'un aspect du pelage terne et hérissé, traduisant un déséquilibre métabolique général. Des signes visibles tels que la fragilité dentaire et le jaunissement des incisives ont également été observés, indiquant un effet direct du déficit calcique sur la minéralisation des tissus durs. Ces observations rejoignent celles rapportées par Ali et al. (2019) et Huang et al. (2021),



qui associent la carence calcique prolongée à une altération de la structure dentaire et à un stress physiologique accru chez les rongeurs.

Tableau 13: Paramètres visuels pendant la phase de carence (7 semaines)

Groupe	Régime	Activité/Comportement	Aspect du pelage	État des dents	Perte/Mortalité	Aspect des selles
Témoin	Alimentation normale	Activité normale, interaction régulière	Pelage brillant homogène	Dents normales	0	Normales
Carence en Ca	Carence en calcium	Activité réduite, mobilité faible	Poils hérissés, termes	Fragilité + jaunissement	0	Selles molles

Au cours de la phase de traitement, une amélioration progressive a été constatée dans les groupes recevant soit le complément alimentaire à base de coquilles d'œufs et de Moringa, soit le carbonate de calcium (CaCO_3). Les animaux traités par le complément naturel ont présenté une reprise nette d'activité, un comportement exploratoire accru, et une amélioration visible de la texture et de la brillance du pelage, traduisant un rétablissement du métabolisme général. De même, les dents sont redevenues plus solides, avec une réduction notable du jaunissement (tableau 17). Ces signes cliniques concordent avec un rétablissement du métabolisme calcique, suggéré par la normalisation comportementale et physiologique.

En revanche, le groupe maintenu sous régime carencé a continué de présenter une léthargie marquée, une chute de poils importante, et une fragilité dentaire persistante, confirmant la progression de l'hypocalcémie et ses conséquences tissulaires.

Tableau 14: Paramètres visuels pendant la phase de traitement (7 semaines)

Groupe	Traitement	Activité/	Aspect du	État des dents	Perte/	Aspect des
--------	------------	-----------	-----------	----------------	--------	------------



		Comportement	pelage		Mortalité	selles
Témoin	Alimentation normale	Activité normale, interaction régulière	Pelage brillant homogène	Dents normales	0	Normales
Complément alimentaire	Complément alimentaire	Reprise nette, exploration accrue	Repousse visible, texture améliorée	Solidité, jaunissement réduit	0	Normales
CaCO₃	Traitement par CaCO ₃	Activité quasi normale	Plus dense, moins de chute	Dents plus solides, jaunissement atténué	0	Normales
Carence maintenue	Maintien en carence	Léthargie persistante	Très ternes, chute marquée	Fragilité accrue, jaunissement	0	Selles molles/ irrégulières

Ces résultats indiquent que le complément naturel à base de coquilles d'œufs et de *Moringa* exerce un effet bénéfique comparable, voire légèrement supérieur, à celui du carbonate de calcium pur, en favorisant la restauration fonctionnelle et comportementale des animaux déficients. L'effet combiné du calcium biodisponible des coquilles et des micronutriments du *Moringa* (Mg, K, P, S) pourrait expliquer cette efficacité globale, en améliorant non seulement la calcémie mais aussi l'état général et la santé du pelage, comme suggéré par **Nadeem et al., (2020)** et **Tesfaye et al., (2023)**.

3 .Analyse de l'évolution pondérale

L'évolution du poids corporel a été suivie pendant 14 semaines, réparties en deux phases :

- ✓ Phase de carence (S1–S7) : régime pauvre en calcium,
- ✓ Phase de traitement (S1–S7) : administration du complément ou du CaCO₃,



comparée au groupe témoin et au groupe carencé non traité.

Les données recueillies dans le tableau 18 et la figure 18 révèlent des trajectoires pondérales distinctes selon les groupes expérimentaux.

Tableau 15: Evolution du poids moyen (g) durant les phases de carence et de traitement

Groupe	Période de carence							Période de traitement						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Normal	415	405,67	434,33	356	420,67	418	415,33	476,33	459,33	463,33	489,33	478,33	485,33	493,67
Complément	418,33	414,67	433,00	423,83	422,17	396,67	382,17	431	445,67	463,33	482	497	498,17	513,33
CaCO ₃	414,67	397,67	448,33	421	420,50	386,33	381,17	458	445,33	451	469,33	471	474	488,67
Carence	432	416,67	417,00	418	414,83	391,67	381,80	382,67	439,67	436	441,17	449	424,67	299,67

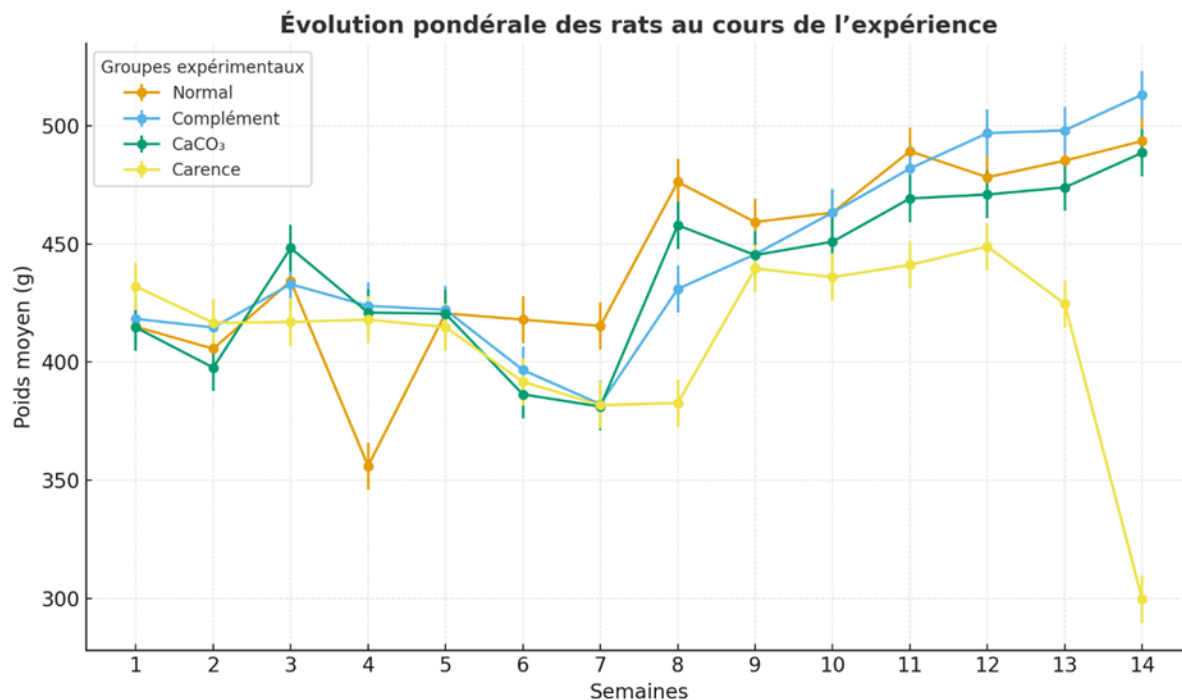


Figure 21: Evolution du poids moyen (g) durant les phases de carence et de traitement

L'évolution du poids corporel des rats a été suivie sur 14 semaines, réparties en une phase de carence (S1–S7) et une phase de traitement (S1–S7). Les données montrent que le groupe témoin normal a maintenu son poids pendant la première phase (415 g initial contre 415,33 g après S7), puis a connu une augmentation régulière jusqu'à 493,67 g à la fin de l'expérience, correspondant à une variation globale de +18,9 % (voir tableau 19).

Dans le groupe soumis au complément alimentaire, le poids a diminué pendant la phase de carence, passant de 418,33 g à 382,17 g, indiquant l'impact négatif du déficit en calcium sur la croissance. Cependant, après traitement, le poids a augmenté de manière notable pour atteindre 513,33 g, soit une variation globale de +22,7 %, légèrement supérieure à celle du témoin normal, suggérant que le complément alimentaire a non seulement compensé la carence, mais a également favorisé une récupération plus rapide et efficace.

Le groupe traité avec du carbonate de calcium (CaCO_3) a présenté une évolution similaire pendant la phase de carence (414,67 g à 381,17 g), et son poids a atteint 488,67 g après traitement, avec une variation globale de +17,8 %, proche du témoin mais inférieure au groupe complément, ce qui indique que le CaCO_3 restaure la croissance mais de manière moins marquée que le complément.

Enfin, le groupe carencé non traité a montré une diminution progressive du poids, passant de 432 g initial à 381,80 g après la phase de carence, puis chutant à 299,67 g à la fin, soit une perte globale de -30,6 %, mettant en évidence les effets délétères d'une carence prolongée en calcium sur la croissance et la santé des rats. Ces résultats confirment que la supplémentation après carence est essentielle pour restaurer la croissance pondérale et que le complément alimentaire testé pourrait offrir des bénéfices supplémentaires par rapport à une simple source de calcium.

Tableau 16: Variation globale (%) du poids moyen durant les phases de carence et de traitement



Groupe	Poids initial (S1)	Poids final (S7, carence)	Poids final (S7, traitement)	Variation globale (%)	Test ANOVA	Comparaison avec groupe Carence (Test de Tukey)
Témoin normal	415	415,33	493,67	+18,9 %	F=31,58 p-value= $8,78 \times 10^{-8}$ p < 0,001	Différence significative (p < 0,001)
Complément	418,33	382,17	513,33	+22,7 %		Différence significative (p < 0,001)
CaCO ₃	414,67	381,17	488,67	+17,8 %		Différence significative (p < 0,001)
Carence	432	381,80	299,67	-30,6 %		/

Dans la phase finale de l'expérience (S7 – traitement), une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée pour comparer les poids finaux des rats entre les quatre groupes (Normal, Complément, CaCO₃, Carence).

Le test ANOVA a révélé une différence hautement significative entre les groupes (F ≈ 31,58, p < 0,001), ce qui indique que le type de traitement a un effet sur la prise de poids pondérale finale. Le test post-hoc de Tukey a permis de préciser les comparaisons par paires : les groupes « Complément » et « CaCO₃ » présentent des poids finaux significativement plus élevés que le groupe « Carence » (p < 0,001), tandis qu'il n'existe pas de différence significative entre les groupes « Normal », « Complément » et « CaCO₃ ».

Plusieurs études récentes confirment que la carence en calcium impacte négativement la croissance corporelle chez les rongeurs. Par exemple, une recherche par Li et al., (2022) a démontré qu'un régime déficient en calcium pendant la phase de croissance chez le rat réduit significativement le gain pondéral, la densité osseuse, et retarde le développement musculaire. Dans cette étude, la supplémentation post-carence permettait une récupération partielle mais pas toujours complète selon la dose administrée. De même, Martinez-García et al., (2023) ont observé qu'un supplément de calcium biodisponible (carbonate ou lactate) permettait de restaurer les marqueurs de croissance pondérale et osseuse à des niveaux comparables au témoin dans un modèle de carence prolongée. Ces résultats sont cohérents avec ceux de notre étude, où l'ANOVA a mis en évidence une différence statistiquement significative entre les groupes (F ≈ 31,6 ; p < 0,001), confirmant que le traitement



affecte le poids final.

Le test de Tukey a montré que les groupes supplémentés (Complément et CaCO_3) présentaient un poids final significativement plus élevé que le groupe carencé non traité ($p < 0,001$), ce qui renforce l'idée que la supplémentation, qu'elle soit sous forme de formulation nutritionnelle complète ou simple source de calcium, est efficace pour restaurer la croissance pondérale après carence. Ce constat rejoint les observations de **Martínez-García et al., (2023)** selon lesquelles le carbonate de calcium peut être une alternative viable aux formulations plus complexes, tant que la dose est suffisante et que la biodisponibilité est adéquate.

