

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES

AGRONOMIQUES

...../N° :



DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES
AGRONOMIQUES

OPTION : PRODUCTION
VEGETELE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

M^{lle} BENAÏSSA Inès Fatima Zohra
M^{lle} RAHMOUNI Ritadj

Intitulé

**Production des plantes destinées à la fabrication de
la chlorophylle, Complément alimentaire**

Soutenu devant le jury composé de :

. Dr TIR Chafia	MCB	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
Dr LALLOUCHE Bahia	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Promotrice
Dr HADJ KOUIDER Boubakr	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Co-Promoteur
Dr BOUTERRA Nacera	MCB	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examinatrice

Année universitaire : 2024/2025

Remerciement

Avant tout, je rends grâce à **Dieu** Tout-Puissant, qui m'a accordé la santé, la patience et la persévérance pour mener à bien ce travail, El hamdoulillah.

Je tiens tout d'abord à remercier vivement le **Dr. LALLOUCHE Bahia**, et **Dr. HADJ KOUIDER Boubakr**, nos directeurs de mémoire, pour la haute qualité scientifique du thème proposé, pour leur bienveillance, leurs conseils avisés et leur accompagnement tout au long de ce travail. Leur rigueur scientifique et leur disponibilité ont été des sources précieuses d'inspiration et de motivation.

Je souhaite également adresser mes sincères remerciements aux membres du jury, les docteurs **Dr TIR Chafia** et **Dr BOUTERRA Nacera**, pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques constructives qui ont enrichi ce travail

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences plus précisément département des sciences agronomiques pour la qualité de leur enseignement, leur engagement et leur soutien tout au long de mon parcours universitaire. Leur savoir et leur passion ont grandement contribué à enrichir mes connaissances et à nourrir mon intérêt pour ce domaine d'études

Je tiens également à remercier les personnels de l'incubateur de l'université Mohamed Boudiaf de M'sila, plus précisément l'ingénieur du laboratoire, l'adjointe directrice et la directrice, ainsi que les personnels du laboratoire du département d'agronomie et du laboratoire LAFARGE CIMENT de M'sila, qui m'ont accueilli et permis d'accéder aux analyses nécessaires à la réalisation de cette étude.

Dédicace

Je dédie humblement ce mémoire :

À mes chers parents, mon père Abdelaziz et ma mère Benadel Hafsa, pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant et leurs innombrables sacrifices tout au long de mon parcours.

À mes frères [Yacine, Haithem, Belkacem et khaireddine] et à ma sœur Imane, pour leur présence réconfortante, leurs encouragements et leur confiance inébranlable.

À mes enseignants et encadreurs, pour la qualité de leur enseignement, la richesse de leurs conseils et leur précieuse disponibilité, qui ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

À mes cousines et à ma tante Khadija, pour leur présence bienveillante et leurs encouragements.

À mes copines et collègues, pour leur soutien moral et leur précieuse collaboration durant cette aventure académique.

À toutes les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet.

Que chacun trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et de mon sincère respect.

Melle BENAÏSSA Ines

Dédicace

Je dédie humblement ce mémoire :

À mes parents, Dr. Moussa et Khadija, pour leur amour inconditionnel, leur présence constante et leur soutien tout au long de ma vie.

À mes sœurs Malak, Imy, Bsisou (LLC Brothers), qui ont partagé avec moi les nuits les plus difficiles, M'ont soutenue, encouragée et accompagnée par leur présence réconfortante.

À mes frères Ahmed et Anes, pour leur support inconditionnel et leur précieuse présence.

À mes chères amies Hadjer, Salsabil, Sara et Dounya, pour leur soutien et leurs encouragements précieux.

À mes enseignants, pour leur dévouement, la qualité de leur enseignement, leurs conseils avisés et les efforts fournis durant toutes mes années universitaires.

À ma collègue Inès, un bel exemple de bonté, d'amitié sincère et de soutien constant durant toutes les étapes de la préparation de ce mémoire.

À moi-même, pour ma patience, ma persévérance et ma capacité à franchir tous les obstacles avec détermination.

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidés dans la réalisation de ce travail, en facilitant ce qui semblait difficile. Je leur adresse tout mon respect, ma profonde reconnaissance et mes prières les plus sincères.

