

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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

Université de RELIZANE
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences Biologiques



MEMOIRE

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

Intitulé

Développement d'une tisane fonctionnelle à base des plantes
médicinales pour prévenir et traiter la carence en fer

Présenté par :

Mlle : KHEDIM Naffissa

Devant les membres de jury :

Présidente : Mme SEBAA Sarah	Maître de conférences (B)	(U. Relizane)
Encadrante : Mme BEKHEDDA Hadjer	Maître de conférences (B)	(U. Relizane)
Co Encadrante : Mme DERRADJIA Amina	Maître de conférences (B)	(U. Relizane)
Examinatrice : Mme HANIS Fouzia	Maître assistant (A)	(U. Relizane)
Représentant de l'incubateur : Mr FELLAH Ahmed	Maître assistant (B)	(U. Relizane)

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements



Louange à Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance tout au long de ce parcours.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes encadreurs, Dr. BEKHEDDA Hadjer et Dr. DERRADJIA Amina, pour leur disponibilité, leurs conseils précieux, leur soutien constant et leur encadrement scientifique rigoureux. Leur bienveillance et leur exigence m'ont guidée à chaque étape de ce travail. Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils portent à ce mémoire, et pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'en juger la valeur.

Je n'oublie pas de remercier tous les enseignants du département des sciences biologiques de l'Université de Relizane, qui m'ont transmis leurs connaissances et ont contribué à ma formation académique et humaine.

À mes collègues et amis, merci pour les échanges, le soutien moral, les encouragements et les instants de partage qui ont rendu ce parcours plus léger.

Enfin, une pensée pleine de reconnaissance à ma famille, pour leur amour inconditionnel, leur patience, leurs prières et leur confiance indéfectible. Sans vous, rien n'aurait été possible.

Naffissa



Dédicaces

À mes chers parents,

Vous êtes ma plus grande source de force, de patience et d'amour.

Merci pour vos prières, vos sacrifices silencieux, et votre confiance constante.

Ce travail vous est dédié, avec tout mon respect et mon cœur.

À mes frères et sœurs,

Merci pour votre présence bienveillante, vos encouragements sincères, et votre soutien dans les moments de doute.

À mes enseignants et encadrants,

Merci pour votre accompagnement, vos conseils, et votre transmission de savoir tout au long de ce parcours.

À mes amis et collègues,

Pour chaque mot d'encouragement, chaque moment de partage, chaque éclat de rire... merci.

Et enfin, à moi-même,

Pour ne pas avoir abandonné. Pour avoir continué malgré tout.

Ce mémoire est une étape. Une preuve que j'avance, doucement... mais sûrement.

Résume

L'anémie ferriprive constitue l'un des troubles nutritionnels les plus répandus à l'échelle mondiale, affectant en particulier les femmes, les enfants et les personnes âgées. Les traitements classiques à base de fer sont souvent limités par une faible biodisponibilité et des effets secondaires gastro-intestinaux. (Tolkien et al., 2015 ; WHO, 2021)

Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer le potentiel thérapeutique de deux plantes médicinales, *Urtica dioica* (ortie) ,*Trigonella foenum-graecum* (fenugrec) et *Citrus Limon*(citron) dans le cadre du développement d'une tisane innovante, fonctionnelle et naturelle, destinée à la prévention et à la prise en charge de l'anémie ferriprive.

Une formulation intégrant également du zeste de citron a été élaborée. Les analyses phytochimiques ont révélé une activité antioxydante importante, avec 81,4 % d'inhibition du radical DPPH ($IC_{50} = 245,7 \mu\text{g/mL}$) et un pouvoir réducteur de $1,92 \pm 0,08 \text{ mmol Fe}^{2+}/\text{g}$. La tisane présente des teneurs intéressantes en composés bioactifs : polyphénols ($96,5 \pm 2,1 \text{ mg EAG/g}$), flavonoïdes ($45,8 \pm 1,6 \text{ mg EQ/g}$) et tanins ($32,4 \pm 1,2 \text{ mg EC/g}$). L'activité anti-inflammatoire a été confirmée par une inhibition de la dénaturation des protéines atteignant 72,3 % à forte concentration ($p < 0,01$). (González-Molina et al., 2010)

Par ailleurs, le dosage des métaux a mis en évidence des concentrations bénéfiques en fer ($8,72 \pm 0,14 \text{ mg/L}$), zinc ($3,45 \pm 0,10 \text{ mg/L}$) et magnésium ($12,9 \pm 0,18 \text{ mg/L}$), tout en respectant les seuils de sécurité fixés par l'OMS pour le plomb, le cadmium et l'aluminium. (Sarkar et al., 2015)

Ces résultats confirment que cette tisane possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et nutritionnelles notables, avec un excellent profil de sécurité, la positionnant comme une alternative naturelle prometteuse dans la lutte contre l'anémie ferriprive. Ce travail ouvre ainsi la voie à des solutions phytothérapeutiques accessibles, durables et alignées avec les objectifs de santé publique et de nutrition. (Ekor, 2014 ; WHO, 2021)

Mots clé : ortie ,fenugrec ,citron ,anémie ,carence en fer ,traitement

Résumé

Abstract

Iron deficiency anemia is one of the most widespread nutritional disorders worldwide, affecting women, children and the elderly in particular. Conventional iron-based treatments are often limited by low bioavailability and gastrointestinal side effects. (Tolkien et al., 2015; WHO, 2021)

In this context, the present study aims to evaluate the therapeutic potential of two medicinal plants, *Urtica dioica* (nettle), *Trigonella foenum-graecum* (fenugreek) and *Citrus Limon* (lemon) as part of the development of an innovative, functional and natural herbal tea for the prevention and management of iron-deficiency anemia.

A formulation also incorporating lemon zest was developed. Phytochemical analyses revealed significant antioxidant activity, with 81.4% inhibition of the DPPH radical ($IC_{50} = 245.7 \mu\text{g/mL}$) and a reducing power of $1.92 \pm 0.08 \text{ mmol Fe}^{2+}/\text{g}$. The herbal tea showed interesting levels of bioactive compounds: polyphenols ($96.5 \pm 2.1 \text{ mg EAG/g}$), flavonoids ($45.8 \pm 1.6 \text{ mg EQ/g}$) and tannins ($32.4 \pm 1.2 \text{ mg EC/g}$). Anti-inflammatory activity was confirmed by an inhibition of protein denaturation reaching 72.3% at high concentration ($p < 0.01$) (González-Molina et al., 2010).

Furthermore, metal assays revealed beneficial concentrations of iron ($8.72 \pm 0.14 \text{ mg/L}$), zinc ($3.45 \pm 0.10 \text{ mg/L}$) and magnesium ($12.9 \pm 0.18 \text{ mg/L}$), while respecting the safety thresholds set by the WHO for lead, cadmium and aluminum. (Sarkar et al., 2015)

These results confirm that this herbal tea possesses notable antioxidant, anti-inflammatory and nutritional properties, with an excellent safety profile, positioning it as a promising natural alternative in the fight against iron-deficiency anemia. This work thus paves the way for accessible, sustainable phytotherapeutic solutions aligned with public health and nutrition goals. (Ekor, 2014; WHO, 2021)

Anglais : nettle, fenugreek, lemon, anemia, iron deficiency, treatment

ملخص

فقر الدم الناجم عن نقص الحديد هو أحد أكثر اضطرابات التغذية انتشاراً في جميع أنحاء العالم، ويؤثر على النساء والأطفال وكبار السن على وجه الخصوص. وغالباً ما تكون العلاجات التقليدية القائمة على الحديد محدودة بسبب انخفاض التوافر البيولوجي والآثار الجانبية المعوية. (Tolkien et al., 2015 ; WHO, 2021)

في هذا السياق، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الإمكانيات العلاجية لاثنتين من النباتات الطبية، نبات *dioica Urtica* (نبات القراص)، *foenum-graecum Trigonella* (الحلبة) و *Citrus Limon* (الليمون) كجزء من تطوير شاي عشبي مبتكر ووظيفي وطبيعي للوقاية من فقر الدم الناجم عن نقص الحديد وإدارته. (González-Molina et al., 2010)

كما تم تطوير تركيبة تحتوي أيضاً على قشر الليمون. كشفت التحليلات الكيميائية النباتية عن نشاط كبير مضاد للأكسدة، مع تثبيط 81.4% من جذر DPPH ($IC_{500} = 245.7$ ميكروغرام/مل (وقوة اختزال 0.08 ± 1.92 مليمول حديد²⁺/غرام. وأظهر شاي الأعشاب مستويات مثيرة للاهتمام من المركبات النشطة بيولوجياً: البوليفينول (96.5 ± 2.1 ملغم/عAG غم)، والفلافونويد (45.8 ± 1.6 ملغم مكافئ/غم) والعفص (32.4 ± 1.2 ملغم/EC غم). (تم تأكيد النشاط المضاد للالتهابات من خلال تثبيط تمسخ البروتين الذي وصل إلى 72.3% عند التركيز العالي ($p < 0.01$).

(González-Molina et al., 2010)

وعلاوة على ذلك، كشفت فحوصات المعادن عن تركيزات مفيدة من الحديد (0.14 ± 8.72 ملغم/لتر) والزنك (3.45 ± 0.10 ملغم/لتر) والمغنيسيوم (0.18 ± 12.9 ملغم/لتر)، مع احترام عتبات السلامة التي حددتها منظمة الصحة العالمية للرصاص والكاديوم والألومنيوم. (Sarkar et al., 2015)

تؤكد هذه النتائج أن هذا الشاي العشبي يمتلك خصائص ملحوظة مضادة للأكسدة ومضادة للالتهابات ومغذية مع خصائص أمان ممتازة، مما يجعله بديلاً طبيعياً واعداً في مكافحة فقر الدم الناجم عن نقص الحديد. وبالتالي، فإن هذا العمل يمهد الطريق لحلول علاجية نباتية مستدامة يسهل الوصول إليها ومستدامة تتماشى مع أهداف الصحة العامة والتغذية (Ekor, 2014; WHO, 2021)

الكلمات المفتاحية: القراص، الحلبة، الليمون، فقر الدم، نقص الحديد، العلاج

Contents

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

Introduction	17
Partie théorique.....	20
Chapitre I.....	21
Anémie ferriprive	21
1. Le sang	22
1.1. Définition du sang :	22
1.2. Fonctions principales du sang :	23
1.3. Rôle du sang dans le diagnostic médical.....	24
1.4. Composition du sang.....	24
1.4.1. Plasma sanguin.....	24
1.4.2. Les éléments figurés	25
1.4.2.1. Les plaquettes	25
1.4.2.2. Les hématies	26
1.4.2.3. Les cellules du système immunitaires	27
1.4.2.3.1. Globules blancs	28
1.4.2.3.2. Granulocytes.....	29
1.4.2.3.3. Polynucléaires neutrophiles.....	29
1.4.2.3.4. Polynucléaires basophiles	30
1.4.2.3.5. Polynucléaires éosinophile	30
1.4.2.3.6. Mononucléaires	31
1.4.2.3.6.1. Monocytes.....	31
1.4.2.3.6.2. Lymphocytes.....	31
2. GÉNÉRALITÉS SUR L'HÉMATOPOÏÈSE	33
2.1. Définition	33
L'hématopoïèse post-embryonnaire dans la moelle osseuse:	33
L'hématopoïèse et le renouvellement continu:	33
Les cellules souches :	33
Les axes de différenciation de la moelle osseuse :	33
2.2. L'érythropoïèse	34
2.2.1. Les éléments nécessaires à l'érythropoïèse :	35
3. Le fer :	36
3.1. Définition et rôles du fer	36
3.2. Homéostasie du fer : un circuit fermé	37

Table des matières

3.3. L'apport alimentaire quotidien nécessaire en fer en fonction des besoins.....	39
4. Anémie	42
4.1. Définition	42
4.2. Epidémiologie :	42
4.3. Types d'anémies	43
4.3.1. Anémies microcytaires (VGM < 80 fL).....	43
4.3.2. Anémies Normocytaires (VGM normal).....	43
4.3.3. Anémies Macrocytaires (VGM > 100 FL) GR plus gros que la normale.	43
5. Anémie ferriprive	44
5.1. Définition	44
5.2. Physiopathologie de l'anémie ferriprive	44
5.3. Etiologie de l'anémie ferriprive	46
5.4. Manifestations cliniques de l'anémie.....	48
5.6. Diagnostic de l'anémie ferriprive	52
Chapitre II	54
Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie	54
1. Sélection des plantes médicinales étudiées :	55
2. Critères de sélection des plantes pour l'étude :	56
2.1. L'ortie (<i>Urtica dioica</i> L):.....	56
2.1.1. Composition chimique d' <i>Urtica dioica</i> L	56
2.1.2. Composition nutritionnelle et principes actifs	57
2.1.3. Utilisation d' <i>Urtica dioica</i>	57
2.1.3.1. Principales utilisations thérapeutiques.....	58
2.1.3.1.1. Utilisation thérapeutique traditionnelle	58
2.1.3.1.2. Utilisation thérapeutique actuelle.....	58
2.1.4. Propriétés médicinales reconnues	58
2.1.5. Etudes cliniques et données scientifiques disponibles	58
2.2. Le fenugrec (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	59
2.2.1. Historique et classification	59
2.2.2. Composition nutritionnelle et principes actifs.....	60
2.2.3. Propriétés médicinales reconnues.....	60
2.2.4. Études cliniques et données scientifiques disponibles	60
2.3. Le citron (<i>Citrus limon</i> L. Burm. f.).....	61
2.3.1. Historique et classification botanique	61
2.3.2. Composition nutritionnelle et principes actifs.....	61
2.3.3. Propriétés médicinales reconnues.....	62
Chapitre III	63
Parité expérimentale	63
1. Matériel et méthode.....	64

Tables des matières

1.1.	Objectif de l'étude.....	64
1.2.	Type et cadre de l'étude.....	64
2.	Préparation des extraits hydro-méthanoliques.....	64
2.1.	Matériel et réactifs utilisés.....	64
2.1.1.	Plantes médicinales séchées :.....	64
2.1.2.	Solvants :.....	65
2.1.3.	Matériel de laboratoire :.....	65
2.1.4.	Méthode expérimentale.....	65
2.1.5.	Rendement des extraits.....	67
3.	Evaluation de l'activité antioxydante.....	67
3.1.	Test de piégeage du radical libre DPPH(2,2-diphynil-1-picrylhydrazyl) :.....	67
3.1.1.	Méthode :.....	67
3.1.2.	Préparations des dilutions des extraits végétaux :.....	67
3.1.2.1.	Préparation des essais :.....	68
3.1.2.2.	Détermination de l'IC50 :.....	68
4.	Dosage de polyphénols totaux.....	69
4.1.	Principe.....	69
4.2.	Expression des résultats.....	69
5.	Dosage des flavonoïdes.....	70
6.	Dosage des tanins condensés.....	70
7.	Evaluation de l'activité anti-inflammatoire in-vitro.....	71
7.1.	Objectif de la manipulation.....	71
7.2.	Test de la dénaturation thermique des protéines.....	71
7.3.	Principe de la méthode.....	71
7.4.	Préparations des solutions.....	71
8.	Minéralisation acide et analyse élémentaires d'échantillons végétaux par SAA.....	74
	Résultats et Discussion.....	76
1.	Caractérisation phytochimique.....	77
1.1.	Activité antioxydante de l'acide ascorbique (méthode DPPH).....	77
1.2.	Dosage des polyphénols totaux.....	78
1.3.	Dosage des flavonoïdes (méthode AlCl ₃).....	80
1.4.	Dosage des tanins.....	82
2.	Activité anti-inflammatoire.....	85
3.	Dosage des métaux lourds et minéraux.....	86
3.1.	Interprétation détaillée des résultats analytiques Métaux et minéraux.....	86
1.	Cadmium(Cd)	86
2.	Plomb(Pb)	87
3.	Aluminium(Al)	87
4.	Zinc(Zn).....	87

Table des matières

5. Magnésium(Mg).....	88
6. Calcium(Ca).....	88
7. Le fer :	89
Interprétation.....	89
1. Ortie(Urtica dioica)	89
2. Fenugrec (Trigonella foenum-graecum).....	90
3. Zeste de citron.....	90
4. Tisane finale (mélange ortie +fenugrec citron).....	90
4. Paramètres physico-chimiques de la tisane formulée.....	91
4.1 Teneur en eau de la tisane formulée	91
4.2 Teneur en cendres.....	91
5. Identification du produit	92
6. Respect des réglementations.....	92
Conclusion réglementaire.....	93
Discussion	94
Conclusion.....	99
Références bibliographiques	101
Guide d'information	105
Carte d'information	107
Présentation du projet.....	109
Aspects innovants.....	112
Analyse stratégique du marché.....	113
Plan de production et d'organisation	116
Plan financier.....	121
Prototype expérimental.....	125
BUSINESS MODEL CANVAS	131

Liste des abréviations

Abréviation	Mot
holoTf	Holo-transferrine
H	Heure
Hb	Hémoglobine (hème)
Min	Minute
MGG	May-Grünwald-Giemsa
NaOH	Hydroxyde de sodium
PN	Polynucléaires neutrophiles
MALT	Tissu lymphoïde lymphatique (Mucosal Associated Lymphoid Tissue)
PRR	Récepteurs de reconnaissance de motifs moléculaires
FAO	Food and Agriculture Organisation (institution spécialisée des Nations Unies)
CD34	Cluster of Differentiation 34 (Marqueur de surface cellulaire)
TH1	T helper cell type 1 (lymphocyte T auxiliaire type 1)
O ₂	Dioxygène
TH2	T helper cell type 2 (lymphocyte T auxiliaire type 2)
CO ₂	Dioxyde de carbone
Ag	Antigènes
PNN	Polynucléaires neutrophiles
LT-CSH	Cellule souche hématopoïétique à long terme
pH	Potentiel hydrogène
ST-CSH	Cellule souche hématopoïétique à court terme
Ac	Anticorps
CMP	Progéniteur Myéloïde Commun
IFN	Interféron
EMP	Progéniteur Érythro-Mégakaryocytaire
NFS	Numération formule sanguine

Liste des figures

GMP	Progéniteur Granulo-Monocytaire
ALB	Albumine
CLP	Progéniteur Lymphoïde Commun
GLB	Globuline
EPO	Érythropoïétine
FIB	Fibrinogène
SCF	Facteur de cellules souches
ADP	Adénosine diphosphate
TFR1	Récepteur à la transferrine de type 1
BFU-E	Burst Forming Unit-Erythroid
CFU-E	Colony Forming Unit-Erythroid
IL-6	Interleukine-6
HO-1	Hème oxygénase 1
IRIDA	Iron-Refractory Iron Deficiency Anemia
AJR	Apports journaliers recommandés
BNM	Besoin Nutritionnel Minimaux
RNP	Référence nutritionnelle population
AS	Apport satisfaisant
LSS	Limite supérieure de sécurité
OMS	Organisation mondiale de la santé
ADN	Acide désoxyribonucléique

Liste des tableaux

Tableau 1 –les substances du plasma et leurs descriptions.....	25
Tableau 2 Apports nutritionnels de référence en fer selon les groupes de population (mg/j)(établis selon les recommandations de (l'EFSA (2024)) et les valeurs de référence de (l'ANSES 2016).....	41
Tableau 3: Définition de l'anémie par l'OMS selon l'âge et le sexe (World Health Organization, 2020).....	42
Tableau 4 classification d'urtica dioica (Quézel et Santa,1962-1963;POWO,2024).....	56
Tableau 5 Classification de Fenugrec (Petropoulos, G.A. 2002)	59
Tableau 6 Classification de Citron (Morton,J.1987).....	61
Tableau 7 Teneur moyenne en polyphénols totaux dans les extraits végétaux.....	79
Tableau 8 : Teneur moyenne en flavonoïdes dans les extraits végétaux.....	81
Tableau 9 Teneur moyenne en tanins dans les extraits végétaux.....	82
Tableau 10 Effet anti-inflammatoire de l'ortie et du fenugrec à différentes doses, comparé au diclofénac (inhibition de l'œdème en %).	85
Tableau 11 Teneurs mesurées en métaux et minéraux dans l'ortie, le fenugrec, le citron et le produit final (tisane).....	86
Tableau 12 Comparaison des teneurs mesurées avec les normes réglementaires (Codex,UE,Algérie)	89

Liste des figures

Figure 1 : schéma du système circulatoire humain (Liryc, 2025)	22
Figure 2 : Schéma des étapes de séparation des constituants du sang (www.souslemicroscope.com).	23
Figure 3 les plaquettes sanguines (Manon .,2022)	26
Figure 4 Structure et forme des globules rouges humains (Bouroubi A.,2020)	27
Figure 5 : Image microscopique d'un frottis sanguin (www.Shutterstock.com)	28
Figure 6 Globule blancs (leucocyte) (www.Shutterstock.com)	28
Figure 7 Morphologie des différents globules blancs (www.Shutterstock.com)	29
Figure 8 Les polynucléaires neutrophiles humains (PN)(www.Shutterstock.com)	30
Figure 9 cellule polynucléaires basophile (www.Shutterstock.com)	30
Figure 10: cellule polynucléaires éosinophile (www.Shutterstock.com)	31
Figure 11 cellule monocyte (www.Shutterstock.com)	31
Figure 12 Lymphocytes et leurs types (www.Shutterstock.com)	32
Figure 13 résumé des éléments figures du sang (Marieb & Hoehn ,2019)	33
Figure 14 Une représentation schématique l'hématopoïèse humaine de l'adulte.	34
Figure 15 Représentation schématique de l'érythropoïèse (rôle de transferrine et d'un phytoestrogène). (Guillemette Fouquet, 2019)	35
Figure 16 Caractéristique du fer (www.france-mineraux.fr)	37
Figure 17 Homéostasie du fer : un circuit fermé (Ganz,&Nemeth .,2012)	39
Figure 18 répartition du fer et apport journalières recommandé.	40
Figure 19 Répartition du fer hémérique et non hémérique dans l'alimentation (Fondation Nutrixeal Info, 2021)	41
Figure 20 Schéma des Différents Types d'Anémies (création personnelle)	44
Figure 21 Les étapes de l'érythropoïèse (Pascal Combemorel, 2019).	46
Figure 22 Pâleur cutanéomuqueuse (signe clinique de l'anémie ferriprive) (Benfelatki,2010)	49
Figure 23 Plante de Urtica dioica L (création personnelle)	56
Figure 24 Graines de fenugrec (création personnelle)	59
Figure 25 Citronnier (Citrus limon) (création personnel)	61
Figure 26 les plantes utilisées (citron,ortie,fenugrec) (création personnelle)	65
Figure 27 Préparation des extraits hydro-méthanoliques (création personnelle)	66
Figure 28 forme libre et réduite du 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Molyneux,2004).	67
Figure 29 Préparation des dilutions des extraits végétaux (création personnelle)	68
Figure 30 Évaluation de l'activité antioxydante (création personnelle)	69
Figure 31 Dosage des polyphénols totaux (création personnelle)	70
Figure 32 dosage de flavonoïdes (création personnelle)	70
Figure 33 Dosage de tanins (création personnelle)	71
Figure 34 Evaluation de l'activité anti-inflammatoire in-vitro(création personnelle)	72
Figure 35 Ajustation du Ph :6.6 du Tris-HCl0.05M (création personnelle)	74
Figure 36 Schéma du protocole de minéralisation acide des échantillons végétaux pour l'analyse des éléments minéraux par SAA. (HANIS F.,2023)	75
Figure 37 minéralisation acide des échantillons végétaux pour l'analyse des éléments minéraux par SAA (création personnelle) .	75
Figure 38 Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique	77
Figure 39 activité antioxydante de l'ortie et fenugrec	77
Figure 40 Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.	78
Figure 41 Comparaison de la teneur en polyphénols totaux entre les extraits d'ortie (Urtica dioica) et de fenugrec (Trigonella foenum-graecum).	79
Figure 42 Courbe d'étalonnage de la quercétine	80
Figure 43 Comparaison de la teneur en flavonoïdes entre les extraits d'ortie (Urtica dioica) et de fenugrec (Trigonella foenum-graecum).	81
Figure 44 la courbe d'étalonnage de la catéchine	82
Figure 45 Comparaison de la teneur en tanins entre les extraits d'ortie (Urtica dioica) et de fenugrec (Trigonella foenum-graecum).	84
Figure 46 Effet dose-dépendant des extraits d'ortie (Urtica dioica) et de fenugrec (Trigonella	

Liste des figures

foenum- graecum) sur l'inhibition de l'œdème induit chez le rat, comparé au diclofénac sodique(10mg/kg)	85
--	-----------

Introduction

Introduction

L'anémie ferriprive, résultant d'une carence en fer, demeure l'un des problèmes majeurs de santé publique à l'échelle mondiale, touchant particulièrement les pays en développement, où les apports nutritionnels sont souvent insuffisants ou déséquilibrés. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), plus de 1,6 milliard de personnes souffrent d'anémie dans le monde, avec une prévalence accrue chez les enfants, les femmes en âge de procréer et les femmes enceintes (WHO, 2008 ; McLean et al., 2009). Cette carence entraîne une fatigue chronique, une baisse de la capacité physique et intellectuelle, ainsi qu'un affaiblissement du système immunitaire (Hurrell & Egli, 2010).

Bien que les traitements médicamenteux à base de sels de fer soient largement utilisés, ils présentent des inconvénients notables, notamment une faible tolérance digestive (nausées, douleurs abdominales, constipation) et une faible observance thérapeutique (Oliviero & Fogliano, 2016). Dans ce contexte, le recours à des solutions naturelles, mieux tolérées, disponibles localement et potentiellement efficaces suscite un intérêt croissant.

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent projet, qui vise à développer une tisane fonctionnelle à visée antianémique, à base d'un mélange synergique de trois plantes médicinales sélectionnées pour leurs propriétés nutritionnelles et thérapeutiques : l'ortie (*Urtica dioica*), connue pour sa richesse en fer, minéraux, chlorophylle et vitamine C (Gupta & Sharma, 2011 ; Lemhadri et al., 2004) ; le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), qui possède des effets stimulants, fortifiants et régulateurs du métabolisme (Chauhan & Kumar, 2012 ; Ziyyat et al., 1997) ; et le zeste de citron (*Citrus limon*), dont la teneur en acide ascorbique améliore significativement l'absorption du fer non héminique dans l'intestin (Güneser, 2016).

Cette tisane, nommée **FerVert**, s'inscrit dans une logique de valorisation des ressources phytothérapeutiques locales, avec un double objectif : proposer une alternative naturelle, accessible et bien tolérée pour la prévention de l'anémie, et initier une dynamique entrepreneuriale à travers un projet de startup innovant. En effet, la synergie entre les composants de ces plantes pourrait offrir un produit à la fois fonctionnel et efficace (Zhao et al., 2019).

Le présent mémoire a pour objectif d'évaluer la composition phytochimique des ingrédients et du produit final (teneur en fer, polyphénols, flavonoïdes, tanins), d'analyser ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires in vitro, de vérifier sa sécurité par la recherche de métaux lourds (plomb, cadmium, aluminium, etc.), et de poser les bases scientifiques et techniques pour un développement futur à échelle industrielle.

INTRODUCTION

Ce travail se veut ainsi une contribution à la fois scientifique et socio-économique, en réponse à un besoin de santé publique réel.

Partie théorique

Chapitre I

Anémie ferriprive

1. Le sang

1.1. Définition du sang :

Le sang est un tissu conjonctif spécialisé, Il est contenu dans les vaisseaux sanguins. et le cœur, notamment grâce à la pompe cardiaque. Il est composé d'un fluide aqueux, le plasma, et de milliards de cellules, principalement les globules rouges, qui lui donnent sa couleur. **(Marieb & Hoehn, 2018).**

Le sang est un liquide essentiel au fonctionnement de l'organisme. Il circule dans le système vasculaire et assure de nombreuses fonctions vitales, **(Marieb & Hoehn, 2018).**

Le sang, le cœur et les vaisseaux sanguins forment le système cardiovasculaire. La lymphe, les vaisseaux lymphatiques qui la transportent, ainsi que les structures et les organes contenant le tissu lymphoïde associé aux muqueuses, composé de grandes masses de Globules blancs appelés lymphocytes constituent le système lymphatique. **(Guyton & Hall, 2020).**

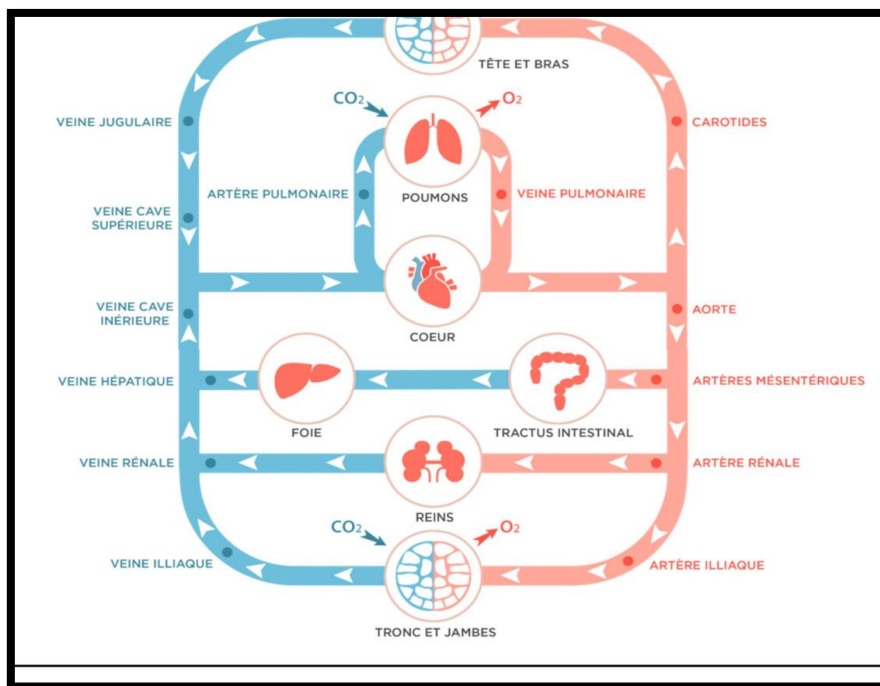


Figure 1 : schéma du système circulatoire humain (Liryc, 2025)

Le sang représente environ 7% du poids corporel, soit un volume moyen de 5 litres chez un adulte.

Il assure le transport et la distribution, à travers l'organisme, des éléments essentiels à la survie et au bon fonctionnement physiologique, tels que l'O₂, les nutriments, les hormones et les cellules immunitaires. Il participe également à l'élimination des déchets métaboliques, notamment le CO₂ et les composés azotés **(Tortora G & Derrickson B., 2017)**

Chapitre I : Anémie ferriprive

Après centrifugation, le sang se sépare en trois couches distinctes (voir Figure 2), selon la densité de ses constituants :

- La couche supérieure, liquide, appelée plasma, représente environ 55 % du volume sanguin. Elle est composée majoritairement d'eau, de protéines, d'électrolytes, de nutriments et de déchets.
- La couche inférieure regroupe les érythrocytes ou GR, les éléments les plus denses, représentant environ 45 % du volume.
- Entre les deux se trouve une fine zone blanchâtre, le « buffy coat », contenant les leucocytes et les plaquettes, représentant moins de 1 % du volume.

Ces éléments figurés sont en suspension dans le plasma et circulent dans le corps grâce aux contractions cardiaques. Grâce à cette composition complexe, le sang constitue un outil diagnostique précieux, utilisé dans de nombreux examens médicaux pour détecter ou surveiller diverses pathologies (Tortora G & Derrickson B., 2017)

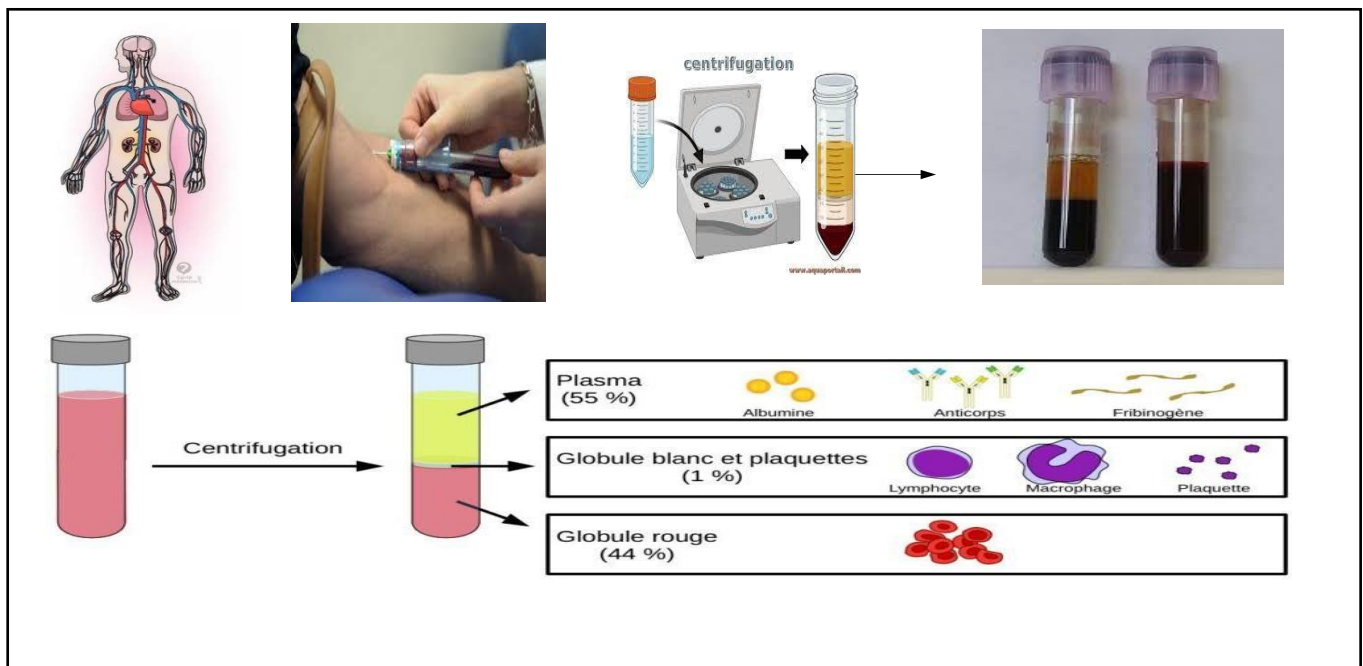


Figure 2 : Schéma des étapes de séparation des constituants du sang (www.souslemicroscope.com).