De plus, l'ampleur de la variation globale (+22,7 % dans le groupe Complément, +17,8 % dans le groupe CaCO_3 versus -30,6 % dans le groupe carence) souligne l'importance de l'intervention nutritionnelle rapide après période déficitaire. Ces constatations s'inscrivent dans la littérature nutritionnelle selon laquelle les déficiences en minéraux essentiels pendant la phase de croissance ont des effets irréversibles s'ils ne sont pas corrigés tôt (**Smith et al., 2021**).

Nos résultats renforcent l'idée que la supplémentation en calcium par différentes formes est capable de restaurer la croissance pondérale après carence, et que le carbonate de calcium peut être aussi performant que des compléments alimentaires plus complets dans les conditions expérimentales testées.

4. Evolution de la calcémie selon les régimes expérimentaux

Les résultats présentés dans le tableau 20 illustrent les variations de la concentration sérique en calcium (mg/L) observées chez les rats après 7 semaines de traitement selon les différents régimes expérimentaux. Cette période de traitement a succédé à une phase de carence de 7 semaines, permettant d'évaluer l'efficacité des stratégies de supplémentation pour rétablir l'homéostasie calcique.



Tableau 17: Évolution de la calcémie selon les régimes expérimentaux

Groupe	Moyenne ± Écart-type	Test ANOVA
Témoin	97.18 ± 2.87	F(3,19) = 3,86 ; p = 0,026
Carence en Ca	95.24 ± 7.33	
Complément (Coquilles + Plante)	102.30 ± 4.84	
CaCO ₃	104.37 ± 4.67	

L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative entre les groupes ($p = 0,026$), indiquant que la supplémentation influence les niveaux de calcémie chez les rats.

Les valeurs obtenues indiquent que la calcémie du groupe témoin se situe dans la plage physiologique normale rapportée pour les rats adultes (90–110 mg/L), confirmant la stabilité métabolique du lot témoin (Charles River Laboratories, 2022).

En revanche, le groupe carencé présente une diminution notable de la calcémie moyenne (95,24 ± 7,33 mg/L), accompagnée d'une plus forte variabilité interindividuelle, traduisant un déséquilibre homéostatique lié à l'insuffisance d'apport calcique. Ces résultats concordent avec les travaux de Jiang et al., (2020) et Kumar et al., (2021), qui décrivent une baisse significative de la calcémie et une dérégulation du métabolisme osseux dans des modèles de rats soumis à un régime pauvre en calcium.

À l'inverse, les groupes supplémentés (CaCO₃ et complément à base de coquilles d'œufs associées à la plante) montrent une élévation significative des taux sériques de calcium par rapport au groupe carencé. Le groupe CaCO₃ atteint la valeur moyenne la plus élevée (104,36 ± 4,67 mg/L), confirmant l'efficacité reconnue du



carbonate de calcium comme source biodisponible (Hanzlik et *al.*, 2021).

Le groupe "Complément", quant à lui, affiche une calcémie moyenne de 102,30 ± 4,83 mg/L, très proche de celle obtenue avec le CaCO₃. Cette observation suggère une bonne biodisponibilité du calcium issu des coquilles d'œufs, renforcée par les composés bioactifs du , notamment les polyphénols et minéraux (Mg, P, K) qui favorisent l'absorption intestinale du calcium (Siddhuraju et Becker, 2020 ; Adebayo et *al.*, 2022).

Ces résultats confirment que la supplémentation naturelle à base de coquilles d'œufs et de permet une restauration efficace de la calcémie, comparable à celle obtenue avec le carbonate de calcium, tout en apportant des micronutriments essentiels à l'équilibre électrolytique et à la santé osseuse.

5. Analyse histologique des os et cartilages

Des coupes osseuses et cartilagineuses ont été prélevées sur les différents groupes expérimentaux après fixation, inclusion en paraffine, microtomie et coloration HES (hématoxyline-éosine-safran). Les observations ont été réalisées au microscope optique à un grossissement ×10.

5.1. Groupe témoin

Le cartilage de croissance (cartilage épiphysaire) présente une organisation normale, avec une zone proliférative bien structurée et une matrice osseuse homogène. Les travées osseuses apparaissent denses et régulières, sans signes d'altération ni d'hypominéralisation.

5.2. Groupe de complément coquilles d'œufs+ *Moringa*

L'aspect histologique est proche du groupe témoin, avec une légère



augmentation de l'activité ostéoblastique. Une discrète hyperplasie cellulaire est observée au niveau de la zone ostéogénique, traduisant une stimulation du processus d'ossification endochondrale. La matrice ostéoïde est plus dense, indiquant une reminéralisation active.

5.3. Groupe de supplément en carbonate de calcium minérale

L'os cortical apparaît épaissi et bien organisé. La compaction et la densité minérale accrues témoignent d'une bonne efficacité de la supplémentation minérale. Toutefois, la structure trabéculaire reste légèrement moins homogène que dans le groupe complément.

5.4. Groupe de carence en calcium

L'os cortical est aminci et les travées osseuses présentent une hypoplasie marquée. Le cartilage de croissance apparaît désorganisé, avec une réduction notable de l'épaisseur et une matrice fragilisée. Ces observations traduisent une altération du processus d'ossification et une perturbation du renouvellement osseux liée à la carence calcique.

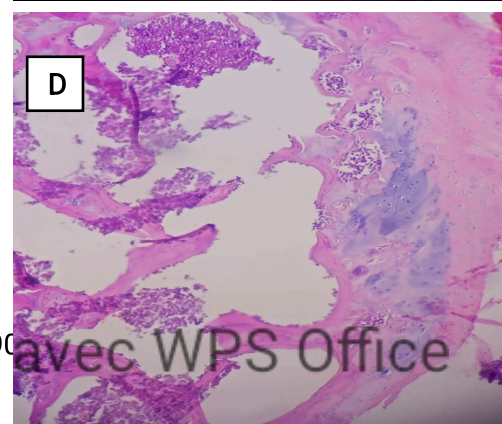
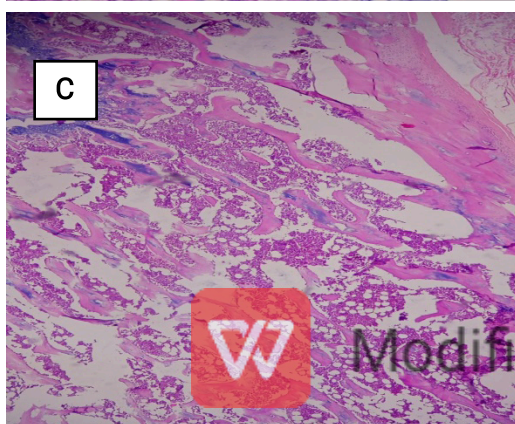
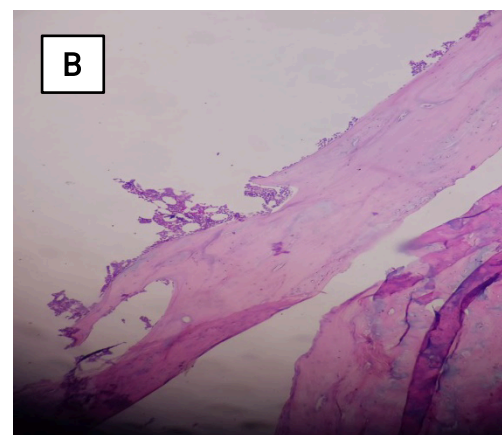
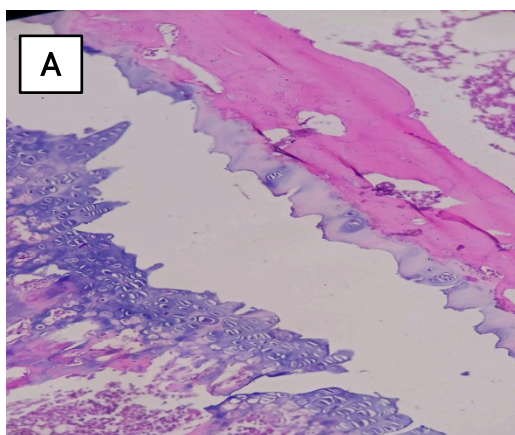


Figure 22: Observations histologiques du tissu osseux et cartilagineux des quatre groupes expérimentaux au microscope optique (×10), groupe témoin (A), groupe complément alimentaire (B), groupe supplément minéral (C) et groupe carencé (D).

L'analyse histologique met clairement en évidence l'impact du statut calcique sur la structure osseuse. Chez les rats carencés, la diminution de la densité et de l'épaisseur corticale, associée à une désorganisation des travées, traduit une hypominéralisation sévère et une perturbation de la croissance osseuse. Ces observations confirment les effets délétères d'un déficit prolongé en calcium sur la formation et la consolidation de la matrice osseuse, comme le rapportent **Weaver et al., (2016)** et **Rizzoli et al., (2021)**.

La supplémentation en carbonate de calcium (CaCO_3) a permis une restauration partielle de la structure osseuse, illustrant son rôle bien connu dans la correction des déséquilibres calciques (Heaney, 2009). Néanmoins, la réponse observée avec le complément naturel Moringa-coquilles d'œufs est plus marquée, non seulement sur la minéralisation mais aussi sur l'organisation tissulaire. Cette différence peut être attribuée à la présence dans le de composés antioxydants et bioactifs (polyphénols, flavonoïdes, vitamine C, β -carotène), connus pour stimuler l'activité ostéoblastique et réduire le stress oxydatif osseux (**Mbikay, 2012 ; Chandra et al., 2020 ; Adeyemi et al., 2021**).

De plus, la biodisponibilité élevée du calcium des coquilles d'œufs, associée à la présence d'oligoéléments tels que le magnésium et le strontium, favorise une minéralisation osseuse plus physiologique (Schaafsma et Beelen, 2021). Cette synergie entre calcium naturel et composés végétaux semble induire une reminéralisation plus harmonieuse que celle obtenue avec un sel minéral isolé.



Ainsi, les résultats histologiques confirment la double action du complément naturel :

- **Nutritionnelle**, par l'apport en calcium biodisponible et éléments minéraux essentiels ;
- **Physiologique**, par la modulation du métabolisme osseux via des composés bioactifs.

Ces résultats confirment que la simple correction par des sels minéraux n'apporte pas les mêmes bénéfices intégrés qu'un apport naturel combinant calcium et composés bioactifs. Ce qui rejoint les observations de **Elangovan et al., (2019)**, qui ont montré que la supplémentation à base de Moringa favorise la régénération osseuse et l'équilibre ostéoblastes/ostéoclastes chez les animaux carencés en calcium.

6. Résultats du contrôle de la qualité microbiologique

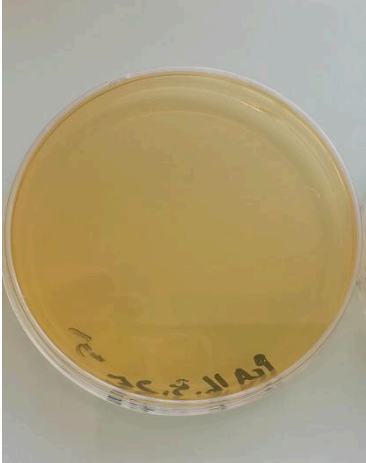
Les résultats du contrôle microbiologique ont révélé une absence totale de germes pathogènes et indicateurs, notamment *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Staphylococcus spp.* et *Pseudomonas spp.*, ainsi que l'absence de flore aérobie mésophile totale, de levures et de moisissures. Cette stérilité apparente témoigne d'une excellente qualité sanitaire du complément étudié et reflète l'efficacité des procédés technologiques appliqués lors de sa préparation. En effet, la stérilisation des coquilles d'œufs a joué un rôle déterminant en assurant l'élimination des bactéries potentiellement présentes à la surface, souvent associées aux contaminations environnementales ou fécales (**Morsy et al., 2015**).