Melle RAHOUMI Ritadj

ملخص

تعدّ الكلوروفيل صبغة طبيعية أساسية في عملية التمثيل الضوئي، وقد أصبحت محط اهتمام متزايد كمكمل غذائي بفضل خصائصها المضادة للأكسدة والمطهرة، والمنشطة. ومع هذا الطلب المتزايد، أصبحت زراعة النباتات الغنية بالكلوروفيل جالاً واعداً، خاصة في إطار التغذية الصحية يركز هذا العمل على إنتاج النباتات الغنية بالكلوروفيل، مع تسليط الضوء على الأنواع القابلة للزراعة في الجزائر، ولا سيما الحبوب (القمح والشعير) خاصة. كما يتناول الشروط الزراعية المثلى، وتقنيات الزراعة، وطرق استخلاص الكلوروفيل وتثمينه لأغراض غذائية. وتهدف هذه الدراسة أيضاً إلى تقييم إمكانات هذه المزروعات كمورد محلي ومستدام لتطوير مكمل غذائي طبيعي ذي قيمة مضافة عالية.

الكلمات المفتاحية: قمح، شعير، كلوروفيل، مكمل غذائي

Abstract

Chlorophyll is a natural pigment essential in the process of photosynthesis, and it has become increasingly popular as a dietary supplement due to its antioxidant, purifying, and stimulating properties. With this growing demand, the cultivation of chlorophyll-rich plants has become a promising field, especially within the context of healthy nutrition. This work focuses on the production of plants rich in chlorophyll, highlighting the species that can be cultivated in Algeria, particularly grains (wheat and barley). It also addresses the optimal agricultural conditions, cultivation techniques, and methods for extracting and valorizing chlorophyll for nutritional purposes. Additionally, this study aims to evaluate the potential of these crops as a local and sustainable resource for developing a high-value natural dietary supplement.

Key words: wheat, barley, chlorophyll, food supplement

Résumé

La chlorophylle est un pigment naturel essentiel dans le processus de photosynthèse, et elle a suscité un intérêt croissant en tant que complément alimentaire grâce à ses propriétés antioxydants, purifiantes et stimulantes. Avec cette demande croissante, la culture de plantes riches en chlorophylle est devenue un domaine prometteur, notamment dans le cadre de la nutrition saine. Ce travail se concentre sur la production de plantes riches chlorophylle, en mettant en lumière les espèces cultivables en Algérie, en particulier les céréales (blé et orge). Il aborde également les conditions agricoles optimales, les techniques de culture, et les méthodes d'extraction et de valorisation de la chlorophylle à des fins alimentaires. Cette étude vise également à évaluer le potentiel de ces cultures en tant que ressource locale et durable pour le développement d'un complément alimentaire naturel à haute valeur ajoutée.

Mots clé : Blé, Orge, chlorophylle, complément alimentaire

Listes des abréviations

CETIOM	Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains (aujourd'hui intégré dans Terres Inovia)
ITCF	Institut technique des céréales et fourrages
ONIC	Office national interprofessionnel des céréales (remplacé en partie par France AgriMer)
ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
CCLS	La Coopérative des céréales et des légumes secs
CNCCSP	Comité National de Certification et de Contrôle des Semences et Plants
CA	Complètement alimentaire
AMM	Autorisation de mise sur le marché
GMS	Grandes et moyennes surfaces
ESB	Encéphalopathie Spongiforme Bovine
DGCCRF	Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes
CE	Communauté Européenne (aujourd'hui Union Européenne) الجماعة الأوروبية (الاتحاد الأوروبي حاليا)
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail
MS	Matière sèche

Listes des tableaux

Tableau 1.1 :	Composition chimiques du grain de blé.	8
Tableau 1.2 :	Production mondiale de blé	9
Tableau 1.3 :	Constituants biochimiques de l'orge (% matière sèche)	15
Tableau 1.4 :	Les différentes variétés d'orge et leurs caractéristiques agronomiques et technologiques	18
Tableau 4.1 :	Composition minérale de blé et l'orge.	47
Tableau 4.2 :	Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle	64
Tableau 4.3 :	Liste et doses journalières maximales des minéraux pouvant entrer dans la composition des CAS	67

