



République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département d'Agronomie



Laboratoire des produits naturels (LAPRONA)

MÉMOIRE

Présenté par

Bouguerra Rania Khadidja
Menouar Feryal Abir

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Sciences Alimentaires

Option : Nutrition et diététique

Thème :

Évaluation de l'effet thérapeutique de *Moringa oleifera* dans la prévention et le traitement de l'anémie ferriprive et de son activité antibactérienne chez les populations à risque

Soutenu le 30/06/2025, devant le jury composé de :

Présidente	Mme SOUALEM-MAMI Zoubida	MCA Université de Tlemcen
Encadrante	Mme BENGHALEM Ibtissem	MCB Université de Tlemcen
Examinatrice	Mme ELHASSAR MEZIANE Radjaa	MCA Université de Tlemcen

Année universitaire : 2024 /2025



REMERCIEMENT

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réussite de cet humble travail avec des sentiments d'appréciation et à tous ceux qui ont eu un impact sur notre parcours scientifique.

Louange à Dieu d'abord et avant tout, par la grâce duquel les réconciliations ont lieu, louange et reconnaissance à Lui comme il se doit pour la majesté de Son visage et la grandeur de Sa puissance.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre honorable professeur et superviseur, BENGHALEM Ibtissem, qui n'a pas lésiné sur son temps et ses connaissances et qui a été le meilleur mentor et soutien, ce qui lui vaut notre respect et notre reconnaissance.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous les professeurs qui nous ont accompagnés dans notre carrière universitaire.

Nous remercions Mme Selka pour sa contribution avec nous à l'analyse statistique de ce modeste travail

Je remercie sincèrement les membres du jury Mme SOUALEM-MAMI Zoubida et Mme ELHASSAR MEZIANE Radjaa pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail. Leur présence, leur écoute et leurs remarques constructives sont très appréciées et contribuent grandement à l'enrichissement de mon parcours académique

Nous tenons à remercier nos parents, nos frères et sœurs et nos amis qui ont allégé la pression de cette étape et ont contribué, par leurs sourires et leurs paroles, à rendre le chemin plus facile.

Ce travail n'est pas seulement le fruit de nos efforts, mais il est le résultat de votre soutien et de votre compagnie, dont nous sommes fiers et que nous chérissons. Je demande à Dieu de vous accorder le succès et de rendre vos cœurs heureux comme vous nous avez rendus heureux.





DÉDICACE

Avec toute mon appréciation, mon amour et ma gratitude, je dédie cet humble travail à ceux qui ont contribué à faire de moi ce que je suis aujourd'hui.

À ma mère, qui m'a entourée de ses prières à chaque étape et qui a été une étreinte chaleureuse dans mes moments de faiblesse.

A mon père, merci pour tes innombrables sacrifices, tu as été pour moi une source de force et de détermination.

À mes frères et sœurs, vous avez été mes partenaires sur la route.

À mes fidèles amies, Abir, Sara et Houda, vous avez été ma deuxième famille et vous m'avez aidée dans mes moments de distraction.

Et je termine par une dédicace spéciale à moi-même qui n'a jamais perdu espoir malgré tout ce qu'elle a traversé

Bouguerra Rania Khadidja





DÉDICACE

Ce mémoire est dédié à : ceux qui m'ont fait confiance quand j'hésitais moi-même ; À ma famille, source de ma joie et de ma force de travailler

À mes chers parents, grâce à qui j'ai appris le sens du mot « travail » et de la « confiance en soi » et qui n'ont jamais cessé de me soutenir de quelque manière que ce soit ;

Et à mon frère qui m'a soutenu depuis le début

À mes amies Rania, Houda et Sara, qui ont allégé le fardeau de cette étape avec un sourire sincère et un mot gentil, et à tous les professeurs de connaissance et de curiosité qui ont planté les graines de la passion en moi.

Toute ma reconnaissance et ma fierté à vous tous, et je demande à Dieu de vous accorder succès et bonheur dans les jours à venir, tout comme vous m'avez rendu heureux.

Menouar Feryal Abir



Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Sommaire	
Listes des tableaux	
Listes des histogrammes	
Listes des figures	
Listes abrégations	
Résumé	
الملخص	
Abstract	
Introduction générale	1
Problématique	3

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : *Moringa oleifera*

I.	Généralités sur le <i>Moringa oleifera</i>	4
II.	Historique	4
III.	Origine du <i>Moringa oleifera</i>	5
IV.	Systématique et nomenclature	7
	IV.1. Systématique de <i>Moringa oleifera</i>	7
	IV.2. Nomenclature de <i>moringa</i>	11
V.	Classification botanique	12
VI.	Description botanique	12
	VI.1. Les feuilles	12
	VI.2. Les fleurs	13
	VI.3. Les fruits	13
	VI.4. L'écorce	13
	VI.5. Les racines	14
VII.	Bienfaits sur la santé	17
	VII.1. Riche en nutriments essentiels	17
	VII.2. Renforcement du système immunitaire	18
	VII.3. Régulation de la glycémie	18
	VII.4. Un puissant effet antioxydant	18

VII.5. Réduit l'inflammation	18
VII.6. Favorise la digestion	18
VII.7. Réduction de cholestérol	19
VIII. L'activité antimicrobienne de <i>Moringa oleifera</i>	19
VIII.1. <i>Escherichia coli</i>	20
VIII.2. <i>Staphylococcus aureus</i>	20
VIII.3. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20
VIII.4. <i>Bacillus subtilis</i>	21
VIII.5. <i>Klebsiella pneumoniae</i>	21

Chapitre II : L'anémie ferriprive

I. Introduction générale à l'anémie	23
II. Physiopathologie générale de l'anémie	23
II.1. Mécanismes physiologiques	23
II.2. Rôle de l'érythropoïétine	24
II.3. Conséquences sur l'oxygénation des tissus	24
III. Le fer et son métabolisme	25
III.1. Métabolisme du Fer	25
III.2. Transport, stockage et régulation du Fer	25
III.3. Les besoins en fer	26
IV. Épidémiologie de l'anémie	27
IV.1. Données mondiales (OMS)	27
IV.2. Données spécifiques à l'Algérie (enquêtes nationales)	27
V. Symptômes cliniques de l'anémie	28
V.1. Signes généraux	28
V.2. Symptômes neurologiques et cardiovasculaires	28
VI. Classifications des anémies	29
VI.1. Classification morphologique	29
VI.1.1. Anémie microcytaire	

VI.1.2. Anémie normocytaire	29
VI.1.2.a. Anémie hémorragique aiguë	29
VI.1.2.b. Anémie rénale	29
VI.1.3. Anémie macrocytaire	29
VI.2. Classification physiologique	30
VI.2.1. L'anémie hémolytique	30
VI.2.2. L'anémie mégaloblastique	31
VI.2.3. L'anémie inflammatoire	32
VI.2.4. L'anémie aplasique	32
VI.2.5. Les thalassémies	32
VII. Focus sur l'anémie ferriprive	33
VII.1. Définition et importance	33
VII.2. Physiopathologie de l'Anémie Ferriprive	34
VII.2.1. Épuisement des réserves en fer	34
VII.2.2. Microcytose et hypochromie	34
VII.2.3. Altération du transport de l'oxygène	34
VII.2.4. Mécanismes d'adaptation	34
VII.3. Causes de l'Anémie Ferriprive	35
VII.3.1. Apport en fer insuffisant	35
VII.3.2. Pertes sanguines chroniques	35
VII.3.3. Besoins accrus	35
VII.4. Symptômes, signes biologiques, diagnostic	36
VII.4.1. Symptômes cliniques	36
VII.4.2. Signes biologiques	36
VII.5. Prise en charge thérapeutique	37
VII.5.1. Traitement oral	37
VII.5.2. Traitement intraveineux	37

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Chapitre I : Matériel et méthode

I. Etude quasi- expérimentale longitudinale	39
I.1. Population d'étude	39

I.2. Protocole d'intervention	39
I.3. Questionnaire initial	39
I.4. Conditions d'inclusion	39
I.5. Critères d'exclusion	40
I.6. Type d'étude	40
II. Extraction Moringa	40
II.1. Préparation de Moringa oleifera	40
II.1.1. Récolte et séchage	40
II.1.2. Broyage et tamisage	41
II.1.3. Conservation	41
II.2. Protocole d'administration	41
II.3. Rassemblement de données biologiques	41
II.3.1. Avant l'intervention (Moment initial - T0)	41
II.3.2. Suite à l'intervention (T1, à trois mois)	41
II.4. Suivi biologique des patients	41
II.5. Méthodes d'analyse	42
II.6. Traitement statistique des données	42
II.6.1. Analyse de données statistiques	42
II.6.2. Contrôle de la normalité	42
II.6.3. Présentation des conclusions	42
II.7. Éléments éthiques	43
III. Expériences réalisées au laboratoire LAPRONA	43
III.1. Macération	43
III.1.1. Principe de méthode de macération à froid.....	44
III.1.2. Préparation de la matière végétale	44
III.1.3. Sélection du solvant	45
III.1.4. Mode opératoire	45
III.1.4.a. Pesée de la poudre végétale	45
III.1.4.b. Préparation du solvant	46
III.1.4.c. Macération	46
III.1.4.d. Filtration	47
III.1.4.e. Concentration	47
III.1.4.f. Résolution du résidu sec	48
III.1.4.g. Stockage	48
III.2. Etude de L'activité antibactérienne	49

III.2. 1. Principe de l'activité antimicrobienne	49
III.2. 2. Préparation de l'inoculum bactérien	49
III.2. 3. Les souches bactériennes testées	50
III.2. 3.a. Réactivation de la souche	50
III.2. 3.b. Préparation de la suspension	50
III.2. 3.c. Adaptation à la norme 0,5 McFarland.....	50
III.2. 3.d. Utilisation directe de l'inoculum.....	51
III.2. 4. Méthode de diffusion sur disque (Méthode de Kirby-Bauer)	51
III.2. 4.a. Principe de la méthode	51
III.2. 4.b. Équipement requis	52
III.2. 5. Protocole expérimentale	52
III.2. 5.a. Préparation du milieu Mueller-Hinton (MH) : gélose et bouillon	52
III.2. 5.b. Préparation de la gélose Mueller-Hinton	52
III.2. 5.c. Préparation du bouillon de Mueller-Hinton (Mueller-Hinton Broth)	53
III.2. 5.d. Inoculation de la gélose	54
III.2. 6. Application des disques	54
III.2. 7. Incubation	55
III.2. 8. Lecture des résultats	55

Chapitre II : Résultats et discussion

I. Résultats	57
I.1. Résultats des paramètres sanguins analysés	57
I.1.1. Ferritine sérique	57
I.1.2. Hémoglobine (Hb)	58
I.1.3. Globules rouges (GR)	58
I.2. Analyse statistique	59
I.2.1. Statistique descriptive	59
I.2.2. Test t pour 2 échantillons appariés	60
I.3. Résultats de l'activité anti microbienne	60
II. Discussion	62
II. 1. Discussion des résultats des analyses biologique	62

II.1.1. Variation des niveaux de ferritine et impact du Moringa oleifera	63
II.1.2. Évolution du taux d'hémoglobine et effet du Moringa oleifera	63
II.1.3. Évolution des globules rouges et effet du Moringa oleifera	63
II. 2. Discussion des résultats de l'activité antimicrobienne.....	64
Conclusion générale	68
Références bibliographiques	
Les annexes	70

Listes des tableaux

Tableau 1 : Types de moringa et leur répartition géographique	6
Tableau 2 : nomenclature du <i>moringa</i>	11
Tableau 3 : la classification de <i>Moringa oleifera</i> Lam	12
Tableau 4 : Composition générale (macronutriments) et valeur nutritionnelle du <i>moringa</i>	14
Tableau 5 : Teneur en vitamines dans 100 g de feuilles de <i>Moringa oleifera</i>	15
Tableau 6 : Teneur en minéraux dans 100 g de feuilles de <i>Moringa oleifera</i>	15
Tableau 7 : Concentrations des principaux métabolites secondaires dans 100 g de <i>Moringa oleifera</i>	16
Tableau 8 : Valeurs normales de l'hémoglobine dans le sang	23
Tableau 9 : Les valeur des apports recommandés	26
Tableau 10 : Tableau Récapitulatif du traitement substitutif de l'anémie ferriprive...	38
Tableau 11 : Echelle de sensibilité des germes	56
Tableau 12 : moyennes et ecarts-types de la ferritine, GR et Hb pré- et post-intervention	59
Tableau 13 : Résultats du test t pour échantillons appariés appliqué à la ferritine, aux GR et l'Hb avant et après la consommation de thé de moringa	60
Tableau 14 : Effet antibactérien de l'extrait de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> sur différentes souches microbiennes	62

Listes des histogrammes

Histogramme 1 : Variation du taux moyen de ferritine avant et après consommation de <i>Moringa oleifera</i> pendant 3 mois	57
Histogramme 2 : Variation du taux moyen de ferritine avant et après consommation de <i>Moringa oleifera</i> pendant 3 mois	58
Histogramme 3 : Comparaison du taux moyen de globules rouges avant et après traitement au <i>Moringa oleifera</i>	59

Listes des figures

Figure 1 : Carte mondiale de <i>Moringa oleifera</i>	7
Figure 2 : illustration de <i>moringa drouhardii</i>	8
Figure 3 : <i>moringa drouhardii</i> jumelle, 1930	9
Figure 4 : diagramme de <i>moringa concanesis</i>	10
Figure 5 : plante de <i>moringa longtuba</i>	10
Figure 6 : fleur de <i>moringa longtuba</i>	11
Figure 7 : Utilisations traditionnelles du <i>Moringa oleifer</i>	19
Figure 8 : Structure de l'hémoglobine	25
Figure 9 : Les symptômes de l'anémie.....	28
Figure 10 : Classification des anémies selon le VGM.....	30
Figure 11 : Altérations sanguines dans l'anémie hémolytique héréditaire	31
Figure 12 : comparaison des cellules sanguines normales et des cellules de l'anémie mégaloblastique	31
Figure 13 : Différences entre le sang sain et le sang thalassémique	33
Figure 14 : Frottis sanguin d'une anémie ferriprive	33
Figure 15 : la poudre des feuilles du <i>Moringa oleifera</i> Lam.	44
Figure 16 : la poudre végétale <i>Moringa</i>	45
Figure 17 : Protocole de macération	46
Figure 18 : Filtration du mélange	47
Figure 19 : Evaporateur à sec de l'extrait	47
Figure 20 : L'extrait obtenu après séchage à sec	48
Figure 21 : dissolution et conservation des échantillons à 4°C	49
Figure 22 : Préparation du milieu Mueller-Hinton (MH)	53
Figure 23 : Préparation du bouillon de Mueller-Hinton (Mueller-Hinton Broth)	54
Figure 24 : Application des disques et incubation	55
Figure 25 : Activité antibactérienne d'extrait de la poudre des feuilles du <i>moringa</i> <i>oleifera</i> Lam. sur les souches bactériennes testées	61

Liste des abréviations

ADN :	Acide désoxyribonucléique
CMI :	Concentration minimale inhibitrice
CPH :	Cellules précurseurs hématopoïétiques
E. coli :	<i>Escherichia coli</i>
EPP :	Érythropoïèse primitive
FNS :	Formule Numération Sanguine
GR :	Globules rouges
Hb :	Hémoglobine
HCL :	Hydrochlorure
<i>K. pneumoniae</i> :	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
M. :	<i>Moringa</i>
MCF :	McFarland (norme de turbidité)
MIC :	Minimum Inhibitory Concentration (CMI en anglais)
MO :	<i>Moringa oleifera</i>
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
<i>P. aeruginosa</i> :	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
R.B.C :	Red Blood Cells (globules rouges)
<i>S. aureus</i> :	<i>Staphylococcus aureus</i>
T0 :	Temps initial avant intervention
T1 :	Temps après intervention
VGM :	Volume globulaire moyen
Zn :	Zinc

Résumé

Ce mémoire explore le potentiel thérapeutique de *Moringa oleifera*, une plante médicinale reconnue pour sa richesse nutritionnelle et ses vertus biologiques. Deux volets principaux ont structuré cette étude : un volet clinique centré sur l'évaluation des effets de la tisane de moringa chez des patients souffrant d'anémie ferriprive, et un volet expérimental in vitro consacré à l'étude de l'activité antibactérienne de ses extraits.

La supplémentation quotidienne en tisane de feuilles de *Moringa oleifera*, administrée durant trois mois, a permis d'obtenir une amélioration significative des paramètres hématologiques, notamment une hausse du taux d'hémoglobine, de ferritine et du nombre de globules rouges. Les résultats statistiques ont montré une différence significative entre les valeurs avant et après l'intervention ($p < 0,05$), confirmant l'efficacité du moringa dans la correction de la carence en fer.

Parallèlement, les tests antimicrobiens ont révélé une action inhibitrice notable contre plusieurs souches bactériennes pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, etc.). Les diamètres des zones d'inhibition variaient selon la souche et la concentration utilisée, démontrant l'activité antibactérienne effective de l'extrait méthanolique des feuilles.

Ce double constat positionne le *Moringa oleifera* comme une alternative naturelle prometteuse, à la fois dans la prévention et le traitement de l'anémie ferriprive et dans le contrôle de pathogènes bactériens. Des recherches complémentaires sont toutefois nécessaires pour optimiser son usage, standardiser les formulations et approfondir son évaluation clinique.

Mots-clés : *Moringa oleifera*, anémie ferriprive, fer, activité antibactérienne, phytothérapie.

المخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة الإمكانيات العلاجية لنبتة *المورينغا أوليفيرا*، وهي نبتة طبية معروفة بغناها الغذائي وتنوع أنشطتها البيولوجية. تم تنظيم الدراسة حول محورين رئيسيين: دراسة سريرية لتقييم تأثير شاي المورينغا على مرضى فقر الدم الناتج عن نقص الحديد، وتحليل تجريبي يركز على النشاط المضاد للبكتيريا لمستخلصاتها في المختبر.

أظهرت المكملات اليومية بشأن أوراق المورينغا، لمدة ثلاثة أشهر، تحسناً ملحوظاً في المؤشرات الدموية، بما في ذلك ارتفاع مستويات الهيموغلوبين والفريتئين وخلايا الدم الحمراء. وقد أظهرت التحليلات الإحصائية فرقاً معنوياً بين القيم، مما يؤكد فعالية النبتة في تصحيح نقص الحديد ($p < 0.05$) قبل وبعد التدخل.

اختلقت وبالتوازي، أظهرت الاختبارات المضادة للميكروبات نشاطاً مثبطاً ملحوظاً ضد عدة سلالات بكتيرية ممرض. أقطار مناطق التثبيط حسب نوع البكتيريا، مما يثبت النشاط المضاد للبكتيريا لمستخلص الأوراق الميثانولي.

تشير هذه النتائج مجتمعة إلى أن المورينغا أوليفيرا تمثل بديلاً طبيعياً واعدًا في الوقاية من فقر الدم الناتج عن نقص الحديد وعلاجه، وكذلك في مكافحة مسببات الأمراض البكتيرية. ومع ذلك، هناك حاجة إلى المزيد من الدراسات لتحسين استخدامه وتوحيد تركيباته وتوسيع تقييمه السريري.

الكلمات المفتاحية: المورينغا أوليفيرا، فقر الدم بسبب نقص الحديد، الحديد، النشاط المضاد للبكتيريا، العلاج بالنباتات.

Abstract

The present work investigates the therapeutic potential of *Moringa oleifera*, a medicinal plant renowned for its rich nutritional profile and diverse biological activities. The study is structured around two main components: a clinical investigation assessing the effects of *Moringa* tea on patients with iron-deficiency anemia, and an in vitro experimental analysis focusing on the antibacterial activity of its extracts.

Daily supplementation with *Moringa oleifera* leaf tea over a three-month period led to a significant improvement in hematological parameters, including increased levels of hemoglobin, ferritin, and red blood cells. Statistical analysis confirmed significant differences between pre- and post-intervention values ($p < 0.05$), supporting the hematopoietic effect of the plant.

In parallel, antimicrobial tests showed marked inhibitory effects against several pathogenic bacterial strains (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, etc.). The diameter of inhibition zones varied depending on the strain and extract concentration, confirming the antibacterial activity of the methanolic extract.

Together, these results position *Moringa oleifera* as a promising natural alternative for both the prevention and treatment of iron-deficiency anemia and the control of bacterial pathogens. Nonetheless, additional studies are needed to optimize its use, standardize formulations, and advance clinical evaluation.

Keywords: *Moringa oleifera*, iron-deficiency anemia, iron, antibacterial activity, phytotherapy.



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction

Depuis des millénaires, les plantes médicinales sont utilisées dans le traitement des maladies et le maintien de la santé. Leur usage remonte aux premières civilisations, où elles constituaient l'une des principales ressources thérapeutiques naturelles. Malgré les progrès de la médecine moderne, ces plantes continuent de jouer un rôle essentiel dans les soins de santé traditionnels et alternatifs, en raison de la richesse de leurs composés bioactifs, aux propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antioxydantes ou encore immunostimulantes **(WHO, 2013)**.