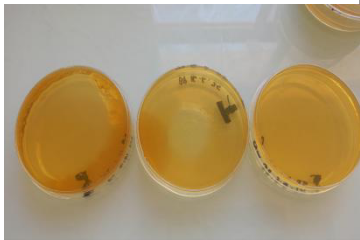


De même, le chauffage des feuilles de Moringa a permis de réduire significativement la charge microbienne initiale, tout en inactivant les microorganismes susceptibles de proliférer, ce qui a contribué à la stabilité et à la sécurité du produit final (**Singh et al., 2020 ; Anwar et al., 2007**).





L'absence de flore mésophile indique que les conditions appliquées ont été suffisantes pour prévenir tout développement bactérien, renforçant l'idée que le procédé adopté garantit une maîtrise rigoureuse des risques microbiologiques. L'absence simultanée de levures et de moisissures suggère quant à elle que le traitement thermique appliqué aux feuilles de *Moringa* a limité la viabilité des spores fongiques, réduisant ainsi le risque de production de métabolites indésirables tels que les mycotoxines (Basuny et al., 2012).

Tableau 18: Résultats du contrôle de la qualité microbiologique

Germes ciblés	Milieu utilisé	Présence / Absence	Colonies comptées	Dilution utilisée	Calcul (UFC/ml)	Critère réglementaire	Photos
Flore aérobie totale	PCA (Plate Count Agar)	Absence	0	$10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$		$\leq 10^4$ UFC/g pour les produits secs, conformément aux exigences générales de sécurité des denrées alimentaires (Décret exécutif n° 15-172 du 25 juin 2015 et Codex Alimentarius)	

Levures et moisissures	Gélose nutritif	Absence	0	10^{-5} 10^{-6}		$\leq 10^2$ UFC/g ISO 21527-1/2	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Baird Parker	Absence	0	$10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$	0 (UFC/ml)	10^2 UFC/g ISO 6888-1	
<i>Escherichia coli</i>	MacConkey	Absence	0	$10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$	0 (UFC/ml)	Absente dans 1 g de produit Codex Alimentarius, ISO 16649-2	
<i>Salmonella spp</i>	Bouillon peptoné → Hektoen/SS	Absence	0	$10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$	0 (UFC/ml)	Absente dans 25 g d'échantillon Décret exécutif n° 15-172/2015, Codex Alimentarius, ISO 6579-	

<i>Shigella spp</i>	SS	Absence	0	$10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$	0 (UFC/ml)	Absente dans 25 g d'échantillon ISO 21567	
<i>Pseudomonas spp</i>	King A (pyocyanine), King B (pyoverdine)	Absence	0	$10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$	0 (UFC/ml)	Absente dans 25 g d'échantillon ISO 21567	

Ces résultats sont particulièrement importants, car ils démontrent que le produit peut conserver ses caractéristiques hygiéniques même en l'absence d'additifs antimicrobiens. L'analyse globale met en évidence la pertinence de combiner des procédés simples mais efficaces, tels que la stérilisation et le chauffage, pour obtenir un complément alimentaire sûr et conforme aux exigences de la réglementation microbiologique.

De plus, cette qualité microbiologique confère au produit une valeur ajoutée, car elle reflète non seulement la maîtrise technique lors de la transformation, mais aussi le potentiel d'extension de sa durée de conservation sans risque sanitaire pour le consommateur (FAO/WHO, 2019).





conclusion

7.conclusion

Le développement d'un complément alimentaire à base de coquille d'œuf et de moringa constitue une initiative innovante alliant santé, durabilité et valorisation des ressources naturelles locales. Cette recherche a démontré le potentiel considérable de la coquille d'œuf comme source naturelle de calcium biodisponible, associée aux vertus nutritives et antioxydantes du moringa. L'objectif principal était de concevoir un produit sûr, efficace et respectueux de l'environnement, répondant aux besoins nutritionnels croissants d'une population souvent carencée en calcium.



Les résultats obtenus ont mis en évidence une amélioration du taux de calcium sérique chez les sujets ayant reçu le complément, confirmant ainsi son efficacité potentielle. Cependant, cette efficacité demeure conditionnée par la formulation utilisée, la dose administrée et la durée du traitement. Il serait donc pertinent de poursuivre les essais avec des échantillons plus larges et un suivi sur le long terme, afin de mieux évaluer l'impact du produit sur la santé osseuse et le métabolisme général.

Le projet ouvre également des perspectives intéressantes sur le plan technologique et industriel. Nous envisageons d'intégrer des vitamines essentielles telles que la vitamine D, favorisant l'absorption du calcium, et la vitamine C, reconnue pour son rôle antioxydant. Ces ajouts permettront de concevoir un complément alimentaire plus complet et adapté aux besoins spécifiques des adultes et des personnes âgées. L'amélioration des formes galéniques – telles que les gélules, poudres solubles ou comprimés aromatisés – représente un axe important pour favoriser la praticité et l'adhésion des consommateurs.

Au-delà de l'aspect scientifique, cette initiative s'inscrit dans une démarche de valorisation durable des déchets et de promotion de l'économie circulaire. L'utilisation des coquilles d'œufs issues des restaurants et pâtisseries contribue à réduire les déchets organiques tout en créant une valeur ajoutée réelle. De plus, l'exploitation du moringa, plante aux multiples vertus, favorise la mise en valeur des ressources agricoles locales et encourage la production nationale de compléments alimentaires naturels, réduisant ainsi la dépendance vis-à-vis des produits importés.

En conclusion, ce projet représente une étape significative vers la création d'un produit à la fois innovant, écologique et bénéfique pour la santé humaine. Il illustre la possibilité d'allier recherche scientifique, développement industriel et responsabilité environnementale. Les perspectives d'évolution restent prometteuses, ouvrant la voie à une nouvelle génération de compléments alimentaires algériens, naturels et performants.





Références bibliographiques



Modifier avec WPS Office

Références bibliographiques

A

1. Abd Rani, N. Z., Husain, K., & Kumolosasi, E. (2018). Moringa genus: A review of phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 1–26. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00001>
2. Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S., & Ghazali, H. M. (2005). Some physico-chemical properties of Moringa oleifera seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. *Food Chemistry*, 93(2), 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.015>
3. Abdull Razis, A. F., Ibrahim, M. D., & Kntayya, S. B. (2014). Health benefits of Moringa oleifera. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15(20), 8571–8576. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2014.15.20.8571>
4. Alaimo, K., Chilton, M., & Jones, S. J. (2020). Food insecurity, hunger, and malnutrition. In *Academic Press*, 311–326. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818460-8.00017-4>
5. Al-awwal, N. Y., & Ali, U. L. (2015). Proximate analyses of different samples of egg shells obtained from Sokoto market in Nigeria. *International Journal of Scientific Research*, 4, 564–566.
6. Alam, P., Elkholy, S. F., Mahfouz, S. A., & Sharaf-Eldin, M. A. (2016). HPLC-based estimation and extraction of rutin, quercetin and gallic acid in plants grown in Saudi Arabia. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8, 1243–1246.
7. Ali, M., & Badawy, W. (2017). Utilization of eggshells by-product as a mineral source for fortification of bread strips. *Journal of Food and Dairy Science*, 8, 455–459.
8. Ali, R. S., Hasan, S. T., & Alssiraj, M. A. (2019). Effect of chicken eggshell powder fortification on the chemical, physical and rheological characteristics of bread. *Biochemistry and Cell Archives*, 19, 543–547.
9. Alsuhaibani, A. M. A. (2018). Rheological and nutritional properties and sensory evaluation of bread fortified with natural sources of calcium. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–8.
10. ANSES. (2022). Additifs alimentaires : définitions, usages et réglementation. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr>
11. Anhwange, B. A., Ajibola, V. O., & Oniye, S. J. (2004). Chemical studies of the seeds of (Lam) and *Detarium microcarpum*. *Journal of Biological Sciences*, 4(6), 711–715.
12. Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2007). : A food plant with multiple



medicinal uses. *Phytotherapy Research*, 21(1), 17–25.
<https://doi.org/10.1002/ptr.2023>

13. Arnold, M., Rajagukguk, Y. V., & Gramza-Michałowska, A. (2021). Functional food for elderly high in antioxidant and chicken eggshell calcium to reduce the risk of osteoporosis – A narrative review. *Foods*, 10, 656.
<https://doi.org/10.3390/foods10030656>

B

14. Barminas, J. T., Charles, M., & Emmanuel, D. (1998). Mineral composition of non-conventional leafy vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*, 53(1), 29–36.
<https://doi.org/10.1007/BF01093172>

15. Bartkiene, E., Bartkevics, V., Pugajeva, I., Borisova, A., Zokaityte, E., Lele, V., Sakiene, V., Zavistanaviciute, P., Klupsaite, D., & Zadeike, D. (2023). Challenges associated with by-products valorization – Comparison study of safety parameters of ultrasonicated and fermented plant-based by-products. *Foods*, 13(17), 2737.
<https://doi.org/10.3390/foods13172737>

16. Benmansour, D., Bouchenak, M., & Belleville, J. L. (2020). Nutrition transition and calcium deficiency in North Africa: Implications for bone health. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 13(2), 145–154.

17. Berridge, M. J., Bootman, M. D., & Roderick, H. L. (2003). Calcium signalling: Dynamics, homeostasis and remodelling. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 4, 517–529. <https://doi.org/10.1038/nrm1155>

18. Beto, J. A. (2015). The role of calcium in human aging. *Clinical Nutrition Research*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.7762/cnr.2015.4.1.1>

19. Bhattacharya, A., Ghosh, G., Agrawal, D., Sahu, P. K., Kumar, S., & Mishra, S. S. (2014). GC-MS profiling of ethanolic extract of leaf. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 5(1), 263–275.

20. Black, R. E., Victora, C. G., Walker, S. P., Bhutta, Z. A., Christian, P., de Onis, M., ... & Uauy, R. (2013). Maternal and child undernutrition and overweight in low- and middle-income countries. *The Lancet*, 382(9890), 427–451.

21. Brini, M., Calì, T., Ottolini, D., & Carafoli, E. (2014). Neuronal calcium signaling: Function and dysfunction. *Cell Molecular Life Sciences*, 71, 2787–2814.
<https://doi.org/10.1007/s00018-013-1550-7>

22. Bronner, F., & Pansu, D. (1999). Nutritional aspects of calcium absorption. *Journal of Nutrition*, 129(1), 9–12.

23. Brown, E. M. (1991). Extracellular Ca²⁺ sensing, regulation of parathyroid cell function, and role of Ca²⁺ and other ions as extracellular messengers. *Physiological*



C

24. Calder, P. C. (2015). Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochimica et Biophysica Acta – Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1851(4), 469–484. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.08.010>
25. Cao, H., Wu, X., Syed-Hassan, S. S. A., Zhang, S., Mood, S. H., Milan, Y. J., et al. (2020). Characteristics and mechanisms of phosphorous adsorption by rape straw-derived biochar functionalized with calcium from eggshell. *Bioresource Technology*, 318, 124063. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124063>

D

26. Da Graça, M., & Emanuelli, T. (2015). Eggshell as calcium source for humans: mineral composition and microbiological analysis.
27. Daengprok, W., Garnjanagoonchorn, W., & Mine, Y. (2002). Fermented pork sausage fortified with commercial or hen eggshell calcium lactate. *Meat Science*, 62, 199–204.
28. Diaz de Barboza, G., Guizzardi, S., & Tolosa de Talamoni, N. (2015). Molecular aspects of intestinal calcium absorption. *World Journal of Gastroenterology*, 21(20), 7142–7154.
29. Dori, O., Humbert, A., Burnier, M., & Teta, D. (2014). Risques rénaux des compléments alimentaires : une cause ignorée. *Revue Médicale Suisse*, 10(419), 498–503.

E

30. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2021). Scientific opinion on dietary reference values for vitamins. *EFSA Journal*, 19(3), e06453. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6453>
31. Elia, M. (1995). Changing concepts of nutrient requirements in disease: Implications for artificial nutrition support. *The Lancet*, 345, 1279–1284.
32. Elmighrabi, N. F., Fleming, C. A. K., Dhami, M. V., Elmabsout, A. A., & Agho, K. E. (2023). A systematic review and meta-analysis of the prevalence of childhood undernutrition in North Africa. *PLoS ONE*, 18(4), e0283685.