Listes des figures

Figure 1.1 :	Généalogie du blé dur.	7
Figure 2.1 :	Molécules de chlorophylle a et b	21
Figure 2.2 :	Spectres d'absorption des longueurs d'onde des molécules de chlorophylle a et b	22
Figure 3.1 :	Blé dur (<i>Triticum turgidum ssp. durum</i>).	34
Figure 3.2 :	l'orge (<i>Hordeum vulgare</i>).	34
Figure .33 :	quelques exemples sur la mise en place de l'expérimentation.	35
Figure .34 :	.Stade de collecte des jeunes feuilles de blé dur et d'orge	36
Figure 3.5 :	Séchage de matières végétales	36
Figure 3.6 :	Macération des feuilles	37
Figure 3.7 :	Des tubes à essais enveloppés	37
Figure 3.8 :	La lecture sur le spectrophotomètre.	37
Figure 3.9 :	Placement de matière végétale dans les creusées	38
Figure .310 :	Placement des creusées dans le four	38
Figure .311 :	Transféré dans le dessiccateur	38
Figure 3.12 :	mélange solvant matière végétale	40
Figure 3.13 :	le filtrat de mélange.	40
Figure 3.14 :	centrifuger le filtrat	40
Figure 3.15 :	Verser le filtrat dans des boites pétries	40
Figure 4.1 :	Teneur en chlorophylle « a » chez les jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***, P=.)	42
Figure 4.2 :	Teneur en chlorophylle « b » chez les jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	43
Figure 4.3 :	Teneur en chlorophylle totale chez les jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	44
Figure 4.4 :	Teneur en cendres d'extrait	46
Figure 4.5 :	Teneur en polyphénol totaux d'extrait.	47
Figure 4.6 :	Taux de sodium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***, p=0,00037)	49
Figure 4.7 :	Taux de magnésium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***, p=0,00036)	50
Figure 4.8 :	Taux d'aluminium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	51
Figure 4.9 :	Taux de silicium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***, P=0,00009)	52
Figure 4.10 :	Taux de phosphore enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	53
Figure 4.11 :	Taux de soufre enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns)	54
Figure 4.12 :	Taux de chlore enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***, P=0,00004)	55
Figure 4.13 :	Taux de potassium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	56
Figure 4.14 :	Taux de calcium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (nc, P=0,09482)	57
Figure 4.15 :	Taux de manganèse enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns)	58
Figure 4.16 :	Taux de fer enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns, P=0,29377)	59
Figure 4.17 :	Taux de rubidium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***)	60

Figure 4.18 :	Taux de nickel enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	61
Figure 4.19 :	Taux de molybdène enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	62
Figure 4.20 :	Taux de strontium enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	63
Figure 4.21 :	Taux de Brome enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	64
Figure 4.22 :	Taux de cuivre enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours	65
Figure 4.23 :	Taux de ruthénium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jour	66
Figure 4.24 :	Taux de zinc enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jour	67
Figure 4.25 :	Prototype du complément alimentaire	68

Table de matieres

RESUME	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES.	
LISTES DES FIGURES.	
LISTE DES TABLEAUX.	
INTRODUCTION	
CONCLUSION	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE BLE DUR ET L'ORGE	
1.1 Historique des céréales	3
1.2 Généralité des céréalicultures	5
1.3 Blé (<i>Triticum turgidum ssp. durum</i>)	5
1.3.1 Description générale de la plante	5
1.3.2 La classification botanique	6
1.3.3 L'origine génétique du blé	6
1.3.4 Importance de blé	7
1.3.5 L'importation de blé en Algérie	8
1.3.6 Production de blé	9
1.3.7 Les variétés de blés cultivés en Algérie	11
1.4 Orge (<i>Hordeum vulgare</i>)	12
1.4.1 Description générale de la plante	12
1.4.2 La classification botanique	13
1.4.3 L'origine génétique d'orge	13
1.4.4 Importance d'orge	14
1.4.5 Production d'orge	17
1.4.6 Les variétés d'orge cultivées dans l'Algérie	18
CHAPITRE II : GENERALITE SUR LA CHLOROPHYLLE ET LE COMPLEMENT ALIMENTAIRE	
2.1 La chlorophylle	20
2.1.1 Les types de la chlorophylle	21
2.1.2 Les bienfaits de la chlorophylle sur la santé	22
2.1.3 Sources alimentaires naturelles riches en chlorophylle	23
2.2 Complément alimentaire	24
2.2.1 Historique des compléments alimentaires	25
2.2.2 Définition des compléments alimentaires	27
2.2.3 Le marché des compléments alimentaires	28
2.2.4 Les intérêts des compléments alimentaires	29
2.2.5 Les compléments alimentaires à base des plantes	30
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES	