Parmi elles, *Moringa oleifera*, également connu sous le nom d'«arbre miracle», attire une attention croissante en raison de ses multiples bienfaits nutritionnels et thérapeutiques. Originaire d'Inde et aujourd'hui cultivé dans de nombreuses régions tropicales et subtropicales, le *moringa* est reconnu pour sa richesse exceptionnelle en nutriments, notamment en fer, calcium, vitamines A, C, et E, ainsi qu'en antioxydants naturels **(Fahey, 2005)**. Ses feuilles, en particulier, représentent la partie la plus utilisée de la plante, notamment dans la lutte contre la malnutrition dans les pays à faibles ressources **(Fuglie, 2001)**. Le *moringa* est également traditionnellement utilisé dans le traitement de diverses affections : infections, inflammations, troubles digestifs, ou encore anémies **(Anwar et al., 2007)**.

L'anémie, et plus spécifiquement l'anémie ferriprive, demeure aujourd'hui l'un des problèmes nutritionnels les plus répandus à l'échelle mondiale. Elle se caractérise par une diminution du taux d'hémoglobine dans le sang, résultant le plus souvent d'un apport insuffisant en fer, d'une mauvaise absorption ou de pertes sanguines chroniques **(WHO, 2021)**. Cette pathologie affecte particulièrement les femmes en âge de procréer, les enfants en bas âge, ainsi que les personnes vivant dans des contextes socio-économiques défavorisés **(McLean et al., 2009)**. Les conséquences de l'anémie ferriprive ne sont pas négligeables : elles incluent une fatigue persistante, une baisse de la performance physique et mentale, un affaiblissement du système immunitaire et, dans les cas graves, des complications obstétricales **(Zimmermann et al., 2007)**.

Face aux limites des traitements classiques, notamment en termes d'accessibilité ou d'effets secondaires liés à la supplémentation en fer, des alternatives naturelles sont

explorées. *Moringa oleifera*, grâce à sa forte teneur en fer biodisponible, ses composés facilitant l'absorption du fer, ainsi que ses propriétés antioxydantes, représente une piste prometteuse pour améliorer le statut en fer et prévenir l'anémie ferriprive (**Gopalakrishnan et al., 2016**). Plusieurs études cliniques et expérimentales ont montré que la consommation de feuilles de *moringa* peut contribuer à l'augmentation du taux d'hémoglobine (**Nambiar et al., 2001**) et à l'amélioration du statut nutritionnel chez les populations carencées (**Kasolo et al., 2010**).

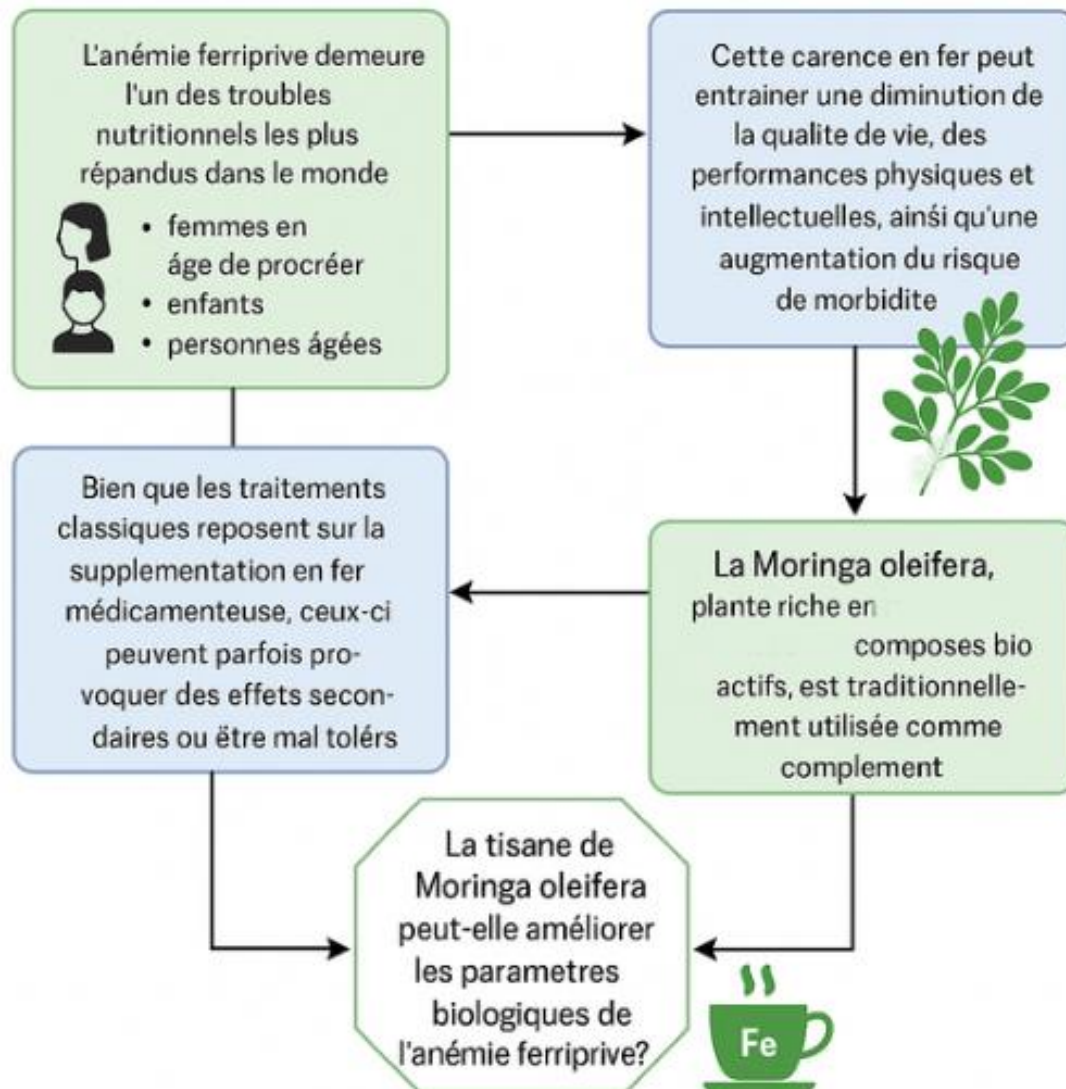
Dans ce contexte, la présente étude vise à explorer les propriétés nutritionnelles et thérapeutiques du *Moringa oleifera* à travers deux volets complémentaires :

- **Une étude clinique**, menée sur une période de trois mois, a consisté à évaluer l'effet de la consommation régulière de tisane de *moringa* chez des patients souffrant d'anémie ferriprive. L'objectif est de déterminer son impact sur les paramètres hématologiques, notamment le taux d'hémoglobine et de la ferritine, afin d'en apprécier l'efficacité en tant que supplémentation naturelle en fer.
- **Une étude expérimentale in vitro**, portant sur l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait de *moringa*, a été réalisée sur différentes souches bactériennes. Ce volet vise à vérifier si la plante possède un pouvoir antimicrobien, en mesurant l'inhibition de la croissance de certaines bactéries pathogènes.

Ainsi, ce travail permet d'apporter une double contribution : d'une part, à la recherche de solutions naturelles dans la lutte contre l'anémie ferriprive, et d'autre part, à l'étude du potentiel antibactérien d'une plante médicinale largement utilisée dans les médecines traditionnelles.

Outre ses effets nutritionnels, *Moringa oleifera* présente également une activité antibactérienne intéressante. Ses extraits, riches en composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les saponines, les tanins ou encore les isothiocyanates, ont montré une capacité inhibitrice sur plusieurs souches bactériennes pathogènes, notamment *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* (**Anwar et al., 2007 ; Doughari et al., 2007 ; Saadabi, 2006**). Cette propriété antimicrobienne positionne le *moringa* comme une alternative naturelle potentielle dans la lutte contre les infections, en complément de ses effets hématopoïétiques.

Problématique :



Ce constat soulève la problématique suivante : une supplémentation quotidienne en tisane de *Moringa oleifera* permet-elle d'améliorer de manière significative les paramètres biologiques de l'anémie ferriprive chez des sujets présentant une carence martiale ?



SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I :

MORINGA OLEIFERA

Chapitre I: *Moringa oleifera*

I. Généralités sur le *Moringa oleifera* :

Le *Moringa* ou *Moringa oleifera* L., souvent appelé “arbre miracle” ou “ arbre de vie” “cette plante est très connue sous le nom de “drumstick tree “ et aussi de “horse radish” en anglais (**Alhakmani et al., 2013**). Elle est considérée comme un petit arbre, et elle appartient à la famille des *moringaceae*, est une plante médicinale largement reconnue pour ses propriétés nutritionnelles et ses bienfaits médicaux, notamment son activité antibactérienne (**Haris et al., 2024**). Parmi les espèces du genre *Moringa*, *M. oleifera* est la plus couramment utilisée et cultivée dans diverses régions tropicales et subtropicales. Son importance découle de ses nombreuses applications, tant dans la médecine traditionnelle que dans des usages modernes, grâce à sa richesse en composés bioactifs et nutritifs (**Haris et al., 2024**).

II. Historique :

Depuis des siècles et des milliers d'années, le *Moringa Oleifera* est utilisé dans de nombreux pays et cultures, car il était utilisé dans la médecine traditionnelle, indienne, à Rome, en Grèce et dans l'Égypte ancienne, et il était considéré comme un traitement pour 300 maladies différentes : fièvre, asthme, diabète, problèmes digestifs et aussi anémie (**Leone et al., 2015**).

Toutes les parties de la plante étaient utilisées en médecine, des feuilles aux graines, et chaque partie de la plante était utilisée à des fins médicales spécifiques, c'est ce qui a attiré l'attention des chercheurs et des médecins sur cet arbre miraculeux (**Gandji et al., 2018**). Les utilisations du *Moringa Oleifera* ne se limitent pas à la médecine, mais il a été utilisé dans d'autres domaines tels que l'alimentation humaine à travers ses feuilles, ses graines et ses fleurs. On fabriquait également de l'engrais vert à partir de ses feuilles, et en utilisant les graines moulues, on extrayait du miel et de la canne à sucre. On pouvait également l'utiliser, pour purifier l'eau, et on fabriquait des cordes à partir de son écorce (**Gandji et al., 2018**).

En Inde, le *Moringa oleifera* est utilisé par les guérisseurs traditionnels Sidhi dans leur médecine ayurvédique, notamment dans la région de Virudhunagar au Tamil Nadu (**Prabhu et al., 2014**).

Dans l'Égypte ancienne, il était utilisé à des fins cosmétiques en raison de l'obsession de la beauté et du maintien de la pureté de la peau. Ils l'utilisaient comme huile extraite des graines et également comme pommade hydratante en raison de sa richesse en antioxydants, Ils croyaient également qu'il avait des propriétés anti-âge (**Ramachandran et al., 2010**).

Contrairement à l'Égypte ancienne, Rome et la Grèce antique utilisaient le *Moringa Oleifera* à des fins médicales et thérapeutiques (**Fahey, 2005**).

La Tanzanie a organisé la première conférence internationale sur cette plante en 2001, et cette conférence a été l'une des raisons de la renommée de la plante et des nombreuses études à son sujet (**Leone et al., 2015**).

III. Origine du *Moringa oleifera* :

Le nom « *Moringa* » vient du mot tamoul « murungai » (முருங்கை), qui signifie « gousse tordue », en référence à la forme des petites gousses du *Moringa oleifera*. Cette plante possède de profondes racines linguistiques, soulignant son importance culturelle en Inde (**Gopalakrishnan et al., 2016**). Quant au *Moringa oleifera*, la raison de son nom est due aux spécifications et caractéristiques qu'il possède, le mot "*oleifera*" a une origine latine et se divise en deux parties, la première est "*oleum*", qui signifie (huile) et la seconde est "*ferre*", qui signifie (porter), c'est-à-dire (porter de l'huile), et ce en raison de ses graines riches en huile (**Stearn, 1993**).

Le biologiste et botaniste français Jean-Baptiste Lamarck a été le premier à donner le nom scientifique de *Moringa oleifera* Lam en 1785 (**Lamarck et Poiret, 1783**). Il existe d'autres synonymes, comme *M. pterygosperma* Gaertn, mais ils ne sont plus utilisés aujourd'hui (**Kalwij, 2012**), mais ils ont de nombreux noms qui reflètent leur usage répandu et généralisé, comme : Arbre à pistil, arbre à radis en raison du goût piquant de ses racines, ou encore arbre à huile de ben (**Morton, 1991**).

Moringa oleifera Lam (MO) est une plante qui peut résister au vent. Cette plante est une espèce végétale résistante à la sécheresse, mais elle est sensible au gel car

elle peut endommager la partie supérieure de la plante, c'est une plante tropicale des forêts de l'Inde (**Xiao et al., 2020**). Il existe 13 espèces dans la famille de moringaceae dans le genre monogénérique (**Leone et al., 2015**).

Tableau 1 : Types de *moringa* et leur répartition géographique (**Gandji et al., 2018**).

Nom de l'espèce	Emplacement
<i>M.oleifera Lam</i>	L'inde du nord, plus précisément sous l'Himalaya
<i>M.hildebrandi</i>	Madagascar
<i>M.borziana</i>	Kenya et Somalie
<i>M.ovalifolia</i>	Namibie et Angola
<i>M.rivae</i>	Kenya et L'éthiopie
<i>M.drouhardii</i>	Madagascar
<i>M.arborea</i>	Kenya et certain régions tropicales
<i>M.pygmaea</i>	Somalie
<i>M.stenopetala</i>	Kenya et L'éthiopie
<i>M.longituba</i>	Kenya, Somalie, Ethiopie
<i>M.peregrina</i>	L'afrique du nord, moyen-orient (les zones arides)
<i>M.ruspoliana</i>	Ethiopie, l'afrique de l'est
<i>M.concanesis</i>	L'inde et certains régions d'asie de sud

Parmi toutes les espèces bénéfiques du genre *Moringa*, *Moringa oleifera* est celle qui s'est imposée comme la plus populaire, la plus exploitée et la plus étudiée (**Leone et al., 2015**).

Ce type de *moringa* pousse rapidement et l'une de ses caractéristiques est qu'il pousse également comme un arbre à bois tendre (**Leone et al., 2015**), il est capable de croître jusqu'à 12-15 m de hauteur (**Alhakmani et al., 2013**). Cette plante pousse dans n'importe quel pays tropical ou subtropical avec des caractéristiques environnementales spécifiques qui sont : tropical ou subtropical sec à humide, avec 760 à 2500 mm de précipitations annuelles et l'irrigation doit être inférieure à 800 mm, et la température doit être comprise entre 18 et 28°C, avec un pH estimé entre 4,5 et 8. Elle a la capacité de pousser dans de l'argile gorgée d'eau et lourde ou tout autre type de sol (**Leone et al., 2015**)

Dernièrement, le *moringa oleifera* a trouvé une large acceptation et est distribué au Moyen-Orient (Oman, Émirats arabes unis, Arabie saoudite, Yémen), en Asie (Inde, Népal) et dans les pays africains (Tanzanie, Ghana, Malawi, Égypte, Kenya, Éthiopie...) (**Gandji et al., 2018**).



Figure 1 : Carte montrant la répartition mondiale de *Moringa oleifera* (**Gandji et al., 2018**).

IV. Systématique et nomenclature :

IV.1. Systématique de *Moringa oleifera*

Le *Moringa* est considéré comme appartenant à la famille des Moringaceae et est également le seul genre de celle-ci. Cette famille est de l'ordre brassicales, le système APG IV ce qui est un système taxonomique moderne basé en grande partie sur la génétique moléculaire et place les Moringaceae dans l'ordre Brassicales (**The Angiosperm Phylogeny Group, 2016**). L'ordre des Brassicales comprend d'autres

familles telles que : les caricaceae (famille de papayer) et les brassicaceae (famille de la moutarde) et il y a une relation évolutive étroite selon les données moléculaires entre les moringaceae et les caricaceae qui se rassemblent pour former “caricaceae-moringaceae”(Olson, 2002).

Les Moringaceae se caractérisent par une diversité morphologique qui entraîne de multiples formes de croissance, ce qui a suscité une controverse avant l'avènement des taxonomiques modernes, ce qui a conduit certaines premières classifications à placer les Moringaceae dans l'ordre des Sapindales (Zheng et al., 2015). Mais ce qui confirme sa position taxonomique actuelle est la présence de composés soufrés tels que les glucosinolates, qui sont considérés comme des composés communs avec d'autres membres de l'ordre des brassicales (Fahad et al., 2010).

Le *Moringa* est divisé en 3 groupes reconnus. Cette division est due aux différentes habitudes de croissance des treize espèces de *Moringa*. Certains sont de petits arbustes tubéreux et d'autres sont de grands arbres en forme de bouteille (Olson, 2002).

Les trois groupes de *moringa* sont :

- **Donaldsonia** : Ce groupe possède des troncs épais et gonflés pour stocker l'eau, ce qui lui permet de pousser dans des environnements arides et secs. Cette espèce est également caractérisée par des fleurs radiales symétriques (Olson, 2002), Comme :

- *M.drouhardii*
- *M.hildebrandi*
- *M.ovalifolia*
- *M.stenopetala*



Figure 2 : illustration de *moringa drouhardii* (Asit K. Ghosh (Thaumaturgist), 2007)



Figure 3 : *moringa drouhardii* jumelle, 1930 (**Jumelle, 1930**)

- **Moringa** : Ce groupe a la capacité de croître rapidement et de s'adapter à différents climats. Ses fleurs ont la particularité d'avoir une symétrie irrégulière et une structure « mi-inférieure », c'est-à-dire que la corolle et le calice entourent partiellement l'ovaire (**Olson, 2002**), Comme :

- *M.oleifera* Lam
- *M.concanesis*
- *M.ruspoliana*
- *M.arborea*
- *M.rivae*
- *M.pygmaea*
- *M.peregrina*
- *M.boziana*

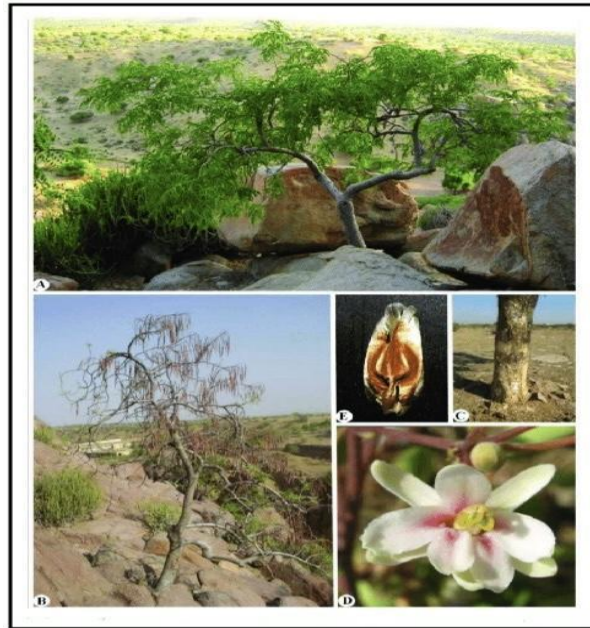


Figure 4 : diagramme de *moringa concanensis* (eFlora of india, 2024)

- ***Dysmoringa*** : Ce groupe se caractérise par des fleurs rouges ou brunes, contrairement aux autres espèces qui ont des fleurs jaunes ou blanches. Elle est considérée comme une espèce rare car elle pousse dans des zones spécifiques et dans des conditions climatiques et environnementales spécifiques (Olson, 2002), Comme : *M.longituba*

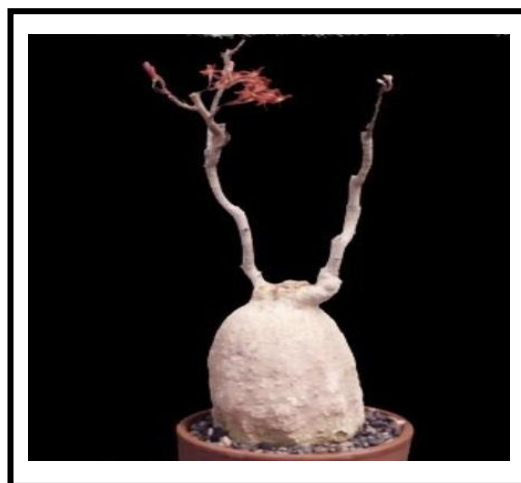


Figure 5 : plante de *moringa longituba* (Burkill,1960)



Figure 6 : fleur de *moringa longtuba* (Olson, 2002)

IV.2. Nomenclature de *moringa* :

Le *Moringa oleifera* porte plusieurs noms dans les différents pays du monde.