F

33.FAO/OMS. (2023). *Codex Alimentarius: Guidelines on Nutrition Labelling*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et Organisation mondiale de la santé.

34.Fassina, P., Scherer Adami, F., Zani, V. T., & Vieira, M. L. (2015). The effect of *Garcinia cambogia* as coadjuvant in the weight loss process. *Nutr Hosp*, 32(6), 2400–2408. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.6.9587>

G

35.Gibson, G. R., Bailey, K. B., Gibbs, M., & Ferguson, E. L. (2011). A review of phytate, iron, zinc, and calcium concentrations in plant-based complementary foods used in low-income countries and implications for bioavailability. *Food and Nutrition Bulletin*, 31(2_suppl2), S134–S146. <https://doi.org/10.1177/15648265110312S206>

36.Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., ... & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491–502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>

37.Gloux, A., Le Roy, N., Bézie, Y., & Arnaud, J. (2019). Calcium intake and health outcomes: An update. *Nutrition Research Reviews*, 32(1), 60–77.

38.Gombart, A. F., Pierre, A., & Maggini, S. (2020). A review of micronutrients and the immune system—working in harmony to reduce the risk of infection. *Nutrients*, 12, 236.

39.Gopalakrishnan, L., Doriya, K., & Kumar, D. S. (2016). : A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>

40.Gowrimeenal, D., Rajeswari, R., & Rani, S. (2018). Formulation and evaluation of nutraceutical mix. *International Journal of Information Research and Review*, 5(5), 5133–5135.

41.Green, C. J. (1999). Existence, causes and consequences of disease-related malnutrition in the hospital and the community, and clinical and financial benefits of nutrition intervention. *Clinical Nutrition*, 18(Suppl 2), 3–28.



H

42. Heaney, R. P. (2001). Calcium needs of the elderly to reduce fracture risk. *Journal of the American College of Nutrition*, 20(sup2), 192S–197S.
<https://doi.org/10.1080/07315724.2001.10719036>
43. Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), 506–514.
<https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
44. Holdoway, A. (2024). Use of oral nutritional supplements. *Journal of Prescribing Practice*, 6(10), 422–427. <https://doi.org/10.12968/jprp.2023.0010>
45. Hsieh, S. L., Li, F. Y., Lin, P. Y., Beck, D. E., Kirankumar, R., Wang, G. J., et al. (2021). CaO recovered from eggshell waste as a potential adsorbent for greenhouse gas CO₂. *Journal of Environmental Management*, 297, 113430.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113430>
46. Huan, Y., et al. (2020). Characterization and potential utilization of eggshell as a sustainable calcium source. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124243.

I

47. Ibrahim, N. M., & Hassan, A. B. (2020). Nutritional composition of Moringa oleifera leaves and seeds. *African Journal of Food Science*, 14(3), 45–51.
48. Iqbal, S., & Bhangar, M. I. (2006). Effect of season and production location on antioxidant activity of Moringa oleifera leaves grown in Pakistan. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 544–551.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.05.001>

J

49. Jung, H. A., Jung, Y. J., Yoon, N. Y., & Choi, J. S. (2014). Inhibitory activities of extracts from Moringa oleifera leaves and flowers on pancreatic lipase, α-glucosidase, and protein glycation. *Food Science and Biotechnology*, 23(4), 1129–1136.

K

50. Kakengi, A. M. V., Kaijage, J. T., Sarwatt, S. V., Mutayoba, S. K., Shem, M. N., &



Fujihara, T. (2007). Effect of Moringa oleifera leaf meal as a substitute for sunflower seed meal on performance of laying hens. *Livestock Research for Rural Development*, 19(8), 120.

51.Kaiser, L., & Allen, L. (2008). Position of the American Dietetic Association: Nutrition and lifestyle for healthy pregnancy outcome. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(3), 553–561.

52.Kalita, S., & Mukhopadhyay, P. K. (2019). Calcium carbonate derived from eggshell waste: applications and prospects. *Materials Today: Proceedings*, 18, 202–209.

53.Kumar, S., & Pandey, G. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*, 2013, 162750.
<https://doi.org/10.1155/2013/162750>

L

54.Luqman, S., Srivastava, S., Kumar, R., Maurya, A. K., & Chanda, D. (2012). Experimental assessment of Moringa oleifera leaf and fruit for its antistress, antioxidant, and scavenging potential using in vitro and in vivo assays. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, 519084.
<https://doi.org/10.1155/2012/519084>

M

55.Mahmood, K. T., Mugal, T., & Haq, I. U. (2010). Moringa oleifera: A natural gift—A review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(11), 775–781.

56.Makkar, H. P. S., Becker, K., & Abel, H. (1998). Nutrient contents of leaves and stems of three tropical fodder trees and their in vitro digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 65, 111–119.

57.Mandal, S. M., Dey, S., & Chakraborty, R. (2020). Moringa oleifera: A review on phytochemistry and pharmacological potential. *International Journal of Green Pharmacy*, 14(3), 223–232.

58.Martínez-Rojas, J., Morales, D., & Peña, J. (2019). Eggshell waste as a source of calcium for food fortification. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2365–2373.

59.Mishra, G., Singh, P., Verma, R., Kumar, S., Srivastav, S., & Jha, K. K. (2011). Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of Moringa oleifera plant: An overview. *Der Pharmacia Lettre*, 3(2), 141–164.

60.Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011). Nutritional



characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology*, 10(60), 12925–12933.

61. Mughal, M. H., Ali, G., Srivastava, P. S., & Iqbal, M. (1999). Improvement of drumstick (*Moringa oleifera* Lam.) – A unique source of food and medicine through tissue culture. *Hamdard Medicus*, 42(1), 37–42.

62. Murakami, K., & Livingstone, M. B. E. (2016). Associations between meal and snack frequency and overweight and obesity in US adults: National Health and Nutrition Examination Survey 2003–2012. *British Journal of Nutrition*, 115(12), 2138–2144. <https://doi.org/10.1017/S0007114516001374>

63. Murtaza, G., Sajjad, A., Mehmood, Z., Shah, S. H., Siddiqui, S. A., & Naeem, M. (2017). Nutritional and therapeutic perspectives of *Moringa oleifera* leaves in human health. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 39–45.

N

64. Nadeem, M., Muhammad Anjum, F., Khan, M. I., Tehseen, S., & El-Ghorab, A. (2013). Quality evaluation of *Moringa oleifera* leaves during storage and its effect on oil oxidation. *Food Science and Technology Research*, 19(1), 31–38.

65. Nand, K., Sahu, M., & Sharma, S. (2019). Development of calcium-enriched functional food using eggshell powder. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 4(2), 54–59.

66. Ndong, M., Wade, S., & Gning, R. D. (2007). Nutritional value of *Moringa oleifera* leaves powder: Study of its influence on weight gain and hematological parameters in growing rats. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 7(3), 1–12.

67. Nwokocha, C. R., Owu, D. U., Gordon, A., Thaxter, K., McCalla, G., Ozolua, R. I., & Young, L. (2012). Possible mechanisms of action of the hypotensive effects of *Moringa oleifera* extract in rats. *Pharmaceutical Biology*, 50(11), 1436–1441. <https://doi.org/10.3109/13880209.2012.684690>

O

68. Oduro, I., Ellis, W. O., & Owusu, D. (2008). Nutritional potential of two leafy vegetables: *Moringa oleifera* and *Ipomoea batatas* leaves. *Scientific Research and Essays*, 3(2), 57–60.

69. Olsen, K. H., Rasmussen, M. A., & Larsen, E. H. (2018). Calcium intake from



eggshells in food fortification: safety and bioavailability considerations. *Food Chemistry*, 252, 425–431.

70.Omotoso, O. E. (2006). Nutritional quality, functional properties and anti-nutrient composition of the seeds of *Moringa oleifera*. *Food Chemistry*, 99(1), 113–120.

71.Onwuliri, F. N., & Nwankwo, J. O. (2010). Composition and evaluation of the nutritive value of the leaves of *Moringa oleifera*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(3), 276–278.

P

72.Palada, M. C., & Chang, L. C. (2003). Suggested cultural practices for Moringa. AVRDC – *The World Vegetable Center*, Publication No. 03-545.

73.Parra, E. J., Becerra, M., & Torres, L. (2016). Calcium bioavailability from fortified beverages made with Moringa and eggshell powder. *Journal of Functional Foods*, 27, 27–34.

74.Paul, A., Kumar, S., & Saha, D. (2019). Eggshell as an alternative source of calcium supplementation: a review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(5), 253–259.

75.Pereira, F. R., Barbosa, R. A., & Souza, M. (2020). Development of calcium-fortified biscuits using eggshell powder. *Journal of Culinary Science & Technology*, 18(3), 231–240.

76.Prashanth, B. K., & Jadhav, R. A. (2018). Nutraceutical potential of *Moringa oleifera* leaves: A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 37(4), 283–290.

R

77.Rahman, M. M., & Rahman, M. A. (2022). Effect of drying methods on phytochemical contents of *Moringa oleifera* leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16432.

78.Rana, S. V. (2014). Importance of minerals and trace elements in the human nutrition: A review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13(6), 395–403.

Rebello, S. A., & van Dam, R. M. (2013). Coffee consumption and type 2 diabetes: An extensive review of epidemiological evidence and proposed mechanisms. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2013, 586790.

80.Rizwan, K., Zubair, M., Rasool, N., Riaz, M., Zia-Ul-Haq, M., & de Feo, V. (2014). Phytochemical and biological study of *Moringa oleifera* Lam. leaves for



pharmacological evaluation. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(9), 708–714.

S

81.Saini, R. K., Sivanesan, I., & Keum, Y. S. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: A review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *3 Biotech*, 6, 203.

82.Sánchez-Machado, D. I., Núñez-Gastélum, J. A., Reyes-Moreno, C., Ramírez-Wong, B., & López-Cervantes, J. (2010). Nutritional quality of edible parts of *Moringa oleifera*. *Food Analytical Methods*, 3(3), 175–180.

83.Sashidhara, K. V., Rosaiah, J. N., Tyagi, E., Shukla, R., Raghubir, R., & Rajendran, S. M. (2009). Rare dipeptide and urea derivatives from roots of *Moringa oleifera* as potential anti-inflammatory and antinociceptive agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44(1), 432–436.

84.Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2144–2155.

85.Singh, R. G., & Negi, P. S. (2020). Nutraceutical importance of calcium from eggshell: Applications in food fortification. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 122–129.

86.Sreelatha, S., & Padma, P. R. (2009). Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* leaves in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64, 303–311.

T

87.Tete-Benissan, A., & Kouadio, J. (2021). Evaluation de la teneur en calcium des aliments fortifiés à base de poudre de coquille d'œuf. *Revue Africaine de Nutrition et d'Alimentation*, 15(2), 99–108.

88.Thurber, M. D., & Fahey, J. W. (2009). Adoption of *Moringa oleifera* to combat under-nutrition viewed through the lens of the “Diffusion of Innovations” theory. *Ecology of Food and Nutrition*, 48(3), 212–225.

89.Tian, X., & Wu, Y. (2019). Eggshell-derived calcium carbonate for bioceramic applications. *Ceramics International*, 45(10), 12556–12562.



V

90. Verma, A. R., Vijayakumar, M., Mathela, C. S., & Rao, C. V. (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food and Chemical Toxicology*, 47(9), 2196–2201.

y

91. Yameogo, C. W., Bengaly, M. D., Savadogo, A., Nikiéma, P. A., & Traoré, S. A. (2011). Determination of chemical composition and nutritional values of *Moringa oleifera* leaves. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(3), 264–268.

z

92. Zhao, Y., Li, Y., Wang, L., & Chen, C. (2018). Bioavailability and functionality of calcium from eggshell calcium carbonate. *Food Chemistry*, 266, 239–246.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.003>.