3.1 Matériel végétale	34
3.1.1 Mise en place de l'expérimentation	34
3.1.2 Lieu de l'expérimentation	34
3.1.3 Mise en place de l'expérimentation	34
3.1.4 Collecte des jeunes feuilles de blé dur et d'orge	35
3.1.5 Séchage des feuilles	36
3.2. Les paramètres étudiés	37
3.2.1 Dosage de la chlorophylle	37
3.2.2 Dosage des cendres	38
3.2.3 Extraction des composants phénolique par macération	39
3.2.4 Mesure des paramètres de nutrition minérale	41
3.2.5 Les analyses statistiques	41
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
4.1. Analyses physico-chimiques et technologiques	42
4.1.1 Teneur en chlorophylle	42
4.1.1.1. Teneur en chlorophylle (a)	42
4.1.1.2. Teneur en chlorophylle (b)	43
4.1.1.3. Teneur en chlorophylle (total)	43
4.1.2 Teneur en cendre	45
4.1.3 Teneur en polyphénol	46
4.1.4 Composition minérale	48
4.1.4.1. Teneur en sodium (Na)	49
4.1.4.2. Teneur en magnésium (Mg)	50
4.2.4.3. Teneur en aluminium (Al)	51
4.2.4.4. Teneur en silicium (Si)	51
4.1.4.5. Teneur en phosphore (P)	52
4.1.4.6 Teneur en soufre (S)	53
4.1.4.7 Teneur en chlore (Cl)	54
4.1.4.8 Teneur en potassium (K)	55
4.1.4.9 Teneur en calcium (Ca)	56
4.1.4.10 Teneur en manganèse (Mn)	57
4.1.4.11 Teneur en fer (Fe)	58
4.1.4.12 Teneur en rubidium (Rb)	59
4.1.4.13 Teneur en nickel (Ni)	60
4.1.4.14 Teneur en molybdène (Mo)	61
4.1.4.15 Teneur en Strontium (Sr)	63
4.1.4.16 Teneur en Brome (Br)	64
4.1.4.17 Teneur en cuivre (Cu)	65
4.1.4.18 Teneur en Ruthénium (Ru)	66
4.1.4.19 Teneur en Zinc (Zn)	66
4.2 Produit finale (prototype)	68
Conclusion	69
Référence bibliographique	71

INTRODUCTION

Introduction

Le blé et l'orge comptent parmi les cultures céréalières les plus importantes à l'échelle mondiale. Leur rôle est fondamental dans l'alimentation humaine, constituant la base nutritionnelle de milliards de personnes à travers le globe. En Algérie, ces cultures occupent une place centrale dans le système agricole.

De nos jours, les céréales, et plus particulièrement le blé dur et l'orge, demeurent un élément central de l'alimentation des populations algériennes. Elles constituent la base de nombreux produits de consommation courante.

Au-delà de leur rôle nutritionnel, les céréales occupent une place stratégique sur les plans économique, social et politique en Algérie, à l'instar de nombreux pays dans le monde. Leur disponibilité et leur prix influencent directement la stabilité sociale, ce qui rend leur production et leur approvisionnement prioritaires pour les pouvoirs publics. (**Ammar, 2014**), la filière céréalière est étroitement surveillée et soutenue par l'État, notamment par des politiques de subvention et d'importation, afin d'assurer une autosuffisance alimentaire partielle et de garantir l'accessibilité de ces denrées de base à l'ensemble de la population.

Dans ce contexte, le développement de cultures adaptées aux conditions climatiques locales et la valorisation de leurs composés bioactifs, tels que la chlorophylle, présentent un double intérêt : renforcer la sécurité alimentaire et explorer de nouvelles pistes dans le domaine des compléments nutritionnels.