Tableau 2 : nomenclature du *moringa* (Aguirre, E., & Hernández, J. 2011)

La langue	Nomenclature
Arabe	مورينجا، شجرة البان.
Anglais	<i>moringa</i> , horseradish tree, ben oil tree, drumstick tree
Hindi	sahjan, sajan, munaga
Swahili	mlonge, mzunze
Espagnol	<i>Moringa</i> , àrbol del ben, àrbol de la vida, marango
Italien	<i>Moringa</i> , albero del rafano
Portugais	<i>Moringa</i> , acàcia-blanca, quiabo-de-quina
Allemand	meerrettich baum, behenbaum,

V. Classification botanique :

Tableau 3 : la classification de *Moringa oleifera* Lam (Zheng et al., 2015 ; Anderson et Cronquist, 1982 ; Kinjanjui et al., 2013)

Règne	Plantae (Plantes)
Sous-règne	Tracheobionta (Plantes vasculaires ou trachéophytes)
Division	Magnoliophyta (Plantes à fleurs ou angiospermes)
Classe	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Brassicales
Famille	Moringaceae
Genre	<i>Moringa</i> adans
Espèce	<i>Moringa oleifera</i> Lam

VI. Description botanique :

VI. 1. Les feuilles :

Les feuilles de *Moringa* sont différentes et distinctes des feuilles d'autres arbres en raison de leur structure complexe, chaque branche étant ramifiée en sous-axes et ces axes portant de petites folioles (Leone et al., 2015). Ces folioles mesurent entre 1 et 2 cm de long, ce qui leur confère une forme élégante avec leur extrémité pointue (Ramachandran et al., 1980). En ce qui concerne sa couleur, elle est en fonction de l'âge de la feuille et de la période de son exposition au soleil, elle est donc soit vert clair, soit vert moyen et à une texture douce, mais elle est capable de résister au vent (Lim, 2012). La longueur de la branche qui porte les petites feuilles composées est comprise entre 30 et 50 cm (Stearn, 1993), où ces feuilles poussent de manière alternée (Verdcourt, 2020).

VI. 2. Les fleurs :

Les fleurs de *Moringa* sont généralement de petite taille, de 1 à 2 cm de diamètre, et ont une belle forme avec 5 pétales égaux (**Leone et al., 2015**), poussant à l'extrémité des branches (**Lamarck et Poiret, 1783**). Et sont de couleur blanche et peuvent être jaunâtres lorsqu'elles sont exposées au soleil, L'arbre *Moringa* fleurit deux fois par an pendant les saisons chaudes (**Olson, 2002**) et a une odeur aromatique qui aide à attirer les insectes qui aident à la pollinisation naturelle (**Nayar, 2011**).

VI. 3. Les fruits :

L'un des aspects les moins connus de l'arbre *Moringa* est qu'il a des fruits, car ses feuilles ne sont généralement pas utilisées, mais cet arbre produit de longs fruits tombants sous forme de gousses (**Iqbal et Bhanger, 2006**). Elles mesurent entre 20 et 50 cm de long et peuvent atteindre jusqu'à 60 cm dans certaines variétés (**Lim, 2012**). Ce fruit est connu sous le nom de "pilons" (**Iqbal et Bhanger, 2006**). L'une de ses caractéristiques est qu'il contient 20 graines à l'intérieur de chaque gousse et que ces graines sont de forme triangulaire (**Ramachandran et al., 1980**). La couleur de ces fruits est d'abord verte avant de mûrir et devient ensuite brune lorsqu'ils sont mûrs (**Ramachandran et al., 1980**).

VI. 4. L'écorce :

L'écorce de cet arbre est généralement gris clair, mais peut également présenter une teinte brun terne (**Verdcourt, 2020**). Elle est lisse chez les jeunes sujets, puis devient progressivement rugueuse, craquelée et marquée de cavités naturelles au fil du vieillissement de l'arbre (**Olson, 2002**). Parmi toutes les espèces de *moringa* aux propriétés bénéfiques, seul *Moringa oleifera* s'est imposé comme le plus populaire, le plus utilisé et le plus étudié.

VI. 5. Les racines :

Dans certaines régions et cultures, cet arbre est appelé "arbre à raifort" en raison du goût piquant de ses racines, qui sont similaires au goût du raifort, et les racines ont une forme épaisse et axiale pour absorber l'eau (**Anwar et al., 2007**).

Tableau 4 : Composition générale (macronutriments) et valeur nutritionnelle du *moringa* (**Makkar et Becker, 1996 ; Fahey, 2005 ; Leone et al., 2015 ; Anwar et al., 2007 ; Ramachandran et al., 1980**)

Composition générale (macronutriments)		
Eau	Feuilles séchées	5-8 g
	Feuilles fraîches	75-80 g (soit 75-80 de leur poids)
Protéines	Feuilles séchées	25-30 g (25-30 de la matière sèche)
	Feuilles fraîches	6-9 g (dilué par la teneur en eau)
Glucides	Feuilles séchées	38-40 g (des polysaccharides)
	Feuilles fraîches	8-10 g
Lipides	Feuilles séchées	1-2 g
	Feuilles fraîches	0,2-0,5 g
Fibres alimentaires	Feuilles séchées	7-10 g
	Feuilles fraîches	1.5-2 g
Cendres (matière minérale)	Feuilles séchées	10-12 g (rich en minéraux)
	Feuilles fraîches	2-3 g
Énergie	Feuilles séchées	205-300 kcal (selon la proportion de glucides/protéines)
	Feuilles fraîches	50 -70 kcal

Tableau 5 : Teneur en vitamines dans 100 g de feuilles de *Moringa oleifera* (Fahey, 2005 ; Leone et al., 2015).

Vitamines (moyenne pour 100 g)		
Vitamine A (bêta-carotène)	Feuilles séchées	16 -18,9 mg
	Feuilles fraîches	6 - 8 mg
Vitamine C	Feuilles séchées	17-20 mg
	Feuilles fraîches	200 - 220 mg
Vitamine E (tocophérol)	Feuilles séchées	10-15 mg
	Feuilles fraîches	2-4 mg
Vitamine B1 (thiamine)	Feuilles séchées	2,5-2,7 mg
	Feuilles fraîches	0,5 -0,7 mg
Vitamine B2 (riboflavine)	Feuilles séchées	20 -21 mg
	Feuilles fraîches	0,6 -0,8 mg
Vitamine B3 (niacine)	Feuilles séchées	8 -8,5 mg
	Feuilles fraîches	1-1,5 mg

Tableau 6 : Teneur en minéraux dans 100 g de feuilles de *Moringa oleifera* (Ramachandran et al., 1980 ; Fahey, 2005 ; Leone et al., 2015)

Minéraux (moyennes pour 100 g)		
Calcium	Feuilles séchées	1850-2000 mg
	Feuilles fraîches	400-500 mg
Potassium	Feuilles séchées	1300-1500 mg
	Feuilles fraîches	300-400 mg

Fer	Feuilles séchées	25-30 mg
	Feuilles fraîches	4-7 mg
Magnésium	Feuilles séchées	350-400 mg
	Feuilles fraîches	70-100 mg
Phosphore	Feuilles séchées	200-250 mg
	Feuilles fraîches	50-70 mg
Zinc	Feuilles séchées	3-4 mg
	Feuilles fraîches	0,5-1 mg

Tableau 7 : Concentrations des principaux métabolites secondaires dans 100 g de *Moringa oleifera* (Leone et al., 2015 ; Fahey, 2005 ; Makkar et Becker, 1996)

Composés phytochimiques (moyennes pour 100 g de feuilles séchées)		
Polyphénols totaux	Feuilles séchées	2-3 g
	Feuilles fraîches	0,4-0,6 g
Flavonoides	Feuilles séchées	1-1,5 g
	Feuilles fraîches	0,2-0,3 g
Glucosinolates	Feuilles séchées	0,1-0,5 g
	Feuilles fraîches	0,02-0,1 g
Tanins	Feuilles séchées	1-2 g
	Feuilles fraîches	0,2-0,4 g

Saponines	Feuilles séchées	0,5 -1 g
	Feuilles fraîches	0,1-0,2 g

Remarque :

Il est important de mentionner que Les feuilles de *Moringa oleifera*, qu'elles soient fraîches ou séchées, présentent chacune des caractéristiques propres qui conditionnent leur utilisation.

- Les feuilles séchées sont particulièrement appréciées pour leur facilité de conservation et leur longue durée de stockage, sans altération significative.
- À l'inverse, les feuilles fraîches nécessitent une consommation rapide, ce qui limite leur accessibilité pour une utilisation quotidienne.

Sur le plan nutritionnel, les feuilles fraîches se distinguent par une teneur plus élevée en vitamine C et en composés bioactifs sensibles à la chaleur. En revanche, le séchage permet de concentrer certains éléments nutritifs tels que les minéraux (notamment le calcium et le fer) et les protéines, faisant des feuilles séchées une source intéressante pour la supplémentation nutritionnelle (**Anwar et al., 2007 ; Gopalakrishnan et al., 2016**)

VII. Bienfaits sur la santé :**VII. 1. Riche en nutriments essentiels :**

Le *moringa* est une plante reconnue pour sa composition nutritionnelle remarquable. Ses feuilles sont particulièrement riches en nutriments essentiels, notamment en protéines végétales, en vitamines (vitamine A, vitamine C qui favorise l'absorption du fer et vitamine E) ainsi qu'en minéraux tels que le calcium, le potassium, le magnésium et, en particulier, le fer. Cette plante renferme également des acides aminés essentiels que l'organisme humain ne peut pas synthétiser lui-même. Grâce à cette richesse nutritionnelle, le *moringa* constitue un aliment de choix pour tous les groupes d'âge : enfants, personnes âgées, femmes enceintes, et surtout individus souffrant de malnutrition. Sa consommation contribue à renforcer l'énergie, à soutenir la croissance et à améliorer l'état nutritionnel général (**Gopalakrishnan et al., 2016**).

VII. 2. Renforcement du système immunitaire :

Le *moringa* est un grand soutien du système immunitaire grâce à sa richesse en minéraux et en vitamines, puisqu'il contient 4 fois plus de vitamine A que les carottes et 7 fois plus de vitamine C que les oranges. Il est également riche en zinc, qui joue un rôle dans la prolifération et l'activation des cellules immunitaires (**Fahey, 2005**).

VII. 3. Régulation de la glycémie :

Le *Moringa* aide les personnes souffrant d'hyperglycémie grâce à des composés biologiquement actifs, en améliorant la sensibilité à l'insuline grâce aux antioxydants et en réduisant l'absorption du glucose dans l'intestin grâce aux fibres et aux composés phénoliques que contient le *Moringa* (**Afiaenyi et al., 2023**).

VII. 4. Un puissant effet antioxydant :

Les feuilles de *Moringa* contiennent des composés tels que l'acide chlorogénique et la quercétine, qui réduisent le stress oxydatif dans les cellules et renforcent le système immunitaire, tandis que la prise régulière d'extrait de *Moringa* entraîne une diminution des niveaux d'oxydation dans le sang (**Leone et al., 2015**).

VII. 5. Réduit l'inflammation :

Le *moringa* agit comme un anti-inflammatoire car il contient de la quercétine et de l'acide chlorogénique et module la réponse immunitaire, prévenant l'inflammation en réduisant l'hyperactivité des cellules phagocytaires (**Cheenpracha et al., 2010**).

VII. 6. Favorise la digestion :

Le *Moringa* est riche en nutriments et en fibres sériques, car ses feuilles contiennent un pourcentage élevé de ce nutriment, ce qui permet de prévenir la constipation et d'améliorer le transit intestinal, cette plante possède des propriétés antibactériennes qui aident à lutter contre les parasites qui affectent négativement la digestion (**Anwar et al., 2007**).

VII.7. Réduction de cholestérol :

Certaines études existantes ont confirmé que le *Moringa* contribue à réduire les taux de cholestérol LDL et de triglycérides, avec une légère augmentation du cholestérol HDL, ce qui est considéré comme positif car cela réduit le risque de maladie cardiaque (**Gopalakrishnan et al., 2016**). Les composés végétaux actifs du *Moringa*, tels que les phytostérols, contribuent à réduire le cholestérol dans l'intestin et à équilibrer la graisse corporelle (**Ghasi et al., 2000**).

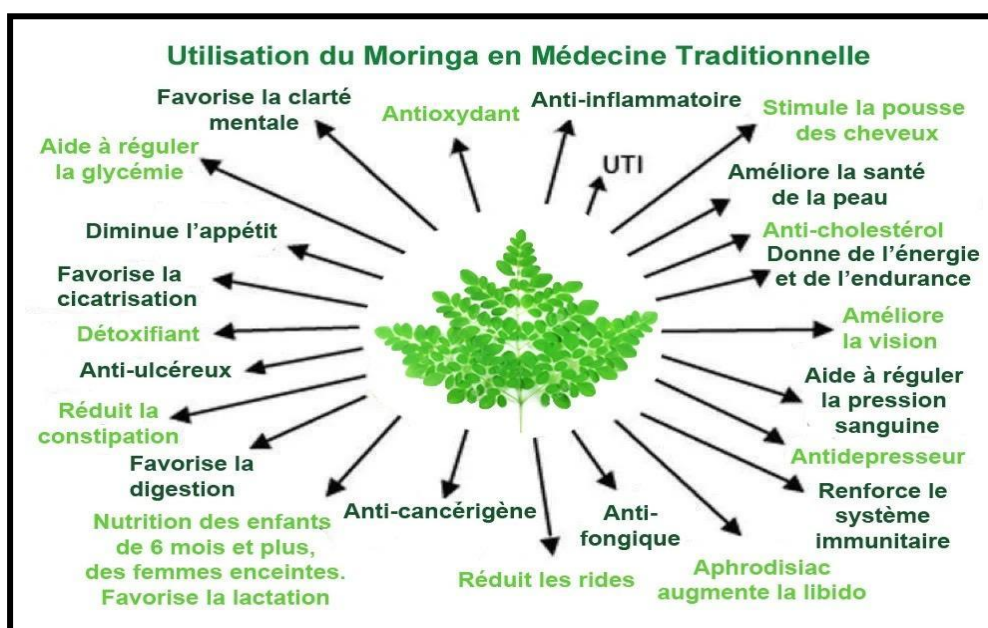


Figure7 : Utilisations traditionnelles du *Moringa oleifera* (**Faudot, P.2018**)

VIII. L'activité antimicrobienne de *Moringa oleifera*

Moringa oleifera est une plante médicinale reconnue pour ses nombreuses propriétés thérapeutiques, notamment son activité antimicrobienne. Cette activité est principalement attribuée à la présence de composés bioactifs tels que les flavonoïdes (quercétine, kaempférol), les alcaloïdes, les saponines, les tannins, les acides phénoliques et les isothiocyanates (**Anwar et al., 2007**).

Significativement la croissance de bactéries à Gram positif comme *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis* (**Rahman et al., 2009**).

De plus, une autre étude a mis en évidence une inhibition de bactéries à Gram négatif telles que *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* par les extraits de feuilles et de graines (**Saadabi, 2006**).

L'efficacité antimicrobienne varie en fonction du type de solvant utilisé (le méthanol et l'éthanol étant généralement plus efficaces que l'eau), de la partie de la plante extraite et de la concentration appliquée (**Doughari et al., 2007**).

Les tests de diffusion sur gélose, de dilution en milieu liquide ou encore de microdilution en plaque sont couramment utilisés pour mesurer cette activité. Ainsi, *Moringa oleifera* représente une source prometteuse de composés naturels pouvant être utilisés dans le traitement de certaines infections bactériennes et fongiques, ou encore comme conservateur naturel dans l'industrie alimentaire (**Anwar et al., 2007**).

- VIII.1. *Escherichia coli* :

Escherichia coli est une bactérie Gram négative de type bâtonnet, faisant partie de la famille des Enterobacteriaceae. Elle est normalement présente dans le tube digestif des hommes et des bêtes, cependant, certaines variantes pathogènes peuvent engendrer des infections intestinales, urinaires ou même systémiques (**Todar, et al., 2020**).

- VIII.2. *Staphylococcus aureus* :

Le Staphylococcus aureus est une bactérie gram-positive, de forme cocci, qui se regroupe généralement en grappes. Elle est un élément de la flore commensale présente sur la peau et dans le nez, cependant, elle peut être à l'origine d'infections cutanées, de pneumonies, d'intoxications alimentaires et d'infections nosocomiales (**Lowy, et al., 1998**).

- VIII.3. *Pseudomonas aeruginosa* :

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie Gram négatif de forme bâtonniforme, hautement résistante aux antibiotiques. Elle est opportuniste et peut provoquer des infections sévères, en particulier chez les individus dont le système immunitaire est affaibli ou qui sont hospitalisés (par exemple : infections respiratoires, urinaires ou des plaies) (**Gellatly, et al., 2013**).

- VIII.4. *Bacillus subtilis* :

Bacillus subtilis est une bactérie gram-positive, de forme bâtonnée, qui a la capacité de produire des spores. Elle n'est pas pathogène et sert de modèle en recherche scientifique, ainsi que dans des domaines industriels tels que la biotechnologie, la fermentation et les probiotiques (**Earl, et al., 2008**).

- VIII.5. *Klebsiella pneumoniae* :

Klebsiella pneumoniae est une bactérie encapsulée et Gram négatif qui fait partie de la famille des Enterobacteriaceae. Elle est à l'origine d'infections nosocomiales, en particulier des pneumonies, des infections urinaires et des septicémies, et peut générer des enzymes qui confèrent une résistance aux antibiotiques (comme les carbapénémases) (**Podschun, et al., 1998**).

En plus des résultats expérimentaux in vitro, l'attrait pour les propriétés antimicrobiennes du *Moringa oleifera* se dirige désormais vers les secteurs cliniques et industriels. L'application traditionnelle de la plante pour traiter les infections cutanées, les blessures, les problèmes digestifs ou encore les affections respiratoires est due à son action inhibitrice sur diverses souches pathogènes, y compris des bactéries résistantes aux antibiotiques.

Des recherches ont démontré que les extraits de feuilles et de graines de *Moringa* pourraient être incorporés dans des pommades ou des gels cutanés pour traiter les infections cutanées légères causées par *Staphylococcus aureus* (**Caceres et al., 1991 ; Rahman et al., 2009**). Par ailleurs, l'intégration de poudre de feuilles de *Moringa* dans certains emballages alimentaires biodégradables est actuellement à l'étude, et les résultats préliminaires sont prometteurs.

De plus, les graines de *moringa*, qui sont riches en protéines cationiques, possèdent aussi des propriétés coagulantes et antibactériennes susceptibles d'être exploitées pour la purification de l'eau potable. Elles opèrent en agglomérant les particules en suspension tout en éliminant ou en entravant le développement de certains micro-organismes nuisibles présents dans l'eau (**Katayon et al., 2006**).

Dans un monde où la résistance aux antibiotiques augmente et où la recherche d'alternatives naturelles est primordiale, le *Moringa oleifera* se démarque comme une ressource végétale stratégique, à la fois efficace, accessible, et pérenne. Cependant, en dépit de ces résultats prometteurs, il est indispensable d'effectuer davantage d'études cliniques sur des sujets humains afin de confirmer l'innocuité, la stabilité et l'efficacité des extraits de *moringa* dans des préparations médicales standardisées **(Anwar et al., 2007 ; Doughari et al., 2007)**. Il est donc crucial d'adopter une démarche multidisciplinaire qui combine microbiologie, pharmacologie et technologie alimentaire pour favoriser l'intégration du *moringa* dans les traitements contemporains.

CHAPITRE II :
L'ANÉMIE FERRIPRIVE

Chapitre 2 : l'anémie ferriprive

I. Introduction générale à l'anémie

L'anémie est l'une des affections médicales les plus courantes aujourd'hui, car elle peut toucher tous les âges, des nourrissons (**Christensen et al., 2022**), aux personnes âgées (**Smith et al., 2000**), ainsi que les deux sexes. Cette affection se caractérise par un faible taux d'hémoglobine dans le sang (**Hoffbrand et al., 2016**), inférieur aux valeurs normales.

Tableau 8 : Valeurs normales de l'hémoglobine dans le sang (Burns et al., 2016 ; Hoffbrand et al., 2016 ; Loscalzo et al., 2022 ; Andrews et al., 1999 ; Ganz et al., 2012)

Homme adultes	13,5 a 17,5 g/d
Femmes adultes (non enceintes)	12 a 15 g/dl
Femmes enceintes	11 a 14 g/dl
Enfants (6 mois a 12 ans)	11 a 14,5 g/dl
nouveau-nés (à terme)	14 a 20 g/dl

II. Physiopathologie générale de l'anémie

II. 1. Mécanismes physiologiques

L'hémoglobine est une métalloprotéine présente principalement dans les globules rouges. Cette protéine est responsable du transport et de la fixation de l'oxygène (**Loscalzo et al., 2022**). Quant à sa structure, elle est constituée de deux paires de chaînes de globines (alpha, bêta dans l'hémoglobine adulte normale et hba)(**Burns et al., 2016**).

La diminution de l'hémoglobine dans le sang entraîne une réduction de la capacité du sang à transporter l'oxygène, ce qui se traduit par une modification de la teneur en hémoglobine des globules rouges ou par une réduction de leur nombre (**Loscalzo et al., 2022**).

L'anémie affecte la fonction érythrocytaire et ce dysfonctionnement peut entraîner une inadéquation entre le rapport de l'apport en oxygène et les besoins métaboliques des tissus **(Loscalzo et al., 2022)**.