Annexes

1. Protocole d

La déshydratation des échantillons osseux est une étape essentielle du traitement histologique, permettant d'éliminer l'eau contenue dans les tissus pour faciliter l'infiltration par la paraffine. Les fragments inclus dans des cassettes sont soumis à un cycle complet d'environ 16 à 17 heures selon le protocole du laboratoire d'anatomie de Relizane (2025). Ce processus permet d'éliminer progressivement l'eau contenue dans les tissus et de préparer ceux-ci à l'infiltration par la paraffine.





Figure 01: de l'automate de déshydratation des échantillons

1.1.Étapes détaillées et rôle de chaque bain

1. **Formol 1/10^e – 1 h 15 min** : fixation et conservation des structures cellulaires et tissulaires.
2. **Alcool 70 % – 1 h 15 min** : début de la déshydratation en douceur pour éviter les déformations.
3. **Alcool 80 % – 1 h 15 min** : poursuite de la déshydratation progressive.
4. **Alcool 96 % – 1 h 15 min (x2 bains)** : élimination presque totale de l'eau résiduelle.
5. **Alcool absolu – 1 h 15 min** : déshydratation complète.
6. **Acétone – 1 h 15 min (x2 bains)** : solvant intermédiaire facilitant la transition vers le xylène.
7. **Xylène – 1 h 30 min (x2 bains)** : remplacement de l'acétone, rendant les tissus miscibles avec la paraffine.
8. **Paraffine – 1 h 30 min (x2 bains)** : infiltration des tissus, assurant une bonne inclusion et conservation pour la coupe.

2. Protocole de la coloration

ce protocole suivie est selon le laboratoire d'Hygiène. (2025). Protocole de coloration HES interne [Document interne non publié]. Laboratoire d'hygiène de Relizane

1. Xylène : 2 bains de 2 minutes chacun (déparaffinage)
2. Alcool absolu (100%) : 5 minutes
3. Alcool 96% : 5 minutes.
4. Alcool 70% : 5 minutes
5. Eau distillée (H_2O) : 1 minute
6. Hématoxyline : 5 minutes (coloration des noyaux)
7. Eau distillée (H_2O) : 1 minute (rinçage)
8. Acide chlorhydrique alcoolisé (HCl alcoolisé 0,1%) : quelques secondes (différenciation)
9. Eau distillée (H_2O) : 1 minute (arrêt de la différenciation)
10. Colorant éosine : 2 minutes (coloration du cytoplasme)
11. Eau distillée (H_2O) : 1 minute (rinçage)
12. Alcool 96% : 2 bains successifs de 2 minutes
13. Alcool absolu (100%) : 2 minutes
14. Xylène : 3 minutes (éclaircissement final)



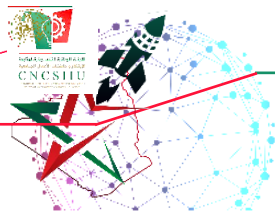


Figure 02 : de l'automate de coloration histologique (Tissue Stainer)

Guide start-up



Modifier avec WPS Office



Carte d'information

À propos de l'équipe d'encadrement du groupe de travail

1.Équipe d'encadrement

Équipe d'encadrement (à titre indicatif)

Encadrant principal :

Dr. SBAHI Khayra

Spécialité :

Environnement et santé



2.Équipe de projet :



Étudiant 01 :

**BENAHMED
Farah**

**Sciences de la
Nature et de la
Vie**

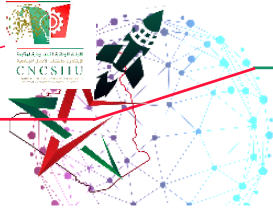
**Microbiologie et controle de
qualité**

Étudiant 02 :

**EL-MENAOUER
Touria**

**Sciences de la
Nature et de la
Vie**

**Microbiologie et controle de
qualité**



Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
MHESR

Ministère Algérien
de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
ALGÉRIE



Index

Contenu



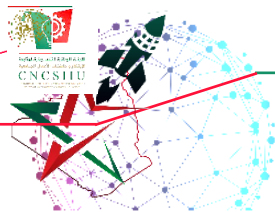
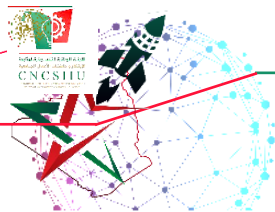


Table des matières

Le premier axe Présentation du projet	6
1.L'idée de projet (solution proposée)	7
2.Les valeurs proposées	8
3.Équipe de travail :	8
4.Objectifs du projet :	9
5.Calendrier de réalisation du projet	9
Le deuxième axe Aspects innovants	10
1.Nature des innovations :	11
2.Domaines d'innovation :	12
Analyse stratégique du marché	13
Le troisième axe Analyse stratégique du marché	13
1.Le segment du marché	14
2.Mesure de l'intensité de la concurrence :	14
3.La stratégie marketing:	16
Plan de production et d'organisation	17
Le quatrième axe Plan de production et d'organisation	17
1.Le Processus de production	18
2. L'Approvisionnement	19
3.La main d'œuvre	19
4.Les Principaux partenaires	20



Le cinquième axe Plan financier	21
1. Les Coûts et charges	22
2. Le Chiffre d'affaires	22
3. BILANS DE STARTUP	22
4. COMPTE DE RÉSULTAT PRÉVISIONNEL DE STARTUP	23
 Le sixième axe Prototype expérimental	 26
1. Nom et logo de l'entreprise et du produit	26



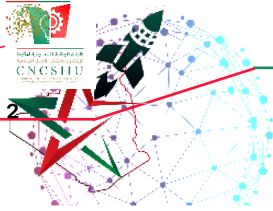
Introduction

La carence en calcium demeure l'un des désordres nutritionnels les plus préoccupants à l'échelle mondiale, représentant un facteur de risque majeur pour l'ostéoporose, le rachitisme et de nombreux déséquilibres métaboliques. En Algérie, cette déficience touche une proportion croissante de la population, en particulier les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées, accentuant ainsi la vulnérabilité osseuse et réduisant la qualité de vie. Cette situation souligne l'urgence de mettre en place des solutions nutritionnelles innovantes, accessibles et efficaces .

Dans ce contexte, notre projet propose le développement d'un complément alimentaire naturel et durable, formulé à partir de deux ressources remarquables : les coquilles d'œufs, véritable source de carbonate de calcium hautement biodisponible, et le Moringa oleifera, une plante aux propriétés nutritionnelles et thérapeutiques exceptionnelles. L'association de ces deux ingrédients confère à ce produit un potentiel unique, capable à la fois de prévenir et de corriger les déficits calciques, tout en apportant un ensemble riche en vitamines, minéraux et antioxydants essentiels à l'organisme.

L'approche que nous proposons ne se limite pas à la simple supplémentation : elle s'inscrit dans une logique de valorisation de ressources naturelles locales, de promotion de la santé préventive et de réduction des effets secondaires liés aux suppléments synthétiques classiques. Elle représente une alternative douce, innovante et durable, contribuant à renforcer le statut nutritionnel et à préserver la santé osseuse et métabolique de la population.

**Développer une formulation équilibrée et
adaptée sous forme de complément**



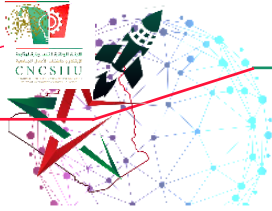
Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
MHER

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
ALGERIE



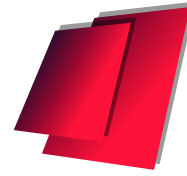
Le premier Présentatio n du projet





Premier axe

Présentation du projet



1.L'idée de projet (solution proposée)

L'idée du projet a émergé à la suite d'une analyse des besoins nutritionnels, qui a révélé que de nombreuses personnes souffrent d'un déficit en calcium. Ce problème est accentué par l'évolution des modes de vie modernes, où l'alimentation quotidienne n'apporte plus suffisamment de calcium, en raison de la consommation réduite de produits riches en ce minéral.

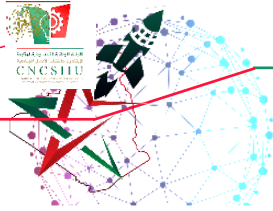
Nous avons également constaté que ce public s'oriente de plus en plus vers des compléments d'origine naturelle, considérés comme plus sûrs et accessibles, plutôt que vers des produits chimiques ou des suppléments importés souvent onéreux.

Face à cette situation, nous avons décidé de développer un complément alimentaire innovant, associant la coquille d'œuf, ressource locale abondante et riche en calcium, et le moringa, reconnu pour sa richesse en vitamines, minéraux et antioxydants.

Le projet se concrétisera par la mise en place d'une unité de transformation spécialisée, équipée de procédés modernes, afin de garantir un produit de haute qualité, sûr et conforme aux normes en vigueur.

Le site d'implantation a été choisi pour sa proximité avec des sources fiables de matières premières locales : les coquilles d'œufs collectées auprès des pâtisseries et restaurants, et le moringa provenant soit de zones agricoles favorables, soit de fournisseurs spécialisés en plantes médicinales. Cette stratégie permettra de valoriser des ressources naturelles, tout en contribuant à une économie circulaire et durable.





2. Les valeurs proposées

Efficacité ciblée : un complément alimentaire naturel spécialement conçu pour les adultes et les seniors, afin de répondre à leurs besoins en calcium et antioxydants.

- Il contribue au maintien d'une bonne santé osseuse et à la prévention des carences liées à l'âge.

Innovation durable : transformation de matières premières locales (coquilles d'œufs et moringa) en un produit nutritif à forte valeur ajoutée.

- Cette approche allie savoir traditionnel et technologies modernes pour offrir un produit unique sur le marché.

Qualité et sécurité : fabrication selon les bonnes pratiques et contrôle rigoureux pour garantir un produit fiable et sans risque.

- Chaque étape, de la sélection des matières premières au conditionnement, est encadrée par des normes strictes de qualité.

Engagement environnemental : réduction du gaspillage et valorisation des déchets grâce à l'utilisation de ressources naturelles sous-exploitées.

- Le projet s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, en donnant une nouvelle vie à des matières considérées comme déchets.

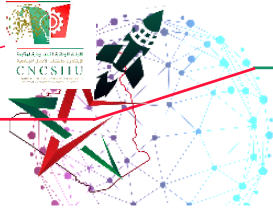
Impact socio-économique : création d'emplois locaux, soutien aux filières agricoles et réduction de la dépendance aux compléments importés.

3. Équipe de travail : L'équipe du projet est composée des membres suivants :

- **Étudiante 01** : BEN AHMED Farah , de la spécialité de Microbiologie et contrôle de qualité

- **Étudiante 02** : EL-MENAOUER Touria , de la spécialité de Microbiologie et contrôle de qualité

Notre équipe est composée de deux membres aux profils complémentaires, unis par une vision commune et une répartition stratégique des rôles. L'un assure la coordination du projet, la gestion des matières premières et le suivi de la chaîne de production. L'autre se concentre sur l'analyse du marché, la stratégie marketing et la gestion financière. Cette synergie fondée sur la



4.Objectifs du projet :

- Apporter une solution nutritionnelle naturelle
Comblant le déficit en calcium et nutriments essentiels chez les adultes à travers un complément à base de coquille d'œuf et moringa.
- Innover dans la valorisation des ressources locales
Transformer des déchets comme les coquilles d'œufs et utiliser des plantes médicinales locales pour créer un produit durable.
- Assurer la qualité et la conformité
Mettre en place un processus de production respectant les normes de sécurité et de contrôle qualité.
- Contribuer à la santé publique
Promouvoir une prévention nutritionnelle accessible et sensibiliser la population à l'importance des compléments naturels.
- Stimuler l'économie locale
Générer des opportunités d'emploi et renforcer les partenariats avec les acteurs locaux (producteurs, restaurateurs, herboristes).