La chlorophylle, communément appelée le "sang vert" des plantes, est bien plus qu'un simple pigment donnant une teinte verte aux végétaux. Elle est aussi un composant vital qui est essentiel à la photosynthèse et crucial non seulement pour la survie végétale mais également pour ses impacts positifs sur la santé humaine. Parmi les nombreuses études scientifiques menées sur ce pigment vert, la chlorophylle est reconnue pour une multitude d'avantages, allant de la détoxification sanguine à la prévention de pathologies diverses, se distinguant ainsi comme un élément bénéfique et incontournable pour la santé. Ce travail

original vice que l'analyse des moyens d'incorporer la chlorophylle dans notre quotidien, afin d'optimiser la santé générale, tout en créant ainsi un lien entre le bien-être humain et les ressources naturelles de la planète (**Darche, s.d.,**)

Comment exploiter efficacement les feuilles de blé et d'orge comme source de chlorophylle afin de développer un complément alimentaire naturel, sain et fonctionnel ?

- Pour répondre à cette question, notre travail s'articulera autour de plusieurs axes : une étude bibliographique sur les propriétés de blé et orge et la chlorophylle et de complément alimentaire, une analyse des méthodes d'extraction, puis la formulation et l'évaluation d'un complément alimentaire à base de cette substance.

Etude bibliographique

Chapitre I : Généralité sur

le blé dur et l'orge

Chapitre I : Généralité sur le blé dur et l'orge

1.1 Historique des céréales

La culture des céréales remonte à la préhistoire. Des traces archéologiques révèlent la présence de blé, d'orge à six rangs, de seigle et d'avoine dès le Néolithique, témoignant de leur domestication précoce dans diverses régions du monde. Ces espèces ont très tôt constitué des aliments de base, essentiels à la survie et au développement des premières sociétés humaines (**Abeledo et al., 2008**).

La domestication des céréales représente une étape fondatrice dans l'histoire de l'humanité, marquant le passage des sociétés nomades de chasseurs-cueilleurs à des sociétés sédentaires productrices, caractéristiques de l'ère néolithique. Ce tournant décisif, survenu il y a environ 10 000 ans avant notre ère, a donné naissance à une économie fondée sur l'agriculture et l'élevage, transformant profondément les modes de vie humains (**Armand et Germain, 1992**).

Parmi les premières céréales domestiquées figure le blé, dont le centre d'origine se situe dans la région fertile du Proche-Orient, plus précisément dans le Croissant fertile, une zone géographique s'étendant entre les fleuves Tigre et Euphrate, correspondant aujourd'hui à l'Irak, la Syrie, le Liban et une partie de la Turquie. Ce territoire est souvent considéré comme le berceau de l'agriculture (**Shewry, 2009**).

L'histoire de l'homme est ainsi étroitement liée à celle des céréales, qu'il a su domestiquer, cultiver et améliorer par sélection, bien avant l'essor de la technologie moderne (**Bonjean et Picard, 1991**). Ces plantes, au cœur des premières activités agricoles, ont fourni une source de subsistance stable et durable, autour de laquelle les premières organisations humaines ont pu se structurer. En ce sens, les céréales ont joué un rôle central dans le développement des grandes civilisations antiques, telles que celles de Mésopotamie, d'Égypte, ou encore de la vallée de l'Indus, en assurant la sécurité alimentaire et en soutenant l'émergence des premières sociétés complexes (**Bonjean et Picard, 1991**).

En Chine, des écrits et découvertes attestent que le riz, le millet, le sorgho et le blé étaient déjà cultivés 2 700 ans avant notre ère, montrant ainsi une tradition agricole millénaire. De même,

l'Égypte ancienne connaissait et cultivait des céréales comme le blé et le sorgho, essentiels à son économie et à sa stabilité alimentaire (**Shewry, 2009**).

Les céréales ont ainsi joué un rôle central dans le développement de l'humanité. À travers les siècles, elles ont non seulement nourri les populations, mais aussi structuré les grandes civilisations. La plupart des sociétés anciennes se sont organisées autour de la culture d'une céréale dominante :

Le riz a été au cœur des civilisations asiatiques, notamment en Chine, au Japon et en Asie du Sud-Est.