II. 2. Rôle de l'érythropoïétine

Quand la capacité du sang à transporter l'oxygène vers les tissus est réduite, l'organisme compense en stimulant une hormone produite par les reins, l'érythropoïétine (EPO), qui augmente la prolifération des érythrocytes précurseurs dans la moelle osseuse mais si le fer ou d'autres ressources nécessaires sont limités, cette compensation peut échouer **(Hoffbrand et al., 2016)**.

II. 3. Conséquences sur l'oxygénation des tissus

Les tissus qui manquent de l'oxygène nécessaire passent au métabolisme anaérobie en raison de l'effet de l'anémie sur l'équilibre cellulaire, ce qui entraîne la production d'acide lactique **(Wintrobe et al., 2014)**.

En ce qui concerne l'anémie causée par une faible liaison du fer, dans les cas normaux, le fer lié à l'hème (qui est un composé métallique organique et agit comme un groupe prothétique pour l'hémoglobine et la myoglobine...)**(Burns et al., 2016)**, est incorporé dans l'hémoglobine dans les mitochondries des globules rouges lors de la biosynthèse **(Hoffbrand et al., 2016)**. Mais dans le cas de l'anémie causée par une faible liaison du fer, elle se produit lorsque le pourcentage de fer transféré et utilisé n'est pas suffisant pour créer et produire l'hémoglobine nécessaire dans la moelle osseuse, plus précisément dans les globules rouges **(Burns et al., 2016)**.

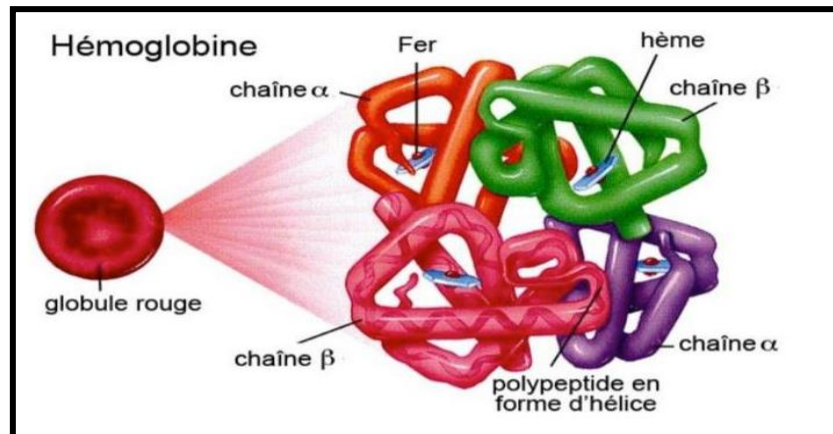


Figure 8 : Structure de l'hémoglobine (Bizot, F.2018)

III. Le fer et son métabolisme :

Le fer est un oligo-élément essentiel au bon fonctionnement de l'organisme, notamment pour la synthèse de l'hémoglobine et le transport de l'oxygène (Andrews et al., 1999). Il est absorbé principalement au niveau du duodénum et du jéjunum proximal sous deux formes :

- le fer héminique (provenant des produits animaux) (Ganz et al., 2012).
- le fer non héminique (présent dans les végétaux) (Ganz et al., 2012).

III.1. Métabolisme du Fer

Le fer héminique est mieux absorbé, tandis que l'absorption du fer non héminique est influencée par plusieurs facteurs : elle est facilitée par la vitamine C et inhibée par les phytates, les polyphénols et le calcium (Hallberg et al., 1989 ;Hurrell et al., 2010) .

Une fois absorbé, le fer ferreux (Fe^{2+}) est oxydé en fer ferrique (Fe^{3+}) et lié à la transferrine, principale protéine de transport plasmatique, qui distribue le fer vers les tissus actifs, la moelle osseuse, où il participe à la production des globules rouges (Hentze et al., 2010).

III.2. Transport, stockage et régulation du Fer

Le fer excédentaire est stocké dans l'organisme sous forme de ferritine et d'hémosidérine, principalement dans le foie, la rate et la moelle osseuse.

La ferritine, capable de stocker plusieurs milliers d'atomes de fer, joue un rôle clé dans la régulation des réserves et la prévention de la toxicité du fer **(Bhatia et al., 2017)**.

La régulation du métabolisme du fer repose essentiellement sur l'hépcidine, une hormone produite par le foie. Celle-ci contrôle l'absorption intestinale et la libération du fer à partir des macrophages en modulant l'activité de la ferroportine, une protéine de transport. Lorsque les réserves en fer sont suffisantes, l'hépcidine augmente, inhibant l'absorption du fer ; inversement, elle diminue en cas de carence **(Ganz et al., 2013 ;Ganz et al., 2012 ;Nemeth et al., 2004)**.

Chez la femme, les pertes menstruelles fréquentes rendent le métabolisme du fer plus vulnérable, ce qui explique la prévalence plus élevée de l'anémie ferriprive dans cette population **(Zimmermann et al., 2007)**.

III.3. Les besoins en fer :

Tableau 9 : Les valeur des apports recommandés **(Zimmermann et al., 2007 ; Koury et al., 2004 ; Institute of Medicine et al., 2001)**

Groupe de population	Besoins en fer (mg/jour)
Hommes adultes (19-50 ans)	8 mg
Femmes adultes (19-50 ans)	18 mg
Femmes enceintes	27 mg
Femmes allaitantes	9 mg
Enfants (1-3 ans)	7 mg
Enfants (4-8 ans)	11 mg
Adolescents (9-13 ans)	8 mg
Personnes âgées (≥ 70 ans)	8 mg

IV. Épidémiologie de l'anémie :

IV .1. Données mondiales (OMS)

Selon l'OMS, environ 30 % de la population mondiale souffre d'anémie, ce qui représente plus de 1,5 milliard de personnes (**World Health Organization, 2015**) . Les groupes les plus touchés sont :

- Les jeunes enfants : 43 % présentent une anémie.
- Les femmes enceintes : 51 % sont concernées.
- Les adolescents : particulièrement vulnérables en raison des besoins accrus en fer.
- Les personnes suivant un régime végétalien risquent une absorption insuffisante du fer non héminique.
- Les individus atteints de maladies gastro-intestinales : peuvent avoir une absorption réduite du fer (**World Health Organization, 2015**).

IV .2. Données spécifiques à l'Algérie (enquêtes nationales)

En Algérie, plusieurs enquêtes ont révélé des chiffres préoccupants :

- Enquête nationale de 1998 (Pr. Kellou, Pr. Boudjerra, Pr. Zerhouni) :
 - 32 % des femmes en âge de procréer étaient anémiques.
 - 23 % des enfants de 6 à 56 mois souffraient d'anémie (**Kellou et al., 2019**)
- Étude menée à Tamanrasset (Pr. Abrouk) :
 - 90 % des femmes étaient anémiques.
- En 2016, une étude a révélé que
 - 50 % des cas d'anémie en Algérie étaient dus à une carence en fer (**Belkaid et al., 2019**).
- Une enquête à Tlemcen a montré que
 - 35,2 % des donneurs de sang avaient une carence en fer
 - 22 % étaient anémiques (**Adda et al., 2019**).

V. Symptômes cliniques de l'anémie

V. 1. Signes généraux

L'anémie se manifeste principalement par une insuffisance d'oxygénation des tissus, ce qui entraîne divers symptômes d'intensité variable selon la sévérité de la maladie, sa cause et l'état général du patient **(Camaschella et al., 2015)**.

Manifestations générales :

- Fatigue excessive et sensation de faiblesse : dues à la diminution de l'apport en oxygène aux muscles et aux organes **(Weiss et al., 2005)**.
- Pâleur de la peau et des muqueuses : conséquence de la réduction du nombre de globules rouges et de la vasoconstriction compensatoire **(Hoffbrand et al., 2016)**.
- Essoufflement à l'effort (dyspnée) : lié au manque d'oxygène dans le sang et à l'hypoxie tissulaire **(Camaschella et al., 2015)**.

V.2. Symptômes neurologiques et cardiovasculaires

- Battements cardiaques accélérés (tachycardie) et palpitations : réponse physiologique du cœur pour compenser la baisse d'oxygénation.
- Maux de tête, vertiges et troubles de la concentration : dus à une mauvaise oxygénation cérébrale **(Weiss et al., 2005)**.

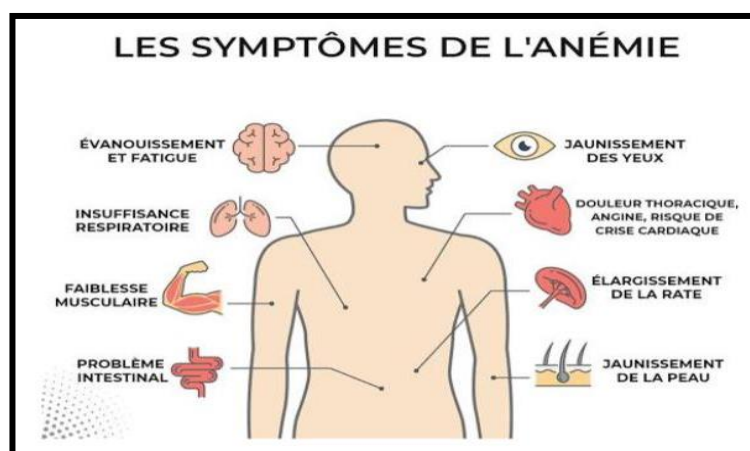


Figure 9 : Les symptômes de l'anémie (Alamy Banque d'images vectorielles (KFJANE), 2017)

VI. Classifications des anémies

VI.1. Classification morphologique

VI.1.1. Anémie microcytaire :

L'anémie microcytaire est un type d'anémie caractérisé par des globules rouges de petite taille (VGM < 80 fL) et souvent une hypochromie (CCMH < 31 g/dL), ce qui traduit une diminution de la teneur en hémoglobine des érythrocytes **(Nayar, 2011)**. Elle résulte généralement d'un défaut de production d'hémoglobine **(World Health Organization, 2015)**.

VI.1.2. Anémie Normocytaire :

L'anémie normocytaire est un type d'anémie où les globules rouges ont une taille normale (VGM entre 80 et 100 fL), mais leur nombre est insuffisant. Elle est souvent causée par une maladie sous-jacente **(Camaschella et al., 2015)**.

VI.1.2. a. Anémie hémorragique aiguë :

Elle survient après une perte rapide de sang, par exemple après un traumatisme, une hémorragie digestive ou un accouchement compliqué **(Napolitano et al., 2017)**.

VI.1.2. b. Anémie rénale (due à l'insuffisance rénale chronique) :

Elle est causée par une insuffisance rénale chronique (IRC). Les reins ne produisent plus assez d'érythropoïétine (EPO), une hormone qui stimule la production de globules rouges **(Macdougall et al., 2016)**.

VI.1.3. Anémie macrocytaire :

L'anémie macrocytaire est un type d'anémie caractérisé par des globules rouges de grande taille avec un volume globulaire moyen (VGM) supérieur à 100 fL **(Hoffbrand et al., 2016)**.

Elle est généralement associée à une altération de la synthèse de l'ADN, ce qui entraîne une production insuffisante ou anormale des érythrocytes **(Camaschella et al., 2015)**.

- Les carences en vitamine B12 et en folates, responsables d'un défaut de maturation des précurseurs érythrocytaires et d'une anémie mégaloblastique (**World Health Organization, 2015**).
- Les maladies hépatiques et l'alcoolisme chronique, qui perturbent le métabolisme des membranes érythrocytaires, entraînant une macrocytose non mégaloblastique (**Hoffbrand et al., 2016**).

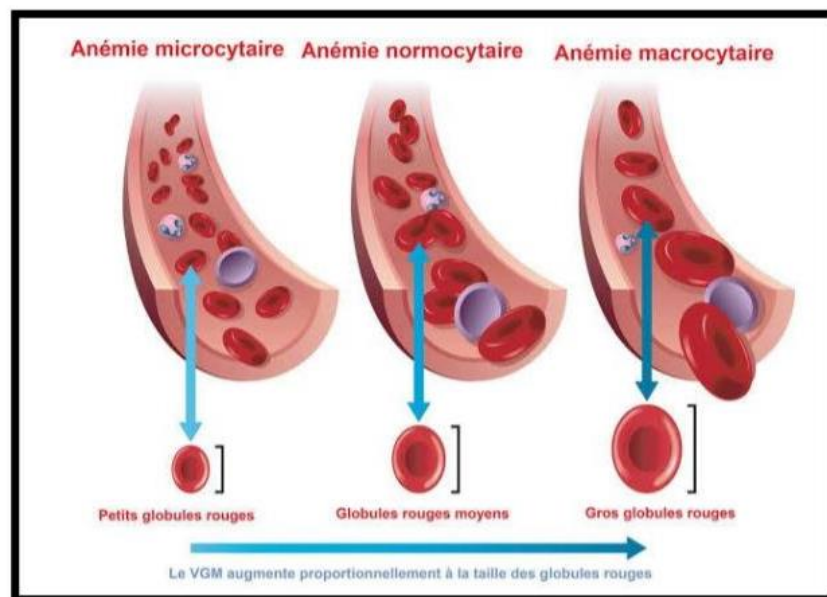


Figure 10 : Classification des anémies selon le VGM (**Cardin-Chngiziet.,2021**)

VI.2. Classification physiologique :

VI.2.1. L'anémie hémolytique :

Il s'agit d'une pathologie qui présente certaines caractéristiques qui la distinguent des autres groupes sanguins. En effet, elle se caractérise par une destruction rapide et excessive des globules rouges, et cette destruction se produit dans des organes tels que la rate, le foie et la circulation sanguine (**Hoffbrand et al., 2016**), ce qui entraîne un faible taux d'hémoglobine car la moelle n'est pas en mesure de compenser cette perte (**Loscalzo et al., 2022**).

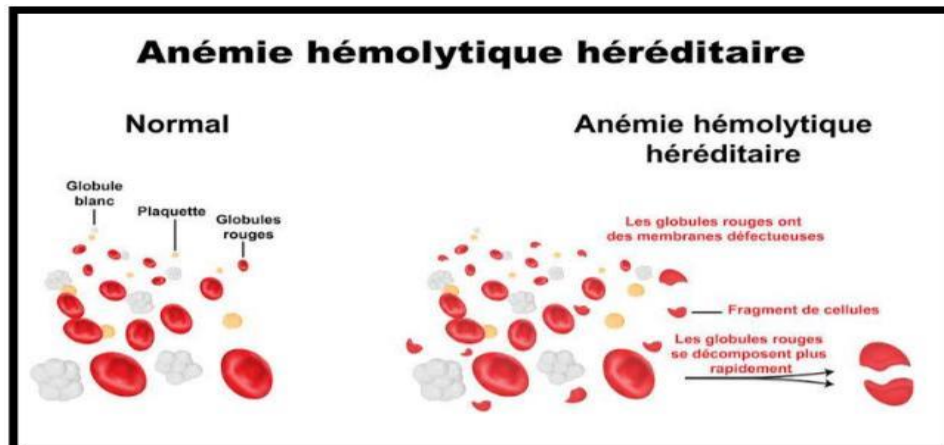


Figure 11 : Altérations sanguines dans l'anémie hémolytique héréditaire (JoshYabb et al.,2025)

VI.2.2 . L'anémie mégaloblastique :

Ce type d'anémie survient en raison d'une différence dans la production d'ADN (Loscalzo et al., 2022). Les principales causes de cette maladie sont une carence en vitamine B12 (cobalamine) ou en acide folique (vitamine B9), car ces vitamines aident à la synthèse des nucléotides pour la multiplication cellulaire (Hoffbrand et al., 2016).

La principale caractéristique de cette maladie est la grande taille des globules rouges, qui ont une forme anormale (Loscalzo et al., 2022).

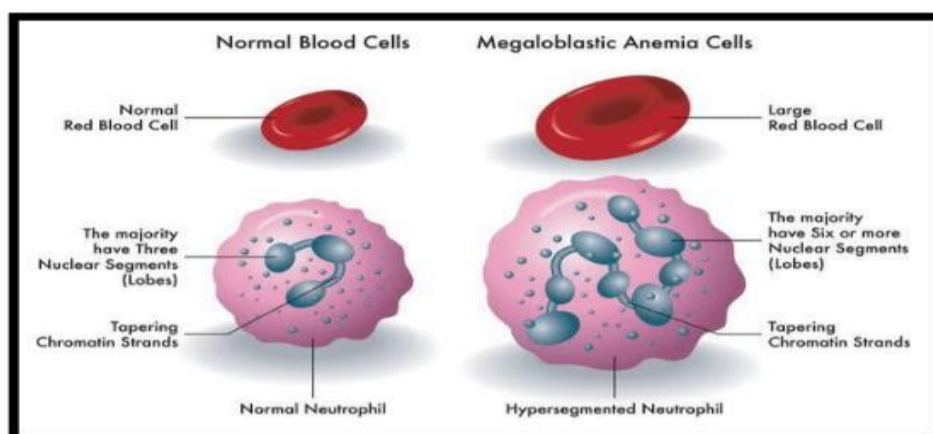


Figure 12 : comparaison des cellules sanguines normales et des cellules de l'anémie mégaloblastique (Alamy, 2020)

VI.2.3. L'anémie inflammatoire :

L'anémie inflammatoire fait partie des maladies chroniques, des maladies auto-immunes et de certains types de cancer (**Weiss et al., 2005**). La cause principale de ce type d'anémie est la libération par l'organisme de cytokines telles que l'interleukine 6, qui stimule le foie, ce qui entraîne la production de l'hormone histidine, mais en cas d'inflammation, la quantité de cette hormone est importante, ce qui conduit à :

réduire l'absorption du fer dans l'intestin

Empêcher la libération du fer des cellules qui le stockent

Il en résulte un manque de fer, alors que l'organisme en possède en abondance, mais celui-ci est utilisé pour la fabrication des cellules sanguines (**Nemeth et Ganz, 2006**).

VI.2.4. L'anémie aplasique :

Ce type d'anémie est une maladie rare car elle survient en raison d'un défaut de la moelle osseuse, où la moelle osseuse cesse de produire des globules blancs, des plaquettes et des globules rouges en quantité suffisante, ce qui entraîne une diminution de la concentration d'hémoglobine dans le sang (**Jameson et al., 2018**). Elle entraîne également l'incapacité des cellules souches hématopoïétiques à se reproduire ou leur destruction, ce qui conduit à une forte diminution de toutes les cellules sanguines (**Hoffbrand et al., 2016**).

VI.2.5. Les thalassémies :

Contrairement à d'autres types d'anémie, la thalassémie est une maladie génétique causée par un défaut dans les gènes responsables de la production d'hémoglobine, ce qui entraîne une anémie chronique (**Weatherall et Clegg, 2001**).

Il existe deux types de thalassémie :

- Thalassémie alpha
- Bêta-thalassémie (**Cappellini et al., 2020**).

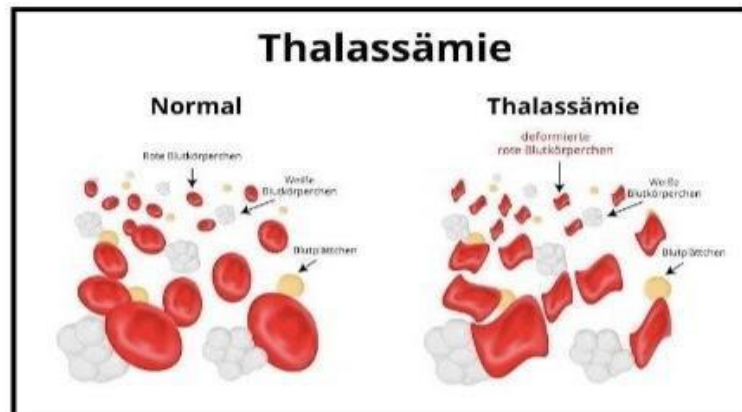


Figure 13 : Différences entre le sang sain et le sang thalassémique (**Alamy Banque d'images vectorielles (EG10FJ), 2014**)

VII. Focus sur l'anémie ferriprive :

VII.1. Définition et importance :

L'anémie ferriprive est la forme d'anémie la plus répandue à l'échelle mondiale. Elle est causée par un déficit en fer, un nutriment indispensable à la production d'hémoglobine, protéine permettant le transport de l'oxygène dans l'organisme (**Camaschella et al., 2015**). Cette carence touche surtout les femmes en âge de procréer, les jeunes enfants et les individus souffrant de pertes sanguines prolongées (**World Health Organization, 2015**).