5.Calendrier de réalisation du projet :

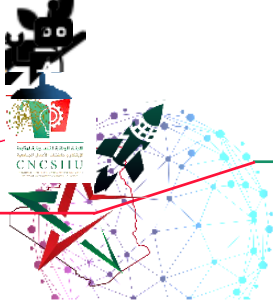
			Mois						
			1	2	3	4	5	6	7
1		Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓	✓	✓				
2		Commande des équipements		✓	✓	✓			
3		Construction d'un siège de production (usine)			✓	✓	✓	✓	

...		Installation des équipements			✓	✓	✓		
n		Achat de matières premières						✓	
...		Réalisation du prototype							✓



Le deuxième axe **Aspects innovants**

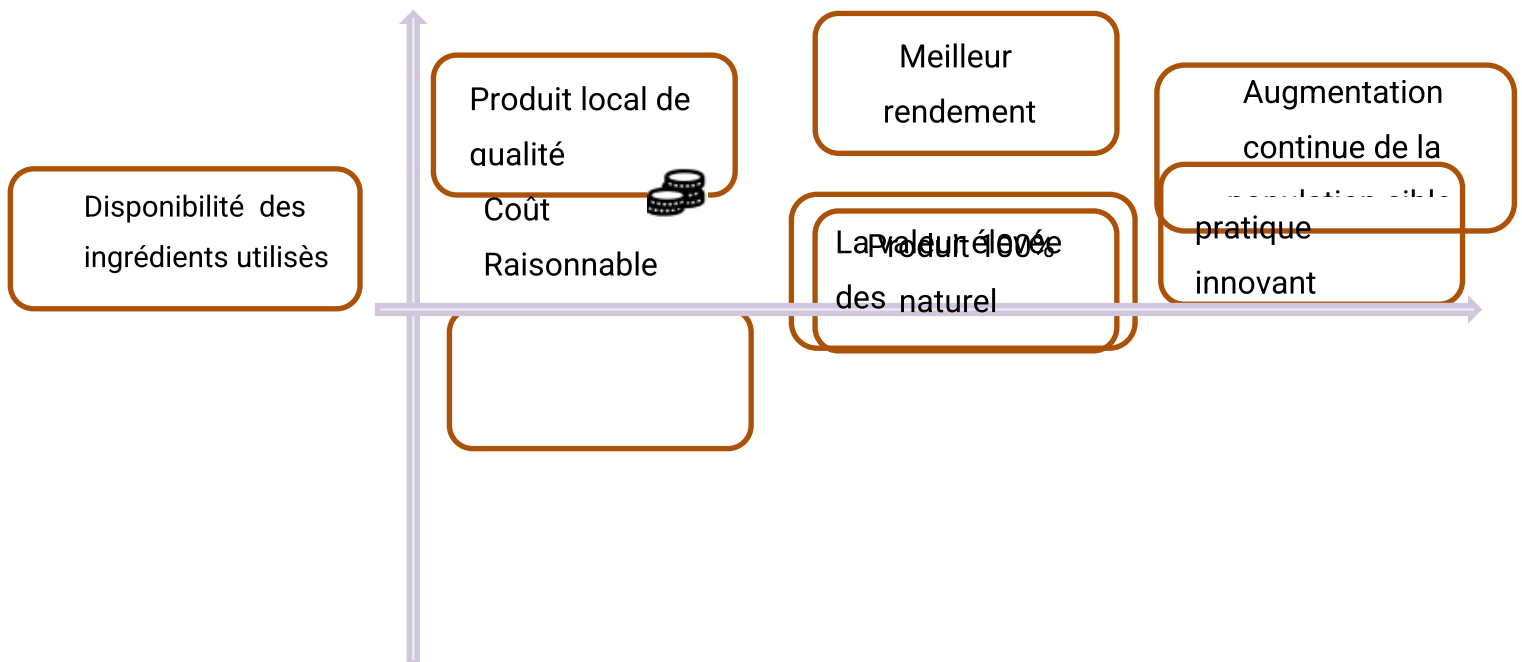




Deuxième axe

Aspects innovants

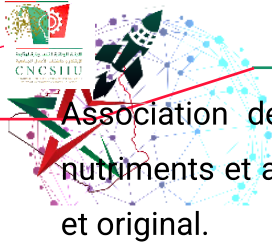
1. Nature des innovations :



2. Domaines d'innovation :

- Solution naturelle unique





Association de la coquille d'œuf (calcium naturel) et du moringa (riche en nutriments et antioxydants) pour créer un complément alimentaire 100 % naturel et original.

➤ **Accessibilité économique**

Un prix étudié pour rendre le produit abordable aux adultes, y compris dans les zones rurales et pour les foyers à revenus modestes.

➤ **Gamme variée de produits**

Possibilité de proposer plusieurs formes (gélules, poudre, infusion) afin de répondre aux préférences et aux besoins spécifiques des consommateurs.

➤ **Traçabilité et transparence**

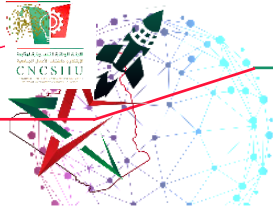
Mise en place d'un système clair de suivi des matières premières et de contrôle qualité, afin de garantir l'origine, la sécurité et la fiabilité du produit.

➤ **Valorisation des déchets**

Transformation des coquilles d'œufs collectées auprès de la restauration et des pâtisseries, contribuant à l'économie circulaire et à la réduction du gaspillage

➤ **Production optimisée**

Processus de fabrication moderne, intégrant contrôle qualité et respect des normes internationales, afin de garantir efficacité et sécurité .



Le troisième axe

Analyse stratégique du marché





Troisième axe

Analyse stratégique du marché

1. Le segment du marché


► Marché potentiel

Le marché potentiel de notre complément alimentaire comprend toutes les personnes intéressées par les produits naturels pour améliorer leur santé et leur nutrition. Ce marché inclut notamment les individus cherchant à combler des carences en calcium, fer ou vitamines, ainsi que ceux qui privilégient les solutions écologiques et durables. La tendance croissante vers la consommation de compléments alimentaires naturels fait de ce marché un secteur en pleine expansion.

► Marché cible

Notre marché cible se concentre sur des groupes spécifiques présentant des besoins nutritionnels particuliers, notamment : les femmes enceintes et allaitantes, les personnes âgées souffrant de déminéralisation osseuse, les enfants en croissance, ainsi que les individus atteints d'anémie ou de fatigue chronique. Nous visons aussi les consommateurs soucieux de leur santé, cherchant des produits naturels, locaux et respectueux de l'environnement.

2. Mesure de l'intensité de la concurrence :

	La forme galnique	La dose	Les points forts	Les points faibles	Le prix (euro)
	comprimés /sirop	800 mg	Association ca+vitD +MG +ZN	calcium synthétique absorption limitée prix élevé _ risque digestif _ dépend des additifs	12.40
	comprimés à croquer	600 mg	Présence vit D	Calcium synthétique risque constipation pas d'ingrédients naturels _ Formulation peu innovante _ Faible biodisponibilité	13.80





Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
MHERS
Ministère algérien de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ALGÉRIE

Le produit	La forme galnique	La dose de calcium (mg)	Le prix (dz)	Les points forts	Les points faibles
	comprimés	650 mg	1990	association calcium +vitamine D3+vitamine K2	Moins pratique pour enfants ou personnes âgées _ prix relativement élevé
	sirop	300 mg	890	contient calcium ,magnésium , zinc .	Absence de vitamine K2 peut contenir du sucre moins concentré que les comprimés
	sirop	5.6 mg	488.39	Sans sucre ajouté (édulcoré) Saveur orange agréable	Faible teneur en calcium (très en dessous des besoins réels)





3.La stratégie marketing:

✓ **Sensibilisation et éducation**

Informer le public sur les bienfaits du calcium naturel et du moringa à travers des campagnes de sensibilisation, des conférences, et l'utilisation des réseaux sociaux.

✓ **Mix marketing adapté**

Mettre en place un équilibre entre le prix (abordable), le produit (naturel et innovant), la distribution (pharmacies, parapharmacies, magasins bio, herboristeries) et la promotion (flyers, salons, influenceurs santé).

✓ **Stratégie de proximité**

Cibler en priorité les adultes soucieux de leur santé, notamment dans les zones urbaines et rurales, grâce à des partenariats avec des médecins, nutritionnistes et herboristes.

✓ **Communication digitale**

Exploiter les réseaux sociaux (Facebook, Instagram, TikTok) et créer une identité visuelle attractive pour toucher une large clientèle à moindre coût.

✓ **Optimisation budgétaire**

Adapter toutes les actions marketing aux moyens financiers disponibles, en privilégiant des solutions peu coûteuses mais à fort impact.



MHER
ALGERIE

ALGERIE



Le quatrième axe

Plan de production et d'organisation





Quatrième axe

Plan de production et d'organisation

1. Le Processus de production

Figure 01: Différentes étapes de la réalisation du prototype

**La récolte des
ingrédients**

2. L'Approvisionnement

✓ Détermination de la politique d'achat : inclut la sélection des matières premières, des matériaux, des fournitures et des équipements nécessaires à la production.

✓ Identification des fournisseurs clés : choix des partenaires fiables une qualité constante et un approvisionnement

**broyage tamisage
et stérilisation**

✓ Définition des modalités de paiement et des délais de réception : mise en place de conditions financières et logistiques adaptées afin d'optimiser la gestion des coûts et le respect des délais de livraison

**Formulation du complément,
3. La main d'œuvre
Conditionnement (gélules),
contrôle de qualité et
1. Gestion de l'équipe:**

La réussite du projet dépend en grande partie de la constitution et de la gestion efficace de l'équipe de travail. Il est essentiel de définir le nombre de postes à créer et de préciser la nature de la main-d'œuvre

nécessaire. Notre projet nécessite des spécialistes en biologie, en industrie pharmaceutique, ainsi que des techniciens qualifiés pour assurer la production et le contrôle de la qualité. À cela s'ajoutent des ingénieurs capables d'optimiser les procédés, et des opérateurs chargés de la manutention et de la logistique. La mise en place d'un plan clair de recrutement, de formation et de suivi permettra de garantir une équipe performante, motivée et adaptée aux exigences du projet.

2. Gestion administrative:

Au-delà de l'aspect technique, la gestion administrative représente un pilier central dans l'organisation du projet. Elle inclut la coordination des tâches de gestion financière, de suivi des ressources humaines et de communication interne et externe. Des comptables expérimentés seront indispensables pour

gérer le plan financier, assurer la transparence budgétaire et respecter les délais

de paiement. Par ailleurs, notre projet prévoit des postes dédiés à la gestion du travail à distance et à la communication avec des clients étrangers, ce qui renforcera l'ouverture à de nouveaux marchés. Cette approche administrative, bien structurée, garantira la stabilité et la pérennité du projet.

4. Les Principaux partenaires

Fournisseurs : assurer l'approvisionnement en matières premières fiables (coquilles d'œufs, moringa).

Laboratoires : garantir la qualité, la sécurité et la conformité réglementaire des produits.

Banques et institutions financières : faciliter l'accès au financement et soutenir la croissance.

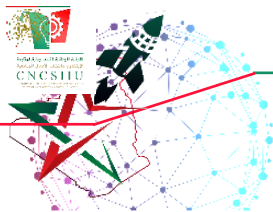
Incubateurs et structures d'accompagnement : offrir un appui technique, logistique et managérial.

Collectivités locales et associations : valoriser le projet, sensibiliser la population et promouvoir une économie circulaire.