Le maïs a structuré les civilisations précolombiennes, telles que les Mayas, les Aztèques et les Incas.

Le blé, quant à lui, a été fondamental pour les civilisations de l'Antiquité du bassin méditerranéen, notamment les Babyloniens et les Égyptiens.

Chaque grande civilisation a donc bâti son organisation sociale, économique et religieuse autour de la culture et de la consommation d'une céréale spécifique, illustrant l'importance capitale de ces plantes dans l'histoire de l'humanité (**Shewry, 2009**).

1.2 Généralité des céréalicultures

Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques (**Moule, 1971**). La plupart des céréales appartiennent à la famille des Graminées (ou Poacées). Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet et le sorgho. Les unes appartiennent à la sous famille des Festucoïdées : blé, orge, avoine et seigle ; les autres à la sous-famille des Panicoïdées : maïs, riz, sorgho et millet. Enfin, une céréale, le sarrasin appartient à une autre famille, celle des Poly-gonacées (**Moule, 1971**).

1.3 Blé (*Triticum turgidum ssp. durum*)

1.3.1. Description générale de la plante

Le blé est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Poaceae (anciennement graminées) et au genre *Triticum*, qui regroupe plusieurs espèces cultivées. Originaire du Croissant fertile, il est issu de longues étapes d'évolution naturelle et de domestication humaine. Autrefois présent à l'état sauvage, le blé est aujourd'hui l'une des principales cultures céréalières dans le monde (**Feillet, 2000**).

C'est une plante monocotylédone, à feuilles alternes et engainantes, formée d'une tige creuse et segmentée appelée chaume. Cette tige porte à son extrémité un épi terminal, composé de deux rangées d'épillets sessiles et aplatis, chacun contenant plusieurs fleurs hermaphrodites, petites et peu apparentes. Les fleurs du blé sont en majorité cléistogames, ce qui signifie qu'elles ne s'ouvrent pas et que la pollinisation se fait par autogamie. Ce mode de reproduction favorise la stabilité génétique des variétés cultivées.

Le fruit du blé est un caryopse, un fruit sec, indéhiscant, dont l'enveloppe est soudée à la graine. Il constitue l'unité de base de la récolte. Après le battage, les grains se détachent des enveloppes (glumes, glumelles), ce qui permet leur utilisation pour la mouture et la production de farine panifiable, destinée à la fabrication du pain, des pâtes ou encore de nombreux produits de boulangerie.

Parmi les différentes espèces de blé, le blé tendre (*Triticum aestivum*) est la plus largement cultivé pour ses qualités boulangères. Une autre espèce, le blé dur (*Triticum durum*), est principalement utilisée pour les pâtes alimentaires (Armand et Germain, 1992).

1.3.2. La classification botanique

Famille : Gramineae

Sous-famille : Festucoideae

Tribu : Triticeae Aveneae

Sous-Tribu : Triticineae

Genre : *Triticum*

Nom commun : Blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Feillet, 2000)

1.3.3. L'origine génétique du blé

Le blé moderne est le fruit d'une histoire évolutive remarquable, résultant d'une série de polyploïdisation naturelles (multiplications du nombre de chromosomes) au cours de croisements entre différentes espèces de graminées. Il possède le génome complet de trois espèces distinctes, dont les chromosomes ne se mélangent pas entre eux durant la méiose. Cela signifie que chaque jeu chromosomique reste autonome, ce qui a permis de conserver l'intégrité des génomes ancestraux et d'augmenter la ploïdie (le nombre de jeux de chromosomes).

► Premier événement de polyploïdisation : La formation du blé tétraploïde

Il y a environ 500 000 ans, un blé sauvage diploïde (*Triticum urartu*, génome AA) s'est hybridé avec une espèce d'*Aegilops* encore non identifiée (génome BB). Cette hybridation a conduit à la formation d'un blé tétraploïde sauvage (*Triticum turgidum*, génome AABB, soit 14 paires de chromosomes). Ce tétraploïde fut ensuite domestiqué, donnant naissance à deux espèces importantes : L'amidonnier (*Triticum dicoccum*) et plus tard, le blé dur (*Triticum durum*), encore cultivé aujourd'hui pour la production de semoule et de pâtes.