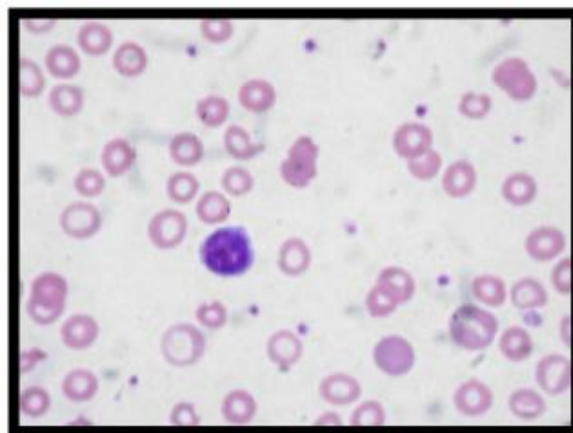


Figure 14: Frottis sanguin d'une anémie ferriprive (**American Society of Hematology et al., 2018**)

VII.2. Physiopathologie de l'Anémie Ferriprive :

L'anémie ferriprive se développe progressivement en raison d'un manque de fer, qui limite la production d'hémoglobine et donc la capacité des globules rouges à transporter l'oxygène **(Camaschella et al., 2015)**.

VII.2.1. Épuisement des réserves en fer

Dans un premier temps, l'organisme puise dans ses réserves de fer stockées sous forme de ferritine dans le foie, la rate et la moelle osseuse. Lorsque ces réserves s'amenuisent à cause de pertes sanguines prolongées, d'une absorption insuffisante ou d'un besoin accru en fer, la production d'hémoglobine commence à être affectée **(Ganz et al., 2019)**.

VII.2.2. Microcytose et hypochromie

Avec une disponibilité réduite en fer, la moelle osseuse produit des globules rouges plus petits (microcytose) et moins pigmentés (hypochromie), ce qui entraîne une baisse du volume globulaire moyen ($VGM < 80 \text{ fL}$) et de la concentration en hémoglobine des globules rouges ($CCMH < 31 \text{ g/dL}$) **(Cappellini et al., 2020)**.

VII.2.3. Altération du transport de l'oxygène

La diminution de l'hémoglobine limite l'apport en oxygène aux tissus, provoquant des symptômes comme la fatigue, des vertiges et une pâleur cutanée. Pour compenser, l'organisme augmente la fréquence cardiaque (tachycardie) afin de maintenir un débit sanguin suffisant, ce qui peut entraîner un essoufflement et un risque accru de complications cardiovasculaires **(Weiss et al., 2005)**.

VII.2.4. Mécanismes d'adaptation

Face à cette situation, l'organisme tente de s'adapter par plusieurs mécanismes :

- Stimulation de l'érythropoïèse :
- Les reins libèrent davantage d'érythropoïétine (EPO) pour encourager la production de globules rouges.

- Augmentation de l'absorption intestinale du fer :
- L'intestin capte plus de fer alimentaire, mais cette absorption est régulée par l'hepcidine, une hormone influençant le métabolisme du fer (**Ganz et al., 2019**).
- Vasodilatation périphérique :
- Les vaisseaux sanguins se dilatent pour optimiser l'apport en oxygène aux tissus.

VII.3. Causes de l'Anémie Ferriprive

VII.3.1. Apport en fer insuffisant

Un régime alimentaire pauvre en fer peut entraîner une carence, notamment chez les végétariens, les nourrissons nourris exclusivement au lait maternel après 6 mois ou les personnes ayant une alimentation déséquilibrée. De plus, certaines maladies digestives, comme la maladie cœliaque ou l'inflammation chronique de l'intestin, réduisent l'absorption du fer au niveau du duodénum (**Cappellini et al., 2020**).

VII.3.2. Pertes sanguines chroniques

L'une des causes les plus fréquentes est une perte de sang prolongée, dépassant la capacité de régénération de l'organisme. Cela peut être dû à :

Des règles abondantes (ménorragies), fréquentes chez les jeunes femmes.

Des saignements digestifs causés par un ulcère, des polypes intestinaux ou un cancer digestif.

Des dons de sang répétés, qui peuvent entraîner une diminution progressive des réserves de fer (**World Health Organization, 2015**).

VII.3.3. Besoins accrus

Certaines périodes de la vie nécessitent une augmentation des besoins en fer :

- Pendant la grossesse, le corps doit produire plus de globules rouges pour assurer l'oxygénation du fœtus.

- Chez les nourrissons, les enfants et les adolescents, la croissance rapide exige un apport suffisant en fer.
- Chez les sportifs, une destruction des globules rouges peut survenir à cause d'un effort physique intense, nécessitant une compensation en fer (**Ganz et al., 2019**).

VII.4. Symptômes, signes biologiques, diagnostic

VII.4.1. Symptômes cliniques :

- Pâleur cutanéomuqueuse (**Camaschella et al., 2015**).
- Asthénie et fatigue physique (**World Health Organization, 2015**).
- Dyspnée à l'effort (**Short et al., 2013**).
- Palpitations cardiaques (**Camaschella et al., 2015**).
- Céphalées et vertiges (**World Health Organization, 2015**).
- Troubles de concentration (**Short et al., 2013**).
- Syndrome des jambes sans repos (**Camaschella et al., 2015**).

VII.4.2. Signes biologiques

- Diminution de l'hémoglobine (Hb) <12 g/dl chez la femme et <13 g/dl chez l'homme (**Camaschella et al., 2015**) Microcytose (VGM <80 fl)(**World Health Organization, 2015**) Hypochromie (TCMH diminuée)(**Short et al., 2013**) Ferritine sérique diminuée <30 ng/ml (**Camaschella et al., 2015**).
- Augmentation de la capacité totale de fixation du fer (CTFF) (**World Health Organization, 2015**).
- Diminution du fer sérique (**Short et al., 2013**).
- Augmentation des récepteurs solubles de la transferrine (**Camaschella et al., 2015**).

VII.5. Prise en charge thérapeutique

VII.5.1 Traitement oral

Supplémentation orale en fer :

C'est le traitement de première intention, basé sur l'administration de sels ferreux (sulfate, fumarate ou gluconate de fer) à raison de 100 à 200 mg de fer élémentaire par jour pendant 3 à 6 mois **(Camaschella et al., 2015)**.

VII.5.2. Traitement intraveineux

Supplémentation intraveineuse :

Utilisée en cas d'intolérance digestive, de malabsorption ou d'anémie sévère nécessitant une correction rapide **(Short et al., 2013)**.

Le traitement de l'anémie ferriprive repose principalement sur la supplémentation orale en fer. Le choix du sel de fer, la durée du traitement et la tolérance digestive sont des facteurs déterminants dans l'efficacité thérapeutique. Le tableau ci-dessous présente les traitements courants, leur durée recommandée, les inconvénients rapportés et les références scientifiques associées.

Il est indispensable d'identifier et de traiter la cause de la carence en fer **(World Health Organization, 2015)**.

Tableau 10 : Tableau Récapitulatif du traitement substitutif de l'anémie ferriprive
(WHO, 2016 ; HAS, 2011 ; Vidal, 2025)

Composition	Posologie	Effets secondaires	Durée du traitement	Formes parentérales	Surveillance
Sels de fer : Sulfate ferreux, Fumarate de fer, Gluconate De fer	Adulte : 100 à 200 mg de fer élément par jour per os Enfant : 3-6 mg/kg/jour	Coloration des selles, nausée, Diarrhée, douleurs abdominales, constipation	4 à 6 mois : - 2 mois pour corriger l'anémie - 2 à 4 mois pour reconstituer les réserves	Indiquées si Malabsorption Ou intolérance Digestive : IM ou IV, dose max 2g/j	Au 10e jour Correction de l'hémoglobine à 3-6 Semaines Suivi clinique et biologique



PARTIE EXPÉRIMENTALE

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Etude quasi- expérimentale longitudinale

I.1.Population d'étude

Cette étude a été réalisée sur un échantillon de 22 patients adultes diagnostiqués avec une anémie ferriprive, sélectionnés selon des critères d'inclusion bien définis (confirmation biologique de l'anémie). Les participants, âgés de 20 à 50 ans, comprenaient des hommes et des femmes, tous volontaires et ayant signé un consentement éclairé, conformément aux principes éthiques en vigueur.

I.2.Protocole d'intervention

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact de la consommation de feuilles séchées de *Moringa oleifera* sur la prévention ou le traitement de l'anémie ferriprive. Pendant une période de 3 mois, chaque participant a consommé quotidiennement une tisane préparée avec la poudre de feuilles séchées de *Moringa*. Ce protocole a été suivi rigoureusement par tous les patients.

I.3.Questionnaire initial

Un questionnaire standardisé a été administré au début de l'étude afin de recueillir des informations détaillées sur les antécédents médicaux, l'état nutritionnel, les habitudes alimentaires, la fréquence de consommation de produits riches en fer, ainsi que d'autres facteurs pouvant influencer l'état de santé général et les paramètres de l'anémie. Ce questionnaire avait été validé en amont pour sa pertinence et sa clarté.

I.4.Conditions d'inclusion

- Personnes âgées de 18 ans ou plus
- Une anémie (Hb < 13 g/dL pour les hommes, Hb < 12 g/dL pour les femmes).
- Consentement libre, éclairé et documenté
- Aucune maladie aiguë ou chronique sévère susceptible de fausser les résultats (par exemple : inflammation, affection rénale ou hépatique).

I.5.Critères d'exclusion

- Femmes en période de grossesse ou d'allaitement
- Personnes sous traitement pharmacologique affectant le métabolisme du fer
- Sensibilité ou intolérance connue au *moringa*
- Violation du protocole ou refus de prendre part.

I.6.Type d'étude

Cette étude s'inscrit comme une recherche quasi-expérimentale longitudinale « avant-après » sans groupe de contrôle, qui vise à examiner l'impact de la consommation quotidienne de thé à base de *Moringa oleifera* sur divers paramètres biologiques chez des adultes atteints d'anémie. On utilise souvent ce genre de méthodologie dans les domaines de la santé et de la nutrition pour observer les modifications biologiques ou cliniques résultant d'une intervention naturelle ou alimentaire. La méthode « avant-après » vise à examiner les valeurs d'un groupe de participants au cours de deux moments spécifiques : avant l'intervention (T0) et après une durée précise de traitement (T1), ce qui permet d'évaluer l'impact direct du facteur à l'étude tout en maîtrisant les fluctuations individuelles.

II. Extraction *Moringa*

II.1. Préparation de *Moringa oleifera*

II.1.1. Récolte et séchage

Les feuilles de *Moringa oleifera* ont été récoltées manuellement dans une zone exempte de pollution. Après lavage à l'eau distillée, elles ont été séchées à l'ombre dans un endroit sec et bien aéré, à température ambiante, pendant une durée 7 à 10 jours, afin de préserver les composés bioactifs.

II.1.2. Broyage et tamisage

Une fois séchées, les feuilles ont été broyées à l'aide d'un moulin électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine homogène. Cette poudre a ensuite été tamisée à l'aide d'un tamis de maille fine afin d'assurer une texture uniforme.

II.1.3. Conservation

La poudre de *moringa* a été conservée dans des pots en verre hermétiques, à l'abri de la lumière, de l'humidité et de la chaleur, afin de prévenir l'oxydation et la dégradation des constituants actifs.

II.2. Protocole d'administration

Chaque participant a consommé, quotidiennement et pendant une période de trois mois, une tisane préparée à base d'une petite cuillère de poudre de *Moringa oleifera* (environ 5 grammes infusée dans 200 mL d'eau bouillante pendant 10 à 15 minutes. L'infusion était prise le soir, avant le coucher.

II.3. Rassemblement de données biologiques

Pour chaque participant, deux séries d'analyses sanguines ont été effectuées :

II.3.1. Avant l'intervention (Moment initial - T0)

- Analyse complète de la formule sanguine (Hb, hématocrite, globules rouges, volume globulaire moyen, TCMH, etc.).
- Ferritine sérique

II.3.2. Suite à l'intervention (T1, à trois mois)

Les mêmes études ont été renouvelées pour examiner l'évolution des paramètres suite à la consommation de la tisane à base de *Moringa*.

II.4. Suivi biologique des patients

À la fin de la période de traitement (soit après 3 mois), Les mêmes analyses ont été renouvelées pour examiner l'évolution des paramètres suite à la consommation de la tisane à base de *Moringa*.

Les prélèvements sanguins ont été réalisés par des professionnels de santé dans un laboratoire agréé, selon les protocoles analytiques standards.

II.5. Méthodes d'analyse

- Dosage de la ferritine : détermination par immunoessai (technique ELISA ou chimiluminescence) ;
- FNS : effectuée à l'aide d'un automate hématologique multiparamétrique (par exemple : Sysmex ou Mindray).

II.6. Traitement statistique des données

Les données obtenues ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS.....Les résultats ont été exprimés en moyenne $\pm$ écart-type. Un test de Student a été utilisé pour comparer les valeurs avant et après traitement. Le seuil de signification a été fixé à $p < 0,05$.

II.6.1. Analyse de données statistiques

L'analyse des données a été effectuée en utilisant le programme IBM SPSS Statistics (version XX). On a suivi trois étapes :

II.6.2. Contrôle de la normalité

Nous avons utilisé le test de Shapiro-Wilk sur chaque variable (Hb, ferritine, .. etc) afin d'examiner la distribution des données.

Essais comparatifs au sein du même groupe : On a établi que le niveau de signification statistique est $p < 0,05$.

II.6.3. Présentation des conclusions

Pour les données normales, les résultats sont indiqués en moyenne $\pm$ écart-type, tandis que pour les données non normales, ils sont présentés en médiane et quartiles.

Des diagrammes comparatifs et des graphiques (barres, boîtes à moustaches) mettent en évidence les écarts entre T0 et T1.

II.7. Éléments éthiques

La recherche a été menée conformément aux principes éthiques de la Déclaration d'Helsinki. Tous les participants ont reçu :

- Un document d'information détaillé précisant les objectifs de l'étude, les risques éventuels (pratiquement inexistants) et les droits liés à leur participation ;
- Un formulaire de consentement éclairé ;
- La garantie de la confidentialité des données ;
- La possibilité de se retirer de l'étude à tout moment, sans avoir à fournir de justification.

III. Expériences réalisées au laboratoire : LAPRONA

III.1. Macération

Extraction des principes actifs du *Moringa oleifera* par macération : approche comparative eau/méthanol :

L'obtention des composés bioactifs à partir de plantes médicinales est une phase cruciale dans l'analyse de leurs vertus thérapeutiques. La macération, l'une des techniques les plus anciennes et courantes pour l'extraction des métabolites secondaires, est parmi les nombreuses méthodes existantes. Elle s'appuie sur la capacité d'un solvant à se diffuser à travers les matrices végétales pour dissoudre les composés ciblés sans avoir besoin de chaleur, ce qui aide à maintenir l'intégrité des substances thermolabiles. (Azwanida, 2015).

III.1. 1. Principe de méthode de macération à froid

La macération est une méthode d'extraction statique qui implique de plonger le matériau végétal dans un solvant adéquat à température ambiante pendant une durée définie, généralement allant de quelques heures à plusieurs jours. Ce procédé permet l'extraction des composés polaires ou semi-polaires, tels que les flavonoïdes, les tanins, les saponines et certains alcaloïdes (**Tiwari et al., 2011**). Cette technique, qui ne requiert pas de chaleur, contribue à réduire l'oxydation ou la détérioration des composés bioactifs sensibles.

III.1. 2. Préparation de la matière végétale

Dans cette recherche, les feuilles de *Moringa oleifera* ont été cueillies à maturité, comme indiqué dans la méthode d'Abubakar et Haque (2020). Après avoir été totalement desséchées, les feuilles ont été broyées grâce à un broyeur mécanique. Elles ont ensuite été conservées dans des sachets en papier kraft pour les protéger de l'humidité et de la lumière jusqu'à leur extraction (**Abubakar et Haque 2020**).



Figure 15 : la poudre des feuilles du *Moringa oleifera* Lam (**Smith et al.,2023**)

III.1.3. Sélection du solvant

La sélection du solvant est déterminée par les caractéristiques des composés visés. Cette recherche a fait usage de deux solvants:

- L'eau potable est utilisée pour obtenir des composés hydrosolubles, en imitant une préparation traditionnelle (comme les infusions).
- Le solvant hydroalcoolique à 80 %(méthanol), connu pour son efficacité dans l'extraction des flavonoïdes et des composés phénoliques, est cité par Do et al. (2014). **(Do et al., 2014)**

III.1.4. Mode opératoire

Le protocole de macération, inspiré des méthodes standardisées **(Azwanida, 2015 ; Abubakar & Haque, 2020)**, est organisé de la manière suivante :

III.1.4.a. Pesée de la poudre végétale : On mesure 50 g de poudre de feuilles de *Moringa* en utilisant une balance numérique



Figure16 : Image de la poudre végétale *Moringa*

III.1.4.b. Préparation du solvant : On mesure 500 mL de solvant (de le méthanol), en respectant un ratio plante/solvant de 1:10 (en poids/volume).

III.1.4.c. Macération : La poudre est plongée dans le solvant à l'intérieur d'un récipient en verre, scellé de manière étanche. On agite le mélange à la main ou mécaniquement (avec un agitateur orbital) pendant quelques minutes, puis on le laisse reposer à température ambiante (25 °C), hors de la lumière, pendant 72 heures. On effectue une agitation toutes les douze heures pour favoriser le processus d'extraction.



Figure 17 : Images de Protocole de macération

III.1.4.d. Filtration : Suite à la macération, le mélange est passé au filtre a café pour être épuré.



Figure 18 : Filtration du mélange

III.1.4.e. Concentration : l'extrait peut être concentré en utilisant un évaporateur rotatif sous vide à une température de 40-50 °C pour retirer le solvant, comme le suggèrent Do et al. (2014)



Figure 19 : Image de l'évaporateur à sec de l'extrait

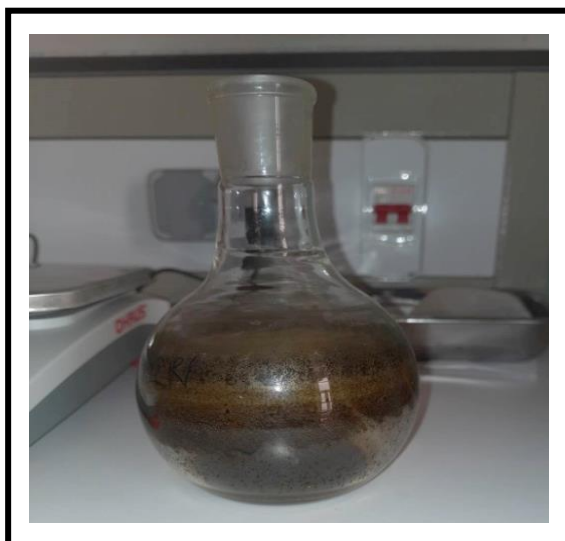


Figure 20 : Image de l'extrait obtenu après séchage à sec.

III.1.4.f. Résolution du résidu sec

re-solubilisation de l'extrait concentré en vue de son analyse :

- 4 DMSO (diméthylsulfoxyde, de 1 à 10%) : Souvent employé, car il parvient à bien dissoudre les composés bioactifs sans entraver significativement la croissance des bactéries.

NB : En général, un DMSO de 1-2% n'est pas toxique pour les bactéries et est bien accepté lors des tests microbiologiques.

Dissolvez 100 mg d'extrait concentrée dans 1 mL de DMSO à une concentration de 1-2% (ou une combinaison DMSO/eau stérile si requis).

III.1.4.g. Stockage : Les échantillons sont conservés à une température de 4 °C dans des contenants non transparents jusqu'à leur mise en œuvre pour les tests biologiques.



Figure 21 : images de dissolution et conservation des échantillons à 4°C

III.2. Etude de L'activité antibactérienne

Les tests de l'activité antibactérienne ont été réalisés au niveau du laboratoire PRODUITS NATURELS « LAPPRONA » du centre de recherche biologique de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.

III.2.1. Principe de l'activité antimicrobienne

L'analyse de l'effet antibactérien a été effectuée en utilisant la technique de diffusion sur gélose à l'aide de disques imbibés (*inspirée de Rahal et al., 2005*).

La présence d'une activité antimicrobienne se manifeste par l'apparition d'un halo clair autour du disque ou du puits, traduisant une inhibition de la prolifération bactérienne.

Une zone d'inhibition dont le diamètre dépasse 8 mm est interprétée comme une réponse positive, indiquant une efficacité antibactérienne (**Kabouss et al., 2000**).

III.2.2. Préparation de l'inoculum bactérien

La réussite d'un test d'activité antimicrobienne dépend largement de la qualité et de l'homogénéité de l'inoculum bactérien employé. Un inoculum dûment préparé garantit une distribution homogène des cellules microbiennes dans le milieu de culture, ce qui assure la précision et la répétabilité des résultats expérimentaux (**CLSI, 2020**).

L'uniformisation de l'inoculum, généralement réglée à une turbidité de 0,5 McFarland (approximativement $1,5 \times 10^8$ UFC/mL), est fondamentale pour garantir la constance des résultats et faciliter les comparaisons entre les tests (CLSI, 2020). Cette technique est aisée, peu coûteuse et appropriée pour les laboratoires aux ressources limitées, tout en ayant une sensibilité adéquate pour identifier l'effet inhibiteur des extraits naturels tels que ceux dérivés du *Moringa oleifera*.