Le cinquième axe

Plan financier





Le cinquième axe



Plan financier

1. Les Coûts et charges

Les principales sources de financement comprennent :

- Les fonds personnels (apport en capital propre)
- L'intégration à un programme d'accompagnement pour startups
- Les subventions et aides publique

2.Le Chiffre d'affaires

En Milliers DZD	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A	5.000	5.000	5.000	8.000	12.000	20.000	30.000	50.000
Prix HT produit A	900	900	900	900	900	900	900	900
CHIFFRE D'AFFAIRES	4.500.000	4.500.000	4.500.000	7.200.000	10.800.000	18.000.000	27.000.000	45.000.000

3.BILANS DE STARTUP

ACTIF

En Milliers DZD	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
ACTIF NON COURANT	6.460.000	6.120.000	5.780.000	5.440.000	5.100.000	4.760.000	4.420.000	4.080.000



Immobilisations corporelles	6.46 0.00 0	6.12 0.00 0	5.7 80. 000	5.440. 000	5.10 0.00 0	4.760.0 00	4.420.000	4.080.000
ACTIF COURANT	3.10 5.00 0	3.33 0.00 0	3.5 55. 000	5.104. 000	7.32 8.00 0	11.660. 000	17.485.00 0	29.350.000
Stocks	315. 000	315. 000	315 .00 0	504.00 0	756. 000	1.260.0 00	1.890.000	3.150.000
Clients	2.02 5.00 0	2.02 5.00 0	2.0 25. 000	3.240. 000	4.86 0.00 0	8.100.0 00	12.150.00 0	20.250.000
Trésorerie	765. 000	990. 000	1.2 15. 000	1.360. 000	1.71 2.00 0	2.300.0 00	3.445.000	5.950.000
TOTAL ACTIF	9.56 5.00 0	9.45 0.00 0	9.3 35. 000	10.544 .000	12.4 28.0 00	16.420. 000	21.905.00 0	33.430.000

PASSIF

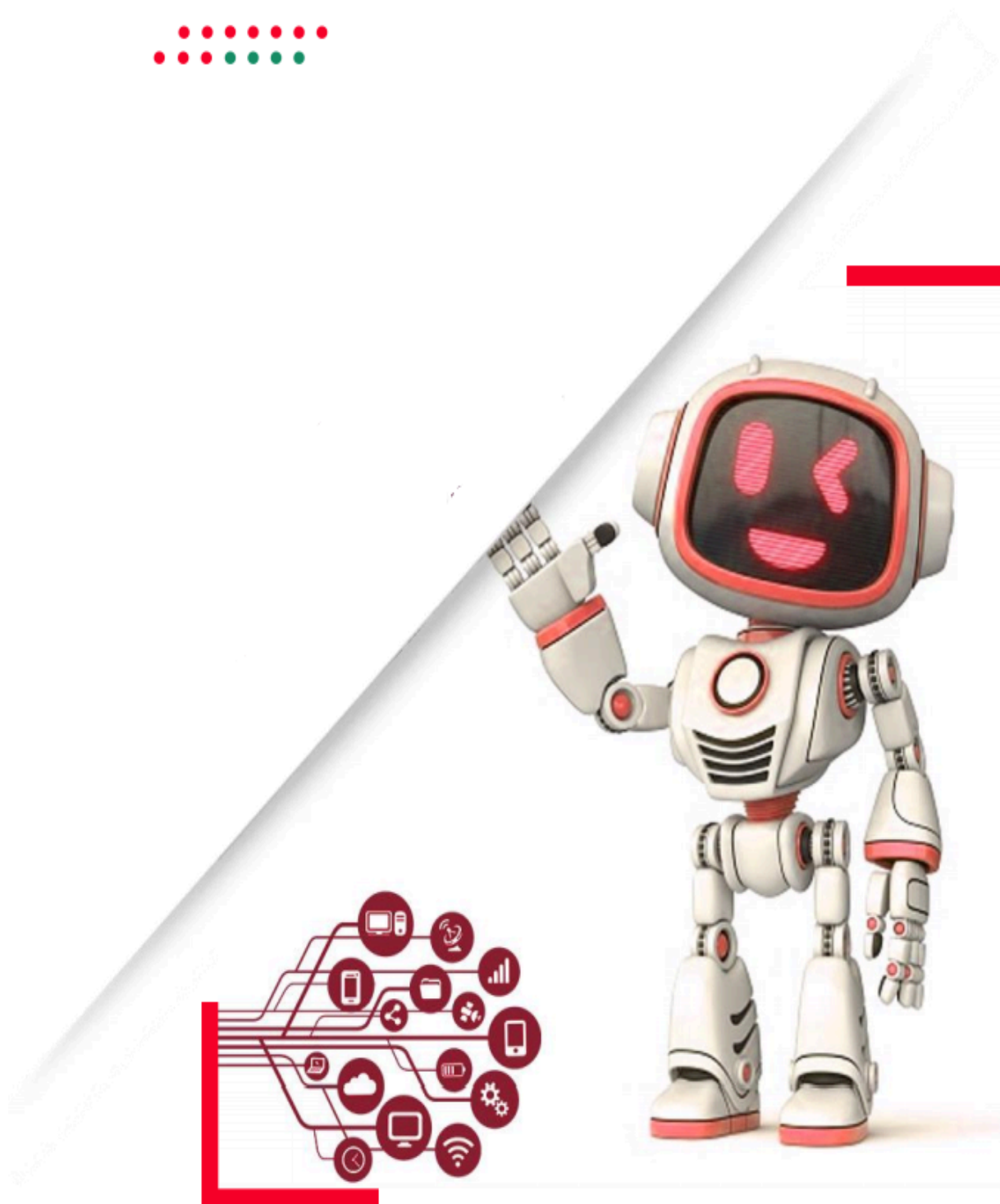
En Milliers DZD	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
CAPITAUX PROPRES	9.51 0.00 0	10.5 20.0 00	11. 530 .00 0	13.350 .000	16.2 50.0 00	21.310. 000	29.070.00 0	42.230.000
Capital	8.50 0.00 0	8.50 0.00 0	8.5 00. 000	8.500. 000	8.50 0.00 0	8.500.0 00	8.500.000	8.500.000
Résultat net cumulé	1.01 0.00 0	2.02 0.00 0	3.0 30. 000	4.850. 000	7.75 0.00 0	12.810. 000	20.570.00 0	33.730.000

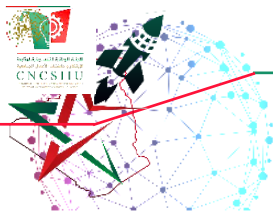
PASSIFS COURANTS	55.0 00	1.07 0.00 0	2.1 95. 000	- 2.806. 000	- 3.82 2.00 0	- 4.890.0 00	-7.165.000	-8.800.000
Fournisseurs (25% CA)	55.0 00	1.07 0.00 0	2.1 95. 000	- 2.806. 000	- 3.82 2.00 0	- 4.890.0 00	-7.165.000	-8.800.000
TOTAL PASSIF	9.56 5.00 0	9.45 0.00 0	9.3 35. 000	10.544 .000	12.4 28.0 00	16.420. 000	21.905.00 0	33.430.000

4.COMPTE DE RUSULTAT PREVISIONNEL DE STARTUP

En Milliers DZD	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
VENTES ET PRODUITS ANNEXES	4.500.00 0	4.500.00 0	4.500.00 0	7.200.00 0	10.800.0 00	18.000.0 00	27.000.0 00	45.000. 000
Production de l'exercice	4.500.00 0	4.500.00 0	4.500.00 0	7.200.00 0	10.800.00 0	18.000.00 0	27.000.00 0	45.000. 000
Achats consommés	2.160.00 0	2.160.00 0	2.160.00 0	3.456.00 0	5.184.00 0	8.640.00 0	12.960.0 00	21.600. 000
Services extérieurs	450.000	450.000	450.000	720.000	1.080.00 0	1.800.00 0	2.700.00 0	4.500.0 00
Consommati on de l'exercice	2.610.00 0	2.610.00 0	2.610.00 0	4.176.00 0	6.264.000	10.440.00 0	15.660.00 0	26.100. 000
Valeur ajoutée d'exploitation	1.890.00 0	1.890.00 0	1.890.00 0	3.024.00 0	4.536.000	7.560.000	11.340.00 0	18.900. 000

Charges de personnel	675.000	675.000	675.000	1.080.000	1.620.000	2.700.000	4.050.000	6.750.000
Impôts, taxes et versements	0	0	0	0	0	0	0	0
Excédent brut d'exploitation	1.215.000	1.215.000	1.215.000	1.944.000	2.916.000	4.860.000	7.290.000	12.150.000
Dotation aux amortissements	340.000	340.000	340.000	340.000	340.000	340.000	340.000	340.000
Reprise sur provisions	135.000	135.000	135.000	216.000	324.000	540.000	810.000	1.350.000
Résultat opérationnel	1.010.000	1.010.000	1.010.000	1.820.000	2.900.000	5.060.000	7.760.000	13.160.000
Résultat ordinaire avant impôts	1.010.000	1.010.000	1.010.000	1.820.000	2.900.000	5.060.000	7.760.000	13.160.000
Impôts	0	0	0	0	0	0	0	0
RÉSULTAT NET	1.010.000	1.010.000	1.010.000	1.820.000	2.900.000	5.060.000	7.760.000	13.160.000





Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
MHESR

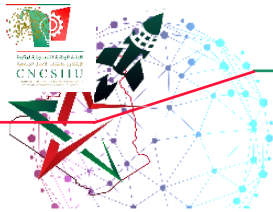
Ministère Algérien
de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
ALGÉRIE



Le sixième axe

Prototype
expérimental





Le sixième axe

Prototype expérimental

1. Nom et logo de l'entreprise et du produit : Nous avons choisi le nom Ftlab

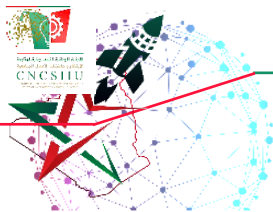


Figure 02 : Logo de l'entrepris

❖ Complément nutritionnel innovant à base de *Moringa oleifera* et de coquilles d'œufs purifiées :

Ce complément nutritionnel a été formulé dans une optique de prévention des carences calciques et de renforcement du métabolisme osseux à travers une approche naturelle et durable. Il associe deux sources complémentaires à haute valeur biologique : la *Moringa oleifera*, reconnue pour sa richesse exceptionnelle en micronutriments bioactifs (vitamines, polyphénols, acides aminés essentiels), et les coquilles d'œufs purifiées, constituant une source naturelle de calcium hautement biodisponible.

Présenté sous forme de gélules végétales (boîtes de 60 unités), ce produit combine efficacité nutritionnelle, sécurité d'emploi et biodisponibilité optimisée. Sa formulation vise à améliorer l'absorption intestinale du calcium, tout en préservant l'équilibre minéral global grâce à l'apport synergique d'oligoéléments et d'antioxydants naturels.

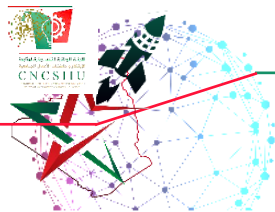


Un prototype complet, incluant l'emballage final, a été élaboré dans le cadre de la phase préindustrielle du projet. Cette étape expérimentale permettra d'évaluer la stabilité physico-chimique, l'efficacité biologique et la tolérance du produit, avant son passage à l'échelle

industrielle. Les essais pilotes et retours des utilisateurs constitueront des indicateurs essentiels pour l'ajustement de la formulation, l'optimisation du design et la garantie d'une adéquation parfaite entre performance scientifique et attentes des consommateurs.