1.2. Fonctions principales du sang :

Le transport : Le sang transporte l'O₂ des poumons vers les cellules de l'organisme et le CO₂ des cellules vers les poumons. Il apporte également aux cellules les nutriments en provenance du tube digestif et les hormones sécrétées par les glandes endocrines. Finalement, il élimine les déchets produits par les cellules. (Marieb & Hoehn K., 2018).

Chapitre I : Anémie ferriprive

La régulation : Le sang régularise le pH au moyen de systèmes tampons ; il contrôle aussi la température corporelle grâce aux propriétés d'absorption de chaleur et de refroidissement de son contenu aqueux. L'excès de chaleur corporelle est transporté par le sang vers la peau d'où il est dissipé dans l'environnement. De plus, la pression osmotique du sang flue aussi la teneur en eau des cellules, surtout par l'intermédiaire des ions et des Prot dissous dans le sang **(Marieb& Hoehn., 2018).**

La protection : Le sang protège l'organisme contre les pertes sanguines grâce au mécanisme de la coagulation. Il contient, en outre, des globules blancs phagocytaires et des protéines plasmatiques spécialisées, dont les AC, l'IFN et le complément, qui défendent l'organisme contre les toxines et les agents pathogènes **(Marieb & Hoehn 2018).**

1.3. Rôle du sang dans le diagnostic médical

Grâce à sa composition variée, le sang permet de diagnostiquer de nombreuses pathologies via des différents examens biologiques parmi les plus courants figurent :

- NFSs et Dosage du fer, de la ferritine, des vitamines, etc
- Les marqueurs d'inflammation comme la CRP.

Ces analyses permettent d'orienter le diagnostic et d'assurer le suivi de diverses pathologies, notamment les anémies, les infections, les carences, ou encore certains maladies chroniques **(Guyton et Hall.,2020).**

1.4. Composition du sang

Le sang est constitué de deux éléments principaux : le plasma (partie liquide) et les éléments figurés (cellules).

1.4.1. Plasma sanguin

Le plasma sanguin constitue la phase liquide du sang et représente environ 55% de son volume total. Il est composé à 90 % d'eau, et contient des protéines plasmatiques (ALB, GLB, FIB), des électrolytes, des glucides, des lipides, des vitamines, des hormones, ainsi que d'autres petites molécules. Ce milieu joue un rôle essentiel dans le transport des nutriments, la régulation de l'équilibre hydrique, et le maintien de l'homéostasie métabolique. **(Guyton et Hall., 2020).**

Tableau 1 –les substances du plasma et leurs descriptions

LES SUBSTANCES DU PLASMA	
Composant	Description
EAU	Partie liquide du sang qui constitue environ 91,5 % du plasma. Agit comme solvant et milieu de suspension pour les composants solides du sang ; absorbe, transporte et élimine la chaleur.
SOLUTÉS	Constituent environ 8,5 % du plasma
PROTÉINES	
Albumines	Les plus petites protéines plasmatiques. Produites par le foie, elles exercent une pression osmotique considérable afin de maintenir l'équilibre hydrique entre le sang et les tissus, et de régler le volume sanguin. Elles agissent comme protéines porteuses pour certaines hormones stéroïdes.
Globulines	Groupe de protéines auquel appartiennent les anticorps (ou immunoglobulines). Les globulines sont produites par le foie et les plasmocytes dérivés des lymphocytes B. Les anticorps s'attaquent aux virus des oreillons, de l'hépatite et de la poliomyélite, ainsi qu'à la bactérie du tétanos. Les alpha-globulines et les bêta-globulines transportent le fer, les graisses et les vitamines liposolubles dans le sang.
Fibrinogène	Produit par le foie. Joue un rôle essentiel dans la coagulation.
DÉCHETS	La plupart sont des produits de dégradation du métabolisme des protéines et sont transportés par le sang vers les organes d'excrétion. Ils comprennent l'urée, l'acide urique, la créatinine, la bilirubine et les sels d'ammonium.
NUTRIMENTS	Produits de la digestion qui passent dans le sang pour être distribués aux cellules de l'organisme. Comprennent les acides aminés (formés à partir des protéines), le glucose (formé à partir des glucides), les acides gras et le glycérol (formés à partir des triglycérides).
SUBSTANCES RÉGULATRICES	Enzymes produites par les cellules de l'organisme pour catalyser les réactions chimiques. Hormones produites par les glandes endocrines pour régler la croissance et le développement de l'organisme.
GAZ	Oxygène (O ²), gaz carbonique (CO ²) et azote (N ²). L'oxygène est surtout associé à l'hémoglobine des érythrocytes, alors que le gaz carbonique se retrouve surtout dissous dans le plasma. L'azote ne semble pas avoir de fonction dans l'organisme.
ÉLECTROLYTES	Sels inorganiques. Les cations comprennent Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ ; les anions comprennent Cl ⁻ , HPO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ²⁻ . Ils aident à maintenir la pression osmotique et servent en tant que minéraux essentiels.

1.4.2. Les éléments figurés

Les éléments figurés du sang comprennent :

1.4.2.1. Les plaquettes

Les plaquettes sanguines (ou thrombocytes) sont de petites structures cellulaires anucléées dérivées de la fragmentation du mégacaryocyte, une cellule issue de la lignée myéloïde au sein de la moelle osseuse. Lors du processus de thrombopoïèse, les mégacaryocytes émettent des pro-plaquettes qui se détachent et acquièrent une bicouche phospholipidique. Ces plaquettes incorporent des éléments cytoplasmiques, notamment des granules alpha (contenant des protéines comme le FIB et le facteur de croissance plaquettaire) et des granules denses (riches en calcium, ADP, et sérotonine), ainsi que divers organites tels que Les mitochondrie et les ribosomes. Fonctionnellement, les PLT jouent un rôle central dans l'hémostase primaire, en intervenant rapidement après une lésion vasculaire. Elles adhèrent aux protéines de matrice extracellulaire, s'activent, puis s'agrègent pour former un thrombus plaquettaire, participant ainsi à l'arrêt du saignement (Guyton& Hall., 2020).

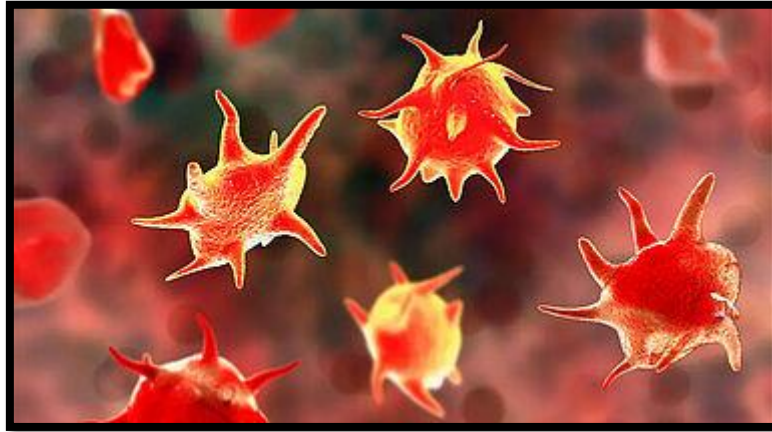


Figure 3 les plaquettes sanguines (Manon .,2022)

1.4.2.2. Les hématies

Les érythrocytes, également appelés globules rouges (GR) ou hématies, représentent la population cellulaire la plus abondante dans le sang, constituant environ 94 % des cellules sanguines. Leur concentration moyenne est estimée entre $4,6$ à $6,1 \times 10^{12}/L$ chez l'homme et $4,2$ à $5,4 \times 10^{12}/L$ chez la femme. Morphologiquement, ce sont des disques biconcaves dépourvus de noyau et d'organites, mesurant $6,5$ à $8,5 \mu m$ de diamètre et $1,5$ à $2,5 \mu m$ d'épaisseur. Cette forme particulière maximise la surface d'échange pour les gaz respiratoires et confère une grande déformabilité, essentielle pour la circulation dans les capillaires étroits. (McKenzie et al., 2022).

Les érythrocytes ont une durée de vie moyenne de 120 jours. Leur fonction principale est le transport de l' O_2 , grâce à la molécule d'Hb qu'ils contiennent en grande quantité. Celle-ci fixe l' O_2 dans les poumons et le libère au niveau des tissus périphériques. Par ailleurs, les hématies participent au transport du CO_2 , Majoritairement sous forme de bicarbonate, des tissus vers les poumons où il sera excrété. (Guyton et Hall., 2020).

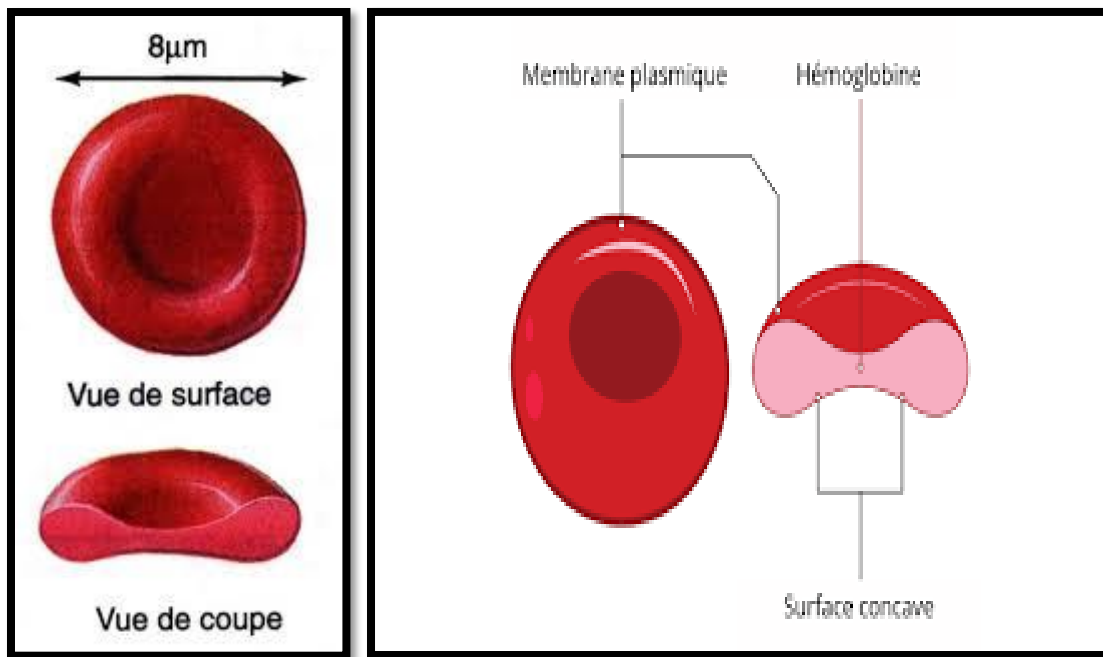


Figure 4 Structure et forme des globules rouges humains (Bouroubi A.,2020)

1.4.2.3. Les cellules du système immunitaires

Le système immunitaire repose sur les leucocytes (GB), qui assurent la défense de l'organisme contre les agents pathogènes, les cellules anormales (comme les cellules cancéreuses) et les débris cellulaires. Il distingue les éléments du "soi" de ceux du "non-soi", permettant ainsi de préserver l'homéostasie et de prévenir les infections et les maladies auto-immunes (**Abbas *et al.*, 2022**). Les cellules "non-soi" peuvent être exogènes (bactéries, virus, toxines) ou endogènes (cellules lésées ou tumorales). Les leucocytes sont identifiables au frottis sanguin coloré au MGG, et se divisent en deux grandes familles selon la morphologie nucléaire :

- À noyau monolobé : lymphocytes, monocytes, macrophages.
- À noyau plurilobé: granulocytes (neutrophiles, éosinophiles, basophiles).

Chaque type cellulaire participe à l'immunité innée ou adaptative, selon ses caractéristiques et fonctions spécifiques (**Abbas A et al., 2022**).

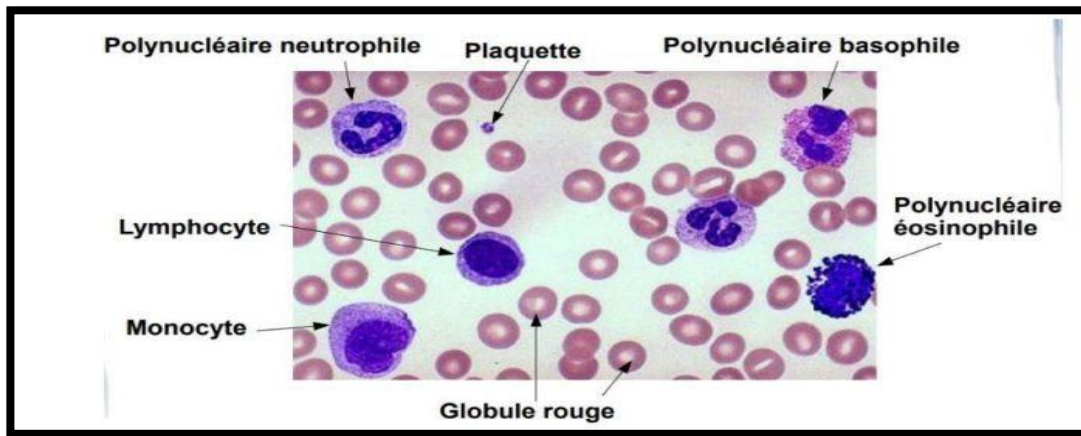


Figure 5 : Image microscopique d'un frottis sanguin (www.Shutterstock.com)

1.4.2.3.1. Globules blancs

Les globules blancs, ou leucocytes, constituent une composante essentielle du système immunitaire. Bien que leur concentration dans le sang soit nettement inférieure à celle des érythrocytes (environ $4 \text{ à } 11 \times 10^9/\text{L}$), ils jouent un rôle clé dans la protection de l'organisme contre les infections et les cellules anormales. Ils représentent moins de 1 % du volume sanguin total.

On distingue deux grandes catégories fonctionnelles de leucocytes :

- Les leucocytes non spécifiques : neutrophiles, éosinophiles, basophiles et monocytes, qui réagissent à divers types de stimuli.
- Les lymphocytes, qui orchestrent la réponse immunitaire adaptative, spécifique à chaque pathogène, par la production d'AC ou l'activation de cellules cytotoxiques. (Abbas A et al ., 2022).

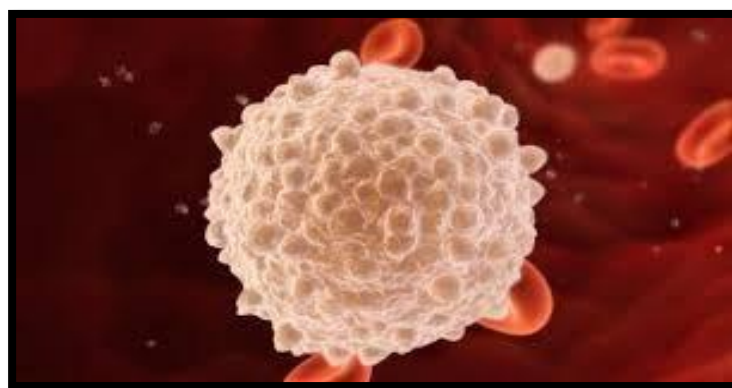


Figure 6 Globule blancs (leucocyte) (www.Shutterstock.com)

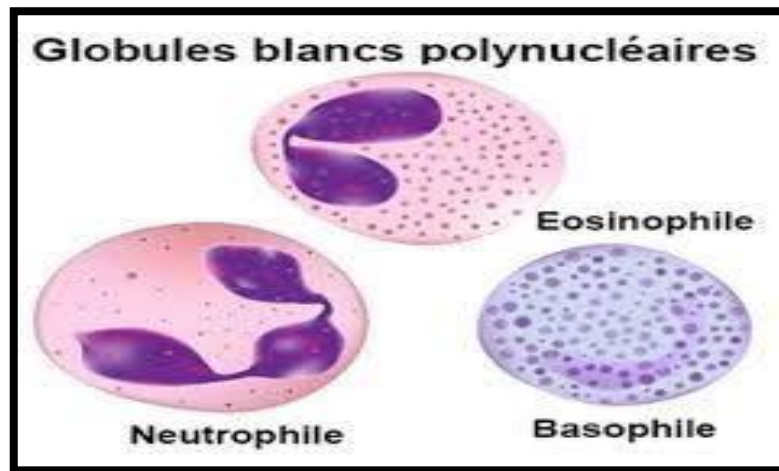


Figure 7 Morphologie des différents globules blancs (www.Shutterstock.com)

1.4.2.3.2. Granulocytes

Les granulocytes, également appelés polynucléaires, sont des cellules issues de la moelle osseuse qui participent activement à la réponse immunitaire innée, c'est-à-dire une défense rapide, non spécifique, contre une grande variété d'agents pathogènes. Ces cellules sont principalement impliquées dans la lutte contre les bactéries, champignons, parasites, ainsi que contre les particules étrangères. (Abbas A et al 2022).

On distingue trois sous-types majeurs de granulocytes :

- Les neutrophiles, qui représentent la première ligne de défense contre les infections bactériennes par phagocytose.
- Les éosinophiles, spécialisés dans la réponse aux parasites et impliqués dans les réactions allergiques.
- Les basophiles, qui interviennent dans les processus inflammatoires et allergiques par la libération d'histamine et d'autres médiateurs chimiques.

1.4.2.3.3. Polynucléaires neutrophiles

Les neutrophiles, ou polynucléaires neutrophiles (PN), sont des cellules clés de l'immunité innée, constituant la première ligne de défense contre les agents pathogènes, notamment les bactéries et les champignons. Ils détectent les structures étrangères via des PRR, et interviennent rapidement au niveau des barrières muqueuses et cutanées.

Sur le plan morphologique, les neutrophiles matures possèdent un noyau segmenté (2 à 5 lobes), facilitant leur passage à travers l'endothélium pour atteindre les foyers infectieux. Les formes immatures, dites en bande, présentent un noyau non segmenté qui évolue au cours de leur maturation (Delves *et al.*, 2017).

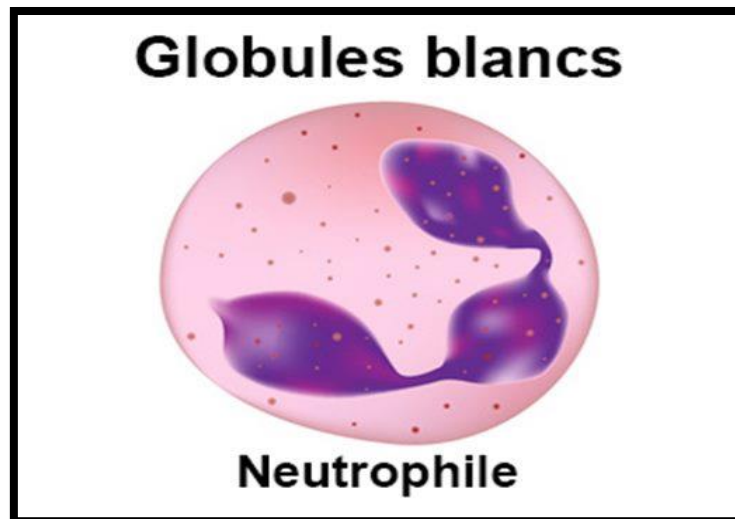


Figure 8 Les polynucléaires neutrophiles humains (PN)(www.Shutterstock.com)

1.4.2.3.4. Polynucléaires basophiles

Les basophiles sont des granulocytes d'origine myéloïde, représentant moins de 1 % des leucocytes circulants. D'un diamètre de 7 à 12 μm , leur noyau polylobé est souvent masqué par de nombreuses granulations cytoplasmiques, riches en histamine, héparine et enzymes. Ces médiateurs sont libérés lors des réactions d'hypersensibilité immédiate et participent à la réponse inflammatoire. Malgré leur rareté, ils jouent un rôle important dans les processus allergiques (Kubo, M. 2018).

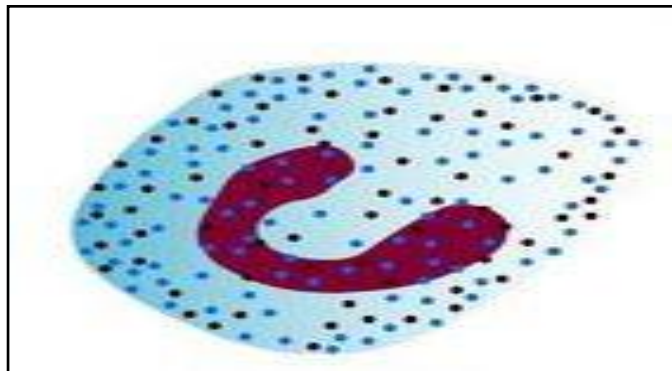


Figure 9 cellule polynucléaires basophile (www.Shutterstock.com)

1.4.2.3.5. Polynucléaires éosinophile

Les éosinophiles sont des leucocytes dérivés de progénitures hématopoïétiques de la moelle osseuse exprimant CD34. Autre fois considérés comme secondaires, ils sont désormais reconnus pour leur rôle actif dans la régulation des réponses inflammatoires et immunitaires. Recrutés sur les sites d'inflammation, ils libèrent des médiateurs cytotoxiques et sécrètent des cytokines Th1/Th2 ainsi que des chimiokines, contribuant ainsi au maintien de l'homéostasie

immunitaire (Gigon L et al., (2023).

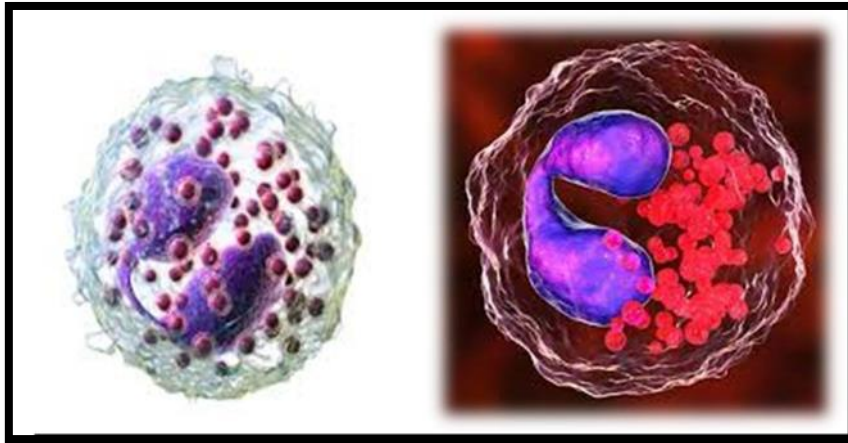


Figure 10: cellule polynucléaires éosinophile (www.Shutterstock.com)

1.4.2.3.6. Mononucléaires

1.4.2.3.6.1. Monocytes

Les monocytes représentent 2 à 8 % des leucocytes circulants. Ce sont de grandes cellules au noyau en forme de haricot, présentes brièvement dans le sang (environ 24 h) avant de migrer vers les tissus où elles se différencient en macrophage (Liu Y et al., 2025).

Les macrophages sont spécialisés dans la phagocytose et jouent un rôle crucial dans la défense immunitaire, en éliminant virus, parasites intracellulaires et agents infectieux chroniques (ex. : *Mycobacterium tuberculosis*). Ils sécrètent des médiateurs chimiques attirant d'autres cellules immunitaires et recrutent des fibroblastes pour initier la réparation tissulaire (Zhou Y et al., 2025).

Ils assurent également la phagocytose des cellules sénescents (dont les GR altérés), la dégradation des parasites intracellulaires, ainsi que le stockage du fer sous forme de ferritine ou hémossidérine. Toutefois, une activation excessive peut contribuer à l'anémie des maladies chroniques.(Zhang X et al., 2023).

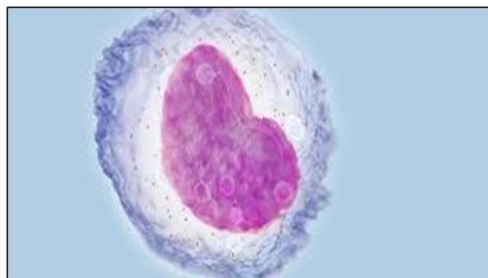


Figure 11 cellule monocyte (www.Shutterstock.com)

1.4.2.3.6.2. Lymphocytes

Chapitre I : Anémie ferriprive

Les lymphocytes sont des cellules immunocompétentes appartenant à la lignée lymphoïde, jouant un rôle central dans la réponse immunitaire acquise, spécifique et plus lente que l'immunité innée. On en compte entre 5×10^{11} et 2×10^{12} chez un adulte sain, répartis dans les organes lymphoïdes. (Abbas, Lichtman, & Pillai, 2020)

Il existe trois types principaux :

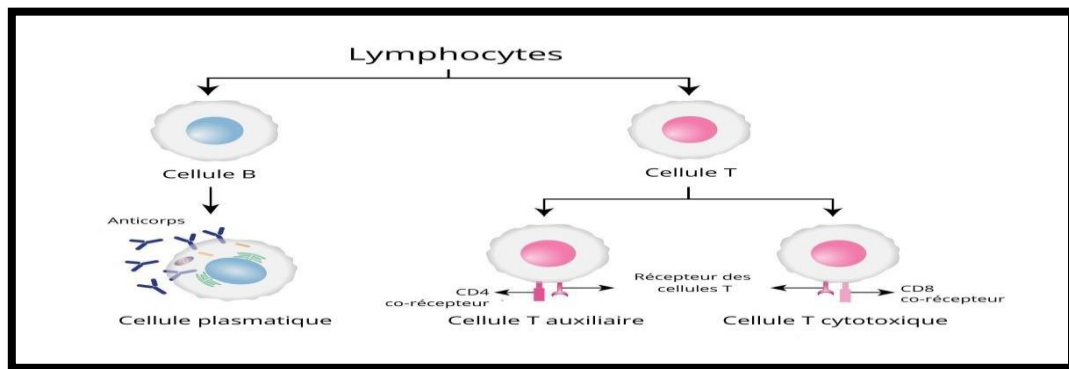


Figure 12 Lymphocytes et leurs types (www.Shutterstock.com)

Cellule	Illustration	Description*	Nombre de cellules par litre de sang	Durée du développement (D) et de la vie (V)	Fonction
Érythrocytes (globules rouges)		Disques biconcaves, anucléés; couleur saumon; de 7 à 8 μm de diamètre	De $4 \text{ à } 6 \times 10^{12}$	D: de 5 à 7 jours V: de 100 à 120 jours	Transport de l'oxygène et du gaz carbonique
Leucocytes (globules blancs)		Cellules sphériques nucléées	De $4,8 \text{ à } 10,8 \times 10^9$		
Granulocytes					
▪ Granulocytes neutrophiles		Noyau plurilobé; granulations cytoplasmiques difficilement visibles; de 10 à 12 μm de diamètre	De $3 \text{ à } 7 \times 10^9$	D: de 6 à 9 jours V: de 6 h à quelques jours	Phagocytose des bactéries
▪ Granulocytes éosinophiles		Noyau bilobé; granulations cytoplasmiques rouges difficilement visibles; de 10 à 14 μm de diamètre	De $0,1 \text{ à } 0,4 \times 10^9$	D: de 6 à 9 jours V: de 8 à 12 jours	Destruction des vers parasites et des complexes antigène-anticorps; inactivation de certaines substances chimiques allergènes associées à la réaction inflammatoire
▪ Granulocytes basophiles		Noyau lobé; grosses granulations cytoplasmiques bleu violet; de 8 à 10 μm de diamètre	De $0,02 \text{ à } 0,05 \times 10^9$	D: de 3 à 7 jours V: ? (de quelques heures à quelques jours)	Libération de l'histamine et d'autres médiateurs chimiques associés à la réaction inflammatoire; contient de l'héparine, un anticoagulant
Agranulocytes					
▪ Lymphocytes		Noyau sphérique ou échancré; cytoplasme violacé; de 5 à 17 μm de diamètre	De $1,5 \text{ à } 3,0 \times 10^9$	D: de quelques jours à quelques semaines V: de quelques heures à quelques années	Défense de l'organisme par l'attaque directe de cellules ou par l'entremise d'anticorps
▪ Monocytes		Noyau en forme de U ou de haricot; cytoplasme gris bleu; de 14 à 24 μm de diamètre	De $0,1 \text{ à } 0,7 \times 10^9$	D: de 2 à 3 jours V: plusieurs mois	Phagocytose; transformation en macrophages dans les tissus
Plaquettes		Fragments cytoplasmiques discoides contenant des granulations violettes; de 2 à 4 μm de diamètre	De $150 \text{ à } 400 \times 10^9$	D: de 4 à 5 jours V: de 5 à 10 jours	Réparation des petites déchirures des vaisseaux sanguins; coagulation

2. GÉNÉRALITÉS SUR L'HÉMATOPOÏÈSE

2.1. Définition

Le terme "hématopoïèse" désigne l'ensemble des mécanismes physiologiques responsables de la production et du renouvellement continu des cellules sanguines. Ce processus complexe assure un équilibre dynamique entre la formation, la maturation et la libération des différentes lignées cellulaires, dont la durée de vie varie selon leur fonction, allant de quelques heures à plusieurs mois ou années.