III.2.3. Les souches bactériennes testées

Les souches utilisées dans les tests font parties des microorganismes, qui sont des pathogènes et des contaminants. Le support microbien est composé d'*Escherichia coli*, *klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*

III.2.3.a. Réactivation de la souche

Les bactéries employées sont d'abord maintenues dans des conditions de froid, soit réfrigérées ou congelées. Avant les tests, on réactive les souches en les cultivant sur un milieu nutritif, comme l'agar Mueller-Hinton ou l'agar trypticase soja. Suite à une incubation à 37°C pendant 18 à 24 heures, on obtient des colonies fraîches et bien séparées.

III.2.3.b. Préparation de la suspension

En utilisant une boucle stérile, on prélève plusieurs colonies (généralement entre 3 et 5) de la culture fraîche. Elles sont insérées dans un tube rempli d'une solution saline stérile (NaCl à 0,85 % ou 0,9 %), ou dans un milieu nutritif, puis homogénéisées par vortexage ou agitation manuelle douce.

III.2.3.c. Adaptation à la norme 0,5 McFarland:

Il faut standardiser la suspension bactérienne à une turbidité de 0,5 McFarland, ce qui correspond approximativement à $1,5 \times 10^8$ unités formant colonies (UFC)/mL. On peut obtenir cette norme par :

- Approche visuelle : évaluation de la turbidité en la comparant à un standard McFarland.

- Technique d'analyse : détermination de l'absorbance à 625 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (valeurs variant de 0,08 à 0,10).

On procède à une correction en incorporant du NaCl stérile pour atténuer une suspension trop épaisse ou en intégrant davantage de colonies si elle est excessivement limpide.

III.2.3.d. Utilisation directe de l'inoculum

Une fois mise en standard, la suspension est employée rapidement (dans un laps de temps de 15 à 30 minutes). Un écouvillon stérile est inséré dans la solution, comprimé contre les parois du tube pour ôter l'excès, puis employé pour inoculer de manière uniforme la surface du milieu de culture en préparation du test antimicrobien (Kirby-Bauer).

III.2.4. Méthode de diffusion sur disque (Méthode de Kirby-Bauer)

III.2.4.a. Principe de la méthode

La technique de diffusion en disque, aussi connue sous le nom de méthode Kirby-Bauer, est une procédure standardisée en microbiologie utilisée pour déterminer l'efficacité antimicrobienne d'une substance (comme un extrait végétal ou un antibiotique, par exemple). Elle se fonde sur l'aptitude du composé examiné à se répandre dans un environnement solide et à freiner le développement bactérien autour de la zone d'application. La sensibilité de la bactérie au composé examiné est représentée par la zone d'inhibition, qui est mesurée en millimètres (**Bauer et al., 1966**).

III.2.4.b. Équipement requis :

- Des boîtes de Petri remplies de milieu Mueller-Hinton (MH)
- Inoculum bactérien standardisé à 0,5 McFarland ($1,5 \times 10^8$ unités formant colonie/mL)
- Disques de papier aseptisés (6 mm de diamètre)
- Pince stérile ou micropipette
- Antibiotiques ou extraits à tester.

- Écouvillon aseptisé
- Équerre graduée ou pied à coulisse.
- Incubateur à une température de 37 degrés Celsius.

III.2.5. Protocole expérimentale

III.2.5.a. Préparation du milieu Mueller-Hinton (MH) : gélose et bouillon

Le milieu de Mueller-Hinton (MH) est un type de culture non sélectif et peu nutritif, utilisé principalement pour réaliser des tests de sensibilité aux antibiotiques et des recherches sur l'activité antimicrobienne, notamment via la technique de diffusion en disque (Kirby-Bauer). Le Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) ainsi que l'European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST) le recommandent en raison de son pH stable, de sa reproductibilité et de son faible contenu en inhibiteurs de la diffusion des antimicrobiens (**CLSI, 2020 ; EUCAST, 2023**).

III.2.5.b. Préparation de la gélose Mueller-Hinton

Matériels :

- Eau distillée
- Autoclave
- Flacons ou bouteilles en verre résistantes à la chaleur
- Boîtes de Petri stériles

Méthode :

Pour un mélange d'un litre, il nous faut 21 g de poudre de bouillon Mueller-Hinton et 15 g d'agar-agar. Ces composants doivent être dissous entièrement dans de l'eau distillée stérile en chauffant légèrement tout en remuant. Une fois la dissolution complète, le pH doit être ajusté à $7,4 \pm 0,2$ si nécessaire. La solution est ensuite stérilisée à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes. Après stérilisation, on laisse le milieu refroidir jusqu'à une température de 45–50 °C, puis on le verse dans des boîtes de Petri stériles à raison de 20 à 25 mL par boîte. Une fois solidifiées, les boîtes doivent être conservées à 4 °C, à l'abri de la lumière, pour une durée maximale de une à deux semaines (**Balouiri et al., 2016**)



Figure 22 : Images de préparation du milieu Mueller-Hinton (MH)

III.2.5.c. Préparation du bouillon de Mueller-Hinton (Mueller-Hinton Broth)

Le bouillon MH est employé dans des méthodes non conventionnelles telles que les tests de concentration minimale inhibitrice (CMI) ou pour la confection d'inocula standardisés.

Méthode :

Pour un mélange de 300 mL, il nous faut environ 6,3 g de poudre de bouillon Mueller-Hinton à diluer dans de l'eau distillée. La dissolution s'effectue en chauffant délicatement la solution tout en remuant. Une fois la poudre complètement dissoute, on ajuste le pH à $7,4 \pm 0,2$ à une température de 25 °C. Le bouillon est ensuite réparti dans des flacons ou des tubes, puis stérilisé à 121 °C pendant 15 minutes. Après stérilisation, les flacons doivent être conservés à 4 °C pour une utilisation ultérieure (Forbes et al., 2007).



Figure 23 : Images de préparation du bouillon de Mueller-Hinton (Mueller-Hinton Broth)

III.2. 5.d. Inoculation de la gélose

Pour cette étape, on utilise une boîte de Petri contenant du milieu Mueller-Hinton. Un écouvillon stérile est plongé dans une suspension bactérienne ajustée à une densité de 0,5 McFarland, puis pressé contre la paroi du tube pour éliminer l'excédent de liquide. Le milieu est ensuiteensemencé uniformément selon un motif en quadrillage, en tournant la boîte de Petri d'environ 60° entre chaque passage de l'écouvillon afin d'assurer une répartition homogène du micro-organisme sur toute la surface du milieu.

III.2. 6. Application des disques

- On imprègne des disques de papier stériles d'une quantité précise d'extrait végétal (habituellement 10 à 20 μL), puis on les place délicatement sur l'agarensemencé à l'aide d'une pince aseptisée.

NB: Il est nécessaire de disposer les disques de manière à prévenir le recouvrement des zones d'inhibition.

- intégrer un contrôle positif (un antibiotique bien connu) et un contrôle négatif (un solvant pur) pour valider l'expérience.

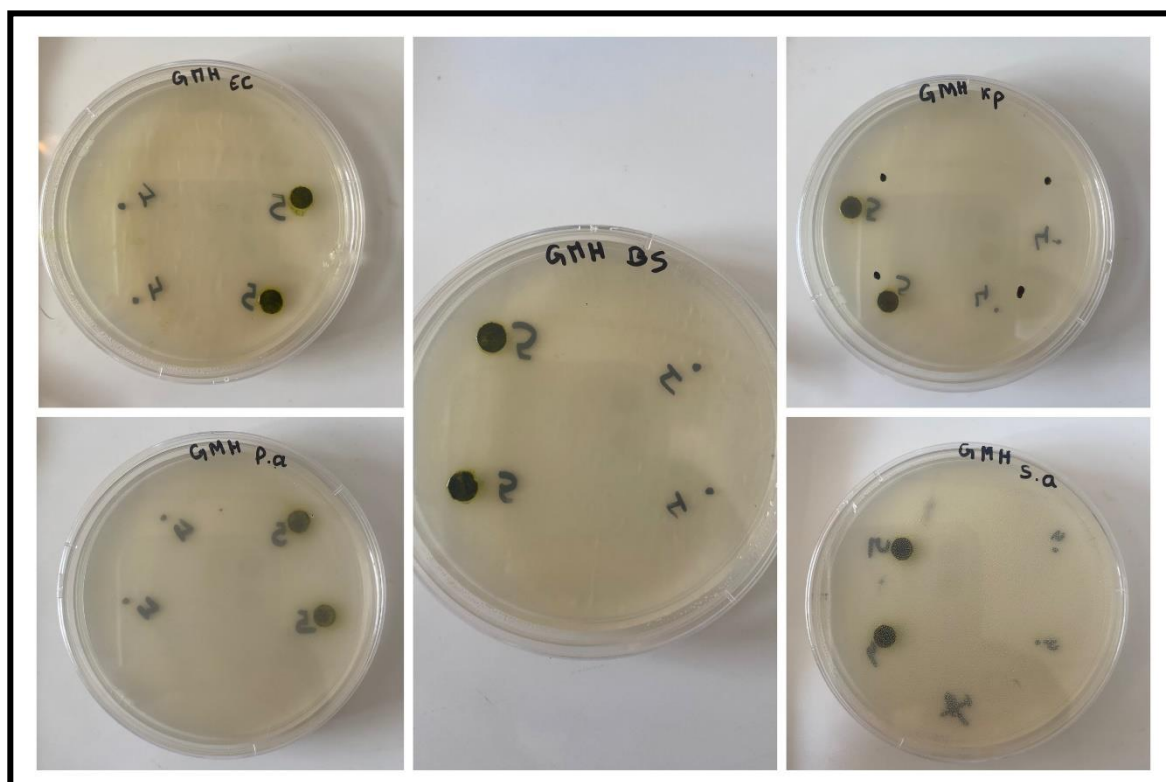


Figure 24 : Images de l'application des disques et incubation

III.2. 7. Incubation

Les boîtes sont placées à l'envers dans une incubateur réglé à 37 °C pour une durée de 18 à 24 heures.

Pour garantir la fiabilité des résultats, il est crucial de suivre les conditions de stérilité et le temps d'incubation.

III.2. 8. Lecture des résultats

L'activité antimicrobienne a été évaluée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition à l'aide d'une règle graduée. Les résultats étant exprimés en millimètres.

Une zone dégagée autour du disque témoigne d'une action antimicrobienne. L'efficacité du composé est d'autant plus grande que la zone est étendue. L'absence de zone témoigne de l'inefficacité du produit examiné à la concentration utilisée (Jorgensen & Turnidge, 2007 ; Mahady et al., 2001).

Tableau 11 : Echelle de sensibilité des germes (Benkhalel, 2018).

Diamètres de la zone d'inhibition (mm)	Transcription	Sensibilité du germe
0	0	Résistant
< 8	-	Non sensible
9 < Ø < 14	+	Sensible
15 < Ø < 19	++	Très sensible
> 20	+++	Extrêmement sensible

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

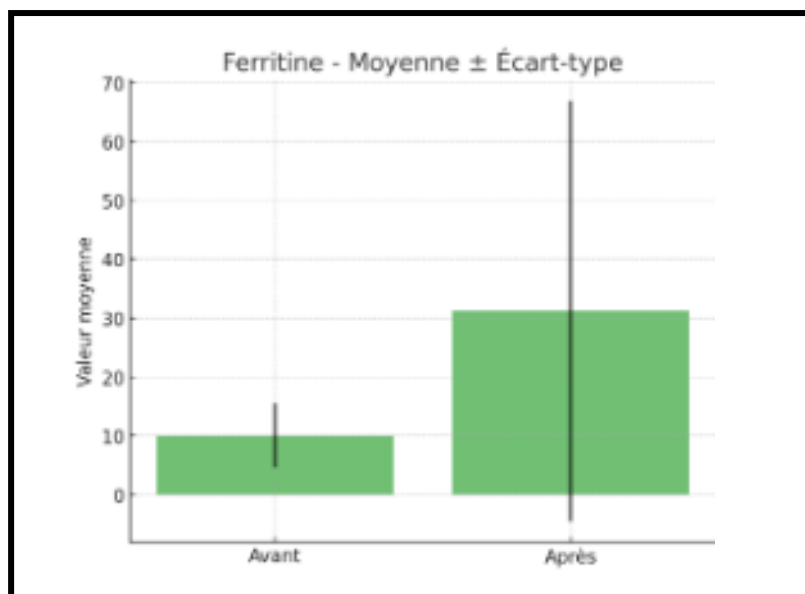
I. Résultats :

I.1. Résultats des paramètres sanguins analysés :

Le tableau suivant présente les résultats des analyses biologiques effectuées avant et après la consommation de la tisane de *Moringa oleifera*. Ces données permettent d'évaluer l'effet potentiel de cette plante sur les principaux biomarqueurs de l'anémie ferriprive, notamment le taux d'hémoglobine, le nombre de globules rouges et la concentration sérique en ferritine.

I.1.1. Ferritine sérique

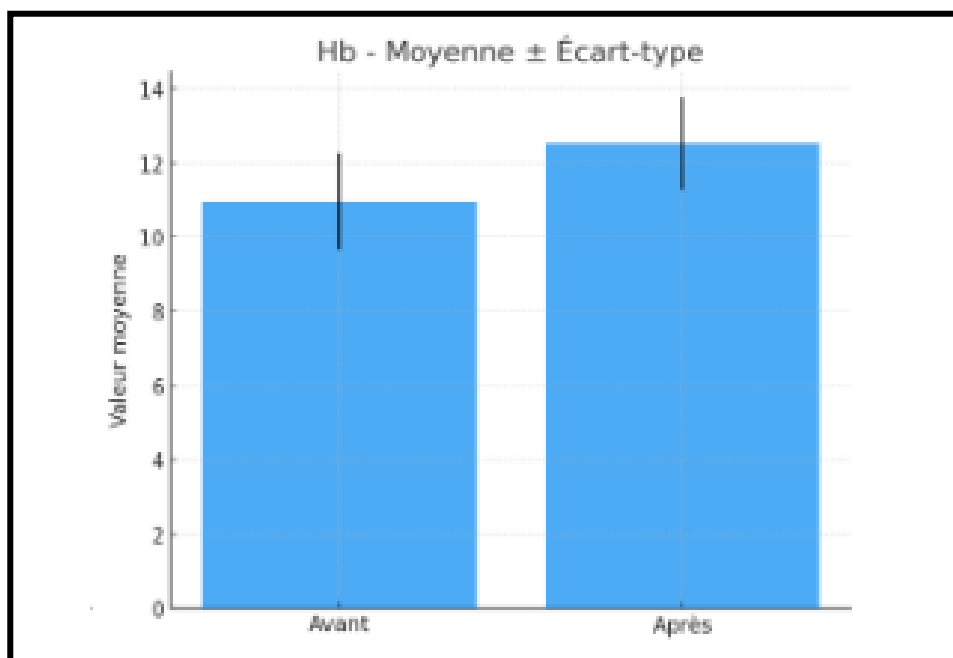
L'évolution du taux de ferritine sérique chez les patients anémiques ayant consommé la tisane de *Moringa oleifera* pendant trois mois montre une amélioration notable. La moyenne est passée de $10,05 \pm 5,48$ ng/mL avant consommation à $31,22 \pm 35,74$ ng/mL après traitement. Toutefois, l'écart-type élevé après consommation indique une variabilité interindividuelle importante dans la réponse au traitement, probablement influencée par l'état initial des réserves, l'adhérence au protocole ou les différences métaboliques entre les sujets.



Histogramme 1 : Variation du taux moyen de ferritine avant et après consommation de *Moringa oleifera* pendant 3 mois

I.1.2. Hémoglobine (Hb)

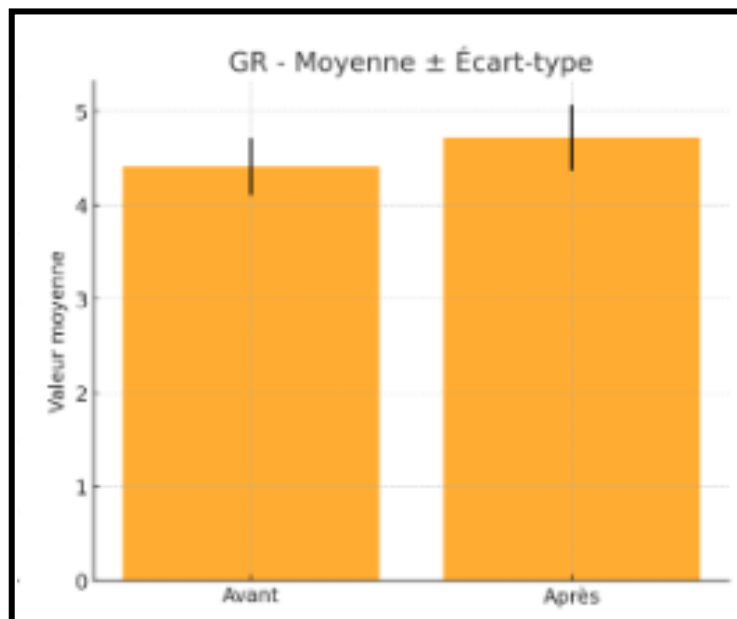
Le taux moyen d'hémoglobine a montré également une progression significative, passant de $10,96 \pm 1,30$ g/dL à $12,53 \pm 1,24$ g/dL. Cette amélioration plus homogène que celle de la ferritine suggère une réponse relativement constante à la supplémentation en *moringa*. L'augmentation de l'hémoglobine traduit une meilleure capacité de transport de l'oxygène dans le sang et une correction partielle de l'état anémique. Ce résultat confirme l'intérêt du *moringa* comme adjuvant nutritionnel dans les prises en charge de l'anémie ferriprive, notamment grâce à sa richesse en micronutriments essentiels à l'érythropoïèse.



Histogramme 2 : Évolution du taux moyen d'hémoglobine avant et après consommation de *Moringa oleifera* pendant 3 mois

I.1.3. Globules rouges (GR)

Concernant la numération globulaire, une légère amélioration a été observée. Le nombre moyen de globules rouges est passé de $4,41 \pm 0,31$ millions/mm³ à $4,72 \pm 0,35$ millions/mm³ après les trois mois de traitement. Bien que moins marquée que celle de l'hémoglobine, cette évolution témoigne d'un effet positif sur la production de cellules sanguines.



Histogramme 3 : Comparaison du taux moyen de globules rouges avant et après traitement au *Moringa oleifera*

I.2. Analyse statistique :

I.2.1. Statistique descriptive :

Tableau 12 : moyennes et écart-type de la ferritine, Gr et Hb pré- et post-intervention

Statistiques descriptives					
	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Ferritine avant intervention (ng/mL)	22	,00	20,00	10,0336	5,00000
Ferritine après intervention (ng/mL)	22	3,00	136,00	31,0000	35,00000
Hémoglobine avant intervention (g/dL)	22	8,00	13,00	10,0000	1,00000
Hémoglobine après intervention (g/dL)	22	10,00	15,00	12,0000	1,00000
Globules rouges avant intervention (millions/ μ L)	22	3,00	4,00	4,0000	,00000
Globules rouges après intervention (millions/ μ L)	22	4,01	5,00	4,0000	,00000
N valide (listwise)	22				

I.2.2. Test t pour 2 échantillons appariés :

Test Wilcoxon

Tableau 13 : résultats du test t pour échantillons appariés appliqué à la ferritine, aux Gr et à l'Hb avant et après la consommation de thé de *moringa*

Test ^a			
	Ferritine après intervention (ng/mL) Ferritine avant intervention (ng/mL)	Hémoglobine après intervention (g/dL) Hémoglobine avant intervention (g/dL)	Globules rouges après intervention (millions/ μ L) Globules rouges avant intervention (millions/ μ L)
Z	-4,000 ^b	-4,000 ^b	-3,000 ^b
p-value (bilatérale)	,000	,000	,000
a. Test de Wilcoxon			
b. Basée sur les rangs négatifs.			

I.3. Résultats de l'activité anti microbienne :

L'activité antimicrobienne de l'extrait de feuilles de *Moringa oleifera* a été évaluée à l'aide de cinq souches bactériennes pathogènes, comprenant à la fois des bactéries à Gram positif et à Gram négatif. Les micro-organismes sélectionnés pour cette étude sont les suivants :

- *Escherichia coli* (Gram négatif)
- *Staphylococcus aureus* (Gram positif)
- *Bacillus subtilis* (Gram positif)
- *Klebsiella pneumoniae* (Gram négatif)
- *Pseudomonas aeruginosa* (Gram négatif)

L'évaluation de l'activité antibactérienne a été réalisée par la méthode de diffusion sur disque en milieu gélosé, selon le protocole de Kirby-Bauer, et en conformité avec les recommandations du Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). Pour ce faire, des disques imprégnés de l'extrait ont été placés sur des boîtes de Pétri contenant une gélose préalablementensemencée avec les souches bactériennes ciblées.

Après une incubation de 24 heures à 37 °C, l'effet antibactérien a été déterminé par la mesure du diamètre des zones d'inhibition formées autour des disques, exprimé en millimètres (mm), à l'aide d'une règle millimétrée.