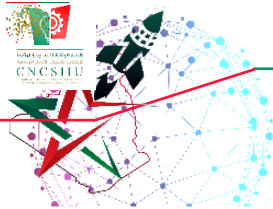


Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
MHER

Ministère algérien
de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
ALGÉRIE

Figure 03 : Formulation et design du prototype du complément calcique naturel



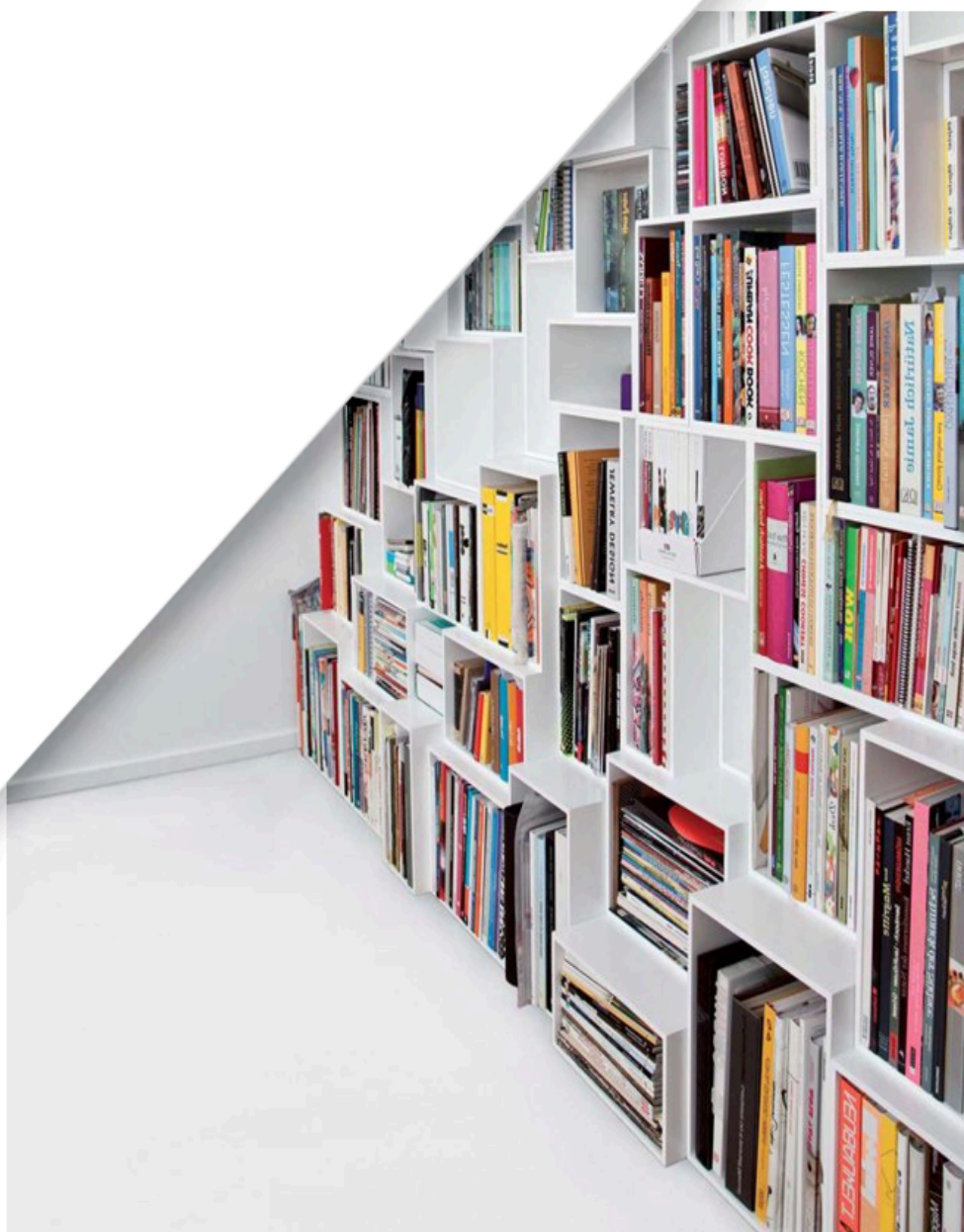


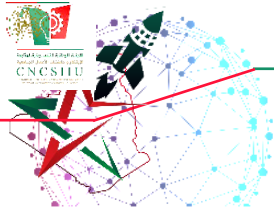
Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
MHESR

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
ALGERIE



Liste des annexes



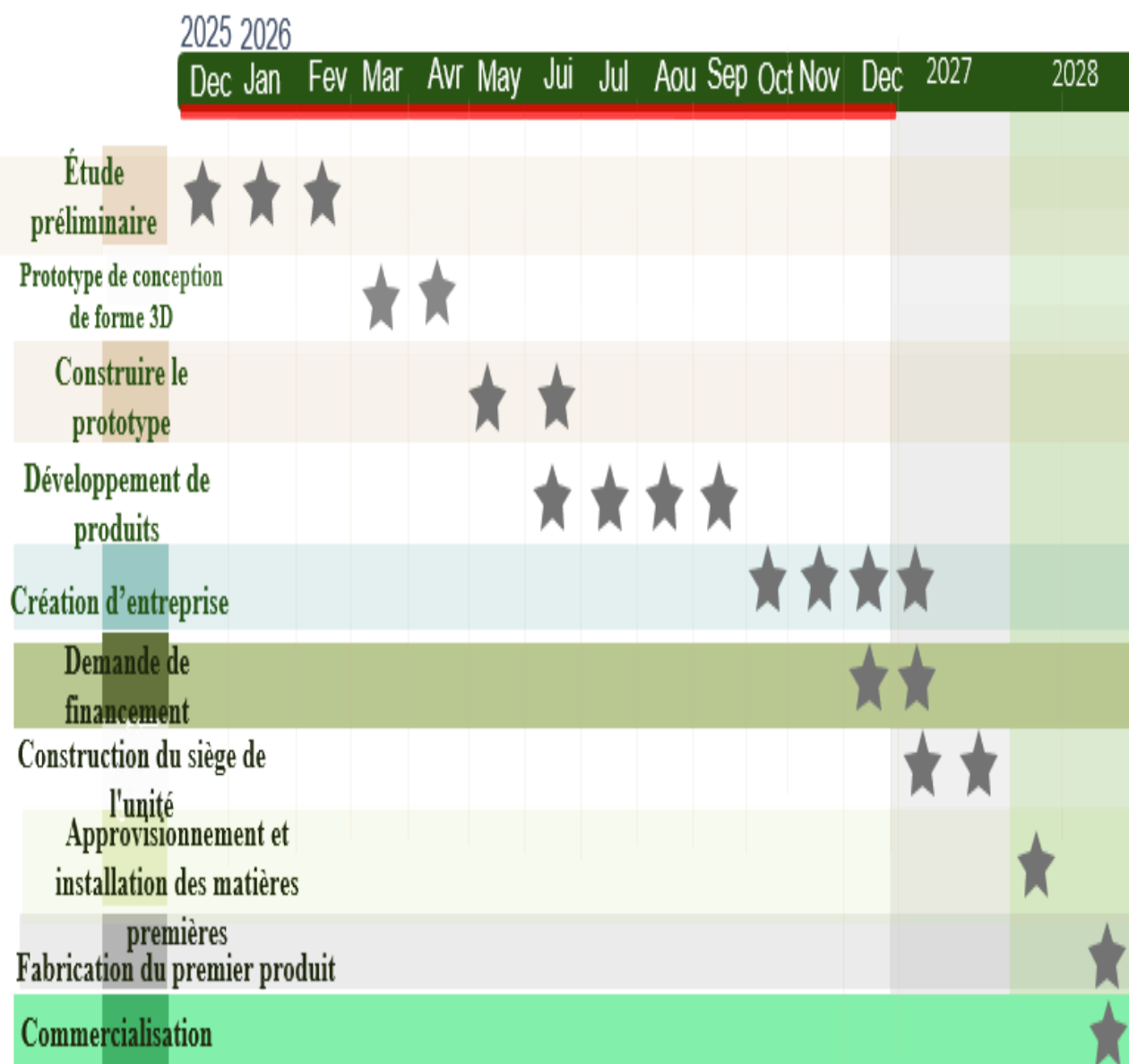


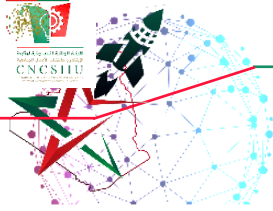
Annexe 1

Road map



RoadMap





Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
MHER

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
ALGERIE

Busnises model Canvas



150

Modifier avec WPS Office



Business Model Canvas

Partenaires clés	Activités Clés	Propositions de valeur	Relation Client	Clients
- Fournisseurs de matières premières (coquilles d'œufs locales, poudre de moringa bio).	Collecte et préparation des coquilles d'œufs .	- Naturel et Sécurisé : sans additifs chimiques, 100 % naturel.	Service client réactif en ligne.	Adultes souffrant de carence en calcium.
- Laboratoires de production et de contrôle microbiologique.	- Séchage et micronisation de la poudre de moringa.	- Riche en calcium biodisponible grâce à la coquille d'œuf.	Conseils personnalisés (via nutritionnistes et experts santé).	Femmes enceintes ou allaitantes.
- Experts médicaux et scientifiques (nutritionnistes, pharmaciens).	Formulation et encapsulation du complément alimentaire.	- Renforcé en nutriments (fer, magnésium, vitamines A, C, E du moringa).	Newsletter éducative sur la santé osseuse et la nutrition naturelle.	Personnes âgées (prévention de l'ostéoporose).
- Société spécialisée dans l'emballage et l'étiquetage.	- Contrôles qualité (microbiologiques, physicochimiques).	- Efficacité prouvée pour le renforcement osseux, la prévention de l'ostéoporose et la reminéralisation.	Programme de fidélité et abonnements mensuels.	Sportifs et adolescents en croissance.
- Sociétés de transport et de logistique.	- Emballage, étiquetage et conditionnement.	- Production locale et durable avec valorisation des déchets naturels (coquilles d'œufs).	Suivi après-vente et accompagnement digital (WhatsApp, e-mail).	Consommateurs de médecine naturelle et préventive.
- Incubateur de startups (université, organisme d'appui à l'innovation).	- Promotion et distribution (marketing digital, partenariats).	- Innovation écologique : approche circulaire, zéro gaspillage.		Pharmacies, parapharmacies et magasins bio.
- Sociétés de distribution (pharmacies, parapharmacies, e-commerce).	- Suivi scientifique et amélioration continue du produit.	- Accessibilité financière par rapport aux suppléments importés.		
	Ressources clés		Canaux	

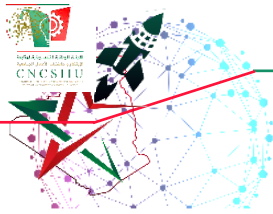
	<div><div>-</div><div>Formule exclusive à base de calcium naturel et de moringa.</div><div>-</div><div>Équipe scientifique multidisciplinaire.</div><div>-</div><div>Laboratoire de formulation et de contrôle qualité.</div><div>-</div><div>Usine ou atelier de production certifié.</div><div>-</div><div>- Plateforme e-commerce et site web officiel.</div><div>-</div><div>Fournisseurs de capsules, emballages et boîtes écoresponsables</div><div>-</div><div>Réseaux de distribution (livraison, pharmacies).</div></div>		<div><div>Pharmacies et parapharmacies.</div><div>Plateforme e-commerce (site officiel, marketplaces).</div><div>Réseaux sociaux (Instagram, TikTok, Facebook santé).</div><div>Influenceurs santé et bien-être.</div><div>Boutiques bio et magasins diététiques.</div><div>Vente directe lors de salons ou foires bio.</div></div>	
Couts		Revenus		
Achat et traitement des matières premières.		Vente directe (en ligne et en points de vente).		
Fabrication, conditionnement et contrôle qualité.		Vente en gros (pharmacies, distributeurs, boutiques bio).		
Conformité réglementaire et analyses de laboratoire.		Produits dérivés (packs bien-être, box santé).		
Marketing digital et publicité.		Abonnements mensuels et programmes fidélité.		
Logistique, transport et distribution.		Formations / ateliers sur la nutrition naturelle.		
Recherche & développement (amélioration des formules).		Exportation régionale (marché maghrébin, africain).		

Guide du projet

**Pour obtenir un diplôme/startup
Dans le cadre de l'Arrêté Ministériel 1275**

**Décembre
2022**





Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
MHESR

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique
ALGERIE



Modifier⁵ avec WPS Office