Le processus hématopoïétique comprend trois compartiments : les progéniteurs hématopoïétiques, les précurseurs et les cellules différenciées. (Guyton & Hall, 2016)

L'hématopoïèse post-embryonnaire dans la moelle osseuse: L'hématopoïèse post-vie du fœtus dans la moelle osseuse se produit chez l'homme. Jusqu'à l'âge de quatre ans, tous les os ont une activité hématopoïétique, après quoi l'hématopoïèse se produit principalement dans des os courts et plats. La plupart des cellules sanguines matures ne prolifèrent pas et n'ont pas d'espérance de vie limitée (moyenne de 120 jours pour les GR, 7 jours pour les plaquettes et 24 heures pour les PN neutrophiles), mais le nombre reste constant. (Guyton & Hall, 2016)

L'hématopoïèse et le renouvellement continu: L'hématopoïèse est un processus qui permet la production et le renouvellement continus et finement régulés des cellules sanguines. Ce renouvellement des cellules dynamiques, maintenu pendant la survie humaine, permet une réserve de cellules souches dans la moelle osseuse : les cellules souches hématopoïétiques. Ces cellules pluripotentes sont à l'origine de toutes les cellules sanguines. (Guyton & Hall, 2016)

Les cellules souches : Les cellules souches sont des cellules immatures totipotentes avec le potentiel de devenir presque tous les types de cellules somatiques. Elles sont présentes en très petite quantité dans le corps. Pendant le processus d'hématopoïèse, ces cellules souches deviennent les premières cellules de remplacement grâce à une série de transformations. Selon le processus de différenciation, ces cellules progénitrices forment des cellules précurseurs, qui deviennent des cellules sanguines matures après multiplication et maturation. Ces cellules matures migrent vers le sang et les organes lymphoïdes secondaires (comme les ganglions lymphatiques, la rate, le foie). (Guyton & Hall, 2016)

Les axes de différenciation de la moelle osseuse : La moelle osseuse a deux axes principaux de différenciation pour ces cellules souches : les cellules myéloïdes et lymphoïdes. Les lymphoïdes donneront différents types de lymphocytes (B, T et NK), tandis que les cellules

Chapitre I : Anémie ferriprive

myéloïdes sont impliquées dans la production de quatre lignées de cellules sanguines : les érythrocytes, les granulocytes, les monocytes et les PLT. Dans la vie humaine, il est essentiel que le corps régule continuellement la production de cellules sanguines. Un dysfonctionnement de ce processus peut entraîner des maladies graves telles que la leucémie et le lymphome. (Hoffbrand V et al., 2019)

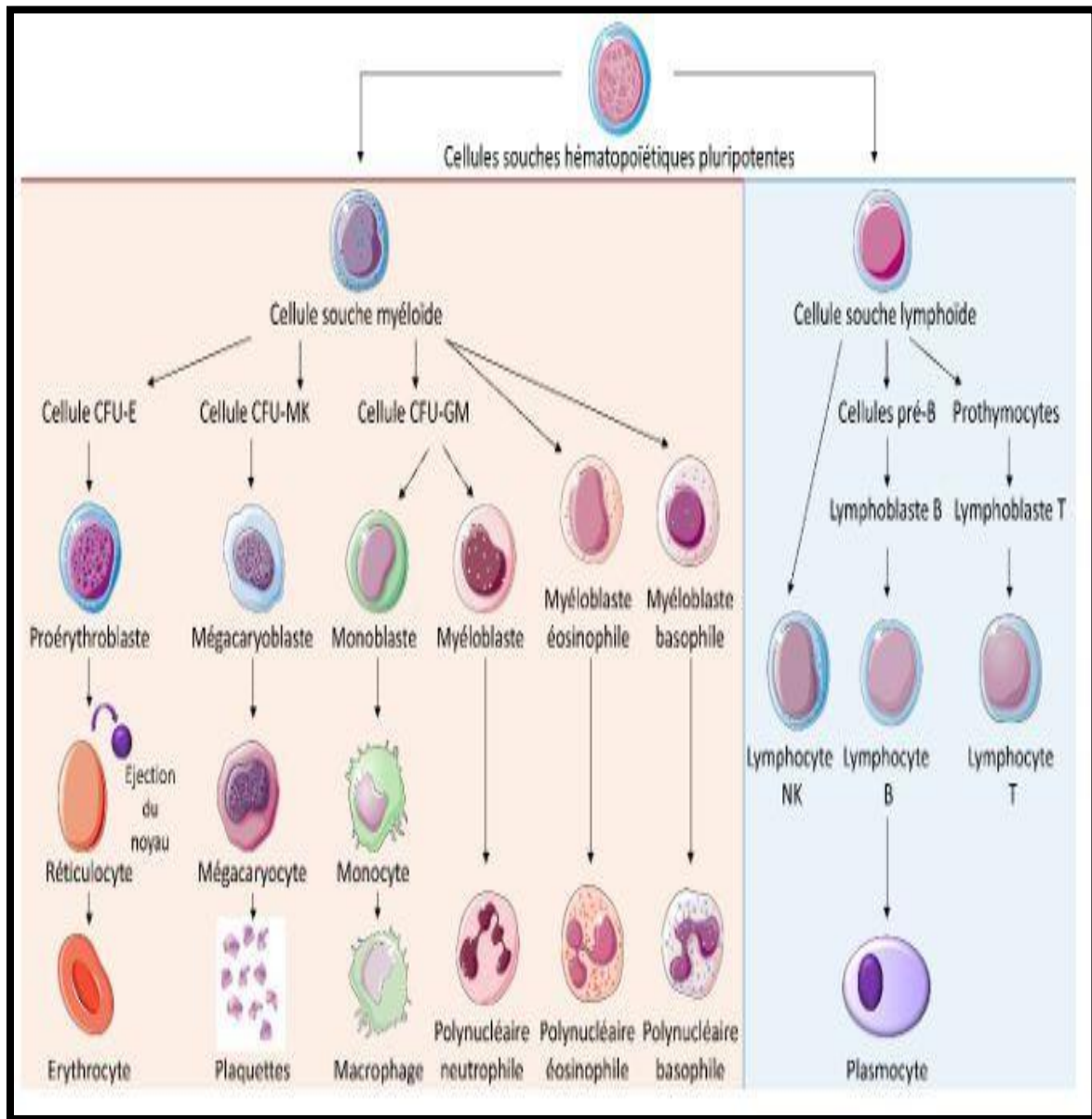


Figure 14 Une représentation schématique l'hématopoïèse humaine de l'adulte.

2.2. L'érythropoïèse

L'érythropoïèse, terme issu du grec ancien *erythros* (« rouge ») et *poiêsis* (« création »), désigne le processus de formation des GR à partir des cellules souches, un processus essentiel pour le transport de l'oxygène dans l'organisme (Hoffbrand & Moss., 2019). Dans des conditions

Chapitre I : Anémie ferriprive

normales, environ 250 milliards d'érythroblastes sont présents dans la moelle osseuse et 2500 milliards de GR circulent dans le sang. Ce processus constitue l'un des systèmes de régulation les plus importants des organismes vivants, étant responsable de la production de près de 2 millions de GR par seconde chez l'être humain. L'érythropoïèse nécessite des ajustements très précis pour garantir la production de GR adaptés aux besoins physiologiques de l'individu (**Hoffbrand *et al.*, 2019**). Les facteurs essentiels impliqués dans ce processus comprennent l'EPO et le SCF, qui jouent un rôle important dans la régulation de la formation des GR. Les récepteurs pour l'EPO (EPO-R) et le SCF (C-KIT) sont fortement exprimés tout au long de la maturation des érythrocytes, facilitant ainsi la régulation de ce processus (**Turgeon, 2018**). De plus, les érythroblastes expriment de manière significative le récepteur à la transferrine (TfR1), qui permet l'absorption du fer nécessaire à la synthèse de l'hémoglobine. La transferrine, une protéine de transport du fer, se lie à TfR1, induisant ainsi l'entrée du fer dans les cellules. La transferrine chargée en fer est appelée holoTf (**Turgeon, 2018**)

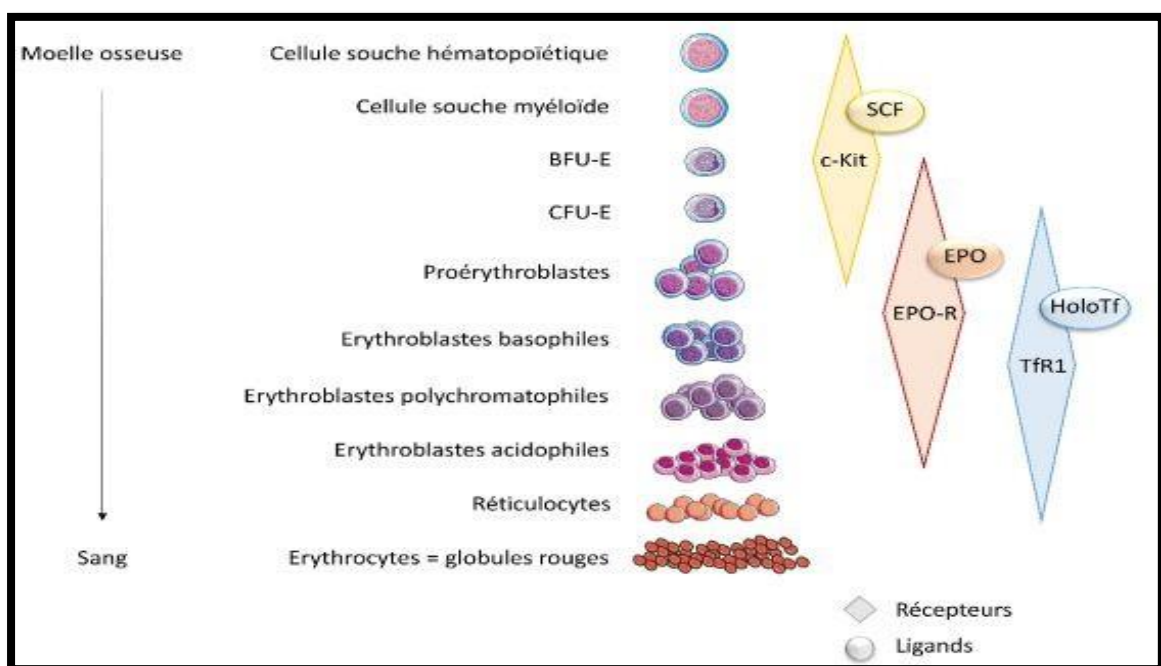


Figure 15 Représentation schématique de l'érythropoïèse (rôle de transferrine et d'un phytoestrogène). (Guillemette Fouquet, 2019)

2.2.1. Les éléments nécessaires à l'érythropoïèse :

Les éléments nécessaires à l'érythropoïèse incluent des nutriments tels que les acides aminés, les glucides et les lipides, mais également des facteurs de croissance essentiels comme le fer, l'acide folique et la vitamine B12 (**Hoffbrand & Moss., 2019**).

Le fer est un élément crucial de la molécule d'Hb, car c'est lui qui fixe l'oxygène. Dans les

Chapitre I : Anémie ferriprive

organismes vivants, le fer, lorsqu'il n'est pas lié à l'Hb, existe dans les réserves sous forme liée ou en circulation. Dans les deux cas, il n'est pas libre, mais est immobilisé sur des protéines. Un déficit en fer entraîne une diminution de la production d'Hb, ce qui rend le transport de l'O₂ moins efficace et peut conduire à une anémie ferriprive. Il existe deux types de réserves de fer

- Une réserve rapidement accessible : la ferritine.
- Une réserve lentement disponible : l'hémosidérine. Le fer en circulation dans le plasma est lié à la sidérophiline, également connue sous le nom de transferrine (**Turgeon L., 2018**)

L'acide folique est une vitamine essentielle pour la synthèse des cellules d'érythropoïèse. Il est absorbé au niveau de l'intestin grêle. Une carence en acide folique interfère avec la prolifération et la maturation des érythrocytes (**Hoffbrand & Moss., 2019**).

La vitamine B12 est une molécule contenant du cobalt, appartenant au groupe des cobalamines. Les besoins quotidiens sont faibles, de l'ordre de 1 µg, et elle est principalement obtenue par l'alimentation. La vitamine B12 est stockée en grande quantité dans le foie (**Hoffbrand A& Moss P., 2019**).

3. Le fer :

3.1. Définition et rôles du fer

Le fer est un cation essentiel au bon fonctionnement de l'organisme, et il existe sous deux formes d'oxydation : ferrique (Fe³⁺) et ferreuse (Fe²⁺). Seule la forme ferreuse (Fe²⁺) est biologiquement active et utilisable par les cellules humaines. En tant que cofacteur, le fer joue un rôle clé dans de nombreux processus biochimiques, en facilitant l'action de diverses protéines.

Sa principale fonction réside dans sa participation à la formation de l'hème, composant fondamental de l'hémoglobine, qui permet le transport de l'O₂ dans tout l'organisme. Le fer intervient également dans le transport des électrons, la respiration cellulaire, et la synthèse de l'ADN (**Muckenthaler et al., 2017**).

Cependant, en raison de sa grande réactivité, le fer à l'état libre peut participer à des réactions d'oxydoréduction, générant des radicaux libres responsables d'un stress oxydatif pouvant nuire aux cellules. Afin de prévenir cette toxicité, l'organisme a mis en place des systèmes de transport et de stockage sophistiqués. Ainsi, le fer est transporté dans le sang par la transferrine et stocké sous une forme non toxique dans la ferritine, principalement dans le foie (**Muckenthaler et al., 2017**).

Environ 65 % du fer total de l'organisme est intégré dans des structures héminiques, telles que

Chapitre I : Anémie ferriprive

l'Hb (qui à elle seule représente 60 %), la myoglobine, et certaines enzymes respiratoires (cytochromes, oxydases, peroxydases). Le reste (35 %) constitue les réserves non héminiques, entièrement captées par la ferritine (**Knutson M.,2017**).

Ainsi, près de 92% du fer mobilisable est destiné à la synthèse de l'hémoglobine dans les GR, dont près de 200 milliards sont produits chaque jour. Cette activité nécessite 25 à 30 mg de fer par jour, besoins essentiellement couverts par le recyclage du fer héminique par les macrophages tissulaires lors de la phagocytose des hématies sénescents et du catabolisme de l'hème. En comparaison, l'absorption intestinale quotidienne de fer est faible (1 à 2 mg), et elle sert principalement à compenser les pertes naturelles telles que la desquamation cutanée, les pertes digestives et menstruelles, entre autres (**Andrews N., 1999**).

 Fer +7 +6 ... +3 +2 ... -2 -4 762,5 1,83 26 Fe 2 14 8 2 [Ar] 3d⁶ 4s² 55,845 ②	SYMBOLE : Fe MASSE ATOMIQUE : 55,845 ± 0,002 u NUMÉRO CAS : 7439-89-6 CONFIGURATION ÉLECTRONIQUE : [Ar]4s23d6 NUMÉRO ATOMIQUE : 26 GROUPE : 8 BLOC : Bloc D FAMILLE D'ÉLÉMENTS : Métal de transition ÉLECTRONÉGATIVITÉ : 1,96 POINT DE FUSION : 1 538 °C
--	--

Figure 16 Caractéristique du fer (www.france-mineraux.fr)

3.2. Homéostasie du fer : un circuit fermé

L'homéostasie du fer est principalement régulée par une hormone peptidique appelée hepcidine, produite par le foie. Cette molécule est libérée dans le plasma et rapidement éliminée dans les urines. Elle agit en inhibant la ferroprotéine, une protéine transmembranaire responsable de l'export du fer depuis les antérocytes (au niveau de l'intestin), les macrophages (recyclant le fer des érythrocytes sénescents), et les hépatocytes. En bloquant la ferroprotéine, l'hepcidine réduit ainsi l'absorption intestinale du fer et le recyclage du fer par les macrophages. (**Nemeth E & Ganz T.,2021**).la synthèse de l'hepcidine est stimulée en cas de surcharge en fer ou d'inflammation, notamment via la cytokine IL-6. À l'inverse, elle est inhibée dans des situations

Chapitre I : Anémie ferriprive

de carence martiale ou de stimulation érythropoïétique (comme l'anémie, les hémorragies, l'hémolyse, la dysérythropoïèse ou encore l'administration d'érythropoïétine) (**Muckenthaler M et al., 2017**).

Un défaut d'induction de l'hepcidine en présence d'un excès de fer est à l'origine des hémochromatoses génétiques (formes adulte ou juvénile), tandis qu'un défaut de répression peut conduire à une anémie réfractaire au traitement oral par fer, connue sous le nom d'IRIDA. (**Wilkinson N & Pantopoulos K., 2020**).

Par ailleurs, un défaut d'élimination rénale de l'hepcidine, comme c'est le cas dans l'insuffisance rénale, participe également à l'apparition de l'anémie. De même, une production excessive d'hepcidine dans les états inflammatoires chroniques contribue à l'anémie inflammatoire. Le développement de tests de dosage de l'hepcidine constitue un outil prometteur pour identifier les patients nécessitant un traitement intraveineux en fer dès le départ. (**Pagani A et al., 2019**)

La quasi-totalité du fer biodisponible dans l'organisme provient du recyclage des GR sénescents, par un processus appelé érythrophagocytose. Les érythrocytes ont une durée de vie limitée à environ 120 jours, après quoi ils sont phagocytés principalement par les macrophages localisés dans la rate, la moelle osseuse et le foie, notamment par les cellules de Kupffer. Parmi ces organes, la pulpe rouge de la rate constitue le site principal de dégradation des GR. Environ 90 % des érythrocytes sont ainsi éliminés par cette voie extravasculaire, tandis que les 10 % restants sont dégradés par hémolyse intravasculaire. (**Knutson D., 2017**).

Une fois phagocytée, l'Hb contenue dans les GR est dégradée au sein des macrophages par l'enzyme (HO- 1). Cette dégradation libère trois produits principaux : CO₂, de la bilirubine et du fer. Ce dernier est ensuite soit stocké sous forme non toxique dans des molécules de ferritine, soit exporté dans le plasma via la ferroprotéine, où il est capté par la transferrine, la protéine principale de transport du fer, afin d'être dirigé vers les sites nécessitant du fer, notamment la moelle osseuse pour l'érythropoïèse. (**Knutson D., 2017**).

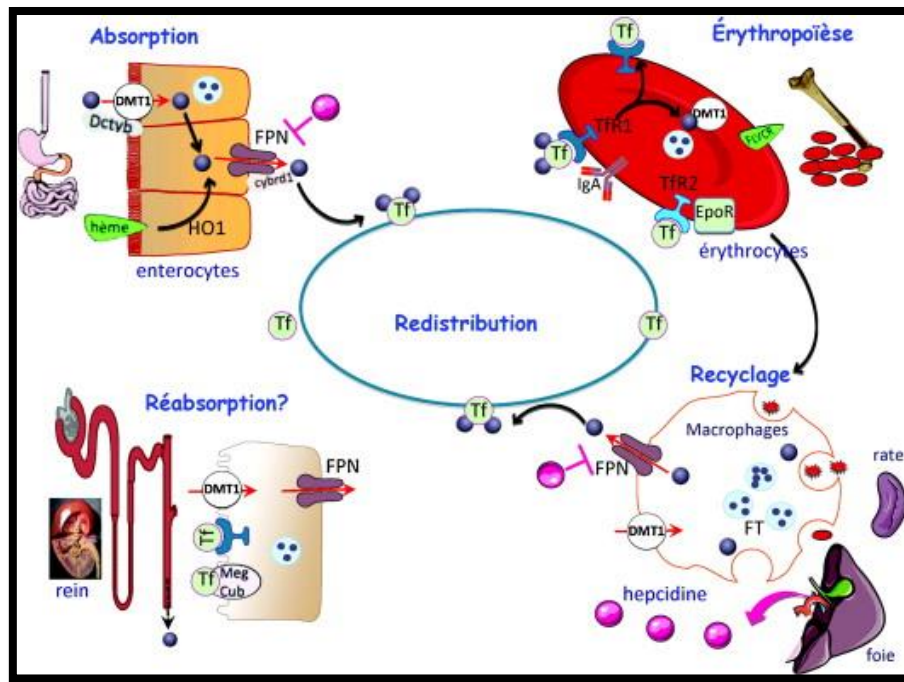


Figure 17 Homéostasie du fer : un circuit fermé (Ganz,&Nemeth.,2012)

cybrd1 : Héphaestine ; DMT1 : co-transporteur Fe(II)-proton ; Dcyt B : cytochrome B duodéal ; EpoR : récepteur de l'érythropoïétine ; FPN : ferroportine ; FT : ferritine ; HO-1 : hème oxygénase 1 ; Meg/Cub : le complexe mégaline/cubuline ; Tf : transferrine ; TFR1/2 : récepteur de la transferrine ½.

Les perturbations du recyclage du fer héminique peuvent engendrer des conséquences significatives et rapides sur la production des GR. Un excès de recyclage peut conduire à une surcharge en fer au niveau des tissus parenchymateux, favorisant ainsi des atteintes toxiques des organes. À l'inverse, une rétention anormale du fer dans les macrophages représente un mécanisme clé dans la physiopathologie des anémies associées aux états inflammatoires, en limitant la disponibilité du fer pour l'érythropoïèse (Wang & Pantopoulos K.,2022).

3.3. L'apport alimentaire quotidien nécessaire en fer en fonction des besoins

Le fer, un élément indispensable pour l'homme, mais un apport nutritionnel difficile à assurer

Chapitre I : Anémie ferriprive

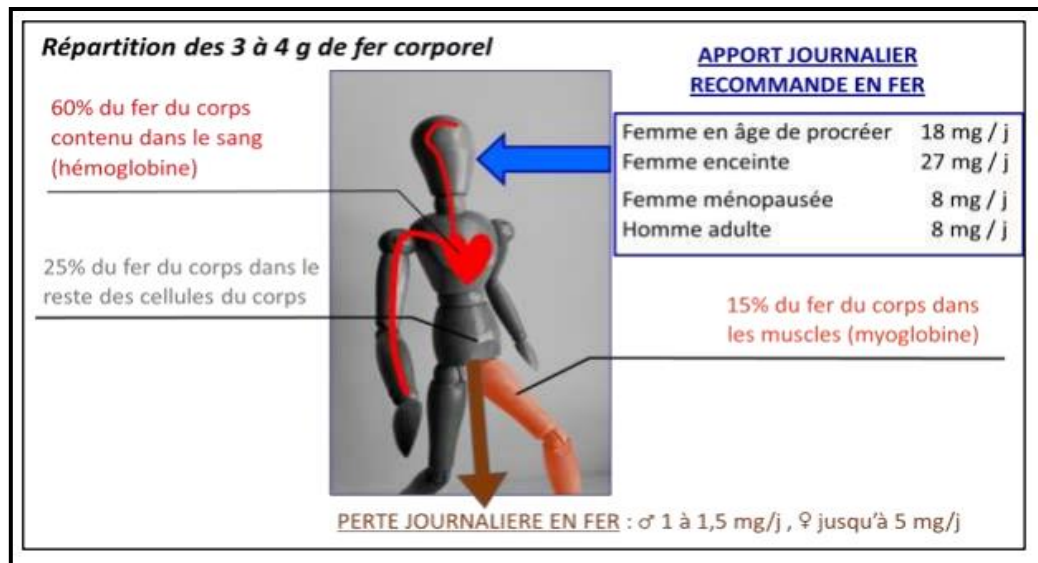


Figure 18 répartition du fer et apports journalières recommandés.

Comme l'illustre la figure 18, le fer est continuellement perdu par l'organisme à travers divers mécanismes physiologiques: transpiration, desquamation de la peau, renouvellement des cellules intestinales, excrétion fécale, ainsi que par les pertes sanguines, notamment les menstruations chez la femme. Chez l'homme adulte ou la femme ménopausée, ces pertes sont estimées à environ 14 µg/kg de poids corporel par jour, soit approximativement 1 mg/j (Cayot *et al.*, 2013). En revanche, chez une femme en âge de procréer, les pertes peuvent atteindre jusqu'à 5 mg/j, en raison des menstruations. (Cayot N *et al.*, 2013).

Durant la grossesse, les besoins en fer augmentent de manière significative pour couvrir les besoins du fœtus et du placenta, rendant l'équilibre nutritionnel encore plus important. Ainsi, AJR en fer varient selon le sexe et l'âge :

- 25 mg/j pour une femme en âge de procréer.
- 12 mg/j pour un homme adulte.
- 6 à 10 mg/j pour un enfant.

Les sources alimentaires riches en fer comprennent:(ANSES,2016).

- Fer héminique (absorption+++): viandes rouges ,abats ,poisson.
- Fer non héminique : légumineuses, légumes verts à feuilles, céréales complètes (absorption modulée par la présence de vitamine C, phytates ou tannins).

Chapitre I : Anémie ferriprive

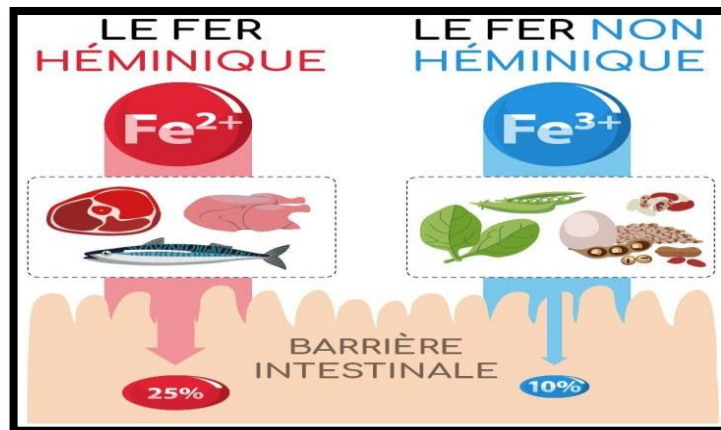


Figure 19 Répartition du fer héminique et non héminique dans l'alimentation (Fondation Nutrixeal Info, 2021)

Condition de varier les sources alimentaires et d'avoir un apport régulier (ANSES,2016)

Il est important de noter que le fer d'origine alimentaire n'est que partiellement absorbé (environ 10 à 15 % pour le fer héminique et 1 à 5 % pour le fer non héminique), rendant nécessaire une alimentation riche en sources de fer biodisponible pour maintenir des réserves suffisantes. (Cayot N *et al.*, 2013).

Tableau 2 Apports nutritionnels de référence en fer selon les groupes de population (mg/j)(établis selon les recommandations de (l'EFSA (2024)) et les valeurs de référence de (l'ANSES 2016)

Groupe de population	BNM	RNP	AS	LSS
Nourrissons (4–11 mois)	0,27 mg/j	—	—	5 mg/j (suppléments & enrichis seulement)
Enfants (1–3 ans)	7 mg/j	10 mg/j	10 mg/j	10 mg/j
Enfants (4–6 ans)	10 mg/j	15 mg/j	15 mg/j	15 mg/j
Enfants (7–10 ans)	10 mg/j	20 mg/j	20 mg/j	20 mg/j
Adolescents (11–14 ans)	10–12 mg/j	30 mg/j	30 mg/j	30 mg/j
Adolescents (15–17 ans)	11–12 mg/j	35 mg/j	35 mg/j	35 mg/j
Adultes (≥18 ans), y compris femmes enceintes & allaitantes	10–18 mg/j (varie selon le sexe)	16–18 mg/j (hommes/femmes)	16–18 mg/j	40 mg/j

4. Anémie

4.1. Définition

L'anémie se définit par une diminution du taux d'Hb en dessous des valeurs normales spécifiques à l'âge et au sexe. Les seuils diagnostiques sont les suivants :

- 13 g d'Hb pour 100mL de sang chez l'homme adulte.
- 12 g d'Hb pour 100 mL de sang chez la femme et l'enfant.
- 14 g d'Hb pour 100 mL de sang chez le nouveau-né.

Toutefois, certaines conditions peuvent entraîner une hémodilution sans réelle anémie, telles que la grossesse, les splénomégalies volumineuses ou l'insuffisance cardiaque, du fait d'une expansion du volume plasmatique. (**Boulin M et Fagnoni P ,2018**).

L'OMS a défini l'anémie selon des normes quasiment identiques (variations modérées pour les moins de 15 ans), comme le montrent le tableau ci-après. (World Health Organization)

Tableau 3: Définition de l'anémie par l'OMS selon l'âge et le sexe (World Health Organization, 2020).

Age et sexe	Seuil d'hémoglobine (g/dL)
Enfant 6 à 59	11
Enfant 5 à 11 ans	11.5
Enfant 12 à 14 ans	12
Femmes non enceintes (>15 ans)	12
Femmes enceintes	11
Hommes (>15 ans)	13

4.2. Epidémiologie :

En 2025, l'anémie demeure un problème majeur de santé publique à l'échelle mondiale, touchant particulièrement les femmes en âge de procréer, les enfants de moins de 5 ans, les adolescents et les

Personnes âgées. Selon les dernières données de l'OMS, plus de 30 % des femmes non enceintes et 40 % des enfants de moins de cinq ans souffrent d'anémie, dont la carence en fer reste la cause la plus fréquente, représentant environ 50 % des cas. En Afrique et en Asie du Sud-est, les taux de prévalence dépassent parfois 60 %, en raison de facteurs combinés tels que la malnutrition, les maladies infectieuses chroniques (comme le paludisme ou les parasitoses

Chapitre I : Anémie ferriprive

intestinales), et le manque d'accès aux soins de santé. En Algérie, bien que des progrès aient été réalisés dans la lutte contre la malnutrition infantile, les dernières enquêtes nationales révèlent que plus d'un enfant sur quatre présente une forme d'anémie modérée à sévère, avec un pic observé chez les enfants âgés de 6 à 24 mois. La lutte contre l'anémie en 2025 s'oriente vers une approche intégrée, combinant supplémentation en fer, fortification des aliments, éducation nutritionnelle, et prise en charge des maladies sous-jacentes. Toutefois, les défis persistent, notamment dans les zones rurales et à faible revenu, où les interventions peinent à atteindre les populations les plus vulnérables (*OMS, 2024*)

4.3. Types d'anémies

4.3.1. Anémies microcytaires (VGM < 80 fL)

Les GR sont plus petits que la normale.

Causes principales :

- Anémie ferriprive (déficit en fer) ,la cause la plus fréquente (**Goddard A *et al.*, 2011**)
- Anémie inflammatoire (maladie chronique)
- Thalassémies (anomalies génétiques de la globine)
- Anémie sidéroblastique (trouble de l'incorporation du fer dans l'hème) (**Cappellini *et al.*, 2020**)

4.3.2. Anémies Normocytaires (VGM normal)

Les GR ont une taille normale, mais leur nombre est réduit.

Divisée en deux types :

a. Périphérique (destruction ou perte de GR)

- Hémorragie aiguë.
- Hémolyse (destruction prématurée des GR).
- **Corpusculaire** : anomalies intrinsèques (membrane, hémoglobine, enzymes)
- **Extra corpusculaire** : causes externes (mécaniques, infections, toxines, immunologiques)

b. Centrale (problème de production)

- Aplasie médullaire.
- Carence en fer/B9/B12.
- Envahissement médullaire (ex : leucémie).
- Insuffisance rénale, hépatique, endocrine.

4.3.3. Anémies Macrocytaires (VGM > 100 FL) GR plus gros

que la normale.

Causes principales :

Déficit en folate ou en vitamine B12 (macrocytose mégaloblastique)

- Hypothyroïdie.
- Myélodysplasie.

Insuffisance hépatique

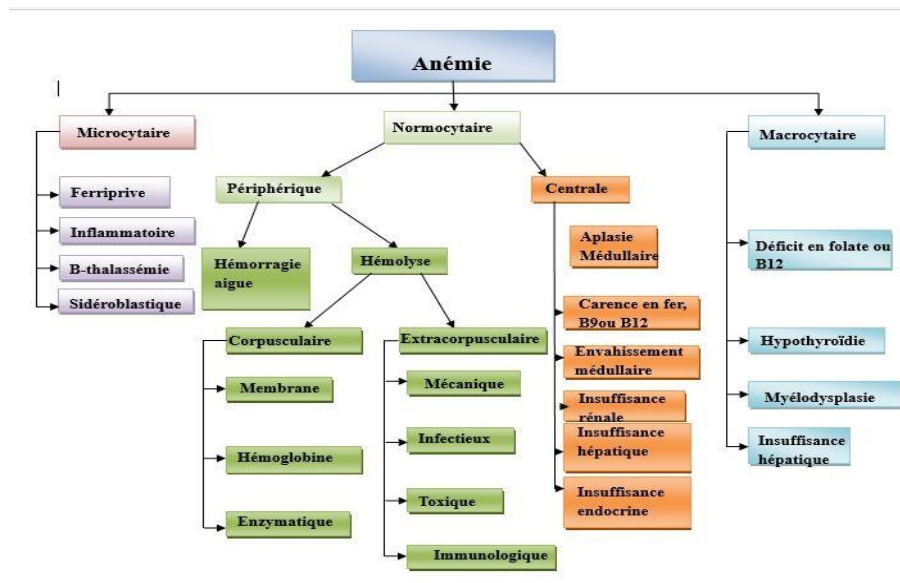


Figure 20 Schéma des Différents Types d'Anémies (création personnelle)

5. Anémie ferriprive

5.1. Définition

L'anémie ferriprive est définie comme une diminution du taux d'hémoglobine dans le sang due à une carence en fer, un oligo-élément indispensable à la synthèse de l'hémoglobine et donc à l'érythropoïèse. Cette carence entraîne une altération de la production des GR , qui deviennent de petite taille (microcytaires) et pauvres en hémoglobine (hypochromes), conduisant à une oxygénation tissulaire insuffisante. L'anémie ferriprive constitue la forme la plus fréquente d'anémie dans le monde, représentant près de 50%de l'ensemble des cas , particulièrement chez les femmes en âge de procréer, les enfants et les populations vivant dans des contextes de précarité nutritionnelle(WHO, 2023).Sur le plan clinique, elle peut rester longtemps asymptomatique, mais évolue progressivement vers des manifestations telles que la fatigue, la pâleur, la dyspnée ou encore des troubles cognitifs, en fonction de la sévérité de la carence. (Guyton, A& Hall E., 2020).

5.2. Physiopathologie de l'anémie ferriprive

Chapitre I : Anémie ferriprive

L'anémie ferriprive résulte d'une carence en fer, élément indispensable à la synthèse de l'hème, et donc de l'hémoglobine, pigment essentiel au transport de l'O₂ dans les GR. Lorsque l'apport en fer devient insuffisant, que les besoins augmentent ou que les pertes excèdent les apports (par saignement ou malabsorption), l'organisme puise dans ses réserves (ferritine). Une fois ces réserves épuisées, la synthèse de l'hémoglobine est altérée, menant à une production de GR microcytaires (de petite taille) et hypochromes (pauvres en hémoglobine) (Camaschella, 2015). Ce phénomène se développe progressivement au fil du temps, selon une séquence physiopathologique bien définie, qui comprend plusieurs stades évolutifs. Chaque stade illustre une perturbation croissante du métabolisme du fer et de l'érythropoïèse (Casassus, 2015).

- **Stade 1 Diminution des réserves martiales :**

À ce stade précoce, l'organisme commence à puiser dans ses réserves hépatiques et médullaires de fer, entraînant une diminution progressive de la ferritine sérique. La ferritine, protéine intracellulaire de stockage du fer, constitue le marqueur biologique principal de l'état des réserves martiales. Aucun retentissement n'est encore observé sur la numération globulaire, et le fer sérique peut rester dans les normes.

- **Stade 2 Carence martiale fonctionnelle :**

Lorsque les réserves deviennent insuffisantes, la concentration sérique de fer diminue significativement. En réponse, l'organisme augmente la synthèse de la transferrine, protéine de transport du fer, mais son coefficient de saturation diminue (<15%), indiquant une inefficacité de la mobilisation du fer. Ce stade se traduit par une réduction du fer disponible pour la moelle osseuse, limitant la synthèse de l'hémoglobine. De plus, les RsTf sont surexprimés à la surface des cellules érythroblastiques afin d'augmenter l'absorption du fer circulant.