► Deuxième événement : la naissance du blé hexaploïde

Un second événement de polyploïdisation s'est produit il y a environ 9 000 ans, pendant les débuts de l'agriculture au Proche-Orient. Cette fois, un blé tétraploïde cultivé (*Triticum turgidum*, AABB) s'est hybridé avec une espèce diploïde connue, *Aegilops tauschii* (génome DD). Ce

croisement a donné naissance au blé tendre (*Triticum aestivum*), une espèce hexaploïde (génome AABBDD, soit 21 paires de chromosomes), qui est aujourd'hui la céréale la plus cultivée au monde.

Ces événements d'hybridation naturelle ont permis au blé de développer une grande diversité génétique, une meilleure adaptation aux milieux variés, ainsi que des caractéristiques agronomiques favorables, telles que la résistance aux maladies, la qualité panifiable et la productivité (Mackey (1968).

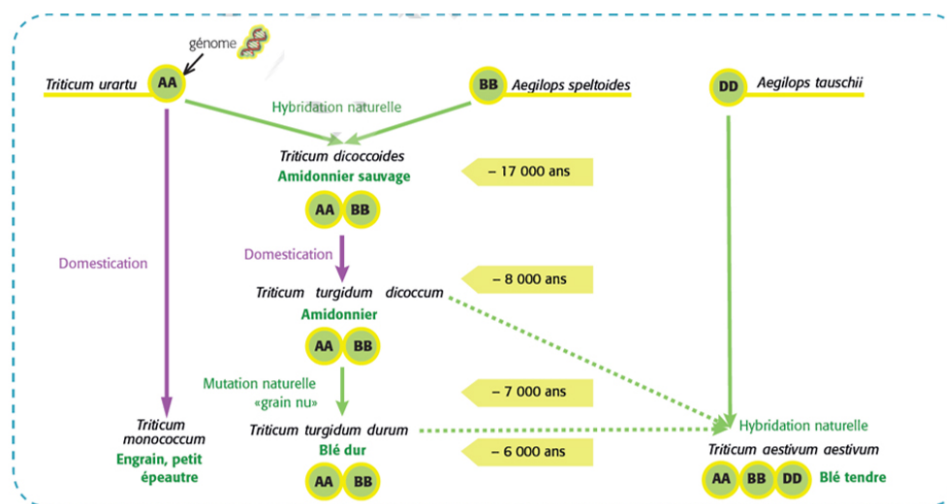


Figure 1.1. Généalogie du blé dur (Croston et Williams, 1981).

1.3.4. Importance de blé

1.3.4.1. Dans le monde

À l'échelle mondiale, les céréales occupent une place essentielle dans les systèmes agricoles. Elle constitue une source majeure d'alimentation pour l'homme et les animaux (Slama et al., 2005). Parmi elles, le blé tient une position de premier plan : il est la céréale la plus produite au monde et représente la deuxième source alimentaire humaine après le riz, assurant à lui seul environ 15 % des apports énergétiques de la population mondiale (Bajji, 1999).

Le blé est principalement cultivé dans les régions à climat aride et semi-aride, notamment dans les pays du bassin méditerranéen, où l'agriculture est confrontée à des conditions difficiles. Ces zones sont marquées par une élévation des températures, une réduction des précipitations, ainsi que par des phénomènes comme la sécheresse et la désertification (Abeledo et al., 2008).

Le grain de blé est composé principalement de glucides complexes, notamment de l'amidon, qui constitue environ 70 % de sa masse totale. On y trouve également une teneur notable en protéines, variant entre 10 et 15 %, selon les variétés de blé et les conditions de culture (Feillet, 2000).

En plus de ces composants majoritaires, le grain contient en moindre proportion d'autres éléments nutritionnels importants, tels que : Les lipides, la cellulose, les sucres simples (libres), les minéraux, et les vitamines. Ces composants dits « mineurs » ne représentent que quelques pourcents du poids total du grain, mais jouent un rôle essentiel dans la valeur nutritionnelle du blé. La composition exacte varie selon la partie du grain considérée (enveloppe, amande, germe) et peut être consultée dans le tableau suivant (tableau I.1) (Feillet, 2000 ; Abeledo et al., 2008).