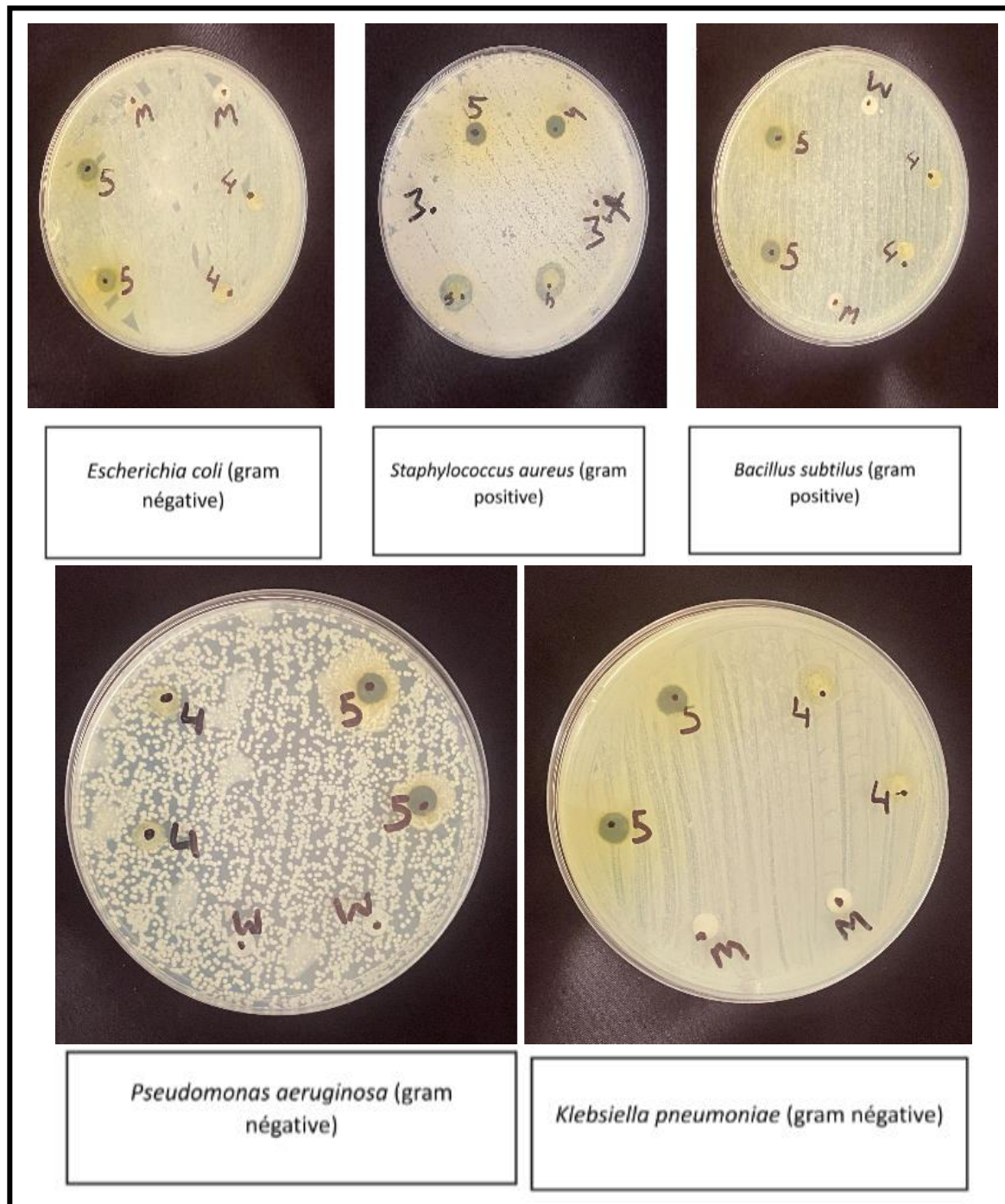


Figure 25 : Des images de l'activité antibactérienne d'extrait de la poudre des feuilles du *moringa oleifera* Lam. sur les souches bactériennes testées

Tableau 14 : Effet antibactérien de l'extrait de feuilles de *Moringa oleifera* sur différentes souches microbiennes

Les bactéries	Zone d'inhibition (mm)	Transcription	Sensibilité de germes
<i>Escherichia coli</i> (-)	12 mm	+	Sensible
<i>Staphylococcus aureus</i> (+)	24 mm	+++	Extrêmement sensible
<i>Bacillus subtilis</i> (+)	20 mm	+++	Extrêmement sensible
<i>Klebsiella pneumoniae</i> (-)	20 mm	+++	Extrêmement sensible
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (-)	24 mm	+++	Extrêmement sensible

L'extrait de feuilles de *Moringa oleifera* a démontré une activité antibactérienne marquée, en particulier contre *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* et *Bacillus subtilis*, qui présentent tous une zone d'inhibition supérieure ou égale à 20 mm.

II. Discussion :

II .1. Discussion des résultats des analyses biologiques :

Une supplémentation régulière en *Moringa oleifera*, sur une période de trois mois, a conduit à une amélioration significative des concentrations de globules rouges, de ferritine et d'hémoglobine chez les sujets étudiés.

II .1.1. Variation des niveaux de ferritine et impact du *Moringa oleifera*

L'analyse statistique des concentrations de ferritine mesurées avant et après la consommation de *Moringa oleifera* révèle une variation significative, avec une valeur $p < 0,05$ ($p = 0,000$). Cette variation témoigne de l'effet réel et mesurable du traitement à base de *Moringa*. Ainsi, ces données renforcent l'hypothèse selon laquelle *Moringa oleifera* exerce une influence positive sur la reconstitution des réserves en fer de l'organisme.

L'élévation marquée des taux de ferritine après l'ingestion régulière de tisane de *Moringa* suggère une reconstitution progressive des réserves hépatiques en fer. En tant que principal marqueur de stockage du fer dans l'organisme, une hausse de la ferritine reflète à la fois une amélioration de l'absorption intestinale et une disponibilité excédentaire du fer après satisfaction des besoins immédiats en érythropoïèse.

Ce progrès peut être attribué à la richesse nutritionnelle des feuilles de *Moringa oleifera*, notamment en fer non héminique, en vitamine C – qui favorise l'absorption du fer – et en composés antioxydants, lesquels peuvent réduire le stress oxydatif et l'inflammation, deux facteurs susceptibles de perturber le métabolisme du fer.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Idohou-Dossou et al. (2011), qui ont observé une augmentation significative des taux de ferritine chez des femmes anémiées après supplémentation en poudre de *moringa*. De plus, des études expérimentales menées sur des modèles animaux, notamment les rats Wistar, ont également mis en évidence une élévation des concentrations de la ferritine suite à l'administration prolongée d'extraits de *Moringa oleifera*.

II .1.2. Évolution du taux d'hémoglobine et effet du *Moringa oleifera*

L'analyse statistique des concentrations d'hémoglobine avant et après l'intervention montre une différence hautement significative ($p < 0,05$), avec une valeur p exacte de 0,000. Ce résultat témoigne de l'efficacité du *Moringa oleifera* dans la stimulation de la production d'hémoglobine, probablement en raison de sa richesse en fer et en

cofacteurs essentiels, tels que les vitamines du groupe B. Cette amélioration statistiquement significative soutient l'effet anti-anémique du *moringa* et justifie une interprétation physiopathologique approfondie.

Une élévation notable du taux d'hémoglobine a été observée chez les participants après une consommation régulière du *Moringa oleifera*. Ce constat suggère que le fer présent dans le *moringa* a non seulement été correctement absorbé au niveau intestinal, mais aussi efficacement utilisé par la moelle osseuse pour la synthèse de l'hémoglobine, protéine essentielle au transport de l'oxygène dans le sang. Une telle amélioration constitue un indicateur majeur de la correction de l'anémie ferriprive, dont la production d'hémoglobine est généralement limitée par le déficit en fer.

La progression de ce paramètre après l'intervention reflète probablement une reprise progressive de l'érythropoïèse, soutenue par la disponibilité du fer et renforcée par la présence d'autres micronutriments dans le *moringa*, tels que la vitamine B6, la vitamine B12 et l'acide folique, tous impliqués dans la maturation des globules rouges. Ces résultats sont cohérents avec plusieurs études antérieures menées dans divers contextes cliniques. Par exemple, Idohou-Dossou et al. (2011) ont démontré qu'une supplémentation quotidienne de 10 g de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* pendant trois mois avait entraîné une augmentation significative du taux d'hémoglobine chez des femmes béninoises en âge de procréer.

D'autres recherches ont confirmé ces effets. Une étude réalisée en Indonésie par Mustapa et al. (2020) a montré que des femmes âgées de 15 à 35 ans ayant consommé un extrait de *moringa* pendant trois semaines ont vu leur taux d'hémoglobine augmenter en moyenne de +1,54 g/dL, contre seulement +0,22 g/dL dans le groupe témoin, avec une différence hautement significative ($p = 0,000$).

II.2. Discussion des résultats de l'activité antimicrobienne

L'analyse statistique du nombre de globules rouges avant et après l'intervention révèle une augmentation hautement significative ($p = 0,000$), indiquant une amélioration nette et non attribuable au hasard. Ce résultat met en évidence l'impact direct de *Moringa*

oleifera sur la production des globules rouges, probablement par une stimulation de la moelle osseuse. Cette observation fournit un fondement scientifique solide pour considérer le *moringa* comme un agent potentiel dans la modulation de l'hématopoïèse et dans le traitement de l'anémie ferriprive.

Une consommation régulière de *moringa* a entraîné une élévation significative du nombre de globules rouges (GR), traduisant une activation efficace de la moelle osseuse. Cet effet peut être attribué à la biodisponibilité du fer contenu dans les feuilles de *moringa*, élément indispensable à la synthèse des érythrocytes, mais aussi à la présence de vitamines hématopoïétiques telles que la vitamine B6, la vitamine B12 et l'acide folique, connues pour leur rôle clé dans la différenciation cellulaire et la production des cellules sanguines.

Par ailleurs, les propriétés antioxydantes du *moringa* contribuent à protéger les globules rouges du stress oxydatif, prolongeant ainsi leur durée de vie et améliorant leur stabilité dans la circulation sanguine. Cette amélioration favorise une meilleure oxygénation des tissus et peut atténuer les symptômes classiques de l'anémie, tels que la fatigue, les vertiges et la pâleur.

Plusieurs études, tant cliniques qu'expérimentales, appuient nos résultats. Par exemple, une étude d'Ofoegbu et al. (2017) menée sur des rats Wistar a montré qu'un apport de 200 à 300 mg/kg d'extrait éthanolique de feuilles de *Moringa oleifera* pendant 15 jours induisait une augmentation significative du nombre de globules rouges et du taux d'hémoglobine ($p < 0,05$).

De plus, une autre étude réalisée par Ouedraogo et al. (février 2025) sur des rats albinos traités pour anémie à l'aide d'un extrait aqueux de *moringa* a mis en évidence une normalisation du nombre de globules rouges dès le septième jour, avec un taux moyen d'hémoglobine atteignant 14,21 g/dL contre 10,8 g/dL dans le groupe témoin.

Ces données confirment l'efficacité du *Moringa oleifera* en tant qu'agent hématopoïétique naturel, capable de favoriser la production et la restauration de la masse érythrocytaire, tant chez l'homme (notamment les femmes anémiées) que dans les modèles animaux, consolidant ainsi son potentiel thérapeutique dans les cas d'anémie ferriprive.

► ***Escherichia coli***

Pour *E. coli*, une bactérie à Gram négatif, une zone d'inhibition de 12 mm a été enregistrée, indiquant une activité modérée. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Rahman et al. (2009), qui ont également observé une inhibition limitée de *E. coli* par les extraits de feuilles de *Moringa*. La faible sensibilité peut s'expliquer par la membrane externe riche en lipopolysaccharides, caractéristique des bactéries Gram négatif, qui agit comme une barrière physique à la diffusion des agents antimicrobiens.

► ***Staphylococcus aureus***

La plus grande zone d'inhibition (24 mm) a été observée pour *Staphylococcus aureus*, une bactérie Gram positive. Ce résultat corrobore les travaux de Caceres et al. (1991), qui ont démontré une inhibition marquée de cette souche par des extraits aqueux et méthanoliques de *moringa*. De même, Walter et al. (2011) ont mis en évidence une forte efficacité des flavonoïdes et tanins extraits de *moringa* sur cette bactérie. Cette sensibilité élevée pourrait être due à la perméabilité plus grande de la paroi des bactéries Gram positif, facilitant l'action des composés actifs.

► ***Klebsiella pneumoniae***

Malgré sa classification parmi les Gram négatif, *Klebsiella pneumoniae* a montré une zone d'inhibition de 20 mm, ce qui reflète une activité importante. Ce résultat rejoint les données de Saadabi et al. (2008), qui ont observé une réponse antimicrobienne favorable avec des extraits hydroalcooliques de *Moringa oleifera*. La présence de composés tels que les isothiocyanates, capables d'altérer les membranes bactériennes, pourrait expliquer cette efficacité.

► ***Bacillus subtilis***

Bacillus subtilis a également présenté une bonne sensibilité à l'extrait de *moringa* (20 mm). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Kooltheat et al. (2014), qui ont montré que les extraits phénoliques du *moringa* agissent efficacement contre plusieurs bactéries Gram positif. Malgré la capacité de cette espèce à former des spores, l'extrait semble actif, ce qui témoigne d'un potentiel thérapeutique intéressant.

► *Pseudomonas aeruginosa*

Le cas de *Pseudomonas aeruginosa* est particulièrement remarquable. Avec une zone d'inhibition de 24 mm, cette bactérie a montré une sensibilité élevée à l'extrait. Ce résultat va à l'encontre des attentes, car *P. aeruginosa* est connue pour être hautement résistante à de nombreux antibiotiques. Une étude menée par Siddhuraju et Becker (2003) a également signalé une action modérée à forte de *Moringa oleifera* sur cette souche, notamment grâce aux composés à effet surfactant capables de perturber les membranes externes.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion

Les plantes médicinales, utilisées depuis l'Antiquité à travers les différentes civilisations, continuent d'occuper une place centrale dans la recherche de nouvelles alternatives thérapeutiques. Grâce à leur richesse en composés bioactifs, elles suscitent un intérêt croissant pour leur potentiel à prévenir et traiter de nombreuses pathologies. Dans ce contexte, *Moringa oleifera*, surnommé « arbre miracle », attire une attention particulière en raison de ses propriétés nutritionnelles et médicinales.

Notre étude s'est focalisée sur l'évaluation des effets d'une supplémentation en tisane de *Moringa oleifera* sur des patients souffrant d'anémie ferriprive, ainsi que sur l'exploration de son activité antimicrobienne in vitro. Cette approche expérimentale et clinique vise à contribuer à la valorisation de cette plante dans la lutte contre des problématiques de santé publique majeures telles que les carences nutritionnelles et les infections bactériennes.

Les résultats obtenus montrent une amélioration significative des paramètres biologiques chez les patients anémiques : augmentation du taux d'hémoglobine, une élévation des concentrations de ferritine et du nombre de globules rouges ($p = 0,000$ pour chaque paramètre). Ces données suggèrent que le *Moringa oleifera* exerce un effet hématopoïétique notable, probablement lié à sa richesse en fer biodisponible, vitamines (C, B6, B12, acide folique) et composés antioxydants.

Par ailleurs, l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait de feuilles de *moringa* a révélé une inhibition significative de la croissance de plusieurs souches pathogènes, telles que *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa*, avec des zones d'inhibition allant jusqu'à 24 mm. Ces résultats confirment la présence de composés actifs aux effets antimicrobiens.

Ce travail nous a permis d'obtenir des résultats encourageants, mais qui demeurent préliminaires. Ils ouvrent la voie à plusieurs perspectives de recherche, notamment dans :

- **Le développement de formulations standardisées** à base de *Moringa oleifera*, permettant d'optimiser sa biodisponibilité et son efficacité clinique.

- **L'étude des synergies potentielles** entre le *moringa* et les traitements conventionnels de l'anémie ferriprive ou des infections bactériennes, dans une approche intégrée.
- **La conduite d'essais cliniques élargis**, sur des échantillons plus diversifiés et sur des durées prolongées, afin de valider l'innocuité, l'efficacité et la reproductibilité des effets observés.

Pour conclure, *Moringa oleifera* représente une alternative thérapeutique naturelle prometteuse. Compte tenu de ses apports nutritionnels et de ses effets démontrés sur les plans hématologique et antimicrobien, il pourrait être intégré dans les stratégies de santé publique visant à améliorer le statut nutritionnel et à réduire la prévalence de certaines infections, notamment dans les contextes à faibles ressources.

Les références bibliographiques :

1. Adda F, Allal KM, Benbachir H, Naas H, Bougherara N. Étude de la carence en fer chez une population des donneurs de sang à Tlemcen-Algérie. *Transfus Clin Biol.* 2019 Sep;26(3):S38.
2. Alhakmani F, Kumar S, Khan SA. Estimation of total phenolic content, in-vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of flowers of *Moringa oleifera*. *Asian Pac J Trop Biomed.* août 2013;3(8):623-7; discussion 626-627.
3. Alamy Banque d'images vectorielles (KFJANE).,2017)
4. Anderson WR, Cronquist A. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. *Brittonia.* avr 1982;34(2):268.
5. Andrews NC. Disorders of Iron Metabolism. *N Engl J Med.* 1999 Dec 23;341(26):1986-95.
6. Anwar F, Latif S, Ashraf M, Gilani AH. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytother Res.* 2007 Jan;21(1):17-25.
7. Atlas RM. *Handbook of Microbiological Media.* 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2010.
8. Balarajan Y, Ramakrishnan U, Özaltın E, Shankar AH, Subramanian S. Anaemia in low-income and middle-income countries. *Lancet.* 2011 Dec;378(9809):2123-35.
9. Balebu DW, Aminuddin R, Hadju V, Arsin A, Jafar N, Herawati HH, et al. The Miracle of *Moringa Oleifera* Leaves for the Prevention of Anemia: A Literature Review. *Pharmacogn J.* 2024 Jan 4;15(6s):1258-61.
10. Balouiri M, Sadiki M, Ibnsouda SK. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *J Pharm Anal.* 2016;6(2):71–9. doi:10.1016/j.jpha.2015.11.005
11. Bauer AW, Kirby WM, Sherris JC, Turck M. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *Am J Clin Pathol.* 1966 Apr;45(4):493–6.
12. Belkaid R, Benakli M, Hammoudi-Bendib N, Ramdani-Bougoussa N, Mahi L. Perception de la carence martiale et de l'anémie ferriprive par les médecins de différentes spécialités en Algérie en 2016: enquête SUPFER DZ. *Pan Afr Med J [Internet].* 2019 [cited 2025 Apr 6];33. Available from: <http://www.panafrican-med-journal.com/content/article/33/48/full/>

13. Bhatia P, Jain R, Singh A. A structured approach to iron refractory iron deficiency anemia (IRIDA) diagnosis (SAID): The more is “SAID” about iron, the less it is. *Pediatr Hematol Oncol J*. 2017 Aug;2(2):48-53.
14. Bizot, F. 2018
15. Burns LJ, Caligiuri MA, Kaushansky K, Levi M, Lichtman MA, Prchal JT, et al., editors. *Williams hematology*. 9th ed. New York: McGraw-Hill Education LLC; 2016.
16. C Afiaenyi I, K Ngwu E, M Okafor A, Ayogu RN. Effects of *Moringa oleifera* leaves on the blood glucose, blood pressure, and lipid profile of type 2 diabetic subjects: A parallel group randomized clinical trial of efficacy. *Nutr Health*. 25 mai 2023;2601060231176873.
17. Caceres A, Saravia A, Rizzo S, Zabala L, De Leon E, Nave F. Pharmacological properties of *Moringa oleifera*. I: Preliminary screening for antimicrobial activity. *J Ethnopharmacol*. 1991;33(3):213–6.
18. Camaschella C. Iron-Deficiency Anemia. Longo DL, éditeur. *N Engl J Med*. 7 mai 2015;372(19):1832-43.
19. Cappellini MD, Musallam KM, Taher AT. Iron deficiency anaemia revisited. *J Intern Med*. févr 2020;287(2):153-70.
20. Cheenpracha S, Park EJ, Yoshida WY, Barit C, Wall M, Pezzuto JM, et al. Potential anti-inflammatory phenolic glycosides from the medicinal plant *Moringa oleifera* fruits. *Bioorg Med Chem*. sept 2010;18(17):6598-602.
21. Christensen RD, Bahr TM, Ward DM. Iron Deficiency in Newborn Infants: Global Rewards for Recognizing and Treating This Silent Malady. *Newborn*. 31 mars 2022;1(1):97-103.
22. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. 32nd ed. CLSI supplement M100. Wayne (PA): CLSI; 2022.
23. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 30th ed. CLSI supplement M100. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2020.
24. Dahiru D, Onubiyi JA, Umaru HA. Antibacterial activity of *Moringa oleifera* aqueous leaf extract. *Afr J Biotechnol*. 2006;5(5):412–4.
25. Doughari JH, Elmahmood AM, Manzara S. Studies on the antibacterial activities of *Moringa oleifera* leaf extracts. *Res J Med Plant*. 2007;1(3):33–7.