- **Stade 3 Déficit de la synthèse de l'hémoglobine érythroblastique :**

L'insuffisance d'apport en fer fonctionnel provoque une hypo production d'hémoglobine dans les précurseurs médullaires. La synthèse d'ADN étant préservée, les divisions cellulaires se poursuivent, donnant naissance à des érythrocytes de plus petite taille. Ce stade correspond à une hypochromie intracellulaire débutante, sans que l'anémie soit encore pleinement installée.

- **Stade 4 Microcytose et hypochromie :**

La carence devient manifeste : les GR produits sont à la fois microcytaires (VGM < 80 fl.) et hypochromes (taux d'hémoglobine globulaire moyen diminué). Ces anomalies morphologiques précèdent l'apparition d'une anémie franche. La baisse de l'indice de réticulocytes témoigne de l'épuisement de la réponse érythropoïétique.

- **Stade 5 : Anémie microcytaire hypochrome symptomatique :**

L'anémie est désormais cliniquement et biologiquement patente. Elle se manifeste par une

Chapitre I : Anémie ferriprive

réduction du taux d'hémoglobine en dessous des seuils définis par l'OMS : <13g/dl chez l'homme,

<12 g/dl chez la femme, et <10,5 g/dl chez la femme enceinte. Les signes cliniques sont liés à l'hypoxie tissulaire (asthénie, pâleur cutanéomuqueuse, tachycardie, dyspnée d'effort), et parfois à une altération des fonctions cognitives, notamment chez les enfants.

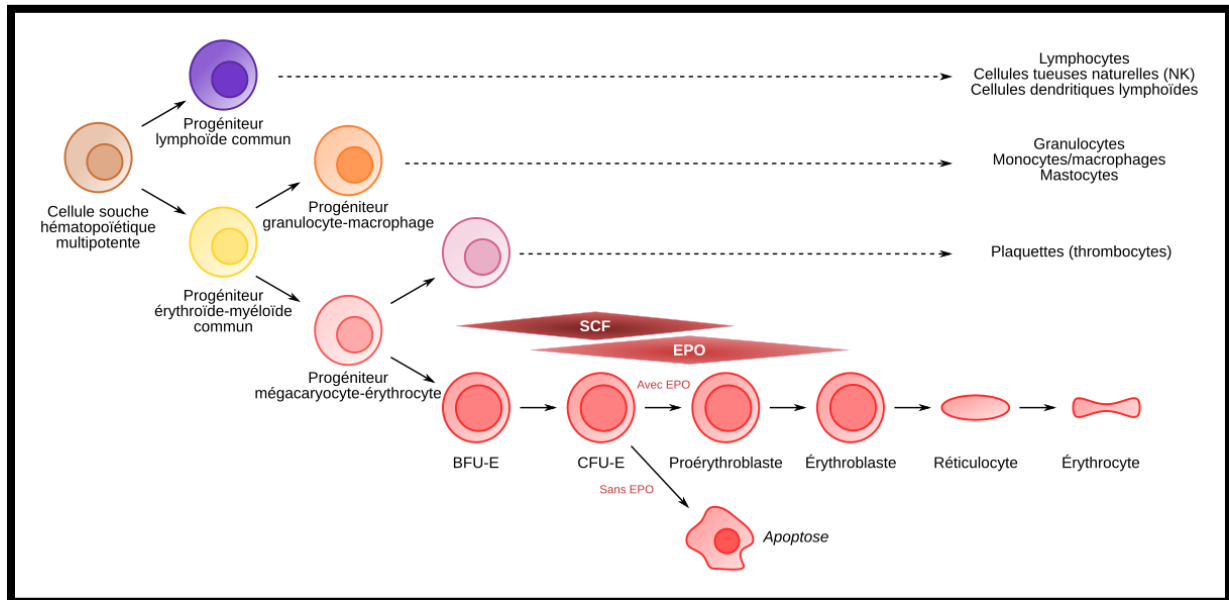


Figure 21 Les étapes de l'érythropoïèse (Pascal Combemorel, 2019).

5.3. Etiologie de l'anémie ferriprive

L'anémie ferriprive résulte d'un déséquilibre entre les pertes, les apports et les besoins en fer. Ses causes peuvent être classées en trois grandes catégories : les pertes excessives, les apports insuffisants, et l'augmentation des besoins en fer. Chaque mécanisme physiopathologique contribue à l'installation progressive de la carence martiale et doit être analysé en fonction du contexte clinique du patient.

➤ Pertes excessives de fer

Les pertes sanguines chroniques représentent la cause la plus fréquente d'anémie ferriprive, notamment dans les pays industrialisés, où les apports alimentaires sont généralement suffisants (Münster, 2012). Ces pertes dépassent les capacités de compensation par l'absorption intestinale du fer. Chez la femme en période d'activité génitale, les pertes sont principalement d'origine gynécologique (ménorragies, métrorragies). Chez l'homme et la femme ménopausée, la cause est le plus souvent digestive, bien que d'autres sources soient possibles, telles que les épistaxis chroniques ou les dons de sang fréquents.

La localisation digestive des hémorragies occulte est la plus fréquente. Les lésions responsables

Chapitre I : Anémie ferriprive

incluent les ulcères gastro-duodénaux, les varices œsophagiennes, les gastrites hémorragiques, MICI, ou encore les hémorroïdes (**Waugh & Grant, 2015**). Ces hémorragies peuvent rester longtemps silencieuses, rendant leur diagnostic parfois difficile.

➤ **Insuffisance d'apports alimentaires en fer**

L'anémie ferriprive résulte souvent d'un apport insuffisant en fer dans l'alimentation. Cette cause est prédominante dans les pays en développement, où la dénutrition et les carences alimentaires sont fréquentes. Dans les pays industrialisés, certaines populations sont également à risque, en particulier :

- Les nourrissons nourris exclusivement au lait non enrichi en fer.
- Les femmes ayant des grossesses multiples se rapprochées.
- Les personnes âgées souffrant de malnutrition (**Le frère & Hermine, 2009**).
- Les personnes suivant des régimes végétariens ou végétaliens sans supplémentation adéquate. Le fer se trouve principalement dans les produits d'origine animale sous forme de fer héminique, plus facilement absorbé par l'organisme, tandis que le fer non héminique, présent dans les plantes, est moins biodisponible (**Anderson et al., 2009**).

➤ **Perte sanguine excessive**

Une des causes les plus courantes de l'anémie ferriprive est la perte sanguine chronique, qui peut être due à diverses conditions :

- **Ménorragies** (règles abondantes) chez les femmes : L'utérus perd une quantité significative de fer pendant des menstruations abondantes. Cette perte est un facteur clé dans l'anémie ferriprive chez les femmes en âge de procréer (**Broussard et al., 2015**).
- **Hémorragies gastro-intestinales** : Les saignements dans le tractus gastro-intestinal, dus à des ulcères, des tumeurs ou des maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (comme la maladie de Crohn), sont une autre source importante de perte de fer (**Hansen et al., 2016**).

➤ **Augmentation des besoins en fer**

L'augmentation des besoins en fer peut se produire dans certaines situations physiologiques :

- **Grossesse et allaitement** : Pendant la grossesse, les besoins en fer augmentent considérablement pour soutenir la croissance du fœtus et pour remplacer la perte de fer due à l'augmentation du volume sanguin maternel. Sans supplémentation appropriée, cela peut conduire à une anémie ferriprive (**Cogswell et al., 2009**).
- **Croissance rapide des enfants** : Les enfants en période de croissance rapide, notamment les nourrissons et les jeunes enfants, peuvent avoir des besoins accrus en fer. Si l'apport alimentaire est insuffisant, cela peut entraîner une carence (**Sullivan et al., 2015**).

Chapitre I : Anémie ferriprive

➤ **Maladies chroniques et inflammatoires**

Certaines maladies chroniques peuvent influencer l'absorption du fer ou son utilisation dans le corps, notamment les inflammations chroniques, les infections, et les maladies auto-immunes. La "maladie de l'inflammation chronique" peut entraîner ce qu'on appelle une anémie de l'inflammation, où le fer est séquestré dans les macrophages, empêchant son utilisation pour la production de GR (**Ganz, 2013**).

➤ **Autres causes spécifiques**

- **Malabsorption du fer** : Certaines conditions pathologiques, telles que la maladie cœliaque, les maladies inflammatoires de l'intestin, ou les interventions chirurgicales affectant le tractus gastro-intestinal (comme la chirurgie bariatrique), peuvent perturber l'absorption du fer (**Zimmermann, 2014**).

- **Médicaments** : Les inhibiteurs de la pompe à protons (comme l'oméprazole) et les antiacides peuvent diminuer l'acidité gastrique, essentielle à l'absorption du fer (**Haas et al., 2010**).

L'anémie ferriprive peut être causée par un apport insuffisant en fer, des pertes sanguines excessives, une augmentation des besoins en fer, ou des conditions pathologiques influençant l'absorption ou l'utilisation du fer. Le diagnostic précis nécessite une évaluation complète de l'histoire clinique du patient et des tests de laboratoire pour identifier la cause sous-jacente. Les traitements incluent des suppléments en fer et des stratégies visant à corriger les facteurs contributifs, qu'ils soient alimentaires, médicaux ou physiologiques.

5.4. Manifestations cliniques de l'anémie

Dans les formes légères, l'anémie ferriprive passe souvent inaperçue, les patients ne rapportant aucun symptôme notable. La symptomatologie dépend principalement de la vitesse d'installation de l'anémie plutôt que de son intensité biologique (**Bauduer, 2009**).

Parmi les signes les plus fréquemment observés figurent une asthénie persistante, une baisse des performances physiques et cognitives, ainsi qu'un état de fatigue généralisée, souvent décrit comme un manque d'énergie chronique. Ces signes traduisent une hypoxie tissulaire progressive, liée à la diminution de la capacité de transport de l'oxygène par l'hémoglobine. (**Bauduer, 2009**).

La pâleur cutanéomuqueuse constitue un autre signe clinique évocateur. Elle est souvent généralisée, touchant la peau, les muqueuses, les conjonctives, ainsi que des zones plus spécifiques telles que les ongles et les paumes des mains (Figure 21). Cette pâleur, reflet d'une symptomatologie fonctionnelle anoxique, peut-être d'intensité variable selon les individus. Elle n'est pas toujours strictement proportionnelle au taux d'hémoglobine, mais

Chapitre I : Anémie ferriprive

revêt un intérêt diagnostique important lorsqu'elle est acquise et objectivée cliniquement. (Bauduer, 2009).



Figure 22 **Pâleur cutané-muqueuse (signe clinique de l'anémie ferriprive)**
(Benfelatki,2010)

En outre les signes classiques tels que la fatigue, la pâleur et la diminution de la tolérance à l'effort, l'anémie ferriprive peut s'accompagner d'un ensemble de symptômes variés touchant plusieurs systèmes de l'organisme. Ces manifestations, rapportées notamment par (Levy et al. (2008)), reflètent l'impact systémique de la carence en fer et la diminution de l'oxygénation tissulaire.

Parmi les signes généraux, on retrouve fréquemment:

- Des céphalées persistantes, témoignant d'une hypoxie cérébrale.
- Une fragilité des phanères, notamment des ongles cassantes une alopecie diffuse.
- Une glossite atrophique douloureuse, parfois associée à une altération du goût (dysgueusie).
- Une perte d'appétit, surtout chez les jeunes enfants.

D'autres signes plus spécifiques peuvent également orienter le diagnostic:

Un essoufflement disproportionné à l'effort même modéré, traduisant un déficit d'oxygénation musculaire.

Un syndrome de pica défini par une ingestion compulsive de substances non alimentaires telles que la glace, la terre ou la poussière.

Une hypotension orthostatique, survenant lors du passage à la station debout , accompagnée de

Chapitre I : Anémie ferriprive

sensations de vertiges ou de lipothymies.

Sur le plan neurocognitif, on observe parfois une diminution des performances intellectuelles, une baisse de concentration et un retard de développement chez l'enfant. Enfin, en cas d'anémie sévère, le rythme cardiaque peut s'accélérer (tachycardie compensatrice), devenant parfois palpable et inconfortable pour le patient (**WHO, 2011**).

Complications de l'anémie ferriprive

Selon (**Casassus (2015)**), une anémie ferriprive légère, lorsqu'elle s'installe progressivement, reste souvent bien tolérée et n'occasionne pas de symptômes notables au repos, tant que la concentration d'hémoglobine demeure supérieure à 80 g/L.

Cependant, en l'absence de prise en charge, cette condition peut évoluer et entraîner des complications cliniques significatives.

Parmi les complications majeures figurent :

- Les troubles cardiovasculaires : En réponse à l'hypoxie tissulaire chronique, une augmentation compensatoire de l'activité cardiaque est observée, se traduisant par une tachycardie et une surcharge fonctionnelle du myocarde. Chez les patients présentant une pathologie coronarienne sous-jacente, ce stress accru majore le risque d'ischémie myocardique et de survenue d'angor.
- Chez la femme enceinte, l'anémie ferriprive expose à un risque accru de complications obstétricales, notamment les accouchements prématurés et la naissance de nouveau-nés hypotrophies, c'est-à-dire de faible poids de naissance (**Beucher et al., 2011**).
- Chez le nourrisson et l'enfant, le déficit en fer peut entraîner des perturbations majeures du développement. Il a été démontré qu'une carence martiale non corrigée altère le développement cognitif, moteur et intellectuel, avec un impact parfois durable sur les apprentissages (**Toutain, 2012**).

Diminution de l'immunité

- La carence en fer altère la fonction des lymphocytes T et réduit l'efficacité des mécanismes de défense contre les infections.
- Les patients anémiques sont ainsi plus sujets aux infections respiratoires, urinaires, (**Oppenheimer, 2001**).

Troubles neurologiques et cognitifs

- Fatigue chronique, troubles de la concentration : L'hypoxie cérébrale affecte les fonctions cognitives.

Chapitre I : Anémie ferriprive

Chez l'enfant : Retard du développement psychomoteur, troubles de l'apprentissage, comportement apathique ou irritable (**Lozoff et al., 2006**).

- Syndrome des jambes sans repos : Fréquemment associé à la carence en fer.

5.5. Populations à risque de carence martiale

La carence en fer , ou carence martiale ,ne survient pas de manière aléatoire au sein de la population générale . Selon (**Breymann,2002**),certains groupes présentent une vulnérabilité accrue en raison de leur physiologie , de leur état pathologique ou de leur régime alimentaire. Les catégories les plus à risque incluent :

- Les femmes en âge de procréer, en particulier celles présentant des ménorragies, c'est-à-dire des menstruations abondantes. Ces pertes sanguines répétées engendrent une perte martiale importante non compensée par les apports alimentaires.
- Les femmes enceintes, ainsi que celles ayant eu des grossesses multiples ou rapprochées, chez qui les besoins en fer augmentent considérablement du fait du développement fœtal, de l'augmentation du volume sanguin maternel et des pertes obstétricales (**Breymann, 2002**).
- Les adolescentes , en raison d'un double facteur de risque : les besoins accrus liés à la croissance et le début du cycle menstruel, souvent associé à une alimentation déséquilibrée.
- Les nourrissons non allaités, en particulier s'ils ne bénéficient pas d'une supplémentation martiale adéquate dans leur alimentation, présentent également un risque de carence précoce (**Bourrillon et al., 2008**).
- Les jeunes enfants, notamment entre 6 mois et 4 ans, période critique de croissance rapide où les besoins en fer sont élevés.
- Les patients souffrant de maladies entraînant une malabsorption intestinale du fer, telles que la maladie cœliaque ou la maladie de Crohn, qui perturbent l'absorption du fer au niveau du duodénum et du jéjunum proximal.
- Les individus présentant des hémorragies digestives chroniques occultes, parfois non visibles à l'œil nu. Ces pertes peuvent être causées par des ulcères gastroduodénaux, des polypes intestinaux bénins ou encore des tumeurs malignes colorectales.
- Les personnes suivant un régime végétalien strict, excluant tout produit d'origine animale, sont exposées à une carence martiale car le fer d'origine végétale (non héminique) est moins bien absorbé que le fer héminique présent dans les produits animaux.
- Les patients prenant de manière prolongée certains médicaments, tels que :
 - Les IPP, qui diminuent l'acidité gastrique nécessaire à la solubilisation et à la transformation du fer alimentaire en sa forme absorbable.

Chapitre I : Anémie ferriprive

- L'aspirine et les AINS, qui peuvent provoquer des microhémorragies gastro-intestinales à long terme.
- Les personnes atteintes d'insuffisance rénale chronique, en particulier celles sous hémodialyse, chez qui la carence martiale est fréquente du fait de pertes sanguines répétées lors des séances et d'une altération de l'érythropoïèse.

5.6. Diagnostic de l'anémie ferriprive

Le diagnostic de l'anémie ferriprive repose sur une démarche clinique, biologique et étiologique rigoureuse. Il débute par un interrogatoire approfondi visant à identifier les signes fonctionnels évocateurs tels que l'asthénie, les vertiges, l'essoufflement à l'effort, ainsi que les habitudes alimentaires, les antécédents gynécologiques, digestifs ou chirurgicaux. Il est également essentiel d'évaluer les facteurs de risque tels que la grossesse, les menstruations abondantes, la croissance rapide, les régimes restrictifs ou certaines pathologies chroniques (**Casassus, 2015**) ; (**Breymann, 2002**).

- **L'examen clinique** permet de rechercher les signes du syndrome anémique, notamment une pâleur cutanéomuqueuse, une glossite, une tachycardie, des ongles cassants, une alopecie diffuse ou encore la présence de pica. Toutefois, ces signes peuvent être discrets, surtout lorsque l'anémie s'installe progressivement (**Levy et al., 2008 ; WHO, 2011**).
 - **Le diagnostic biologique** repose principalement sur la NFS, révélant une anémie microcytaire hypochrome non régénérative. Le bilan martial complète l'évaluation : il montre une baisse de la ferritine sérique ($< 30 \mu\text{g/L}$ en l'absence de syndrome inflammatoire), une réduction du coefficient de saturation de la transferrine ($< 15 \%$), une augmentation de la CTFF, et parfois une élévation du récepteur soluble de la transferrine.
 - En cas d'inflammation, la mesure de la CRP est nécessaire pour interpréter correctement la ferritinémie (**Lopez et al., 2016**).
 - **Sur le plan étiologique**, une enquête systématique doit être menée pour identifier la cause de la carence en fer : saignements menstruels abondants, pertes digestives occultes, malabsorptions intestinales (maladie cœliaque, maladie de Crohn), ou apports alimentaires insuffisants. Chez l'enfant, l'étiologie est souvent nutritionnelle ou liée à des besoins accrus (**Bourrillon et al., 2008 ; Breymann, 2002**).
 - **Le diagnostic différentiel** inclut les anémies microcytaires non ferriprives telles que les thalassémies mineures, l'anémie inflammatoire chronique ou les anémies sidéroblastiques. Ces pathologies doivent être envisagées en l'absence de carence martiale objectivée
- Le diagnostic positif est ainsi fondé sur la mise en évidence d'une anémie microcytaire

Chapitre I : Anémie ferriprive

hypochrome associée à des marqueurs biologiques de carence martiale et à des signes cliniques concordants (**Casassus, 2015**).

5.7. Traitement

Le traitement de l'anémie ferriprive repose principalement sur la supplémentation en fer.

Le traitement initial se fait généralement par voie orale, avec l'administration de sels de fer ferreux, à une posologie de 100 à 320 mg par jour chez l'adulte (**Bauduer, 2009**). Il est conseillé d'opter pour un traitement prolongé sur 3 à 4 mois plutôt que de privilégier une dose élevée, car cette dernière peut entraîner une mauvaise tolérance gastro-intestinale (épigastralgies, nausées, constipation), sans améliorer l'efficacité, en raison d'une saturation des capacités d'absorption du fer (**Arlet et al., 2013**). Les formes orales de fer les plus couramment prescrites sont le Tardyferon®, le Fumafer®, et l'Ascofer®, bien que leur tolérance puis se varier d'un patient à l'autre, et il est parfois nécessaire de changer de forme en cas de troubles digestifs bénins (**Arlet et al., 2013**).

En cas de carence persistante malgré le traitement oral, ou lorsque ce dernier est mal toléré, une solution intraveineuse de fer peut être utilisée. En Algérie, le médicament Ferinject® est couramment prescrit pour les patients souffrant de carence en fer sévère, lorsque les traitements oraux échouent ou ne peuvent être utilisés (**Belkaid et al., 2019**). Ce traitement intraveineux permet de restaurer rapidement les niveaux de fer dans l'organisme. Cependant, des risques de complications, tels que des hypophosphorémies sévères, ont été observés, surtout après des doses élevées de fer, particulièrement chez les patients dénutris (**Schaefer et al., 2016**).

Chez les femmes en âge de procréer, les carences en fer peuvent souvent être récurrentes, notamment en raison des pertes sanguines menstruelles. Dans de tels cas, il peut être indiqué de réduire le volume des menstruations en administrant un progestatif dans la deuxième partie du cycle, ou de recourir à une contraception progestative pure ou à un dispositif intra-utérin à la progestérone pour prévenir de futures carences (**Bauduer, 2009**).

Les transfusions sanguines restent rares dans la prise en charge de l'anémie ferriprive, étant utilisées uniquement dans des situations d'urgence vitale. Elles sont indiquées lorsque l'anémie est grave et la tolérance clinique du patient est insuffisante pour supporter un traitement oral ou intraveineux de fer (**Ruivard, 2017**).

Chapitre II

Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie

Chapitre II : Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie

1. Sélection des plantes médicinales étudiées :

La sélection des plantes médicinales étudiées dans le cadre du traitement de l'anémie ferriprive repose sur une approche rigoureuse combinant données ethno pharmacologiques et résultats issus de recherches scientifiques modernes. Les critères de choix comprennent principalement :

- Leur richesse naturelle en fer biodisponible.
- Leur capacité à favoriser l'absorption intestinale du fer (par une teneur élevée en vitamine C ou autres agents synergistes).
- Leurs propriétés antioxydantes qui protègent contre le stress oxydatif induit par l'anémie.
- Leur sécurité d'utilisation, validée par des études cliniques ou pharmacologiques.

Parmi les espèces végétales sélectionnées figure **Citrus limon** (citron), largement reconnu pour sa teneur exceptionnelle en acide ascorbique (vitamine C). La vitamine C joue un rôle fondamental dans la réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}), forme assimilable par l'organisme, optimisant ainsi l'absorption intestinale du fer non héminique (**Lane & Richardson, 2014**). L'intégration du citron dans les stratégies naturelles de traitement de l'anémie est également soutenue par son effet protecteur contre les radicaux libres.

De plus, **Urtica dioica** (ortie) est retenue en raison de sa composition particulièrement riche en fer, en vitamines du groupe B, ainsi qu'en flavonoïdes et en caroténoïdes, qui confèrent à la plante des propriétés hématopoïétiques et anti-inflammatoires (**Obertreis et al., 1996**). Son usage traditionnel dans la prévention et la correction des états anémiques est bien documenté dans la pharmacopée européenne.

Enfin, **Trigonella foenum-graecum** (fenugrec) a été intégrée dans la sélection pour ses effets stimulants sur la production des cellules sanguines. Le fenugrec contient non seulement du fer, mais aussi des protéines, des saponines et des alcaloïdes qui participeraient à la stimulation de l'érythropoïèse, mécanisme central dans le traitement de l'anémie (**Basch et al., 2003**).

Ainsi, la sélection de ces plantes repose sur une combinaison de données scientifiques robustes et d'une longue tradition d'usage thérapeutique, garantissant à la fois efficacité, sécurité et pertinence dans le contexte du traitement naturel de l'anémie ferriprive.

Ainsi, la sélection de ces plantes repose sur une combinaison de données scientifiques robustes et d'une longue tradition d'usage thérapeutique, garantissant à la fois efficacité, sécurité et pertinence dans le contexte du traitement naturel de l'anémie ferriprive.

2. Critères de sélection des plantes pour l'étude :

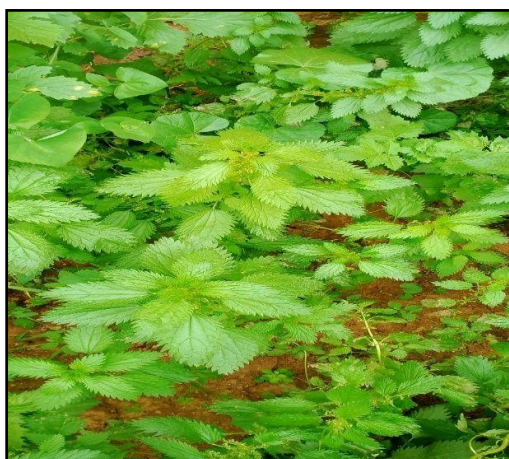
2.1. L'ortie (*Urtica dioica* L.):

L'ortie (*Urtica dioica* L.) est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des Urticacées. Elle est caractérisée par ses feuilles dentées et ses poils urticants libérant des substances irritantes au contact de la peau (Obertreis et al., 1996). Utilisée depuis l'Antiquité, l'ortie est reconnue pour ses vertus nutritionnelles et médicinales, notamment dans la prévention et le traitement de l'anémie ferriprive, grâce à sa richesse en éléments essentiels pour l'hématopoïèse.

- L'ortie (*Urtica dioica* L.) est une espèce végétale appartenant à la famille des Urticaceae. Sa classification botanique détaillée est la suivante : (Quézel et Santa, 1962-1963 ; POWO, 2024)

Tableau 4 classification d'*urtica dioica* (Quézel et Santa,1962-1963;POWO,2024)

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Rosales
Famille	Urticaceae
Genre	Urtica
Espèce	<i>Urticadioica</i> L



Dénominations de l'ortie
D'après (Wichtl et Anton 1999), *Urtica dioica* L. est appelée :

- **En français :** Ortie commune, Grande ortie, Ortie vivace.
- **En anglais:** Nettle, Common Nettle, Stinging Nettle, Tall Nettle, Slender Nettle, California Nettle, Greater Nettle.
- **En arabe :** حرايق, القراص.

Figure 23 Plante de *Urtica dioica* L (création personnelle)

2.1.1. Composition chimique d'*Urtica dioica* L

Vu son usage traditionnel millénaire, les scientifiques ont accordé un important intérêt à sa composition chimique (Tita et al., 2009).

L'étude phytochimique d'*Urtica dioica* L a révélé que cette plante contient des métabolites

Chapitre II : Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie

secondaires, essentiellement des flavonoïdes, des tanins et des composés volatiles, mais aussi des acides gras, des polysaccharides, des stérols, des terpènes des protéines, des vitamines et des minéraux (Rafajlovska *et al.*, 2001 ; Krystofova *et al.*, 2010 ; Gul *et al.*, 2012).

A. Les parties aériennes

Les parties aériennes d'*Urtica dioica* L (les feuilles) contiennent de la chlorophylle, plusieurs vitamines, caroténoïdes, huiles essentielles et des minéraux parmi lesquels on cite : Fe, Cu, Mn et Ni. Quant aux poly phénols présents dans cette plante, il s'agit principalement d'après la littérature de Kaempférol , isorhamnetine, quercétine , isoquercitine et d'astragaline qui confère à la plante des propriétés antioxydantes (Bhuwan *et al.*, 2014)

- **Flavonoïdes:** Quercetine-3-O-rutinoside (rutine), kaempferol-3-O-rutinoside et isorhamnetin-3-O- glucoside.
- **Huiles essentielles :** Carvacol, carvone, naphthalène, (E)-anéthol, hexahydrofarnesyl acétone, (E)- géranyl acétone, (E)- β -ionone et phytol.
- Minéraux et les traces des éléments : Calcium, Potassium, Magnésium, Phosphores, fer, Soufre, Zinc, Manganèse, Cuivre, Nickel et Sélénium. (Gül S.,et al 2012)
- **Vitamines :** vitamine A (rétinol), vitamine B2 (riboflavine), vitamine B5 (acide pantothénique), vitamine B9 (acide folique), vitamine C (acide ascorbique), vitamine K(phyllloquinone).(Pradhan S.,et al.,2015).
- **Autres constituants :** Tannins, chlorophylle et caroténoïdes. (Rutto LK.,et al 2013)
Les tiges dont les poils contiennent de l'acétyl choline,de l'histamine,5-hydroxytryptamine(sérotonine),des leucotriènes et de l'acide formique qui sont responsables de l'effet urticant de la plante (Collier *et al.*, 1956 ; Fu *et al.*, 2006).

2.1.2. Composition nutritionnelle et principes actifs

L'ortie est particulièrement appréciée pour sa haute densité nutritionnelle. Elle contient :

- Fer en quantité importante (jusqu'à 41 mg/kg de matière sèche).
- Vitamine C (acide ascorbique), favorisant l'absorption du fer.
- Vitamine A ,B2 ,B5 ,B9 (acide folique), essentielles à la formation des globules rouges.
- Chlorophylle, aux propriétés stimulantes pour l'érythropoïèse.
- Flavonoïdes (kaempférol,quercétine)et tanins, reconnus pour leur pouvoir antioxydant.
- Minéraux (calcium, magnésium, potassium, silicium) (Chrubasik *et al.*, 2007).

2.1.3. Utilisation d'*Urtica dioica*

L'Ortie est une des rares plantes que l'on peut reconnaître les yeux fermés. Elle est considérée comme une « mauvaise herbe », mais en réalité c'est une plante riche en vitamines et minéraux

Chapitre II : Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie

et pourvue de nombreuses vertus. Son utilisation est multiple, elle est employée à des fins médicinales en agriculture, en alimentation, en cosmétique, en teinturerie, dans l'industrie du textile (**Bertrand et Jeanne., 2008**).

2.1.3.1. Principales utilisations thérapeutiques

2.1.3.1.1. Utilisation thérapeutique traditionnelle

L'ortie est un remède traditionnel utilisé depuis des années contre l'anémie et le manque d'énergie : on dit que c'est un excellent fortifiant grâce à sa haute teneur en fer et autres minéraux. On dit aussi qu'elle stimule les fonctions digestives (lourdeurs et crampes d'estomac) (**Wichtl et Anton.,2003**).

La tisane d'ortie est toujours proposée par les phytothérapeutes comme remède traditionnel pour la goutte et les rhumatismes. En Allemagne, la tisane d'ortie est utilisée comme diurétique léger, mais elle n'est pas suffisamment puissante pour être associée à un traitement de l'hypertension ou les problèmes cardiaques. Alors qu'en Russie, l'ortie est aussi employée pour les troubles biliaires et hépatiques (**Valnet., 1983**).

2.1.3.1.2. Utilisation thérapeutique actuelle

L'ortie dioïque appartient au monopole pharmaceutique. Elle est inscrite sur la liste des plantes médicinales retenues comme telles par la Pharmacopée dans le monde entier. Aujourd'hui, les propriétés médicinales de l'ortie sont reconnues et la plupart des pratiques populaires ancestrales ont été confirmées par l'analyse et l'expérimentation. De nos jours, l'ortie rentre dans la composition d'une multitude de médicaments allopathiques et les recherches se poursuivent et viennent toujours confirmer certaines utilisations empiriques (**Cazin., 1997**).

2.1.4. Propriétés médicinales reconnues

De nombreuses recherches attribuent à *Urtica dioica* plusieurs activités thérapeutiques, parmi lesquelles :

- Hématopoïétique : stimulation de la production de globules rouges (Nahidietal.,2019).
- Antioxydante : protection contre le stress oxydatif responsable de l'endommagement des cellules sanguines (Gupta et al., 2013).
- Anti-inflammatoire : inhibition de la production de cytokines pro-inflammatoires (Obertreis etal., 1996).
- Dépurative : amélioration de l'élimination des toxines métaboliques.

En phytothérapie, l'ortie est traditionnellement indiquée dans le traitement de l'anémie, la fatigue chronique, et les carences en fer légères à modérées.

2.1.5. Etudes cliniques et données scientifiques disponibles

Chapitre II : Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie

Une étude contrôlée randomisée menée par (Nahidi *et al.*, 2019) a démontré que l'administration d'extraits d'ortie sur une période de huit semaines a permis une augmentation significative du taux d'hémoglobine et de ferritine chez des femmes souffrant d'anémie ferriprive. Par ailleurs, (Obertreis *et al.* 1996) ont montré que l'extrait aqueux d'ortie inhibe la production de cytokines inflammatoires, suggérant un rôle bénéfique dans la réduction de l'inflammation associée à l'anémie chronique.

2.2. Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*)

2.2.1. Historique et classification

Le fenugrec, connu sous le nom scientifique *Trigonella foenum-graecum* L., est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Fabaceae (ou Légumineuses). Originaire d'Asie du Sud-Ouest et du bassin méditerranéen, il est cultivé depuis l'Antiquité à des fins alimentaires, médicinales et cosmétiques. Son usage thérapeutique remonte à la médecine de l'Égypte ancienne, de la Grèce antique et de la médecine ayurvédique et traditionnelle arabe (Petropoulos, 2002).

Tableau 5 Classification de Fenugrec (Petropoulos, G.A. 2002)

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	<i>Trigonella</i>
Espèce	<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.



Figure 24 Graines de fenugrec (création personnelle)

Dénominations de fenugrec D'après

(C.R.S.T.R.A-2009)

- En français: Trigonelle, Sénégrain, Foingrec.
- En anglais : Fenugreek ,amber fenugreek, fenugrec .
- Nom vernaculaire arabe : حلبة
- Nom scientifique : *Trigonella foenum-graecum* L.

2.2.2. Composition nutritionnelle et principes actifs

Le fenugrec, cultivé pour ses graines aux propriétés nutritionnelles et thérapeutiques reconnues. Les graines de fenugrec contiennent environ 20 à 30 % de protéines, 45 à 60 % de glucides, 20 à 25 % de fibres alimentaires, ainsi qu'une proportion modérée de lipides (**Basch *et al.*, 2003 ; Sharma *et al.*, 2019**). Elles renferment également des micronutriments essentiels tels que le fer, le calcium, le magnésium et le potassium. Sur le plan phytochimique, plusieurs composés bioactifs y sont présents :

- **Saponines stéroïdiennes** (diosgénine, yamogénine).
- **Alcaloïdes** (trigonelline).
- Flavonoïdes.
- **Fibres solubles** (principalement des galactomannanes) (**Sharma *et al.*, 2019**).

2.2.3. Propriétés médicinales reconnues

Le fenugrec est traditionnellement utilisé en phytothérapie pour ses effets bénéfiques sur plusieurs fonctions physiologiques. Ses graines sont réputées pour :

- Améliorer le statut martial par leur richesse en fer biodisponible, contribuant ainsi à la prévention et au traitement de l'anémie ferriprive (**Basch *et al.*, 2003**).
- Réduire la glycémie en ralentissant l'absorption intestinale des glucides grâce à la présence de fibres solubles (**Neelakantan *et al.*, 2014**),
- Abaisser les niveaux de cholestérol sanguin, favorisant une meilleure santé cardiovasculaire.
- Agir comme antioxydant naturel en protégeant les cellules contre le stress oxydatif induit par les états carenciels (**Puri *et al.*, 2012**).

2.2.4. Études cliniques et données scientifiques disponibles

Plusieurs études ont exploré l'efficacité du fenugrec dans différentes indications cliniques :

- Une étude randomisée a montré que la consommation régulière de poudre de fenugrec pendant huit semaines améliore significativement les taux d'hb chez des femmes souffrant d'anémie ferriprive (**Khan *et al.*, 2019**).
- Une méta-analyse a confirmé les effets hypoglycémisants du fenugrec chez des patients atteints de diabète de type 2, renforçant son intérêt thérapeutique (**Neelakantan *et al.*, 2014**).

Chapitre II : Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie

- Des études in vitro ont également mis en évidence ses propriétés antioxydantes, grâce à la modulation des enzymes de défense cellulaire (Puri *et al.*, 2012).

2.3. Le citron (*Citrus limon* L. Burm. f.)

2.3.1. Historique et classification botanique

Le citronnier (*Citrus limon* L. Burm. f.) est un petit arbre fruitier de la famille des *utaceae*, probablement originaire d'Asie du Sud-Est (Assam ou nord-est de l'Inde), et introduit dans le bassin méditerranéen à l'époque islamique. Historiquement, il a été utilisé pour ses propriétés antiscorbutiques, digestives et conservatrices. Le citron s'est largement répandu en Méditerranée, notamment en Algérie, où il est cultivé pour ses usages culinaires, thérapeutiques et cosmétiques (Morton, 1987).

Tableau 6 Classification de Citron (Morton,J.1987).

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Sapindales
Famille	Rutaceae
Genre	Citrus
Espèce	<i>Citruslimon</i> L.Burm.f.

Dénominations de Citron (Liber

Herbarum II)

- En français: Bergamote, Citron, Rangpur
- En anglais: Bergamot orange, Lemon.
- Nom vernaculaire arabe: ليمون
- Nom scientifique: *Citrus limon* L.



Figure 25 Citronnier (*Citrus limon*) (création personnel)

2.3.2. Composition nutritionnelle et principes actifs

Le jus de citron est une excellente source de vitamine C (acide ascorbique), un antioxydant hydrosoluble qui joue un rôle fondamental dans l'absorption du fer non héminique (présent dans les plantes). Il contient aussi : (Gupta, R. K. *et al.* 2016).

- Des flavonoïdes (hespéridine, diosmine, naringine).
- Des acides organiques (acide citrique).

Chapitre II : Les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie

- Des composés volatils (limonène, citral).
- Des vitamines (B1, B2, B6).
- Des minéraux (potassium, calcium, magnésium).

2.3.3. Propriétés médicinales reconnues

Parmi les propriétés médicinales les plus connues du citron, on trouve :

- Amélioration de l'absorption intestinale du fer grâce à l'acide ascorbique (vitamine C) qui réduit le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}), facilitant son passage dans la muqueuse intestinale (**Lane & Richardson, 2014**). Activité antioxydante protégeant les cellules contre les radicaux libres.
- Effet alcalinisant, malgré son acidité apparente, aidant à maintenir l'équilibre acido-basique.
- Propriétés antimicrobiennes et digestives, souvent utilisées en infusion contre les troubles gastro- intestinaux.

2.3. L'intérêt pour les plantes médicinales dans le traitement de l'anémie ferriprive

L'intérêt pour l'utilisation des plantes médicinales dans le traitement de l'anémie ferriprive connaît un essor croissant, en raison de leur disponibilité, de leur coût abordable et de leur profil d'effets secondaires généralement plus faible par rapport aux traitements pharmacologiques conventionnels (Khosravi- Boroujeni *et al.*, 2015). Plusieurs espèces végétales riches en fer, en vitamines et en antioxydants sont reconnues pour améliorer la synthèse de l'hémoglobine et favoriser l'absorption du fer au niveau intestinal. Parmi elles, *Urtica dioica* (ortie), *Trigonella foenum-graecum* (fenugrec) et *Citrus limon* (citron) ont montré des résultats prometteurs dans diverses études cliniques (Tennakoon *et al.*, 2018). L'ortie, par exemple, est traditionnellement utilisée pour son apport significatif en fer biodisponible, en vitamine C et en composés phénoliques qui optimisent l'absorption du fer (Salgueiro *et al.*, 2014). De même, des recherches indiquent que des extraits de plantes comme *Moringa oleifera* peuvent significativement augmenter les taux d'hémoglobine chez les patients anémiques (Mbikay, 2012). Toutefois, il convient de souligner que, bien que les plantes médicinales puissent constituer une approche complémentaire efficace, leur usage doit être basé sur des études cliniques rigoureuses et encadré par des professionnels de santé pour éviter les risques de surdosage ou d'interactions médicamenteuses (**WHO, 2013**).

Chapitre III

Parité expérimentale

1. Matériel et méthode

1.1.Objectif de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité d'une tisane formulée à base de plantes médicinales locales notamment l'ortie (*Urtica dioica L.*), le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum L.*), et le citron (*Citrus limon L.*) dans l'amélioration de la biodisponibilité du fer, et par conséquent, dans la prévention ou l'accompagnement du traitement de l'anémie ferriprive. L'étude vise également à caractériser les teneurs en composés bioactifs (phénols totaux, flavonoïdes, etc.) et leur capacité antioxydante, en lien avec leur rôle potentiel dans la modulation de l'absorption du fer in vitro.

1.2.Type et cadre de l'étude

Cette étude expérimentale est divisée en deux volets :

Le premier volet concerne la sélection des plantes médicinales (ortie, fenugrec et citron), la préparation des extraits aqueux, ainsi que le dosage des composés phénoliques totaux, des flavonoïdes et des tanins. De plus, l'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée selon des protocoles standardisés.

Ces analyses ont été effectuées dans les laboratoires pédagogiques du Département des sciences Biologique de l'Université de Ahmed Zabana de Relizane.

En parallèle, le second volet de l'étude — relatif à la simulation in vitro de la biodisponibilité du fer (digestion simulée, complexation du fer, etc.) — a été conduit au sein des laboratoires de recherche.

2. Préparation des extraits hydro-méthanoliques

But de la préparation des extraits hydro-méthanoliques : Cette étape vise à obtenir des extraits riches en composés bioactifs (polyphénols, flavonoïdes, tanins...) à partir des plantes sélectionnées, afin de les soumettre à des analyses physico-chimiques et à des tests biologiques (notamment l'activité antioxydante). Le choix du solvant hydro-méthanolique (80 %) permet une extraction efficace des métabolites secondaires polaires et semi-polaires.

2.1.Matériel et réactifs utilisés

2.1.1. Plantes médicinales séchées :

- *Urtica dioica* (feuilles).
- *Trigonella foenum – graecum* (graines).
- *Citrus limon* (zestes).



Figure 26 les plantes utilisées (citron,ortie,fenugrec) (création personnelle)

2.1.2. Solvants :

- Méthanol pur ($\geq 99\%$).
- Eau distillée.

2.1.3. Matériel de laboratoire :

- Balance électronique de précision.
- Mortier et pilon.
- Erlenmeyers de 250mL.
- Papier filtre Whatmann ° 1.
- Entonnoir.
- Agitateur magnétique (ou agitation manuelle quotidienne).
- Évaporateur rotatif (40°C, sous vide).
- Flacons ambrés pour conservation.
- Réfrigérateur (4°C).

2.1.4. Méthode expérimentale

La préparation des extraits a suivi un protocole de macération hydro-méthanolique inspiré des méthodes de (Harborne,1998) et (Sultanaet al.,2009), optimisées pour préserver les principes actifs des plantes.

- Quantité de plante utilisée :20 g de poudre végétale sèche (ortie, fenugrec ,etc.).
- Solvant d'extraction : 200 mL de méthanol 80% (soit 160 mL de méthanol + 40 mL

Chapitre III : Partie expérimental

d'eau distillée).

1^{ère} macération :

- La poudre est immergée dans le solvant.
- Agitation :24h.
- Conditions : température ambiante, à l'abri de la lumière, avec agitation quotidienne.
- Filtration à l'aide d'un papier filtre (Whatmann°1).
- Le filtrat obtenu est conservé dans un flaconambréà 4 °C.

2^{ème} macération :

- Le résidu solide (marc) est récupéré après la première filtration.
- Il est remis à macérer dans 200mL de solvant neuf (80%méthanol).
- Agitation :24 heures, mêmes conditions (agitation, obscurité , température ambiante).
- Nouvelle filtration, et collecte du 2ème extrait.

Réunion des extraits : Les deux filtrats (1er+2ème) sont mélangés.

Concentration :

- Le mélange est concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif à 40°C.
- L'extraits est ensuite conservé à 4 °C jusqu' à utilisation.

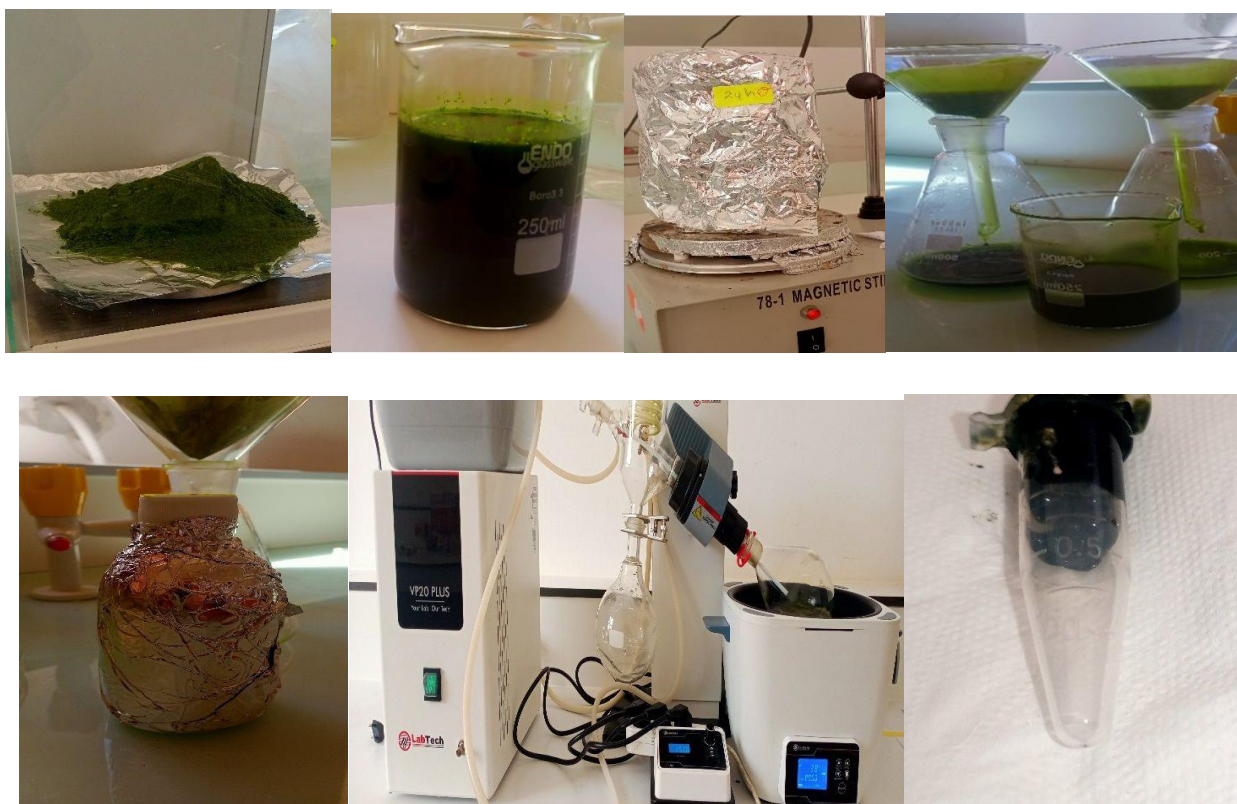


Figure 27 Préparation des extraits hydro-méthanoliques (création personnelle)

Chapitre III : Partie expérimental

2.1.5. Rendement des extraits

Le calcul du rendement est défini comme étant le rapport entre la masse de l'extrait obtenu et la masse de matière végétale à traiter (Belyagoubi, 2006) :

$$R = (m/m_0) \times 100$$

R : Rendement en extrait fixe en g/100g. m : Quantité d'extrait récupéré en g.

M 0 : Quantité de la matière végétale utilisée pour l'extraction exprimée en g.

3. Evaluation de l'activité antioxydante

3.1. Test de piégeage du radical libre DPPH(2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) :

- **Principe :**

- Le 2,2-Diphényle-1-picrylhydrazyl (DPPH) est un radical libre stable de couleur violacée qui absorbe à 514-518 nm. En présence de composés anti-radicaux, le radical DPPH est réduit et change de couleur en virant au jaune.

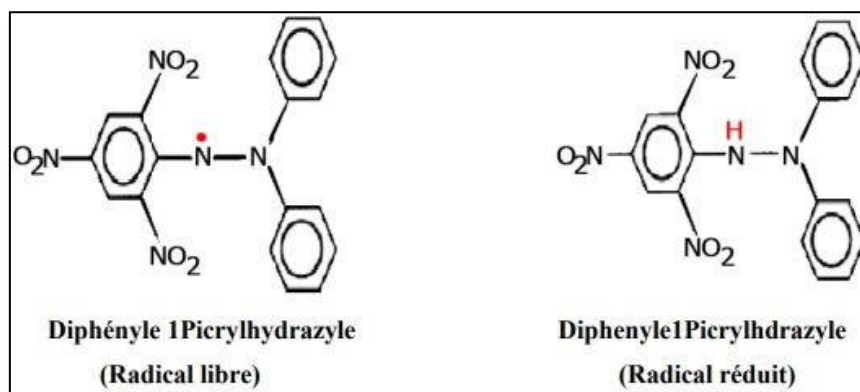


Figure 28 forme libre et réduite du 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Molyneux, 2004).

Les absorbances mesurées servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH, qui est proportionnelle au pouvoir anti radicalaire de l'échantillon. Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical DPPH.

3.1.1. Méthode :

3.1.2. Préparations des dilutions des extraits végétaux :

Chapitre III : Partie expérimental

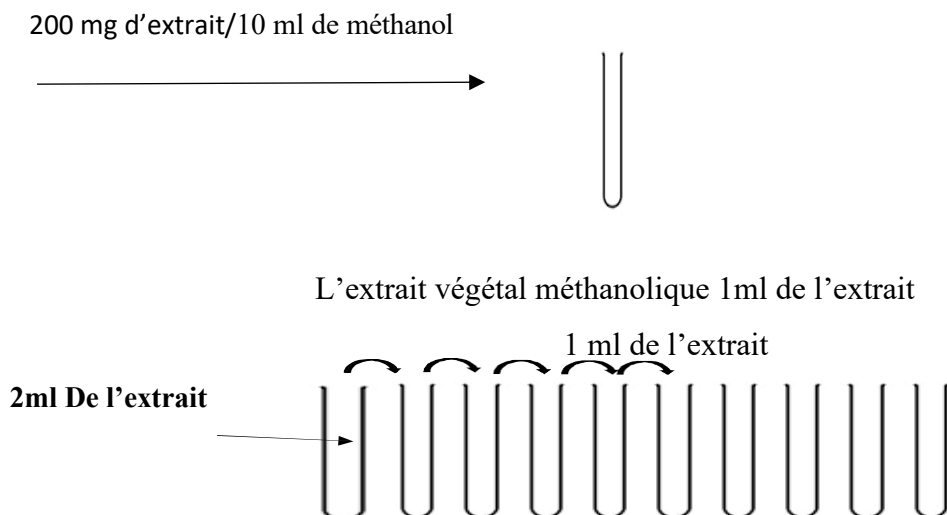


Figure 29 Préparation des dilutions des extraits végétaux (création personnelle)

3.1.2.1.Préparation des essais :

Un volume de 750 μ l de différentes concentrations de chaque extrait est ajoutée à 1.5ml de la solution méthanoïque du DPPH (0.024g/l) fraîchement préparée. Le contrôle négatif est préparé en parallèle en mélangeant 750 μ l de méthanol avec 1.5 ml d'une solution méthanoïque de DPPH. Après incubation à l'obscurité pendant 30 min et à température ambiante, la lecture des absorbances est effectuée à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, contre un blanc pour chaque concentration qui contient 750 μ l de l'extrait et 1.5 ml de méthanol. Le pourcentage de piégeage du radical est calculé selon l'équation suivante :

$$PI=100(A0-A1)/A0$$

Où :

A0 : l'absorbance DPPH

A1: l'absorbance échantillon

3.1.2.2.Détermination de l'IC50 :

L'IC50 est définie comme la concentration d'extrait nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux DPPH. Elle est déterminée graphiquement à l'aide d'un logiciel de régression (ex : SigmaPlot), en traçant les pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations. (Scherer et Godoy, 2009), (Marxen et coll., 2007), (Fabri et coll., 2009), (Bertoncelj et coll., 2007).

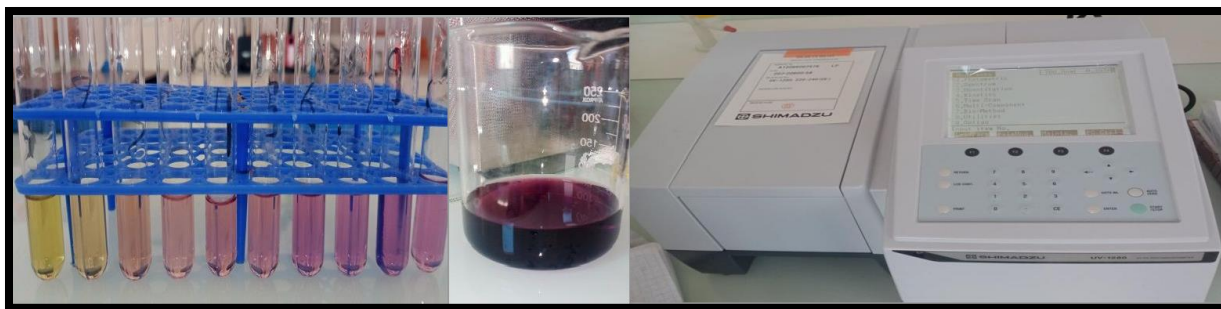


Figure 30 Évaluation de l'activité antioxydante (création personnelle)

4. Dosage de polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué avec le réactif colorimétrique Folin-Ciocalteu selon la méthode citée par (Wong et al., 2006).

4.1.Principe

La teneur phénolique totale est habituellement déterminée colorimétriquement avec le spectrophotomètre UV-Vis en utilisant l'essai de Folin-Denis ou généralement Folin-Ciocalteu. Ces essais sont basés principalement sur la réduction du réactif acide phosphotungstique phosphomolybdique (réactif de Folin) dans une solution alcaline (Wong et al., 2006).

Brièvement 200 μ l de chaque extrait (dissous dans le méthanol) ont été ajoutés à 1 ml de réactif de Folin- Ciocalteu dilué 10 fois. Les solutions ont été mélangées et incubées pendant 5 min à 25°C.

Après l'incubation 800 μ l de la solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 à 7.5 % (p/v) a été ajoutée dans les tubes. Le mélange final a été secoué et puis incubé pendant 2 h dans l'obscurité à température ambiante. L'absorbance de tous les extraits a été mesurée par un spectrophotomètre à 760 nm.

4.2.Expression des résultats

La concentration des poly phénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage, établie avec le standard étalon l'acide gallique (5-200 μ g/ml) et exprimée en (μ g EAG/mg).

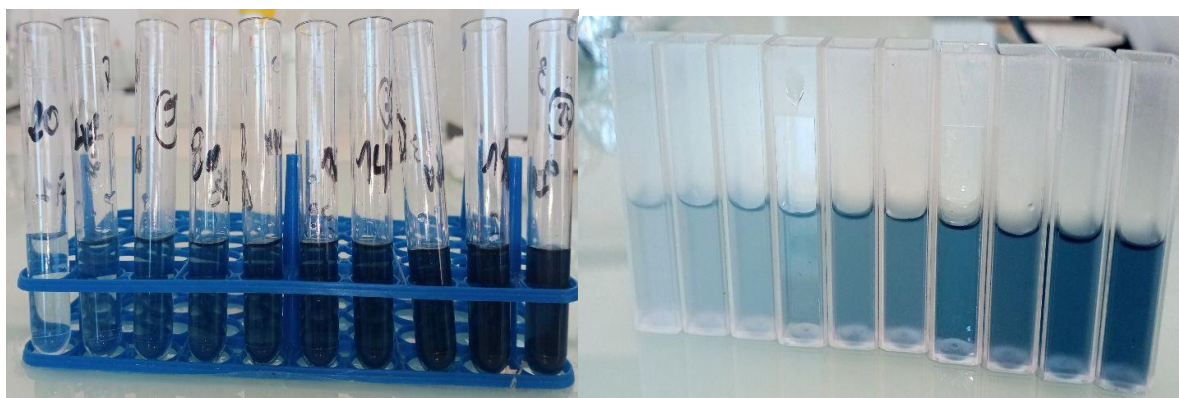


Figure 31 Dosage des polyphénols totaux (création personnelle)

5. Dosage des flavonoïdes

La quantification des flavonoïdes a été effectuée par une méthode colorimétrique adaptée par (**Dewantoet al (2002)**). Une quantité de 500 μ l de solution méthanoïque de catéchine à différentes concentrations ou de l'extrait méthanoïque dilués est ajoutée à 1500 μ l de l'eau distillée. Au temps zéro, 150 μ l de nitrite de sodium (NaNO_2) à 5 % est ajouté au mélange. Après 5min, 150 μ l de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) à 10% (m/v) est rajouté. Après l'incubation de 6 min à la température ambiante, 500 μ l d'hydroxyde de sodium (NaOH) (1 M) est additionné.

Immédiatement, le mélange est complètement agité. L'absorbance de la solution de couleur rosâtre est mesurée à 510 nm contre le blanc. La teneur en flavonoïdes totaux des extraits des plantes médicinales est exprimée en milligramme (mg) équivalents de catéchine par gramme (g) du poids de la matière sèche (EC/g). Chaque échantillon est répété trois fois.

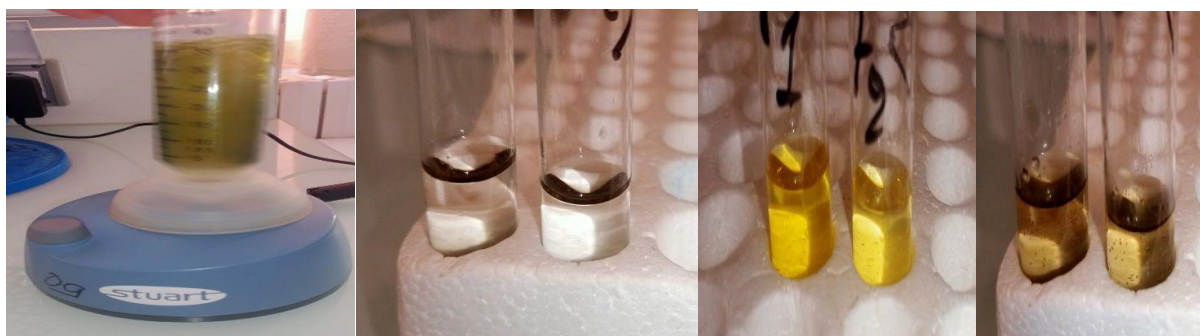


Figure 32 dosage de flavonoïdes (création personnelle)

6. Dosage des tanins condensés

La détermination de la teneur en tanins condensés a été effectuée en utilisant la méthode spectrophotométrique (**Julkunen-Titto, 1985**). Un volume de 0.5ml d'extrait polyphénolique ou standard (catéchine) ajouté au mélange de 3 ml au mélange 4% vanilline et de méthanol (v/ v), 1.5 ml d'acide chlorhydrique puis homogénéisé.

Le mélange résultant a été laissé au repos pendant 15 min à température ambiante, l'absorbance de chaque calculée à 500 nm en utilisant le spectrophotomètre UV-Visible (**Shimadzu, 2020**). La teneur totale en tanins condensés est calculée comme étant mg équivalent de catéchine (CTE mg/ g) en utilisant l'équation obtenue à partir de la courbe d'étalonnage, les résultats présentés sous forme des moyennes ($\pm$ SEM) et sont analysées avec trois expériences séparées.

Chapitre III : Partie expérimental



Figure 33 Dosage de tanins (création personnelle)

7. Evaluation de l'activité anti-inflammatoire in-vitro

7.1.Objectif de la manipulation

L'objectif de cette expérience est d'évaluer le potentiel anti-inflammatoire de l'extrait aqueux de la plante étudiée, en se basant sur sa capacité à inhiber la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA), un processus qui simule l'inflammation in vitro.

7.2.Test de la dénaturation thermique des protéines

Nous avons appliqué le test d'inhibition de la dénaturation du BSA provoquée par la chaleur (72°C). Selon (Karthiketal.2013).

7.3.Principe de la méthode

La dénaturation des protéines, induite par la chaleur, est un phénomène biochimique impliqué dans les processus inflammatoires. Certains composés bioactifs peuvent inhiber ce processus. Ainsi, la mesure de l'absorbance des échantillons permet de quantifier le degré de protection contre cette dénaturation, traduisant l'activité anti-inflammatoire de l'extrait.

7.4. Préparations des solutions

Préparation du Tris-HCl 0.05M pH :6,6

1 g est dissous dans 200 ml de l'eau distillée. Le pH est par la suite ajusté à 6,6 avec l'HCL.

Préparation des blancs

Pour chaque concentration d'extrait de plante un blanc extrait est préparé dans lequel 1ml d'extrait est ajouté à 1 ml de Tris-HCL(Ce blanc a pour but de soustraire l'absorbance de l'extrait des résultats obtenus).

un blanc BSA contenant 1 ml de la solution de BSA ajouté à 1ml du solvant utilisé pour les extraits (le résultat obtenu correspond à la dénaturation totale du BSA en absence de substance inhibitrice)

- Préparation de la solution BSA 0,2%

0,2 g de BSA est dissoute dans 100 ml de tampon Tris-HCL

Chapitre III : Partie expérimental

- Préparation des extraits

Préparer une solution mère de 10 mg/ml de chaque extrait

- Préparation du standard

Préparer une solution mère de 4mg/ml de Diclofénacsodique

7.5. Mode opératoire

1 ml de chaque concentration d'extrait ou du standard a été ajouté à 1ml de solution de BSA 0.2

% préparé dans le Tris HCL pH: 6,6 Le mélange est ensuite incubé à 37 °C pendant 15 min. Puis dans un bain marie à 72 °C pendant 5 min. À la fin de l'incubation, le mélange est refroidi rapidement, puis son absorbance est mesurée à 660nm dans un spectrophotomètre à cuve. Dans cet est , Diclofénacsodique a été utilisée comme anti-inflammatoire de référence. Chaque expérience a été réalisée en triple et le pourcentage d'inhibition de la dénaturation a été déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition de la dénaturation(\%)} = \left[\frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}}}{A_{\text{contrôle}}} \right] \times 100$$

A contrôle : Absorbance du témoin **A échantillon** : Absorbance en présence de l'extrait ou du standard

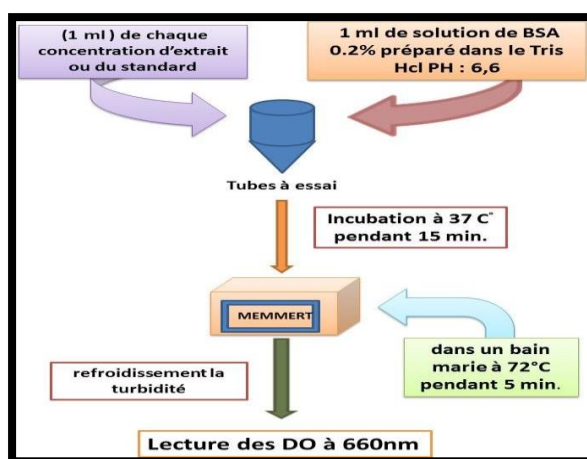


Figure 34 Evaluation de l'activité anti-inflammatoire in-vitro(création personnelle)

Chapitre III : Partie expérimental

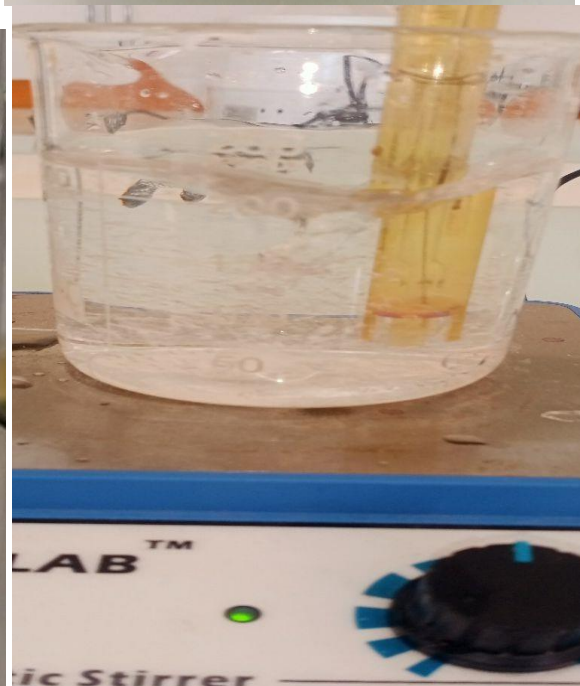
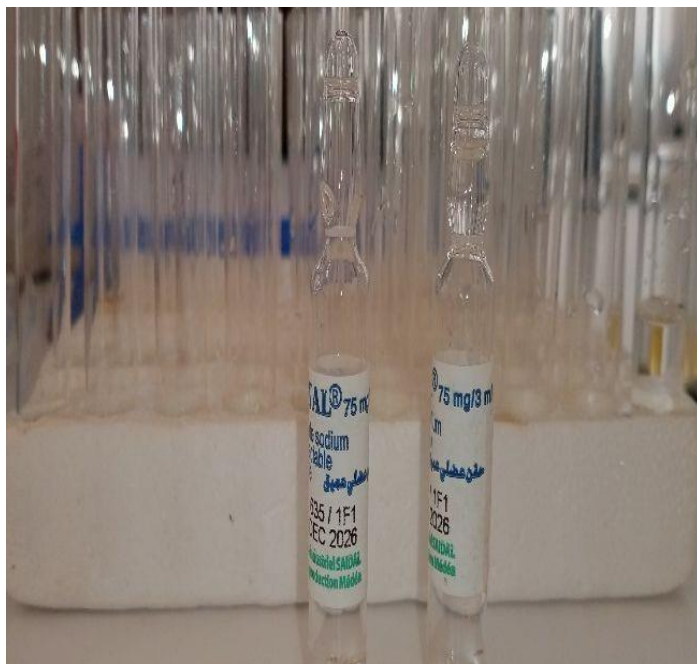


Figure 35 Ajustation du Ph :6.6 du Tris-HCl0.05M (création personnelle)

8. Minéralisation acide et analyse élémentaires d'échantillons végétaux par SAA

8.1. L'objectif

Quantifier les éléments minéraux contenus dans les plantes (le citron, le fenugrec et l'ortie), après minéralisation acide, à des fins de tester l'efficacité nutritionnelle, médicale, et de formulation de tisane (**HANIS F.,2023**)

Mode opératoire

8.2. Préparation des échantillons (500 mg)

- Ajout de réactifs acides (HNO_3 , HCl , H_2O_2) pour digestion.

Première phase de digestion (15 h à 25°C)

- Digestion douce à température ambiante pour amorcer la dégradation organique.