26. European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters, version 13.0. Växjö, Sweden: EUCAST; 2023.
27. Fahey J. Microbiological Monitoring of Laboratory Mice. In: Sundberg J, éditeur. Genetically Engineered Mice Handbook [Internet]. CRC Press; 2005 [cité 7 mars 2025]. p. 157-64. (Research Methods For Mutant Mice; vol. 20051540). Disponible sur: <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420039078.ch12>
28. Fahad J, . V, Kumar MCS, . S, Kodancha GP, Adarsh B, et al. Antiurolithiatic activity of aqueous extract of bark of moringa oleifera (lam.) in rats. Health (N Y). 2010;02(04):352-5.
29. Forbes BA, Sahm DF, Weissfeld AS. Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology. 12th ed. St. Louis, MO: Mosby Elsevier; 2007.
30. Gandji K, Chadare FJ, Idohou R, Salako VK, Assogbadjo AE, Kakaï RLG. Status and utilisation of Moringa oleifera Lam: A review. Afr Crop Sci J. 27 févr 2018;26(1):137.
31. Ganz T. Anemia of Inflammation. Longo DL, éditeur. N Engl J Med. 19 sept 2019;381(12):1148-57.
32. Ganz T. Systemic Iron Homeostasis. Physiol Rev. oct 2013;93(4):1721-41.
33. Ganz T, Nemeth E. Hepcidin and iron homeostasis. Biochim Biophys Acta BBA - Mol Cell Res. sept 2012;1823(9):1434-43.
34. Gopalakrishnan L, Doriya K, Kumar DS. Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. Food Sci Hum Wellness. juin 2016;5(2):49-56.
35. Hallberg L, Brune M, Rossander L. Iron absorption in man: ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. Am J Clin Nutr. janv 1989;49(1):140-4.
36. Haris Z, Ahmad I. Green synthesis of silver nanoparticles using Moringa oleifera and its efficacy against gram-negative bacteria targeting quorum sensing and biofilms. J Umm Al-Qura Univ Appl Sci. mars 2024;10(1):156-67.
37. Hentze MW, Muckenthaler MU, Galy B, Camaschella C. Two to Tango: Regulation of Mammalian Iron Metabolism. Cell. juill 2010;142(1):24-38.
38. Hoffbrand AV, Moss PAH. Hoffbrand's essential haematology. Seventh edition. Chichester, West Sussex Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2016. 369 p. (Essentials).
39. Hurrell R, Egli I. Iron bioavailability and dietary reference values. Am J Clin Nutr. mai 2010;91(5):1461S-1467S.

40. Institute of Medicine (US) Committee on Quality of Health Care in America. Crossing the Quality Chasm: A New Health System for the 21st Century [Internet]. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001 [cité 16 avr 2025]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222274/>
41. Iqbal S, Bhanger MI. Effect of season and production location on antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaves grown in Pakistan. *J Food Compos Anal.* sept 2006;19(6-7):544-51.
42. Jameson JL, éditeur. *Harrison's principles of internal medicine*. Twentieth edition. New York: McGraw-Hill Education; 2018. 2 p.
43. Jorgensen JH, Ferraro MJ. Antimicrobial susceptibility testing: A review of general principles and contemporary practices. *Clin Infect Dis.* 2009;49(11):1749–55. doi:10.1086/647952
44. Jorgensen JH, Turnidge JD. Susceptibility test methods: dilution and disk diffusion methods. In: Carroll KC, Pfaller MA, Landry ML, McAdam AJ, Patel R, Richter SS, et al., editors. *Manual of Clinical Microbiology*. 12th ed. Washington, DC: ASM Press; 2019. p. 1253–73.
45. Kalwij JM. Review of 'The Plant List, a working list of all plant species'. Palmer M, éditeur. *J Veg Sci.* oct 2012;23(5):998-1002.
46. Kassebaum NJ. The Global Burden of Anemia. *Hematol Oncol Clin North Am.* avr 2016;30(2):247-308.
47. Katayon S, Megat Mohd Noor MJ, Asma M, Abdul Ghani LA, Thamer AM, Azni I, et al. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. *Bioresour Technol.* 2006;97(13):1455–60.
48. KELLOU MEK, ABROUK S. ENQUETE NATIONALE SUR LA MALNUTRITION PAR CARENCE EN MICRO NUTRIMENTS CHEZ LA FEMME AGEE DE 15. *Inst Natl Santé Publique.* 2019;
49. Kinjanjui JM, Karachi M, Ondimu KN. Natural regeneration and ecological recovery in Mau Forest complex, Kenya. *Open J Ecol.* 2013;03(06):417-22.
50. Koury MJ, Ponka P. NEW INSIGHTS INTO ERYTHROPOIESIS: The Roles of Folate, Vitamin B12 , and Iron. *Annu Rev Nutr.* 14 juill 2004;24(1):105-31.
51. Lamarck JBPADMD, Poiret JLM. *Encyclopédie méthodique. Botanique* [Internet]. Paris,Liège: Panckoucke;Plomteux; 1783 [cité 12 mars 2025]. Disponible sur: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/824>
52. Leone A, Spada A, Battezzati A, Schiraldi A, Aristil J, Bertoli S. Cultivation, Genetic, Ethnopharmacology, Phytochemistry and Pharmacology of *Moringa oleifera* Leaves: An Overview. *Int J Mol Sci.* 5 juin 2015;16(6):12791-835.

53. Lim TK. Edible Medicinal And Non Medicinal Plants: Volume 3, Fruits [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2012 [cité 17 mars 2025]. Disponible sur: <https://link.springer.com/10.1007/978-94-007-2534-8>
54. Loscalzo J, Fauci AS, Kasper DL, Hauser SL, Longo DL, Jameson JL, éditeurs. Harrison's principles of internal medicine. 21st edition. New York: McGraw Hill; 2022. 1 p.
55. macedougall. chronic kidney disease associated anemia. the lancet. 2016;
56. Makkar HPS, Becker K. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. Anim Feed Sci Technol. déc 1996;63(1-4):211-28.
57. Morton JF. The horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae)—A boon to Arid Lands? Econ Bot. juill 1991;45(3):318-33.
58. Napolitano LM. Anemia and Red Blood Cell Transfusion. Crit Care Clin. avr 2017;33(2):345-64.
59. Nayar NM. Speciality crops for the Pacific Islands: Permanent agriculture resources. Agrofor Syst. nov 2011;83(3):329-40.
60. Nemeth E, Ganz T. Regulation of iron metabolism by hepcidin.
61. Nemeth E, Tuttle MS, Powelson J, Vaughn MB, Donovan A, Ward DM, et al. Hepcidin Regulates Cellular Iron Efflux by Binding to Ferroportin and Inducing Its Internalization. Science. 17 déc 2004;306(5704):2090-3.
62. Olson P. Phylogenetics of the Monogenea – evidence from a medley of molecules. Int J Parasitol. mars 2002;32(3):233-44.
63. Prabhu S, Vijayakumar S, Yabesh JEM, Ravichandran K, Sakthivel B. Documentation and quantitative analysis of the local knowledge on medicinal plants in Kalrayan hills of Villupuram district, Tamil Nadu, India. J Ethnopharmacol. nov 2014;157:7-20.
64. Rahman MM, Sheikh MM, Sharmin SA, Islam MS, Rahman MA, Alam MF, et al. Antibacterial activity of leaf juice and extracts of *Moringa oleifera* Lam. against some human pathogenic bacteria. CMU J Nat Sci. 2009;8(2):219–28.
65. Ramachandran C, Peter KV, Gopalakrishnan PK. Drumstick (*Moringa oleifera*): A multipurpose Indian vegetable. Econ Bot. juill 1980;34(3):276-83.
66. Ramachandran M, Rajinikanth P, Devaki S, Santhosh Kumar C. *Moringa oleifera*: a natural gift-A review. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2010;2(11):1350-1354.
67. Rates SMK. Plants as source of drugs. Toxicon. mai 2001;39(5):603-13.

68. Saadabi AMA. Evaluation of the antimicrobial activity of *Moringa oleifera* extract against bacteria and fungi. *J Biol Sci.* 2006;6(4):763–5.
69. Short MW, Domagalski JE. Iron deficiency anemia: evaluation and management. *Am Fam Physician.* 15 janv 2013;87(2):98-104.
70. Smith DL. Anemia in the elderly. *Am Fam Physician.* 1 oct 2000;62(7):1565-72.
71. Stearn WT. Botanical latin: history, grammar, syntax, terminology and vocabulary. 4th ed. Brunel House Newton Abbot Devon: David & Charles; 1993.
72. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot J Linn Soc.* mai 2016;181(1):1-20.
73. Verdcourt B. Flora of Tropical East Africa [Internet]. 1re éd. Beentje HJ, Smith SAL, Verdcourt B, éditeurs. CRC Press; 2020 [cité 17 mars 2025]. Disponible sur: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781000123722>
74. Walter A, Samuel W, Peter A, Joseph O. Antimicrobial activity of *Moringa oleifera* seed extract. *Int J Biol Chem Sci.* 2011;5(1):1–6.
75. Weatherall DJ, Clegg JB. Inherited haemoglobin disorders: an increasing global health problem. *Bulletin of the World Health Organization.* 2001;79(8):704–712.
76. Weiss G, Goodnough LT. Anemia of Chronic Disease. *N Engl J Med.* 10 mars 2005;352(10):1011-23.
77. Wintrobe MM, Greer JP, Arber DA, Glader B, List AF, Means RT, et al., éditeurs. Wintrobe's clinical hematology. 13th edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2014. 1 p.
78. World Health Organization. Basic laboratory procedures in clinical bacteriology. 2nd ed. Geneva: WHO; 2003.
79. World Health Organization. The global prevalence of anaemia in 2011 [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2015 [cité 6 avr 2025]. 43 p. Disponible sur: <https://iris.who.int/handle/10665/177094>
80. Xiao X, Wang J, Meng C, Liang W, Wang T, Zhou B, et al. *Moringa oleifera* Lam and its Therapeutic Effects in Immune Disorders. *Front Pharmacol.* 17 déc 2020;11:566783.
81. Zheng H, Lu A, Hu Z. Floral Organogenesis and Ring Meristem in *Phytolacca*. *Am J Plant Sci.* 2015;06(03):445-55.
82. Zimmermann MB, Hurrell RF. Nutritional iron deficiency. *The Lancet.* août 2007;370(9586):511-20.

Annexes1 : Questionnaire

Anémie ferriprive chez les populations à risque

Informations personnelles :

- Nom et Prénom :
 - Âge :
 - Sexe :
 - Poids (kg) :
 - Taille (m) :
-

5. Niveau d'études : (Cochez une seule case)

- ☐ Primaire
☐ Collège
☐ Lycée
☐ Universitaire

6. Situation familiale : (Cochez une seule case)

- ☐ Célibataire
☐ Marié(e)
☐ Maman
-

Antécédents médicaux :

7. Avez-vous déjà été diagnostiqué(e) avec une carence en fer ?

- ☐ Oui
☐ Non

8. Depuis combien de temps souffrez-vous d'anémie ?

- ☐ Moins de 6 mois
☐ Entre 6 mois et 1 an
☐ Plus d'un an

9. Suivez-vous un traitement pour traiter cette carence ?

- ☐ Oui
☐ Non

10. Si "Oui", quel type de traitement prenez-vous ?

- ☐ Comprimés de fer
- ☐ Injections de fer
- ☐ Autres (précisez) :

11. Avez-vous constaté une amélioration après le traitement ?

- ☐ Oui, une grande amélioration
 - ☐ Oui, une légère amélioration
 - ☐ Aucune amélioration
-

Habitudes alimentaires :**12. À quelle fréquence consommez-vous les aliments suivants par semaine ?****Viandes rouges (foie, bœuf, etc.) :**

- ☐ Jamais
- ☐ 1 à 2 fois
- ☐ Plus de 2 fois

Légumes verts foncés (épinards, brocoli, etc.) :

- ☐ Jamais
- ☐ 1 à 2 fois
- ☐ Plus de 2 fois

Légumineuses (lentilles, pois chiches, etc.) :

- ☐ Jamais
- ☐ 1 à 2 fois
- ☐ Plus de 2 fois

Fruits secs (dattes, figues sèches, raisins secs) :

- ☐ Jamais
- ☐ 1 à 2 fois
- ☐ Plus de 2 fois

13. Consommez-vous des boissons qui affectent l'absorption du fer (thé, café) pendant les repas ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

Symptômes et bien-être :

14. Seriez-vous prêt(e) à améliorer vos habitudes alimentaires pour traiter la carence en fer ?

- ☐ Oui
☐ Non

15. Souffrez-vous régulièrement des symptômes suivants ? (Cochez tout ce qui s'applique)

- ☐ Fatigue constante
☐ Vertiges ou étourdissements
☐ Pâleur de la peau
☐ Essoufflement
☐ Chute de cheveux

16. Votre anémie affecte-t-elle votre capacité à réaliser vos activités quotidiennes ?

- ☐ Oui
☐ Non

17. Avez-vous effectué récemment une analyse de sang pour évaluer votre taux de fer ?

- ☐ Oui
☐ Non

Si Oui, veuillez indiquer les résultats :

- Taux de fer sérique ($\mu\text{g/dL}$) :
- Ferritine (ng/mL) :
- Hémoglobine (g/dL) :
- Hématocrite (%) :

Santé gynécologique (si applicable) :

18. Pensez-vous que la carence en fer a un impact sur votre qualité de vie ?

- ☐ Oui
☐ Non

19. La fréquence de vos règles est-elle régulière ?

- ☐ Oui
☐ Non

(هل دورتك الشهرية منتظمة؟)

20. Avez-vous des antécédents de fibromes, polypes ou autres pathologies gynécologiques pouvant causer des saignements ?

- ☐ Oui
☐ Non

Si Oui, précisez :

Annexes 2 : Consentement éclairé du participant

Je soussigné(e),

Nom et prénom : _____

**Déclare avoir été informé(e) de manière claire et complète sur
l'objet, les modalités et les
éventuels risques liés à l'étude mentionnée ci-dessus.**

Je consens librement à y participer.

Signature du participant : _____

Date : ____ / ____ / ____

Signature de l'enquêteur : _____

Date : ____ / ____ / ____

Formulaire de consentement éclairé

Titre de l'étude :

Évaluation de l'effet de Moringa oleifera sur les paramètres biologiques de l'anémie chez des patients adultes

Investigateur principal :

[Nom Prénom du chercheur (feryel /rania.....)]

[Institution /

Département.....]

[Contact : téléphone, e-mail.....]

1. Objectif de l'étude

Vous êtes invité(e) à participer à une étude visant à évaluer les effets de la consommation quotidienne de Moringa oleifera (en tisane) sur certains paramètres biologiques liés à l'anémie. Cette étude dure trois mois.

2. Déroulement de l'étude

Si vous acceptez de participer :

☐ **Vous remplirez un questionnaire concernant votre état de santé général et vos habitudes alimentaires.**

☐ **Vous consommerez chaque soir une tisane de Moringa oleifera (préparée à partir d'une petite cuillère de poudre dans 200 mL d'eau chaude).**

☐ Des analyses de sang seront réalisées avant et après les 3 mois de traitement pour mesurer les taux d'hémoglobine, de fer sérique, et de ferritine.

3. Bénéfices attendus

Cette étude pourrait vous aider à améliorer votre état de santé si vous souffrez d'anémie. Elle contribuera également à la recherche scientifique sur l'usage thérapeutique des plantes médicinales.

4. Risques et inconvénients

La tisane de moringa est généralement bien tolérée. Cependant, des effets secondaires rares (troubles digestifs, nausées) peuvent survenir. Vous êtes libre d'arrêter votre participation à tout moment sans justification.

5. Confidentialité

Toutes les informations vous concernant resteront strictement confidentielles. Les résultats seront traités de manière anonyme et ne seront utilisés qu'à des fins scientifiques.

6. Droit de retrait

Votre participation est entièrement volontaire. Vous pouvez à tout moment refuser de participer ou vous retirer de l'étude sans subir aucune conséquence.

7. Contact

Pour toute question ou problème durant l'étude, vous pouvez contacter :

[Nom du responsable] – Téléphone : [numéro] – Email : [email]

Résumé

Ce mémoire explore le potentiel thérapeutique de *Moringa oleifera*, une plante médicinale reconnue pour sa richesse nutritionnelle et ses vertus biologiques. Deux volets principaux ont structuré cette étude : un volet clinique centré sur l'évaluation des effets de la tisane de moringa chez des patients souffrant d'anémie ferriprive, et un volet expérimental in vitro consacré à l'étude de l'activité antibactérienne de ses extraits.

La supplémentation quotidienne en tisane de feuilles de *Moringa oleifera*, administrée durant trois mois, a permis d'obtenir une amélioration significative des paramètres hématologiques, notamment une hausse du taux d'hémoglobine, de ferritine et du nombre de globules rouges. Les résultats statistiques ont montré une différence significative entre les valeurs avant et après l'intervention ($p < 0,05$), confirmant l'efficacité du moringa dans la correction de la carence en fer.

Parallèlement, les tests antimicrobiens ont révélé une action inhibitrice notable contre plusieurs souches bactériennes pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, etc.). Les diamètres des zones d'inhibition variaient selon la souche et la concentration utilisée, démontrant l'activité antibactérienne effective de l'extrait méthanolique des feuilles.

Ce double constat positionne le *Moringa oleifera* comme une alternative naturelle prometteuse, à la fois dans la prévention et le traitement de l'anémie ferriprive et dans le contrôle de pathogènes bactériens. Des recherches complémentaires sont toutefois nécessaires pour optimiser son usage, standardiser les formulations et approfondir son évaluation clinique.

Mots-clés : *Moringa oleifera*, anémie ferriprive, fer, activité antibactérienne, phytothérapie.

Abstract

The present work investigates the therapeutic potential of *Moringa oleifera*, a medicinal plant renowned for its rich nutritional profile and diverse biological activities. The study is structured around two main components: a clinical investigation assessing the effects of *Moringa* tea on patients with iron-deficiency anemia, and an in vitro experimental analysis focusing on the antibacterial activity of its extracts.

Daily supplementation with *Moringa oleifera* leaf tea over a three-month period led to a significant improvement in hematological parameters, including increased levels of hemoglobin, ferritin, and red blood cells. Statistical analysis confirmed significant differences between pre- and post-intervention values ($p < 0.05$), supporting the hematopoietic effect of the plant.

In parallel, antimicrobial tests showed marked inhibitory effects against several pathogenic bacterial strains (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, etc.). The diameter of inhibition zones varied depending on the strain and extract concentration, confirming the antibacterial activity of the methanolic extract.

Together, these results position *Moringa oleifera* as a promising natural alternative for both the prevention and treatment of iron-deficiency anemia and the control of bacterial pathogens. Nonetheless, additional studies are needed to optimize its use, standardize formulations, and advance clinical evaluation.

Keywords: *Moringa oleifera*, iron-deficiency anemia, iron, antibacterial activity, phytotherapy.

المخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة الإمكانيات العلاجية لنباتة المورينغا أوليفيرا، وهي نبتة طبية معروفة بغناها الغذائي وتنوع أنشطتها البيولوجية. تم تنظيم الدراسة حول محورين رئيسيين: دراسة سريرية لتقييم تأثير شاي المورينغا على مرضى فقر الدم الناتج عن نقص الحديد، وتحليل تجريبي يركز على النشاط المضاد للبكتيريا لمستخلصاتها في المختبر.

أظهرت المكملات اليومية بشاي أوراق المورينغا، لمدة ثلاثة أشهر، تحسناً ملحوظاً في المؤشرات الدموية، بما في ذلك ارتفاع مستويات الهيموغلوبين والفريتين وخلايا الدم الحمراء. وقد أظهرت التحليلات الإحصائية فرقاً معنوياً بين القيم قبل وبعد التدخل ($p < 0.05$)، مما يؤكد فعالية النبتة في تصحيح نقص الحديد.

وبالتوازي، أظهرت الاختبارات المضادة للميكروبات نشاطاً مثبطاً ملحوظاً ضد عدة سلالات بكتيرية ممرضة مثل *Escherichia coli* و *Pseudomonas aeruginosa*. وقد اختلفت أقطار مناطق التثبيط حسب نوع البكتيريا وتركيز المستخلص، مما يثبت النشاط المضاد للبكتيريا لمستخلص الأوراق الميثانولي.

تشير هذه النتائج مجتمعة إلى أن المورينغا أوليفيرا تمثل بديلاً طبيعياً واعداً في الوقاية من فقر الدم الناتج عن نقص الحديد وعلاجه، وكذلك في مكافحة مسببات الأمراض البكتيرية. ومع ذلك، هناك حاجة إلى المزيد من الدراسات لتحسين استخدامه وتوحيد تركيباته وتوسيع تقييمه السريري.

الكلمات المفتاحية: المورينغا أوليفيرا، فقر الدم بسبب نقص الحديد، الحديد، النشاط المضاد للبكتيريا، العلاج بالنباتات.