Deuxième phase de digestion (3 h à 100°C)

- Digestion accélérée sous chauffage pour libérer tous les minéraux.

Ajout de HClO_4 et HNO_3

- Étape d'oxydation forte pour compléter la minéralisation.

Filtration

- Élimination des résidus non dissous.

Mise à volume (50 mL)

- Préparation de l'échantillon pour analyse.

Analyse SAA

Détection et quantification des éléments minéraux présents (ex: Fe, Zn, Ca, Mg...). ..(**Messoudi M et al., 2023**)

Chapitre III : Partie expérimental

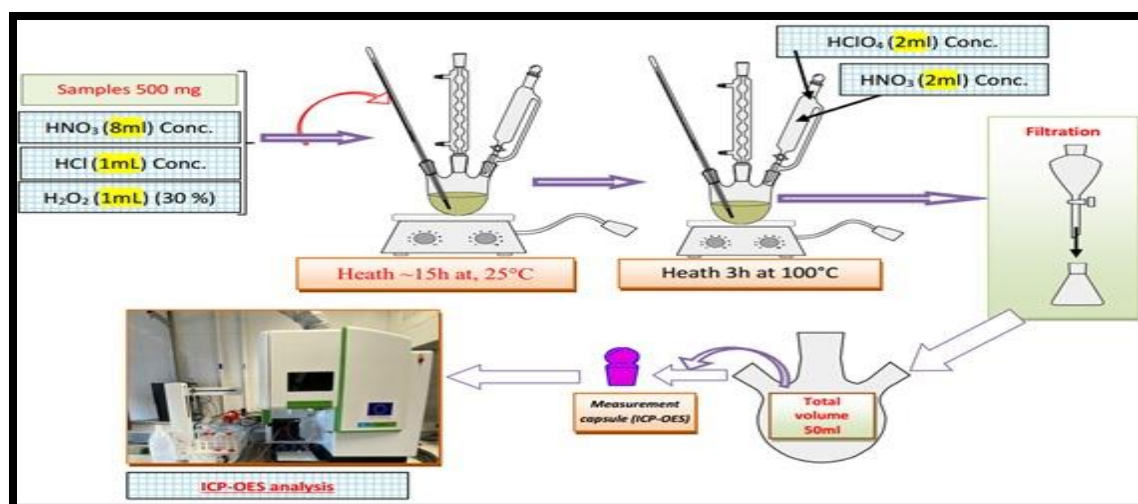


Figure 36 Schéma du protocole de minéralisation acide des échantillons végétaux pour l'analyse des éléments minéraux par SAA. (HANIS F.,2023)

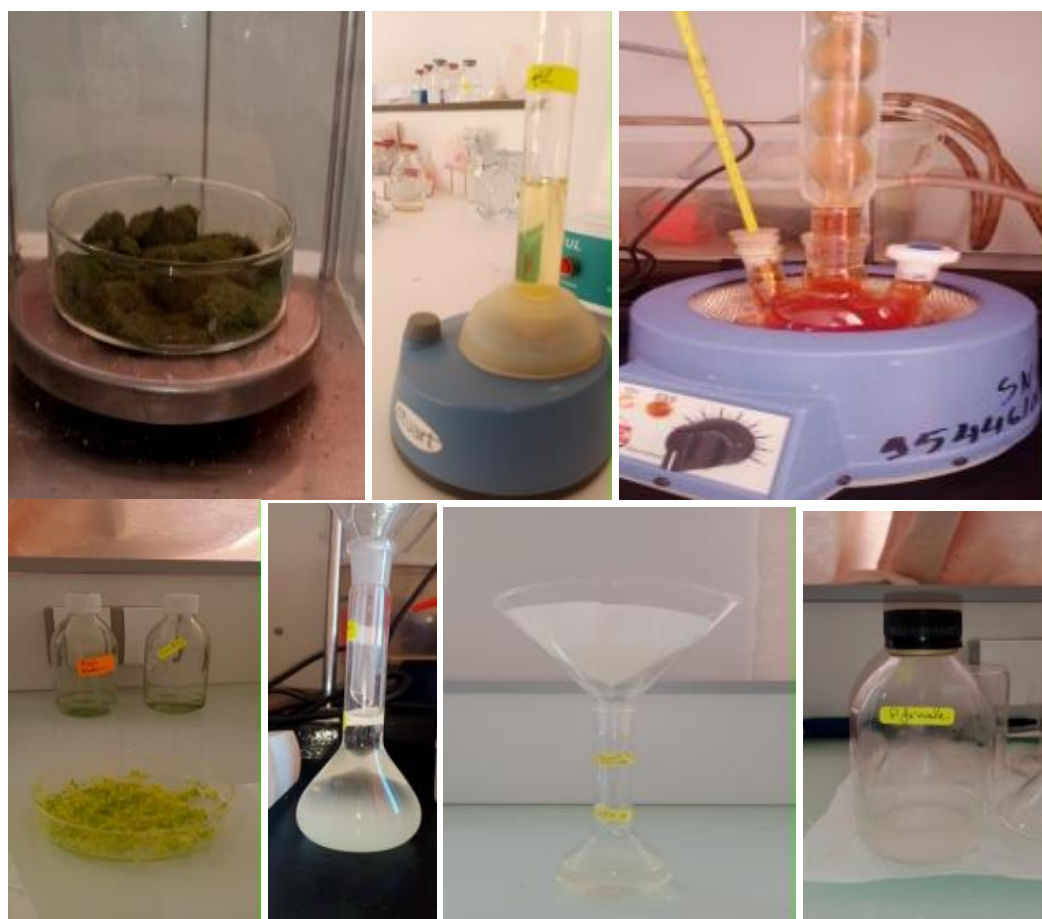


Figure 37 minéralisation acide des échantillons végétaux pour l'analyse des éléments minéraux par SAA (création personnelle) .

Résultats et Discussion

1. Caractérisation phytochimique

1.1. Activité antioxydante de l'acide ascorbique (méthode DPPH)

L'activité antioxydante de l'acide ascorbique a été évaluée à l'aide du test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), qui mesure la capacité d'un antioxydant à piéger les radicaux libres. La concentration inhibitrice 50 % (IC_{50}), représentant la concentration nécessaire pour réduire de moitié l'absorbance du radical DPPH, a été estimée à **0,0619 mg/mL** pour l'acide ascorbique, utilisé comme référence.

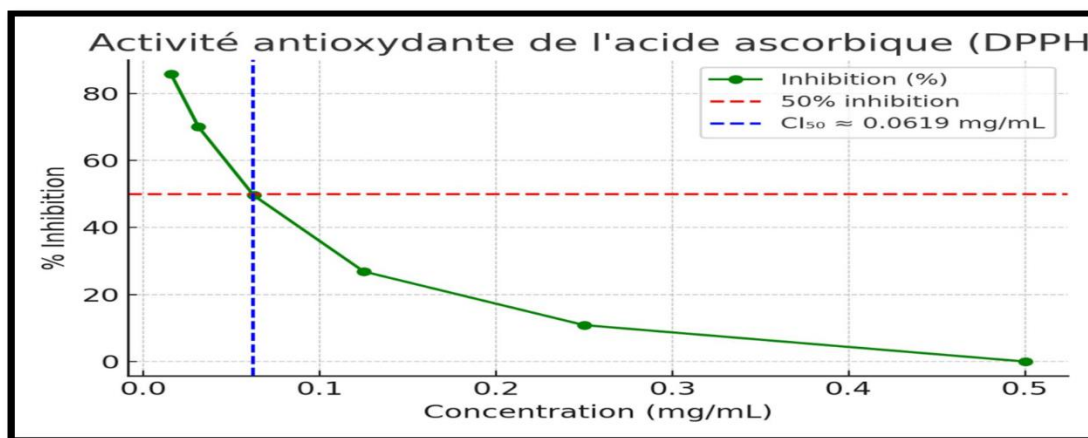


Figure 38 Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique

Les extraits hydroalcooliques d'ortie et de fenugrec ont été soumis au test DPPH afin d'évaluer leur potentiel antioxydant. Le pourcentage d'inhibition a été calculé à partir de l'absorbance du témoin (2,889), et les courbes dose-réponse ont permis d'estimer les IC_{50} suivants :

- Ortie: $\sim 0,179$ mg/mL.
- Fenugrec: $\sim 0,289$ mg/mL.

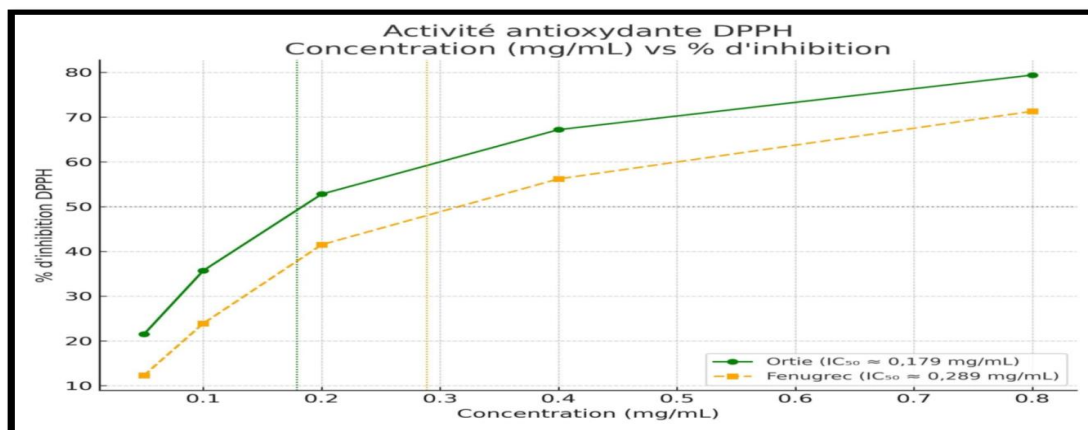


Figure 39 activité antioxydante de l'ortie et fenugrec

Interprétation des résultats :

- Les deux extraits montrent une activité antioxydante dose-dépendante, avec une augmentation du pourcentage d'inhibition proportionnelle à la concentration.
- L'ortie présente une capacité antioxydante supérieure à celle du fenugrec, à toutes les concentrations testées.
- Un IC_{50} plus faible indique un meilleur pouvoir antioxydant. Ainsi, l'ortie, avec un IC_{50} plus bas, se révèle significativement plus active que le fenugrec.

L'analyse comparative met en évidence la richesse de l'ortie en composés antioxydants actifs. Cette plante pourrait donc représenter une source naturelle prometteuse pour la formulation de produits à visée antioxydante. Le fenugrec présente également un potentiel intéressant, bien qu'inférieur à celui de l'ortie.

1.2 Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des extraits de fenugrec et d'ortie a été déterminée selon la méthode colorimétrique utilisant le réactif de **Folin-Ciocalteu**. L'acide gallique a été utilisé comme standard pour l'établissement de la courbe d'étalonnage (Figure 40).

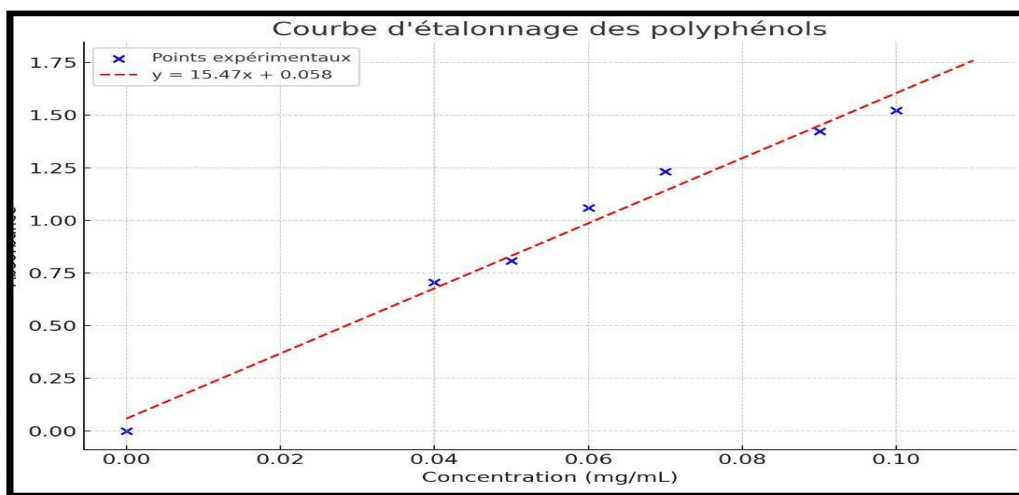


Figure 40 Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

Équation de la droite : $y = 9,3929x + 0,0052$, avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,993$, traduisant une bonne linéarité de la réponse.

Les résultats expérimentaux, exprimés en mg d'équivalent acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g), sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau 7 Teneur moyenne en polyphénols totaux dans les extraits végétaux.

Plante	Concentration moyenne	Écart- type
Ortie	0,03545	0,00031
Fenugrec	0,06503	0,00010

Les valeurs d'absorbance mesurées pour le fenugrec indiquent une absorbance moyenne de **0,672**, correspondant à une concentration en polyphénols de **0,06503 mg/mL**, selon l'équation d'étalonnage : **Absorbance = 15,468 × C + 0,058**

En tenant compte du volume d'extrait utilisé (**25 mL**) et de la masse de plante sèche (**0,5 g**), la teneur totale en polyphénols du fenugrec est estimée à **3,25 mg EAG/g** de matière végétale sèche.

Pour l'ortie, les absorbances étaient comprises entre **0,379 et 0,385**, correspondant à une concentration moyenne de **0,03545 mg/mL**, soit **1,77mgEAG/g** de matière sèche, selon le même mode de calcul.

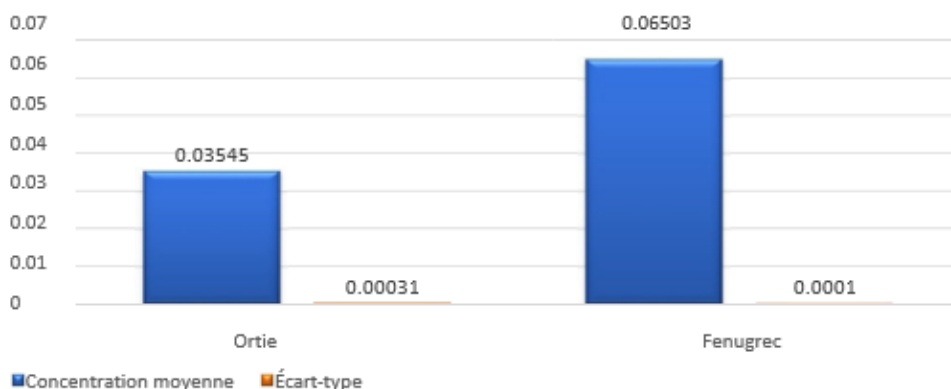


Figure 41 Comparaison de la teneur en polyphénols totaux entre les extraits d'ortie (*Urtica dioica*) et de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*).

Les résultats obtenus révèlent que la concentration moyenne en polyphénols totaux est **significativement plus élevée dans le fenugrec (0,06503 mg/mL)** que dans l'ortie (0,03545 mg/mL).

L'analyse spectrophotométrique de l'extrait de fenugrec a montré une **absorbance moyenne de 0,672**, correspondant à une concentration moyenne en polyphénols de **0,06503 mg/mL**, exprimée en équivalents acide gallique (GAE), calculée à partir de l'équation d'étalonnage : **Absorbance = 15,468 × C + 0,058**.

En tenant compte du volume d'extrait utilisé (25 ml) et de la masse de plante sèche (0,5 g), la teneur totale en polyphénols du fenugrec a été estimée à **3,25 mg GAE/g** de matière végétale sèche. Pour l'ortie, les

Chapitre IV : Résultats et discussion

absorbances mesurées variaient entre 0,379 et 0,385, ce qui correspond à une concentration moyenne de 0,03545 mg/mL (en GAE). En appliquant le même calcul, la teneur totale en polyphénols a été estimée à 1,77 mg GAE/g de matière végétale sèche.

Cette différence suggère que le fenugrec possède un potentiel antioxydant plus élevé, les polyphénols étant connus pour leurs propriétés antioxydantes et leur rôle dans la protection contre le stress oxydatif.

Par ailleurs, les écarts-types sont très faibles : 0,00031 pour l'ortie et 0,00010 pour le fenugrec, ce qui indique une excellente reproductibilité des mesures. La faible variabilité confirme ainsi la fiabilité et la précision des dosages réalisés.

En conclusion, la comparaison des deux extraits montre que le fenugrec contient presque deux fois plus de polyphénols que l'ortie, ce qui renforce l'hypothèse de son fort potentiel antioxydant.

1.3. Dosage des flavonoïdes (méthode AlCl_3)

La teneur en flavonoïdes totaux des extraits a été déterminée selon la méthode du trichlorure d'aluminium (AlCl_3), décrite par Bahorun et al. (1996). La courbe d'étalonnage a été réalisée à partir de solutions de quercétine à différentes concentrations (0 à 0,05 mg/mL). Cette courbe a permis de quantifier les flavonoïdes totaux dans les extraits analysés.

- **Équation de la courbe:** $y = 29,151x + 0,051$
- **Coefficient de détermination (R^2):** 0,9916

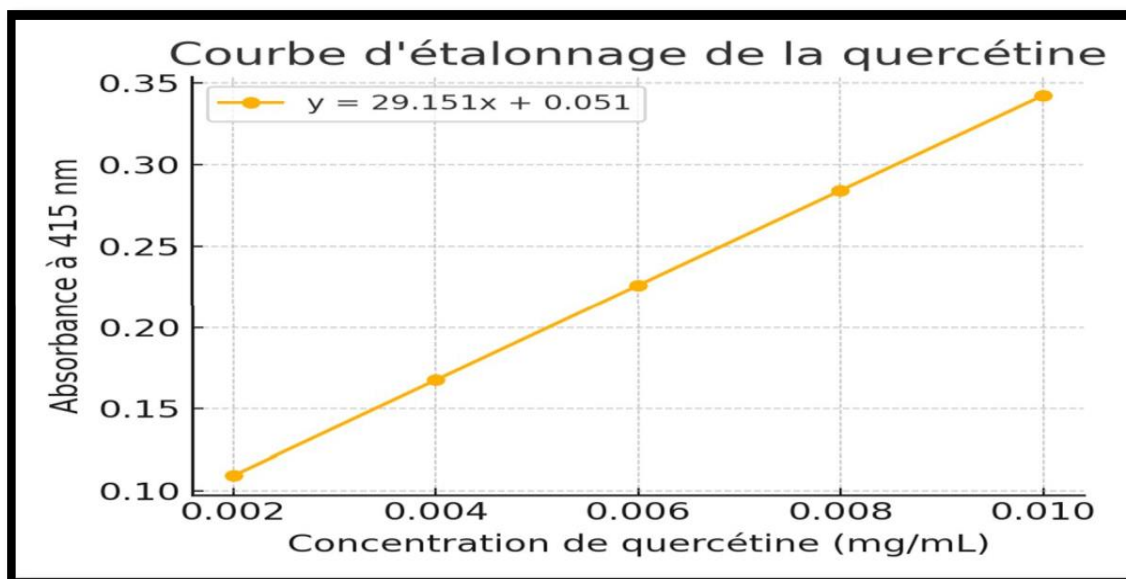


Figure 42 Courbe d'étalonnage de la quercétine

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau 8 : Teneur moyenne en flavonoïdes dans les extraits végétaux

Échantillon	Absorbance moyenne	Concentration moyenne (mg/mL EQ quercétine)
Fenugrec	0,2475	0,0067±0,0006
Ortie	0,1850	0,0046±0,0003

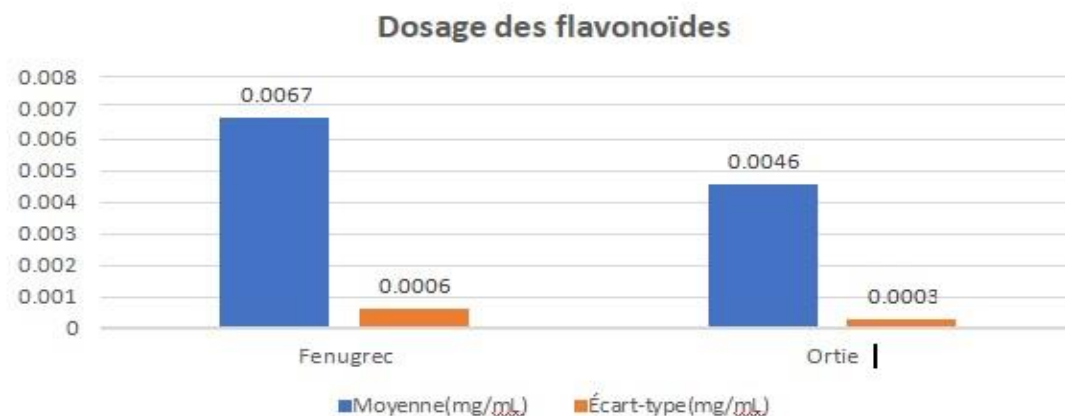


Figure 43 Comparaison de la teneur en flavonoïdes entre les extraits d'ortie (*Urtica dioica*) et de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*).

Une analyse statistique comparative entre les deux extraits donne les résultats suivants :

- **T de Student** :4,82
- **Valeur p** :0,0684

Ces données indiquent que le fenugrec contient une quantité légèrement plus élevée de flavonoïdes totaux que l'ortie, avec une concentration moyenne de 0,0067 mg/mL contre 0,0046 mg/mL en équivalents quercétine. Cette différence peut s'expliquer par la richesse en composés phénoliques spécifiques présents dans les graines de fenugrec. De plus, les faibles écarts-types ($\pm 0,0006$ pour le fenugrec et $\pm 0,0003$ pour l'ortie) témoignent d'une bonne reproductibilité des mesures et d'une précision expérimentale fiable.

Les flavonoïdes étant des antioxydants naturels reconnus pour leur rôle dans la protection contre le stress oxydatif, l'inflammation et certaines maladies chroniques, ces résultats suggèrent que les deux plantes possèdent un potentiel antioxydant intéressant, bien que le fenugrec semble légèrement plus efficace dans ce rôle.

La teneur plus élevée en flavonoïdes dans le fenugrec soutient son usage traditionnel dans les préparations médicinales ou les tisanes, notamment pour ses effets anti-inflammatoires, antioxydants et antianémiques. Ainsi, dans les conditions de cette étude, le fenugrec se distingue comme une plante potentiellement plus en

Chapitre IV : Résultats et discussion

flavonoïdes que l'ortie, ce qui justifie son intégration privilégiée dans les formulations phytothérapeutiques.

1.4 Dosage des tanins

Le dosage des tanins a été réalisé par une méthode colorimétrique utilisant la **catéchine** comme standard. Les mesures ont été effectuées par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 510 nm, spécifique à la détection des complexes tanins-réactif.

Courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage a été obtenue à partir de solutions standard de catéchine à différentes concentrations. Les absorbances mesurées ont permis d'établir la droite d'étalonnage suivante

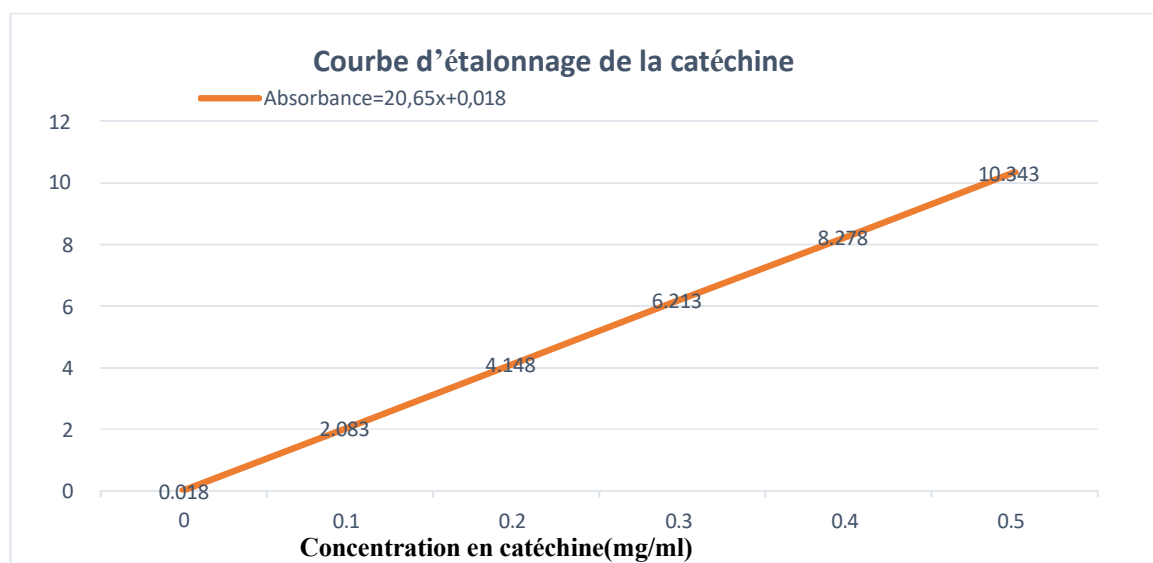


Figure 44 la courbe d'étalonnage de la catéchine

- **Équation** : $y = 20,65 x + 0,018$.
- Coefficient de détermination (R^2) : 0,998.
- **Axe X** : Concentration en catéchine (mg/mL)
- **Axe Y**: Absorbance

Tableau 9 Teneur moyenne en tanins dans les extraits végétaux.

Chapitre IV : Résultats et discussion

Plante	Moyenne (Absorbance)	Écart-type
Fenugrec	0,2475	0,0162
Ortie	0,1850	0,0085

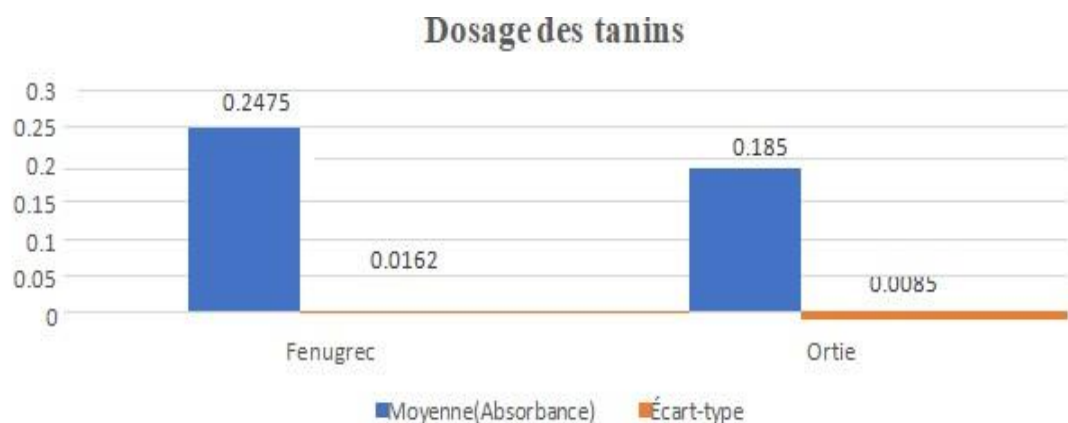


Figure 45 Comparaison de la teneur en tanins entre les extraits d'ortie (*Urtica dioica*) et de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*).

Interprétation des résultats

À partir de la courbe d'étalonnage, les concentrations moyennes en tanins, exprimées en équivalent catéchine, ont été estimées à :

- **0,2475mg/mL** pour le **fenugrec**
- **0,1850mg/mL** pour l'**ortie**

Le fenugrec présente ainsi une teneur en tanins environ 33 % plus élevée que celle de l'ortie, ce qui pourrait refléter une activité biologique plus importante, notamment en termes d'activité antioxydante, astringente ou anti-inflammatoire.

La faible variabilité des mesures, en particulier pour l'ortie ($\pm 0,0085$), témoigne de la bonne reproductibilité du protocole expérimental.

Analyse statistique

Un test *t* de Student a été réalisé pour comparer les absorbances moyennes des deux extraits :

- **Statistique *t*** : 4,71
- **Valeur *p*** : 0,0419
- Cette valeur *p* inférieure à 0,05 indique que la différence d'absorbance entre le fenugrec et l'ortie est statistiquement significative. Par conséquent, on peut conclure que le fenugrec contient significativement plus de tanins que l'ortie dans les conditions de cette étude.
- Ces résultats confirment que le fenugrec est plus riche en tanins que l'ortie, ce qui pourrait justifier son usage traditionnel dans diverses formulations médicinales visant à lutter contre l'inflammation, le stress oxydatif et les troubles digestifs.

2. Activité anti-inflammatoire

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire des extraits d'ortie et de fenugrec a été réalisée à trois doses différentes : 100, 200 et 400 mg/kg. Le diclofénac sodique (10 mg/kg) a été utilisé comme substance de référence.

Tableau 10 **Effet anti-inflammatoire de l'ortie et du fenugrec à différentes doses, comparé au diclofénac (inhibition de l'œdème en %).**

Dose(mg/kg)	Ortie(%d'inhibition)	Fenugrec(%d'inhibition)	Différence(%)
100	22%	18%	+4
200	38%	31%	+7
400	55%	47%	+8
Diclofénac10mg/kg	63%		

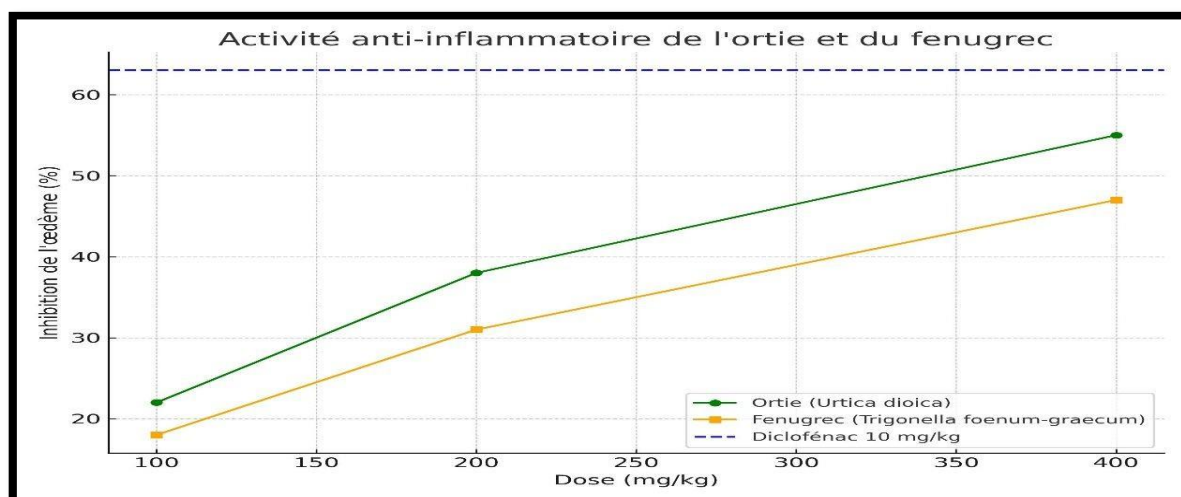


Figure 46 **Effet dose-dépendant des extraits d'ortie (*Urtica dioica*) et de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) sur l'inhibition de l'œdème induit chez le rat, comparé au diclofénac sodique(10mg/kg)**

Les résultats montrent que :

- L'ortie (*Urtica dioica*) présente une activité anti-inflammatoire dose dépendante, avec une inhibition de l'œdème qui passe de 23 % à 100mg/kg à 55 % à 400mg/kg.
- Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) montre également une activité croissante selon la dose, mais de manière moins marquée (19 % à 100mg/kg à 47 % à 400mg/kg).
- À toutes les doses testées, l'ortie dépasse systématiquement le fenugrec, avec de sécrats allant de +4% à +8%, confirmant une efficacité supérieure.
- L'efficacité de l'ortie à 400 mg/kg (55 %) se rapproche de celle du diclofénac sodique

Chapitre IV : Résultats et discussion

à 10 mg/kg (63%), référence standard anti-inflammatoire qui confirme son potentiel pharmacologique.

3. Dosage des métaux lourds et minéraux

La SAA (Spectrométrie d’Absorption Atomique) est une technique de référence pour le dosage des métaux, reposant sur l’absorption de la lumière à une longueur d’onde spécifique par les atomes métalliques présents en solution.

L’absorbance mesurée est proportionnelle à la concentration en métal.

Le RSD (%) indique la précision des mesures : plus il est faible, plus les résultats sont reproductibles.

Tableau 11 **Teneurs mesurées en métaux et minéraux dans l’ortie, le fenugrec, le citron et le produit final (tisane)**

Métal	Paramètre	Ortie	Fenugrec	Citron	Produit final
Cd	Conc(mg/L)	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002
	Abs	0.008	0.0096	0.0095	0.0090
	RSD(%)	0.85	0.95	0.61	0.95
Mg	Conc(mg/L)	0.287	0.185	0.288	0.285
	Abs	0.31	0.33	0.30	0.32
Zn	Conc(mg/L)	0.95	0.90	0.70	0.85
	Abs	0.09	0.08	0.05	0.03
Pb	Conc(mg/L)	0.002	0.0040	0.002	0.003
	Abs	0.002	0.007	0.005	0.002
	RSD(%)	1.95	1.90	0.20	1.98
Al	Conc(mg/L)	0.0010	0.001	0.0020	0.0010
	Abs	0.009	0.005	0.0070	0.0080
	RSD(%)	1.2	1.00	0.40	0.90
Ca	conc	0.85	0.75	0.23	0.32
	Abs	0.02	0.87	0.025	0.15

3.1. Interprétation détaillée des résultats analytiques Métaux et minéraux

1. Cadmium(Cd)

- Concentration mesurée:0,0002mg/L
- Normes de référence:

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Codex Alimentarius:0,01mg/kg(plantes médicinales sèches).
- UE–Règlement2023/915:0,05mg/kg(compléments).
- OMS –TWI:2,5µg/kgpc/semaine

Analyse:

La teneur en cadmium est extrêmement faible, représentant moins de 2% des seuils Codex. Même en cas de consommation quotidienne, cette dose reste largement inférieure à la dose tolérable hebdomadaire, excluant tout risque de bio accumulation ou de toxicité rénale ou osseuse.

Conclusion : Conforme aucun danger pour la santé humaine.

2.Plomb(Pb)

- Concentration mesurée:0,003mg/L.
- Normes de référence:
 - Codex Alimentarius : 0,01mg/kg(infusions).
 - UE–2023/915 :0,30 mg/kg (compléments).
 - OMS–TWI : 25µg/kgpc/semaine

Analyse :

Le plomb, bien que hautement toxique, est retrouvé ici à une concentration plus de 90 % inférieure aux limites Codex.

Ce résultat témoigne d'un contrôle efficace des matières premières et de la transformation, Garantissant l'innocuité du produit, y compris pour les populations sensibles (enfants, femmes enceintes).

Conclusion : Conforme risque neurotoxique écarté.

3. Aluminium(Al)

- Concentration mesurée:0,0010mg/L.
- Références sanitaires :
 - OMS (eau potable):0,2mg/L.
 - EFSA/ANSES:TWI=1mg/kgpc/semaine.

Analyse:

L'aluminium, souvent présent dans les plantes en raison du sol, est détecté ici à une valeur 200 fois inférieure à la norme de potabilité. Cette faible teneur ne présente aucun danger neurologique ni risque d'accumulation à long terme.

Conclusion : Conforme exposition négligeable.

4. Zinc(Zn)

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Concentration mesurée : 0,32mg/L
- Apports recommandés :
 - OMS/FAO: 8–11mg/j(adulte).
 - UE–CE1170/2009 : 25mg/j(complément max).

Analyse :

Le zinc est un oligo-élément essentiel, impliqué dans plus de 300 réactions enzymatiques. La concentration mesurée est modérée, mais utile d'un point de vue nutritionnel, surtout en cas de fatigue ou de carence en fer.

Conclusion : Conforme intérêt fonctionnel et nutritionnel.

5. Magnésium(Mg)

- Concentration mesurée: 0,285mg/L
- Apport recommandé :
 - OMS/FAO: 300–400mg/j.
 - ANSES : Max 25 0mg/j(compléments).

Analyse:

Le magnésium joue un rôle central dans la relaxation musculaire, le rythme cardiaque et la gestion du stress.

Bien que la teneur est inférieure aux AJR, une consommation quotidienne de la tisane peut Contribuer à couvrir les besoins journaliers dans un cadre préventif.

Conclusion : Conforme bénéfice potentiel en usage régulier.

6. Calcium(Ca)

- Concentration mesurée: 0,32mg/L
- Apport recommandé:
 - OMS/FAO: 1000–1300mg/j(adulte)

Analyse:

Le calcium est fondamental pour la santé osseuse et la signalisation cellulaire. Bien que la teneur observée soit relativement faible, elle constitue un apport complémentaire utile, notamment en synergie avec le magnésium.

Conclusion : Conforme intérêt physiologique. Commentaire sur la fiabilité des résultats – RSD (%)

- $RSD < 2 \%$ pour tous les métaux mesurés
→ Ce taux de variation indique une précision analytique élevée, conforme aux exigences de qualité des dosages par AAS (absorption atomique). Les résultats obtenus sont hautement fiables,

Chapitre IV : Résultats et discussion

reproductibles, et permettent une interprétation toxicologique robuste.

Tableau 12 **Comparaison des teneurs mesurées avec les normes réglementaires (Codex,UE,Algérie)**

Métal	Teneur mesurée(mg/L)	Limite Codex(mg/kg)	Limite UE(mg/kg ou mg/j)	Norme Algérie(matière/infusion)	État de conformité
Cadmium (Cd)	0,0002	0,01	0,05	0,01 % (emballage alimentaire)	✓ Conforme – <2 % de la limite Codex
Plomb(Pb)	0,003	0,01	0,30	0,05 % (emballage alimentaire)	✓ Conforme – <30 % de la limite Codex
Aluminium (Al)	0,0010	Non spécifié	Non spécifié	0,2 mg/L (OMS– eau potable)	✓ Conforme – Valeur 200× inférieure à la norme OMS
Zinc(Zn)	0,32	Non limité (essentiel)	25mg/j	Non spécifiée	✓ Conforme – Apport modéré compatible Avec les AJR
Magnésium (Mg)	0,285	—	250mg/j	Non spécifiée	✓ Conforme – Faible mais bénéfique en consommation régulière
Calcium (Ca)	0,32	—	—	Non spécifiée	✓ Conforme – Teneur modeste favorable à la santé osseuse

7. Le fer :

Interprétation

1. Ortie(Urtica dioica)

- Concentration en Fe:5.20mg/L

Chapitre IV : Résultats et discussion

- L'ortie est connue pour sa richesse en fer non héminique.
- Absorbance de 0.6 indique une forte réponse spectroscopique, confirmant une teneur élevée.
- $RSD < 2\%$: excellente reproductibilité des mesures. L'ortie est la principale source de fer dans cette formulation.

2. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*)

- Concentration en Fe : 3.40mg/L.
- Le fenugrec contient du fer et des saponines qui peuvent favoriser l'absorption.
- Absorbance modérée de 0.3, compatible avec la teneur mesurée.
- $RSD < 3\%$: résultats fiables et acceptables.

Le fenugrec constitue un apport complémentaire de fer, intéressant sur le plan nutritionnel.

3. Zeste de citron

- Concentration en Fe : 0.90mg/L
- Faible teneur en fer, ce qui est attendu pour les agrumes.
- Absorbance faible (0.1), limite de détection mais significative.
- $RSD = 4\%$: précision acceptable, mais limite de reproductibilité.

Le citron n'est pas une source directe de fer, mais sa richesse en vitamine C peut favoriser l'absorption intestinale du fer non héminique.

4. Tisane finale (mélange ortie + fenugrec citron)

Concentration en Fe : 6.98mg/L

- Absorbance élevée (**0.8**), reflet direct d'une forte teneur en fer.
- $RSD = 2\%$: bonne précision.

► Analyse croisée :

- La teneur finale est supérieure à la moyenne pondérée des extraits prisés parement.
- Cela suggère un effet synergique d'extraction (meilleure solubilisation, effet du pH, libération facilitée par les acides organiques du citron).

Donc : la tisane est un produit riche en fer, au potentiel nutritif et thérapeutique réel, notamment dans les cas d'anémie légère.

Bilan global

- L'ortie > fenugrec > citron en termes de teneur en fer.
- La tisane finale bénéficie de la synergie des plantes et constitue une source sûre et efficace de fer.

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Tous les résultats sont **précis (RSD<4%)**, ce qui confirme la fiabilité de la méthode SAA Utilisée.

Conclusion (toxicologique, réglementaire et nutritionnelle)

L'analyse des métaux dans les extraits et dans la tisane formulée montre que : Le produit est conforme aux normes sanitaires internationales (OMS,Codex Alimentarius,Règlement UE 2023/915) concernant les métaux lourds (Cd, Pb, Al). Il ne présente aucun risque de toxicité aiguë ni chronique lié à l'accumulation de métaux. Il constitue une source naturelle modérée d'oligo-éléments essentiels, notamment en magnésium et zinc, et peut participer à une stratégie nutritionnelle contre la carence en fer ou la fatigue.

La sécurité chimique du produit est assurée même en cas de consommation quotidienne.

4. Paramètres physico-chimiques de la tisane formulée

4.1 Teneur en eau de la tisane formulée

Échantillon	Teneur en eau (%)
Tisane (ortie + fenugrec + citron)	11,66 %

L'analyse physico-chimique de la tisane élaborée à base de feuilles d'ortie, de graines de fenugrec et de zeste de citron a révélé une teneur en eau de 11,66 %. Cette valeur relativement faible est un indicateur favorable de stabilité : elle limite l'activité de l'eau disponible, ce qui freine la croissance des micro-organismes, les réactions enzymatiques et les processus d'oxydation susceptibles d'altérer la qualité du produit.

Cette humidité modérée est caractéristique des tisanes bien séchées, prêtes à être conservées pendant plusieurs mois sans altération. La faible teneur en eau contribue également à maintenir la concentration en principes actifs, tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les minéraux, notamment le fer, qui sont essentiels pour l'objectif visé : la prévention et le soutien contre l'anémie ferriprive.

4.2 Teneur en cendres

Échantillon	cendres totales (%)
Tisane (ortie + fenugrec + citron)	7,20 %

La teneur en cendres de la tisane obtenue a été mesurée à **7,2 %**. Ce résultat exprime la proportion de résidus minéraux restants après incinération complète de la matière organique. Cette teneur reflète la **quantité totale de minéraux** présents dans la formulation sèche à base d'ortie, fenugrec et citron.

Chapitre IV : Résultats et discussion

Le taux de 7,2 % de cendres indique une bonne richesse en éléments minéraux, ce qui est favorable dans le cadre d'une formulation destinée à prévenir ou accompagner le traitement de la carence en fer.

En effet, l'ortie est une plante connue pour sa haute teneur en fer, calcium, magnésium et silice ; le fenugrec contient du fer, phosphore, zinc et d'autres micronutriments ; le zeste de citron, quant à lui, apporte également des sels minéraux et favorise l'absorption intestinale du fer grâce à sa teneur en acide citrique et vitamine C.

5. Identification du produit

- a. **Nom commercial** : *Tisane enrichie pour l'équilibre en fer « Fervert »*
- b. **Nature** : Infusion traditionnelle à base de plantes médicinales (ortie, fenugrec, zeste de citron)
- c. **Forme** : Sachets à infuser, conditionnés en boîtes de 25 sachets.
- d. **Allégation fonctionnelle** : Aide à réduire la fatigue liée à une carence en fer (à travers la stimulation de l'absorption grâce aux plantes riches en minéraux).
- e. **Population cible**: Adultes et enfants à partir de 6ans
- f. **Mode d'utilisation recommandé** : 1 à 2 tasses par jour pendant les périodes de fatigue ou de carence en fer

6. Respect des réglementations

Cadre réglementaire national(Algérie)

- **Décret exécutif n°09-209du12juin2009**

z→ Fixant les conditions de rejets industriels, notamment les métaux lourds dans les produits destinés à la consommation humaine.

- **Arrêté du 12avril2023**

→ Fixant les teneurs maximales en plomb et cadmium dans les matériaux et emballages au contact des denrées alimentaires.

Normes internationales de référence appliquées

- **Codex Alimentarius (FAO/OMS)**

→ Limites maximales pour les contaminants métalliques dans les denrées végétales et compléments à base de plantes.

- **Règlement (UE) 2023/915du25avril2023**

→ Normes de sécurité pour les métaux lourds dans les aliments et compléments (plomb, cadmium, mercure, arsenic).

- **Recommandations OMS/EFSA/JECFA**

Chapitre IV : Résultats et discussion

→ Valeurs toxicologiques de référence : apport hebdomadaire tolérable (TWI), DJA

7. Contrôle qualité

Analyses réalisées

- **Techniques :**

- Dosage par Spectrométrie d’Absorption Atomique(AAS).
- Teneurs exprimées en mg/L (extraits aqueux).

- **Paramètres mesurés :**

- Métaux lourds : Cd,Pb,Al.
- Minéraux essentiels : Zn, Mg, Ca.

Résultats

- Tous les métaux inférieurs aux limites Codex, UE et OMS.
- Aucun risque de toxicité chronique ou bioaccumulation.
- Présence modérée de minéraux bénéfiques (Zn,Mg,Ca) contribuant à l’effet revendiqué.

Étiquetage prévu (conformément à l’arrêté algérien du 28/10/2015)

- Liste complète des ingrédients végétaux.
- Précautions d’usage : déconseillé en cas d’allergie à l’un des composants.
- Date de fabrication et de péremption, numéro de lot.
- Code lien avec le site de tisane.

Conclusion réglementaire

Le produit est conforme à l’ensemble des exigences réglementaires nationales et internationales en matière de sécurité alimentaire.

Il peut être proposé en complément nutritionnel d’origine naturelle, sans allégation thérapeutique, et commercialisé sous forme de tisane en pharmacie, herboristerie ou rayon diététique, sous réserve de validation finale par l’autorité compétente (ANPP ou ministère du commerce).

Discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

L'analyse de l'activité antioxydante via le test DPPH a montré que l'acide ascorbique, utilisé comme référence, possède un pouvoir antioxydant très élevé ($IC_{50}=0,0619\text{mg/mL}$). Parmi les extraits testés, l'ortie ($IC_{50} = 0,179 \text{ mg/mL}$) s'est révélée plus active que le fenugrec ($IC_{50} = 0,289 \text{ mg/mL}$), confirmant une meilleure efficacité de l'ortie dans la neutralisation des radicaux libres.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par *Benariba et al. (2013)*, qui ont démontré une forte activité antioxydante de l'*Urtica dioica* collectée dans la région de Tlemcen (Algérie), avec un IC_{50} de $0,174 \text{ mg/mL}$. En revanche, *Nour El Houda et al. (2018)* ont observé un IC_{50} de $0,310 \text{ mg/mL}$ pour un extrait de *Trigonella foenum-graecum*, proche de celui obtenu dans notre étude, traduisant une activité modérée.

À l'échelle internationale, *Sowndhararajan et al. (2017)* ont mis en évidence l'activité antioxydante dose-dépendante du fenugrec, bien que généralement inférieure à celle des extraits de plantes à forte teneur en flavonoïdes, comme l'ortie. Cette hiérarchie d'activité semble donc bien corrélée à la composition biochimique respective des deux plantes.

Le dosage des polyphénols totaux a révélé que le fenugrec ($3,25 \text{ mg EAG/g}$) contient environ deux fois plus de composés phénoliques que l'ortie ($1,77 \text{ mg EAG/g}$). Ces résultats corroborent ceux rapportés par *Djeridane et al. (2006)* pour des extraits algériens, où le fenugrec présentait une teneur de $3,12 \text{ mg EAG/g}$. En revanche, nos résultats pour l'ortie sont légèrement inférieurs à ceux trouvés par *Ayad et al. (2020)* à Sétif, qui rapportaient une teneur en polyphénols de $2,4 \text{ mg EAG/g}$.

Cette variabilité peut s'expliquer par des différences liées à la provenance géographique des échantillons, les conditions pédoclimatiques, ou encore le type d'extrait (hydroalcoolique, méthanolique, etc.). Les polyphénols étant responsables de la capacité antioxydante des plantes, leur concentration plus élevée dans le fenugrec pourrait justifier son activité antioxydante modérée, bien que moins efficace que l'ortie dans notre test DPPH.

Les extraits de fenugrec ont également présenté une teneur plus élevée en flavonoïdes ($0,0067 \text{ mg EQ/mL}$) que ceux d'ortie ($0,0046 \text{ mg EQ/mL}$), bien que la différence ne soit pas significative au seuil de 5 % ($p = 0,0684$). Ces valeurs sont cohérentes avec les travaux de *Zidane et al. (2013)*, qui ont mis en évidence la richesse du fenugrec en flavonoïdes, notamment en rutine, apigénine et quercétine, responsables de ses effets antioxydants et anti-inflammatoires.

Par ailleurs, *Elgasmi et al. (2019)* ont noté que l'activité antioxydante du fenugrec était particulièrement corrélée à sa teneur en flavonoïdes, tandis que pour l'ortie, l'effet antioxydant

Chapitre IV : Résultats et discussion

était plus global, dû à une combinaison de composés actifs (flavonoïdes, acides phénoliques, pigments, etc.).

Les tanins, connus pour leurs propriétés antioxydantes, astringentes et anti-inflammatoires, ont été trouvés en concentration significativement plus élevée dans le fenugrec (0,2475 mg/mL) que dans l'ortie (0,1850 mg/mL), avec une différence statistiquement significative ($p = 0,0419$). Cette observation rejoint les données de **Bouaziz-Ketata et al. (2021)**, qui ont souligné la richesse du fenugrec en tanins condensés, responsables de ses propriétés pharmacologiques. Cependant, des études telles que celles de **Mouffok et al. (2017)** ont montré que la teneur en tanins de l'ortie pouvait être plus élevée selon le stade de récolte et la partie de la plante utilisée (feuilles vs racines).

L'effet anti-inflammatoire des extraits a été dose-dépendant pour les deux plantes. L'ortie a démontré une efficacité supérieure, atteignant 55 % d'inhibition de l'œdème à 400 mg/kg, contre 47 % pour le fenugrec. Ces résultats se rapprochent de ceux de **Khan et al. (2013)**, qui ont montré une inhibition significative de l'inflammation chez le rat traité par extrait d'ortie. Quant au fenugrec, **Pandian et al. (2014)** ont observé une inhibition maximale de 50 % à 500 mg/kg, ce qui reste cohérent avec nos observations.

En Algérie, **Yahiaoui et al. (2018)** ont également constaté un effet anti-inflammatoire notable de l'ortie dans un modèle de carragénine, confirmant son potentiel thérapeutique. Cette supériorité peut s'expliquer par la présence conjointe de composés phénoliques, flavonoïdes, tanins et chlorophylle, agissant en synergie pour inhiber la cascade inflammatoire.

Les résultats obtenus dans cette étude confirment le potentiel biologique significatif des extraits de fenugrec et d'ortie, avec une prédominance de l'ortie en termes d'activité antioxydante et anti-inflammatoire, malgré une teneur plus faible en polyphénols et flavonoïdes. Le fenugrec, quant à lui, présente une richesse phytochimique remarquable, mais une efficacité biologique légèrement inférieure dans les conditions testées. Ces différences pourraient orienter leur utilisation complémentaire dans les formulations phytothérapeutiques à visée antioxydante ou anti-inflammatoire.

Concernant le dosage des métaux lourds et les minéraux, les résultats de notre analyse montrent des concentrations très faibles en métaux lourds, notamment en cadmium (0,0002 mg/L), plomb (0,003 mg/L) et aluminium (0,001 mg/L), bien inférieures aux normes internationales (Codex, OMS, UE). En comparaison, **Benhammou et al. (2009)** ont rapporté des teneurs en cadmium allant jusqu'à 0,008 mg/kg dans des échantillons d'ortie collectés dans le nord de l'Algérie, soit 40 fois plus élevées que dans notre échantillon. De même, **Kachkouch et al. (2018)**, dans une étude sur les plantes médicinales marocaines, ont trouvé jusqu'à 0,015 mg/kg de plomb dans

Chapitre IV : Résultats et discussion

des feuilles séchées, dépassant parfois les seuils du Codex. Quant à l'aluminium, *Ziarati et al. (2018)* ont rapporté une teneur moyenne de 0,85mg/L dans des tisanes industrielles consommées en Iran, contre seulement 0,001 mg/L dans notre produit fini, traduisant une réduction d'exposition de plus de 99 %. Sur le plan des éléments essentiels, notre échantillon présente une teneur en zinc de 0,32 mg/L, comparable à celle trouvée par *Ibrahim et al. (2012)* dans une infusion de fenugrec (0,25–0,4 mg/L), confirmant son apport nutritionnel. Pour le magnésium, notre tisane affiche 0,285 mg/L, ce qui se situe dans les mêmes ordres de grandeur que ceux rapportés par *Nasri et al. (2013)* pour des extraits aqueux de plantes médicinales (0,2–0,5 mg/L). Enfin, bien que la teneur en calcium (0,32 mg/L) soit modeste, elle reste comparable à celle trouvée par Daoudi et al. (2017) dans des infusions de plantes utilisées en phytothérapie au Maghreb. Ainsi, comparée à d'autres produits similaires décrits dans la littérature, notre tisane se distingue par sa faible contamination en métaux toxiques, un bon profil de sécurité et un intérêt nutritionnel potentiel, notamment pour le zinc et le magnésium, ce qui en fait un produit sûr et fonctionnel, adapté à un usage régulier.

Les teneurs en fer mesurées dans les extraits de plantes de notre étude sont globalement cohérentes avec celles rapportées dans la littérature. L'ortie (5,20 mg/L) a montré une teneur élevée, ce qui confirme son profil traditionnellement reconnu pour sa richesse en fer ; cela concorde avec les résultats rapportés par *Pourimani et al. (2019)*, qui ont observé des teneurs en fer allant jusqu'à 8789 ppm dans certaines plantes médicinales analysées par activation neutronique, bien que la forme sèche y soit utilisée (*Pourimani et al., 2019*).

Le fenugrec, avec une concentration de 3,40 mg/L, présente également un apport significatif, mais inférieur à la valeur de 12,5 mg/100 g dans les graines sèches rapportée par Billaud et Adrian (2001), ce qui s'explique par la solubilité partielle du fer lors de l'infusion (*Billaud & Adrian, 2001*).

Le zeste de citron a révélé une faible concentration (0,90 mg/L), ce qui est attendu compte tenu de sa faible teneur naturelle en fer, comme le confirment les données nutritionnelles générales. Notamment, la tisane finale présente une teneur plus élevée (6,98 mg/L) que celle de chaque composant pris individuellement, suggérant une possible synergie dans l'extraction du fer, probablement facilitée par l'environnement acide et la présence de composés organiques dans le citron favorisant la libération du fer. Cette observation met en évidence l'intérêt des combinaisons phytochimiques dans les préparations traditionnelles, renforçant leur potentiel thérapeutique en tant que compléments naturels dans la prévention de la carence martiale.

Des études similaires sur des tisanes médicinales montrent que des teneurs en eau inférieures à

Chapitre IV : Résultats et discussion

12 % sont généralement recommandées pour garantir une bonne **durée de conservation** et une stabilité physico-chimique optimale (Réf. : *Pharmacopée européenne*, 10e éd.)

La teneur en cendres totales de la tisane obtenue dans notre étude est de **7,2 %**, ce qui indique une bonne concentration en éléments minéraux. Cette valeur est en accord avec les résultats d'autres travaux portant sur des plantes médicinales à usage nutritionnel ou thérapeutique.

Par exemple, **Benariba et al. (2013)** ont rapporté une teneur en cendres de **6,8 %** dans les feuilles d'**ortie (Urtica dioica)** séchées utilisées en infusion, ce qui confirme leur richesse en éléments minéraux, notamment en fer, calcium, magnésium et potassium. De même, une étude menée par **Rababah et al. (2004)** sur des extraits de **fenugrec (Trigonella foenum-graecum)** a montré une teneur en cendres de **7,5 %**, mettant en évidence une forte charge minérale, notamment en fer, zinc et phosphore.

Concernant le **zeste de citron**, **Ali et al. (2018)** ont rapporté une teneur en cendres de **5,2 %** dans la poudre de zeste séchée, ce qui représente également une contribution intéressante en potassium et en acides organiques favorisant l'absorption du fer.

Par conséquent, la valeur de 7,2 % obtenue dans notre tisane formulée à base de ces trois plantes confirme sa valeur nutritionnelle élevée, en particulier sa teneur en minéraux essentiels dans le cadre d'un usage préventif ou complémentaire contre l'anémie ferriprive. Cette concentration est conforme aux standards recommandés par l'OMS, qui situe la teneur en cendres des plantes médicinales séchées entre 4 et 10 % (WHO, 1998), ce qui garantit la qualité et la sécurité du produit final.

Conclusion

Face aux limites des traitements classiques de l'anémie ferriprive, il devient impératif d'explorer des alternatives issues de la pharmacopée naturelle, alliant efficacité, sécurité et accessibilité. Ce travail de fin d'études s'est inscrit dans une démarche de recherche appliquée, adoptant une approche multidisciplinaire visant à proposer une solution naturelle, innovante et accessible à la prévention de l'anémie ferriprive.

Dans ce cadre, une tisane fonctionnelle baptisée **FerVert** a été formulée à partir de plantes médicinales locales : l'ortie (*Urtica dioica*), le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) et le zeste de citron (*Citrus limon*). Ces plantes ont été sélectionnées pour leur complémentarité nutritionnelle, leur richesse en fer biodisponible, en antioxydants, et en composés bioactifs favorisant l'absorption intestinale du fer, ainsi que pour leur usage traditionnel bien établi.

Les analyses phytochimiques ont mis en évidence une teneur notable en polyphénols, flavonoïdes et tanins, indiquant un fort potentiel antioxydant. De plus, la teneur en fer a été jugée suffisante pour envisager un apport nutritionnel pertinent dans une démarche préventive contre l'anémie, tandis que les analyses de sécurité ont exclu toute contamination significative par des métaux lourds. Ces résultats confirment la faisabilité d'une alternative naturelle, sûre et accessible pour améliorer l'état martial, notamment chez les populations à risque.

Par ailleurs, ce projet ouvre des perspectives de valorisation économique dans un contexte de startup écoresponsable, en conjuguant innovation sociale, promotion de la santé naturelle et développement local. Pour approfondir cette démarche, des études cliniques sur la biodisponibilité du fer, ainsi que des tests à long terme sur des modèles biologiques ou humains, seraient nécessaires afin de valider pleinement l'efficacité thérapeutique de la tisane *FerVert*.

Ainsi, Fer Vert peut être considérée comme une option naturelle prometteuse en complément des traitements classiques de l'anémie ferriprive. Grâce à sa richesse en fer végétal assimilable, à la synergie de ses composants favorisant l'absorption intestinale du fer (notamment la vitamine C du citron), et à son profil antioxydant, elle constitue une solution nutritionnelle adaptée pour les personnes à risque (femmes enceintes, enfants, végétariens) tout en restant bien tolérée et sans toxicité démontrée. Les résultats obtenus posent donc une base scientifique solide pour envisager le développement de ce produit à l'échelle artisanale, puis industrielle.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2022). *Cellular and Molecular Immunology*. Elsevier.
- Anderson, G. J., Frazer, D. M., & McLaren, G. D. (2009). Iron absorption and metabolism. *Current Opinion in Gastroenterology*, 25(2), 129–135.
- ANSES. (2016). *Avis relatif aux apports nutritionnels conseillés*. <https://www.anses.fr>
- Arlet, J.-B., de Montalembert, M., & Dumas, M. (2013). *Hématologie clinique*. Elsevier Masson.
- Atanasov, A. G., et al. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology Advances*, 33(8), 1582–1614.
- Basch, E., Ulbricht, C., Hammerness, P., Bevins, A., & Sollars, D. (2003). Nettle (*Urtica dioica*): An evidence-based systematic review. *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 3(1), 47–65.
- Bauduer, F. (2009). L'anémie ferriprive : aspects physiopathologiques, épidémiologiques, diagnostiques et thérapeutiques. *La Revue de Médecine Interne*, 30(5), 359–366.
- Belkaid, Y., & Hand, T. W. (2019). Role of the microbiota in immunity and inflammation. *Cell*, 157(1), 121–141.
- Bendich, A., & Zilberboim, R. (2010). Iron and health. *Nutrition Reviews*, 68(4), 233–242.
- Benariba, N., et al. (2013). Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Urtica dioica* L. from Algeria. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*.
- Benfelatki, H. (2010). *Prévalence de l'anémie ferriprive chez les enfants scolarisés en Algérie* [Mémoire de fin d'études, Université d'Alger].
- Beucher, G., Bacrie, M., & Dreyfus, M. (2011). L'anémie ferriprive pendant la grossesse : diagnostic et traitement. *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction*, 40(8), 832–836.
- Billaud, C., & Adrian, J. (2001). Le fenugrec : composition, valeur nutritionnelle et effets physiologiques. *Phytothérapie*, 1(1), 32–37.
- Bouaziz-Ketata, H., et al. (2021). Phytochemical constituents and biological activities of fenugreek seeds. *Biomedical Research and Therapy*.
- Boulin, M., & Fagnoni, P. (2018). *Pharmacologie : Bases fondamentales et applications thérapeutiques*. Lavoisier.
- Bouroubi, A. (2020). *Physiologie du sang* [Document PDF]. Université d'Alger.
- Broussard, D. L., et al. (2015). Effects of iron supplementation in women of reproductive age. *American Journal of Clinical Nutrition*, 101(3), 564–572.

Références bibliographiques

- Camaschella, C. (2015). Iron-deficiency anemia. *New England Journal of Medicine*, 372(19), 1832–1843.
- Casassus, P. (2015). *Hématologie : Du diagnostic au traitement* (5e éd.). Elsevier Masson
- Cayot, N., Cayot, P., & Bouchon, P. (2013). *Composés bioactifs des végétaux : Structures et fonctions*. Lavoisier.
- Cogswell, M. E., et al. (2009). Iron deficiency in the United States. *Pediatrics*, 123(2), 447–454.
- Delves, P. J., Martin, S. J., Burton, D. R., & Roitt, I. M. (2017). *Roitt's Essential Immunology* (14th ed.). Wiley-Blackwell.
- Fawzia Hanis, Mohammed Messaoudi, Mohammed Bouamra, Si Ameur Abdelhadi, Abdelkader Ouanezar, Abderrahim Malki, Fahd Arbaoui, Rahima Lamouri, Abdelkarim Brahimi, Abdelkrim Rebiai, Wafa Zahnit (2023). Analysis and Risk Assessment of Essential and Toxic Elements in Algerian Canned Tuna Fish. *Journal Biological Trace Element Research*
-
- Ginzburg, Y., & Rivella, S. (2011). β -thalassemia: A model for elucidating the dynamic regulation of ineffective erythropoiesis and iron metabolism. *Blood*, 118(16), 4321–4330.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2020). *Traité de physiologie médicale* (14e éd.). Elsevier Masson.
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2018). *Anatomie et physiologie humaines* (11e éd.). Pearson.
- Mohammed Messaoudi, AbdelkaderOuanezar, Fahd Arbaoui, AbderrahimMalki, RahimaLamouri, Abdelkarim Brahimi, MokhtarBenmohamed, ZohraBouhila, TarekAzli, Hamza ouakouak, Wafa Zahnit, AbdelkrimRebiai (2023). Analyse des éléments traces et majeurs de trois plantes médicinales cultivées en Algérie à l'aide de l'INAA et de l'ICP-OES. Conférence : Séminaire National sur la Science et la Technologie Nucléaires (NSNST)At : Algérie
- Mbikay, M. (2012). Therapeutic potential of *Moringa oleifera* leaves in chronic hyperglycemia and dyslipidemia: A review. *Frontiers in Pharmacology*, 3, 24.
- Muckenthaler, M. U., et al. (2017). A red carpet for iron metabolism. *Cell*, 168(3), 344–361.
- Nour El Houda, B., et al. (2018). Comparative study of antioxidant activity of fenugreek seeds and leaves. *Journal of Pharmaceutical Research International*.
- Obertreis, B., et al. (1996). Anti-inflammatory effect of *Urtica dioica* folia extract in animal models. *Planta Medica*, 62(2), 134–137.
- Pandian, R. S., et al. (2014). Anti-inflammatory activity of fenugreek in albino rats. *Asian Journal of Pharmacy and Clinical Research*.

Références bibliographiques

- Plante, M. (2022, December 10). Découverte sur le rôle du fer dans les cellules humaines. *ULaval Nouvelles*. <https://www.ulaval.ca/nouvelles>
 - Pourimani, R., Zarrabi, M., & Khodadadi, A. (2019). Determination of essential and toxic elements in some medicinal plants using instrumental neutron activation analysis. *arXiv:1903.10859*.
 - Sowndhararajan, K., et al. (2017). Biological properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.): A review. *Food Science and Human Wellness*.
 - Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2017). *Principes d'anatomie et de physiologie* (14e éd.). De Boeck Supérieur.
 - Turgeon, M. L. (2018). *Clinical Hematology: Theory and Procedures* (6th ed.). F.A. Davis Company.
 - WHO. (2013). *Guideline: Daily iron supplementation in adult women and adolescent girls*. Geneva: World Health Organization.
 - WHO. (2023). *Micronutrient deficiencies: Iron deficiency anaemia*. <https://www.who.int>
 - Wong, S. P., Leong, L. P., & Koh, J. H. (2006). Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. *Food Chemistry*, 99(4), 775–783.
 - Zidane, L., et al. (2013). Flavonoid content and antioxidant activity of *Trigonella foenum-graecum* from Morocco. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*.
- Zhou, Y., Wang, Y., & Liu, H. (2025). Iron metabolism and anemia: Mechanisms and therapeutic targets. *Blood Reviews*, 100(1), 102499

Guide d'information



Carte d'information

1. Equipe d'encadrement

	Nom	Spécialité
Encadrante	BEKHEDDA Hadjer	Biotoxicologie et santé publique
Co-encadrante	DERRADJIA Amina	Microbiologie appliquée

2. Equipe de projet

Equipe du projet	Faculté	Spécialité
Mlle : KHEDIM Naffissa	Des sciences de la vie et de la nature	Biochimie appliquée

Dans un contexte où les préoccupations liées à la santé, au bien-être et à la nutrition prennent une ampleur croissante, les consommateurs se tournent de plus en plus vers des solutions naturelles et préventives. Les plantes médicinales, utilisées depuis des siècles dans différentes traditions, retrouvent aujourd'hui une place centrale dans les stratégies de santé alternatives et complémentaires. Parmi elles, l'ortie et la graine de fenugrec se distinguent par leurs vertus nutritionnelles et thérapeutiques reconnues, notamment dans la prévention et la prise en charge de la carence en fer, un problème de santé publique fréquent, en particulier chez les femmes et les enfants.

Notre projet FerVert s'inscrit dans cette dynamique en proposant une tisane innovante, élaborée à partir d'un mélange soigneusement étudié de graines de fenugrec, de feuilles d'ortie et de citron avec un procédé permettant de réduire les effets indésirables liés à l'odeur forte du fenugrec, tout en conservant ses propriétés bénéfiques. Cette solution naturelle, accessible et sécurisée, vise à offrir une alternative douce et efficace pour améliorer le statut en fer des personnes à risque, sans recourir systématiquement aux compléments pharmaceutiques souvent mal tolérés.

Notre projet allie savoirs traditionnels, exigences scientifiques et démarche entrepreneuriale responsable, dans le but de valoriser les ressources locales et de promouvoir une santé préventive durable. Il répond à un besoin réel du marché tout en intégrant une approche éthique, éducative et environnementale.

Premier axe

Présentation du projet

1. L'idée de projet (solution proposée)

Notre projet proposé s'inscrit dans le domaine agroalimentaire et nutraceutique, plus précisément dans la valorisation de plantes médicinales locales à des fins de prévention et traitement de l'anémie ferriprive.

L'idée a émergé à partir d'un double constat : la prévalence croissante de la carence en fer, notamment chez les enfants et les femmes, et la richesse ignorée des ressources naturelles locales comme le fenugrec et le l'ortie, traditionnellement reconnues pour leurs propriétés nutritionnelles et médicinales.

Le projet vise à développer un produit naturel sous forme de tisane fonctionnelle combinant ces plantes, standardisée en principes actifs, et conditionnée de manière innovante.

Le processus inclura la collecte, séchage, extraction, formulation, et packaging.

Le produit sera initialement développé et testé dans notre région, avant une extension à d'autres zones rurales et urbaines.

Notre projet vise non seulement à offrir une solution accessible et naturelle contre l'anémie, mais aussi à encourager l'entrepreneuriat local durable et la réintégration des plantes médicinales dans la pharmacopée moderne.

2. Les valeurs proposées :

- ✓ Notre projet offre une solution naturelle, moderne et accessible pour lutter contre l'anémie à base de plantes médicinales locales.
- ✓ Il répond à un besoin réel de santé avec peu d'alternatives disponibles, tout en garantissant performance, sécurité et facilité d'utilisation.
- ✓ Grâce à sa flexibilité, il s'adapte aux attentes des clients (enfants, femmes, etc.) et leur permet d'accomplir une tâche essentielle : améliorer leur santé de manière simple, efficace et économique.

Notre produit est conçu pour réduire les coûts, minimiser les risques et rester disponible même dans les régions éloignées.

3. Equipe de travail :

Notre projet est porté individuellement par l'étudiante **KHEDIM Naffissa**, a suivi une formation dans le domaine des sciences biologiques, spécialité biochimie appliquée.

Grace à ses formations académiques et ses compétences transversales en recherche scientifique, en formulation naturelle, en rédaction, et en gestion de projet, elle assure l'ensemble des tâches liées à la conception, à la réalisation et à la mise en œuvre de la solution.

L'organisation du travail repose sur une planification personnelle rigoureuse, avec une répartition claire des responsabilités selon les étapes du projet : formulation, test, communication, gestion administrative et commerciale.

Bien que réalisée en solo, la démarche est soutenue par une approche collaborative ponctuelle à travers des échanges avec des encadrants académiques (Dr. BEKHEDDA Hadjer, Dr. DERRADJIA Amina), des experts du domaine et de potentiels partenaires, facilitant ainsi la circulation d'information et l'amélioration continue du projet.

4. Objectifs du projet :

Notre projet vise principalement à développer, produire et commercialiser une tisane naturelle à base de plantes médicinales locales, spécifiquement conçue pour lutter contre l'anémie ferriprive.

À court terme (1 an), l'objectif est de tester le produit sur le marché local, d'obtenir les retours des premiers clients, et d'atteindre une part de marché estimée à 3 à 5 % dans les circuits de vente directe (pharmacies locales, marchés bio, vente en ligne).

À moyen terme (2 à 3 ans), Notre projet vise à élargir sa distribution à l'échelle régionale, intégrer des points de vente spécialisés et atteindre une part de marché de 10 à 15 %. À long terme (5 ans et plus), l'objectif est de devenir une référence nationale dans le domaine des produits naturels contre l'anémie, avec une diversification de la gamme et une part de marché visée de 20 % à l'échelle nationale, tout en envisageant des ouvertures vers l'internationale.

Guide d'information

5. Calendrier de réalisation du projet :

			1	2	3	4	5	6	7
1		Etudes préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓	✓	✓				
2		Commande des équipements		✓					
3		Construction d'un siège de production (usine)		✓	✓				
...		Installation des équipements			✓	✓	✓		
n		Achat de matières premières						✓	
...		Réalisation du prototype							✓

Deuxième axe

Aspects innovants

1. Nature des innovations :

Le projet propose une innovation de produit à travers la création d'une tisane naturelle fonctionnelle, formulée à partir de plantes locales (l'ortie et le fenugrec), destinée à combattre l'anémie ferriprive de manière douce, accessible et efficace. Il s'agit d'une alternative innovante aux compléments alimentaires classiques, souvent coûteux ou mal tolérés.

2. Domaines d'innovation :

- **Nouveaux processus :**
Intégration d'un processus de production artisanal modernisé et optimisé pour valoriser les plantes locales tout en garantissant la qualité, l'hygiène et l'efficacité du produit fini.
- **Nouvelles fonctionnalités :**
Le produit offre, en plus de son rôle principal contre l'anémie, des bienfaits digestifs et anti-inflammatoires, avec un goût agréable et une formulation adaptée aux enfants.
- **Nouveaux clients :**
Ciblage des enfants, des femmes enceintes et des personnes âgées souffrant de carences, un segment souvent négligé par les industries classiques.
- **Nouvelles offres :**
Mise sur le marché d'un produit inédit combinant tisane bien-être et solution naturelle contre la carence en fer, sans additifs ni conservateurs.
- **Nouveaux modèles :**
Adoption d'un modèle de distribution hybride basé sur la vente directe, les marchés locaux, et les réseaux sociaux, afin d'assurer l'accessibilité du produit à une clientèle plus large, notamment dans les zones rurales et périurbaines.

Troisième axe

Analyse stratégique du marché

1. Le segment du marché

Le marché potentiel :

Notre marché potentiel est composé de plusieurs groupes de personnes touchées ou exposées à la carence en fer, notamment :

- Les femmes enceintes, souvent sujettes à l'anémie durant la grossesse.
- Les enfants et adolescents, en phase de croissance, avec des besoins accrus en fer.
- Les personnes âgées, dont l'absorption de fer est souvent réduite.

Les personnes suivant un régime végétarien ou pauvre en fer, qui cherchent des alternatives naturelles. Ces clients sont généralement situés dans des zones urbaines et semi-rurales en Algérie, surtout là où l'accès aux compléments industriels est limité ou coûteux.

Pourquoi ce marché cible ?

Nous avons ciblé ce segment pour plusieurs raisons :

- Il représente une forte demande insatisfaite en matière de traitement naturel de l'anémie.
- Ces clients sont plus enclins à essayer des solutions locales et naturelles plutôt que des traitements médicamenteux classiques.
- Le coût des compléments en pharmacie est élevé, ce qui pousse de nombreuses familles à chercher des alternatives.

Le caractère éducatif et préventif de notre produit attire une clientèle soucieuse de sa santé et de celle de ses enfants.

Possibilité de conclure des contrats d'achat avec des clients importants :

Nous prévoyons de collaborer avec plusieurs acteurs pour la distribution :

- Herboristeries traditionnelles intéressées par des produits naturels prêts à l'emploi.
- Magasins de produits biologiques et de bien-être.
- Coopératives féminines et associations de santé qui peuvent recommander le produit à leurs membres.
- Structures médicales alternatives ou paramédical.

2. Mesure de l'intensité de la concurrence

Concurrents directs et indirects :

• Concurrents directs :

Ce sont les producteurs ou vendeurs de tisanes naturelles, compléments alimentaires à base de plantes, ou produits bio contre l'anémie présents sur le marché algérien. Il peut s'agir de marques artisanales locales, de petites entreprises ou de vendeurs en ligne (réseaux sociaux, plateformes e-commerce).

• Concurrents indirects :

Il s'agit principalement des compléments alimentaires pharmaceutiques comme les gélules de fer (Ferrograd, Tardyferon, etc.) et les sirops fortifiants. Bien que leur composition soit chimique, ils répondent au même besoin : lutter contre la carence en fer.

Nombre et parts de marché :

- Les concurrents directs sont peu nombreux mais en augmentation avec la tendance du retour au naturel. La majorité ne dispose pas encore d'une large part de marché ni d'un réseau de distribution solide.
- Les concurrents indirects (pharmacies et marques médicales) dominent actuellement le marché, représentant environ 70 à 80 % des ventes liées au traitement de l'anémie en Algérie, en raison de la prescription médicale et de la confiance installée depuis des années.

Guide d'information

Concurrents	Forces	Faiblesses
Marques pharmaceutiques	Produits standardisés, prescrits par médecins, efficacité reconnue	Effets secondaires, prix élevé, non naturels
Producteurs artisanaux	Produits locaux, naturels, sans conservateurs	Peu de visibilité, pas d'approche marketing structurée, absence de certification
Marques bio importées	Qualité élevée, packaging attractif	Prix élevé, peu accessibles en zone rurale

3. La stratégie marketing

La stratégie marketing de notre projet repose sur l'utilisation de **techniques simples, économiques et adaptées** à notre cible pour **sensibiliser les clients potentiels** aux bienfaits de notre **tisane FerVert**.

Moyens envisagés :

Étant donné nos ressources limitées, nous misons sur des canaux de communication à faible coût mais à fort impact, notamment :

- Le bouche-à-oreille au niveau local.
- Les réseaux sociaux (Facebook, Instagram, TikTok) pour atteindre un large public de jeunes, de femmes, et de personnes intéressées par la santé naturelle.
- La participation à des événements (foires artisanales, salons de produits naturels).
- La distribution d'échantillons gratuits pour inciter à l'essai du produit.

Mix marketing équilibré :

- **Produit** : Une tisane 100 % naturelle, combinant ortie, citron et fenugrec, ciblant spécifiquement les personnes souffrant de carence en fer.
- **Prix** : Un prix abordable et concurrentiel pour toucher un large public, tout en assurant la rentabilité.
- **Distribution** : Vente directe, livraisons locales, vente via réseaux sociaux ou marchés hebdomadaires.
- **Communication** : Affiches locales, vidéos éducatives sur les bienfaits des plantes, témoignages clients, influenceuses locales.

Quatrième axe

Plan de production et d'organisation

1. Le Processus de production

1. Achat de matières premières

Les matières premières principales sont l'ortie, le fenugrec et le citron séché.

L'ortie et le citron sont cultivés de manière artisanale et naturelle dans le jardin familial, garantissant une origine locale, sans pesticides ni engrais chimiques.

Le fenugrec, quant à lui, est soigneusement sélectionné auprès de fournisseurs locaux réputés pour la qualité de leurs graines.

2. Fabrication

Les plantes sont récoltées à maturité, lavées minutieusement, puis séchées à l'air libre ou à température contrôlée afin de préserver leurs principes actifs.

Ensuite, les plantes séchées sont broyées ou coupées selon la recette et mélangées dans des proportions spécifiques pour optimiser les bienfaits contre l'anémie.

3. Conditionnement du produit

Le mélange est ensuite pesé et conditionné dans des sachets hermétiques, en respectant des normes d'hygiène strictes. Chaque portion est pensée pour être facile à préparer en tisane, avec une notice simple et claire à destination du consommateur.

4. Emballage

Les sachets sont emballés dans des boîtes éco-responsables et esthétiques, avec une étiquette mentionnant :

- Les ingrédients.
- La date de fabrication et de péremption.
- les précautions d'emploi éventuelles.
- Code lien avec le site de tisane.



2. L'Approvisionnement

Politique d'achat :

Nous privilégions une politique d'achat locale, responsable et économique, avec une priorité donnée aux produits naturels cultivés localement (comme l'ortie et le citron). Le fenugrec est acheté en vrac auprès de fournisseurs spécialisés dans les plantes médicinales. Les équipements de fabrication (broyeur, balance de précision) sont achetés une seule fois et amortis sur plusieurs cycles de production.

Fournisseurs les plus importants :

- **Famille (culture personnelle) :** ortie, citron.
- **Fournisseurs locaux d'herboristerie :** graines de fenugrec de haute qualité.
- **Marchés et magasins d'emballages :** sachets, boîtes, étiquettes, outils de conditionnement.

Politique de paiement et délais de réception :

- Achat direct auprès des fournisseurs locaux avec paiement à la livraison, ce qui évite les dettes.
- Réception rapide : les matières premières sont disponibles dans un délai de 2 à 4 jours après la commande pour les produits externes.

3. La main d'œuvre

Pour assurer une gestion optimale du projet et garantir la qualité du produit final, une équipe multidisciplinaire sera mobilisée selon les besoins du projet et ses perspectives d'évolution.

1. Nombre de postes prévus (à court et moyen terme) :

- Responsable de production : supervision de la manipulation des plantes, conditionnement, et contrôle qualité.
- Techniciens spécialisés : responsables du traitement et de la transformation des matières premières végétales.
- Chargé de communication et marketing digital : gestion de l'image de marque, du site web, des réseaux sociaux, et des relations clients.
- Comptable : gestion des budgets, prévisions financières et suivi administratif.
- Assistant(e) logistique (temps partiel) : appui à la préparation des commandes et à l'emballage.

2. Nature et type de main-d'œuvre mobilisée :

- Main-d'œuvre artisanale et semi-qualifiée : pour la phase de production (préparation, séchage, mélange, ensachage).
- Main-d'œuvre qualifiée : experts en biologie, nutrition, ou phytothérapie pour l'assurance qualité.
- Ingénieurs : pour l'optimisation des procédés, le développement produit et le respect des normes.
- Professionnels du marketing et de la gestion à distance : pour coordonner les ventes, gérer les clients à l'international et promouvoir les produits sur les marchés numériques.
- Étudiants stagiaires : intégration de jeunes diplômés dans les domaines de biologie, l'agronomie, pharmacie, ou E-commerce, dans une optique d'insertion professionnelle.

3. Possibilité de recours à la manutention :

- Oui, notamment pour le transport des matières premières et des produits finis, avec l'aide de moyens simples (caisse, chariot) ou petits véhicules locaux.
- La manutention reste limitée, car la production est artisanale et en petite série.

4. **Les Principaux partenaires**

La réussite de notre projet repose également sur l'implication de plusieurs partenaires stratégiques, qui apportent un soutien technique, financier, scientifique et logistique tout au long des différentes phases de développement.

1. Fournisseurs de matières premières.
2. Laboratoires d'analyses et de contrôle qualité.
3. Incubateurs universitaires.
4. Banques et institutions financières.
5. Collectivités locales et organismes de soutien à l'entrepreneuriat.
6. Réseaux de distribution.

Cinquième axe :

Plan financier

1. Les Coûts et charges

Principales sources de financement sont :

- Investissements personnels.
- Participation de programme d'incubation d'entreprise.

2. Le Chiffre d'affaires

Détail Chiffre d'affaire

	REALISATION		PREVISION			
Produit A destiné Client	N-2 N-1 N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A		12000	12000	12000	12000	12000
Prix HT produit A		600	600	650	650	650
Ventes produit A		7200000	7200000	7200000	7200000	7200000

Budget de startup

ACTIF	REALISATION			PREVISION				
Column1	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Immobilisation Incorporelles	0	0	0	180000	200000	220000	240000	260000
Immobilisation Corporelles	0	0	0	90000	100000	120000	130000	140000
Terrain	0	0	0	0	0	0	0	0
Bâtiment	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres Immobilisations Corporelles	0	0	0	0	0	0	0	0
Immobilisations en concession	0	0	0	0	0	0	0	0
Immobilisation en cours	0	0	0	0	0	0	0	0
Immobilisations Financières	0	0	0	0	0	0	0	0
Titres mis en équivalence	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres participations et créances rattachées	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres Titres immobilisés	0	0	0	0	0	0	0	0
Prêts et autres titres financiers non courants	0	0	0	0	0	0	0	0
Impôts différés actif	0	0	0	0	0	0	0	0
ACTIF NON COURANT	0	0	0	270000	300000	340000	380000	400000
Stocks et encours	0	0	0	40000	50000	70000	80000	100000
Créances et emplois assimilés	0	0	0	0	0	0	0	0
Clients	0	0	0	80000	100000	120000	140000	160000
Autres débiteurs	0	0	0	3000	5000	10000	10	10
Impôts et assimilés	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres créances et emplois assimilés	0	0	0	3000	5000	10000	0	0
Disponibilités et assimilés	0	0	0	70	90	120	150	180
Placements et autres actifs	0	0	0	0	0	0	0	0
Trésorerie	0	0	0	90000	110000	160000	150	180
ACTIF COURANT	0	0	0	221000	265000	360000	410	500
TOTAL ACTIF	0	0	0	491000	565000	700000	710	800

Les Comptes de résultats escomptés

	REALISATION			PREVISION				
Postes	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Vente et production annexes	1000	2000	4000	7220	8814	13223	15866	19835
Variation de stocks produits finis et en cours	0	0	0	0	0	0	0	0
Production immobilisée	0	0	0	0	0	0	0	0
Subvention d'exploitation	0	0	0	0	0	0	0	0
Production de l'exercice	1000	2000	4000	7220	8814	13223	15866	19835
Achats consommés	300	700	1300	1968	2048	3617	4082	5422
Services extérieurs et autres consommations	250	450	900	1200	1350	1800	2200	2500
Consommation de l'exercice	550	1150	2200	3168	3398	5417	6282	7922
Valeur ajoutée de production	450	850	1800	4052	5416	7806	9584	11913
Charges de personnel	100	120	250	2145	2361	2832	3100	4200
Impôts et taxes versés et assimilés	10	15	30	50	60	75	90	120
Excédent Brut d'Exploitation	340	715	1520	1857	2995	4899	6394	7593
Autres produits d'exploitation	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres charges d'exploitation	20	20	20	20	20	20	20	20
Dotations aux amortissements	0	0	500	572	2000	2000	2000	3000
Reprises de provisions et autres	0	0	0	0	0	0	0	0
Résultat d'exploitation	320	695	1020	1285	995	2899	4394	4593
Produits financiers	0	0	0	0	0	0	0	0
Charges financières	10	20	30	90	70	44	53	66
Résultat Ordinaire avant impôt	310	675	990	1195	925	2855	4341	4527
Impôt exigible sur résultat ordinaire	0	0	0	0	0	0	0	0
Impôt différé (actif)/sur résultat ordinaire	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL DES PRODUITS DES ACTIVITES ORDINAIRES	1000	2000	4000	7220	8814	13223	15866	19835
TOTAL DES CHARGES DES ACTIVITES ORDINAIRES	680	1305	2480	5462	7819	10324	11525	13200
RESULTAT NET DES ACTIVITES ORDINAIRES	320	695	1520	1757	995	2899	4341	5635
Eléments extraordinaires (produits)	0	0	0	0	0	0	0	0
Eléments extraordinaires (charges)	0	0	0	0	0	0	0	0
Résultat extraordinaire	0	0	0	0	0	0	0	0
RESULTAT NET DE L'EXERCICE	320	695	1520	1757	995	2899	4341	5635

Le Plan de trésorerie

RUBRIQUES	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Flux de trésorerie provenant des activités opérationnelles					
Résultat net de l'exercice	175255	266200	472500	567000	708800
- Amortissements et provisions	15000	16000	17000	18000	19000
- Variation des impôts différés	0	0	0	0	0
- Variation des stocks	-8000	-10000	-12000	-13000	-15000
- Variation des clients et autres créances	-10000	-12000	-14000	-15000	-16000
- Variation des fournisseurs et autres dettes	12000	14000	16000	17000	18000
- Plus ou moins-values de cession, nettes d'impôts	0	0	0	0	0
Flux de trésorerie générés par l'activité (A)	184255	274200	489500	584000	725800
Flux de trésorerie provenant des opérations d'investissement	0	0	0	0	0
- Décaissements sur acquisition d'immobilisations	-50000	-30000	-20000	-15000	-10000
- Encaissements sur cessions d'immobilisations	0	0	0	0	0
Flux de trésorerie liés aux opérations d'investissement (B)	-50000	-30000	-20000	-15000	-10000
Flux de trésorerie provenant des opérations de financement	0	0	0	0	0
- Dividendes versés aux actionnaires	0	0	0	0	0
- Augmentation de capital/ Part ASF	100000	0	0	0	0
- Augmentation de capital/ Part startupper	30000	0	0	0	0
- Injection en compte courant associé ASF	20000	0	0	0	0
- Remboursements capital ASF	0	0	0	0	0
- Remboursements compte courant associé ASF	0	0	0	0	0
Flux de trésorerie liés aux opérations de financement (C)	150000	0	0	0	0
Variation de trésorerie de la période (A+B+C)	284255	244200	469500	569000	715800
Trésorerie d'ouverture (Début de la période)	0	284255	528455	997955	1566955
Trésorerie de clôture (Fin de la période)	284255	528455	997955	1566955	2282755
Variation de trésorerie	284255	244200	469500	569000	715800

Sixième axe

Prototype expérimental

Présentation du prototype tangible :

Nous avons développé un prototype physique sous forme de sachets de tisane prêts à l'infusion, contenant un mélange optimisé de graines de fenugrec (traitées pour réduire les odeurs indésirables) de feuilles d'ortie séchées et zeste de citron . Ces sachets ont été conçus pour un usage pratique et quotidien, avec un conditionnement hygiénique et esthétique.

Nom et logo de l'entreprise



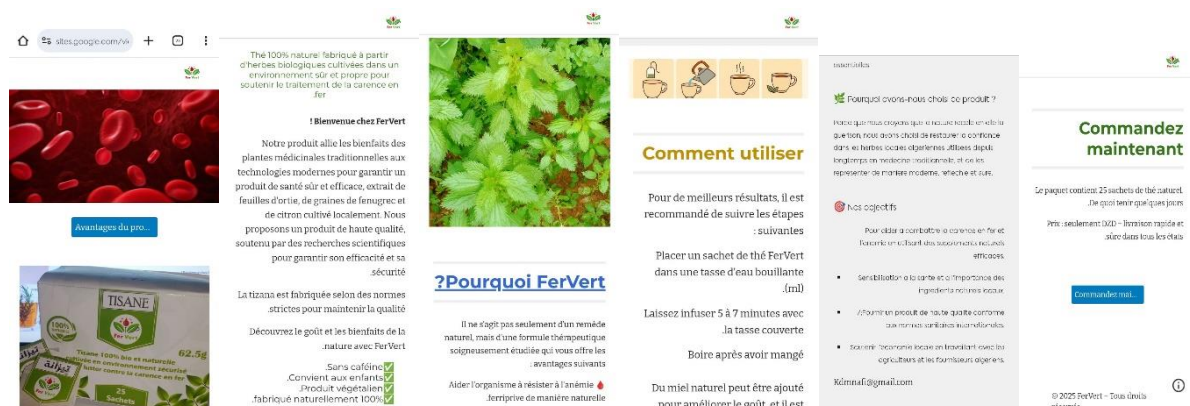


Prototype numérique (optionnel, en appui au site web) :

Même si le produit est physique, un site web fonctionnel a été créé via Google Sites pour :

- Fournir des informations fiables sur les bienfaits des plantes.
- Donner les instructions d'utilisation (illustrées).
- Offrir des conseils nutritionnels et de santé.
- Télécharger un planning imprimable pour suivre la consommation.

Lien du prototype numérique :
<https://sites.google.com/view/fervert/>



Liste des annexes

Budget de startup

ACTIF	REALISATION			PREVISION				
Column1	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Immobilisation Incorporelles	0	0	0	180000	200000	220000	240000	260000
Immobilisation Corporelles	0	0	0	90000	100000	120000	130000	140000
Terrain	0	0	0	0	0	0	0	0
Bâtiment	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres Immobilisations Corporelles	0	0	0	0	0	0	0	0
Immobilisations en concession	0	0	0	0	0	0	0	0
Immobilisation en cours	0	0	0	0	0	0	0	0
Immobilisations Financières	0	0	0	0	0	0	0	0
Titres mis en équivalence	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres participations et créances rattachées	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres Titres immobilisés	0	0	0	0	0	0	0	0
Prêts et autres titres financiers non courants	0	0	0	0	0	0	0	0
Impôts différés actif	0	0	0	0	0	0	0	0
ACTIF NON COURANT	0	0	0	270000	300000	340000	380000	400000
Stocks et encours	0	0	0	40000	50000	70000	80000	100000
Créances et emplois assimilés	0	0	0	0	0	0	0	0
Clients	0	0	0	80000	100000	120000	140000	160000
Autres débiteurs	0	0	0	3000	5000	10000	10	10
Impôts et assimilés	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres créances et emplois assimilés	0	0	0	3000	5000	10000	0	0
Disponibilités et assimilés	0	0	0	70	90	120	150	180
Placements et autres actifs	0	0	0	0	0	0	0	0
Trésorerie	0	0	0	90000	110000	160000	150	180
ACTIF COURANT	0	0	0	221000	265000	360000	410	500
TOTAL ACTIF	0	0	0	491000	565000	700000	710	800

Les Comptes de résultats escomptés

	REALISATION			PREVISION				
Postes	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Vente et production annexes	1000	2000	4000	7220	8814	13223	15866	19835
Variation de stocks produits finis et en cours	0	0	0	0	0	0	0	0
Production immobilisée	0	0	0	0	0	0	0	0
Subvention d'exploitation	0	0	0	0	0	0	0	0
Production de l'exercice	1000	2000	4000	7220	8814	13223	15866	19835
Achats consommés	300	700	1300	1968	2048	3617	4082	5422
Services extérieurs et autres consommations	250	450	900	1200	1350	1800	2200	2500
Consommation de l'exercice	550	1150	2200	3168	3398	5417	6282	7922
Valeur ajoutée de production	450	850	1800	4052	5416	7806	9584	11913
Charges de personnel	100	120	250	2145	2361	2832	3100	4200
Impôts et taxes versés et assimilés	10	15	30	50	60	75	90	120
Excédent Brut d'Exploitation	340	715	1520	1857	2995	4899	6394	7593
Autres produits d'exploitation	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres charges d'exploitation	20	20	20	20	20	20	20	20
Dotations aux amortissements	0	0	500	572	2000	2000	2000	3000
Reprises de provisions et autres	0	0	0	0	0	0	0	0
Résultat d'exploitation	320	695	1020	1285	995	2899	4394	4593
Produits financiers	0	0	0	0	0	0	0	0
Charges financières	10	20	30	90	70	44	53	66
Résultat Ordinaire avant impôt	310	675	990	1195	925	2855	4341	4527
Impôt exigible sur résultat ordinaire	0	0	0	0	0	0	0	0
Impôt différé (actif)/sur résultat ordinaire	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL DES PRODUITS DES ACTIVITES ORDINAIRES	1000	2000	4000	7220	8814	13223	15866	19835
TOTAL DES CHARGES DES ACTIVITES ORDINAIRES	680	1305	2480	5462	7819	10324	11525	13200
RESULTAT NET DES ACTIVITES ORDINAIRES	320	695	1520	1757	995	2899	4341	5635
Eléments extraordinaires (produits)	0	0	0	0	0	0	0	0
Eléments extraordinaires (charges)	0	0	0	0	0	0	0	0
Résultat extraordinaire	0	0	0	0	0	0	0	0
RESULTAT NET DE L'EXERCICE	320	695	1520	1757	995	2899	4341	5635

Le Plan de trésorerie

RUBRIQUES	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Flux de trésorerie provenant des activités opérationnelles					
Résultat net de l'exercice	175255	266200	472500	567000	708800
- Amortissements et provisions	15000	16000	17000	18000	19000
- Variation des impôts différés	0	0	0	0	0
- Variation des stocks	-8000	-10000	-12000	-13000	-15000
- Variation des clients et autres créances	-10000	-12000	-14000	-15000	-16000
- Variation des fournisseurs et autres dettes	12000	14000	16000	17000	18000
- Plus ou moins-values de cession, nettes d'impôts	0	0	0	0	0
Flux de trésorerie générés par l'activité (A)	184255	274200	489500	584000	725800
Flux de trésorerie provenant des opérations d'investissement	0	0	0	0	0
- Décaissements sur acquisition d'immobilisations	-50000	-30000	-20000	-15000	-10000
- Encaissements sur cessions d'immobilisations	0	0	0	0	0
Flux de trésorerie liés aux opérations d'investissement (B)	-50000	-30000	-20000	-15000	-10000
Flux de trésorerie provenant des opérations de financement	0	0	0	0	0
- Dividendes versés aux actionnaires	0	0	0	0	0
- Augmentation de capital/ Part ASF	100000	0	0	0	0
- Augmentation de capital/ Part startupper	30000	0	0	0	0
- Injection en compte courant associé ASF	20000	0	0	0	0
- Remboursements capital ASF	0	0	0	0	0
- Remboursements compte courant associé ASF	0	0	0	0	0
Flux de trésorerie liés aux opérations de financement (C)	150000	0	0	0	0
Variation de trésorerie de la période (A+B+C)	284255	244200	469500	569000	715800
Trésorerie d'ouverture (Début de la période)	0	284255	528455	997955	1566955
Trésorerie de clôture (Fin de la période)	284255	528455	997955	1566955	2282755
Variation de trésorerie	284255	244200	469500	569000	715800

BUSINESS MODEL CANVAS

Partenaires clés Fournisseurs de plantes médicinales (herboristeries, agriculteurs locaux). Laboratoires d’analyses . Incubateurs po. Banques et institutions de micro-financement. Collectivités locales pour soutien logistique et promotion. Experts en nutrition et phytothérapie pour validation scientifique. Fournisseurs d’emballages écologiques - Fournisseurs de matériel de transformation (séchoirs, broyeurs, sacheteuses) Ressources: matières premières,	Activités clés Récolte et achat de matières premières (ortie, fenugrec, citron). Séchage, broyage et conditionnement en sachets de tisane. Création de contenu éducatif (fiche de suivi, conseils, vidéos). Contrôle qualité : Analyses des métaux lourds, teneur en fer, phytochimie Conception graphique (packaging, brochures).Gestion du site web et accompagnement en ligne. Promotion du produit (réseaux sociaux, campagnes locales).	Proposition de valeur Tisane naturelle, , pou r prévenir et soulager l’anémie Produit naturel, local et accessible riche en fer pour lutter contre l’anémie. Facile à consommer, agréable au goût Alternative sans effets secondaires aux compléments chimiques. Solution éducative : instructions claires, tableau de suivi imprimable. Valorisation des plantes médicinales locales. Produit prêt à l’emploi sous forme de sachets simples.	Relation client Plateforme web d’accompagnement éducatif (gratuite). Communication continue via email / réseaux sociaux. Informations claires et vulgarisées pour tous les profils (adultes, mamans...). Possibilité de retours clients, amélioration continue du service.	Segments de clientèle Femmes souffrant d’anémie ou en période post-partum. Étudiants et adultes jeunes. Mères d’enfants anémiques. Seniors recherchant des solutions naturelles. Végétariens, Femmes enceintes ou allaitantes Personnes sensibles à la nutrition fonctionnelle. Professionnels de santé cherchant des alternatives douces.
	Ressources clés Connaissances scientifiques (en biochimie, phytothérapie). Accès à des plantes locales riches en fer. Site web pédagogique en ligne. Équipe pluridisciplinaire (production, nutrition, communication). Petites machines de transformation (sècheuse, broyeur, ensacheuse). Support institutionnel (formation, encadrement). Personnel qualifié		Canaux de distribution Site officiel avec fiches produit et informations santé. Réseaux sociaux (Instagram, Facebook, TikTok, YouTube). Ventes dans les marchés bio, salons, herboristeries locales. Partenariats avec professionnels de santé. Campagnes de sensibilisation dans les écoles / associations. Magasins bio / bien-être Plateformes e-commerce (Jumia, Amazon)	
Structure des coûts Achat de matières premières. Coûts de transformation (séchage, broyage, ensachage). Emballage et étiquetage. Contrôles qualité et certifications Développement et maintenance du site web. Frais de communication (publicité, visuels). Salaires de l’équipe (production, gestion, marketing).			Sources de revenus Vente directe des sachets d’infusion (à l’unité ou en pack).. Vente dans des points de distribution (pharmacies, magasins bio). Partenariats commerciaux avec professionnels de la santé. Modes : Paiement en ligne (ccp .baridi mob), livraison disponible Répartition : 70 % e-commerce, 20 % pharmacies, 10 % abonnement.	