Tableau 1.1. Composition chimiques du grain de blé (Feillet, 2000).

Nature des composants	Teneur (% ms)
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Sucre libre	2-3
Lipides	2-3
Matières minérales	1.5-2.5

1.3.5. L'importation du blé en Algérie

Malgré les efforts engagés dans le cadre des politiques agricoles successives, l'Algérie reste fortement dépendante des importations céréalières, en particulier pour le blé. Cette dépendance est due à la faible productivité des exploitations nationales, aux contraintes climatiques (sécheresse, sols pauvres) et à l'insuffisance des infrastructures de stockage et de transformation (Chellali, 2007 ; Ammar, 2014).

Au cours des cinq dernières années, les importations de blé ont oscillé entre 6 et 7 millions de tonnes par an, avec une nette prédominance du blé tendre, qui représentait environ 80 % du volume total importé en 2015. Ce déséquilibre s'explique par le fait que l'Algérie produit historiquement plus de blé dur que de blé tendre, et que la production locale ne parvient pas à répondre aux besoins croissants de la population, malgré les progrès enregistrés en matière de rendements, notamment à travers les programmes de soutien public à l'agriculture.

1.3.5.1 Origine des importations

En matière d'approvisionnement, la France demeure le principal fournisseur de blé de l'Algérie, couvrant à elle seule 54 % des importations de blé en 2015, principalement en blé tendre. Pour le blé dur, l'Algérie s'approvisionne auprès d'autres marchés, notamment le Canada, le Mexique et les États-Unis (Hales et Rush, 2016). Cette diversité des fournisseurs vise à sécuriser l'approvisionnement et à compenser les fluctuations du marché international.

Selon les données de la FAO (2014), l'Algérie occupait la quatrième place à l'échelle africaine et la dix-septième à l'échelle mondiale en termes de production de blé. Cette année-là, la production nationale s'élevait à 2,4 millions de tonnes, répartie en moyenne entre 58,7 % de blé dur et 33 % de blé tendre. Cette répartition reflète la préférence agronomique et agroalimentaire nationale pour le blé dur, notamment utilisé dans la fabrication de la semoule, du couscous et des pâtes, produits largement consommés dans le régime alimentaire algérien.

1.3.6. Production de blé

1.3.6.1 Dans le monde

Le blé constitue l'une des principales cultures céréalières à l'échelle mondiale. Il couvre environ 220 millions d'hectares, pour une production annuelle estimée à 760 millions de tonnes, soit un rendement moyen de 35 quintaux par hectare. À l'échelle géopolitique, la Russie et l'Ukraine occupent une place significative : la Russie représente environ 13 % des surfaces cultivées en blé dans le monde, tandis que l'Ukraine en représente 3 %. Ces proportions se traduisent par des volumes de production similaires (Abeledo et al., 2008 ; Couturier & Doublet, 2022).

Sur le plan commercial, les exportations mondiales de blé atteignent 230 millions de tonnes, ce qui équivaut à environ 30 % de la production mondiale. Le blé est principalement destiné à l'alimentation humaine, qui en absorbe 76 % de la production globale. L'alimentation animale en consomme 19 % (soit environ 129 millions de tonnes), tandis que les usages non alimentaires (notamment la fabrication d'amidon, d'éthanol, etc.) en représentent environ 5 % – sans compter les semences ni les pertes post-récolte (Slama et al., 2005).

Tableau 1.2. Production mondiale de blé (Couturier et Doublet, 2022).

	Surface (Mha)	Production (Mt)	Exportation(Mt)
Monde	220	760	234
Russie	28	80	34
Ukraine	7	26	18
France	5	36	20

Ensemble, l'Ukraine et la Russie exportent environ 53 millions de tonnes de blé, soit 23 % des exportations mondiales. Ce volume représente à lui seul 7 % de la consommation mondiale, ce qui confère à ces deux pays un rôle stratégique sur les marchés agricoles internationaux. (Couturier & Doublet, 2022).

1.3.6.2 En Algérie

En Algérie, la culture céréalière constitue une composante majeure de l'agriculture. Chaque année, environ 3,3 millions d'hectares sont consacrés à la culture des céréales, dont 1,5 million d'hectares pour le blé dur et 600 000 hectares pour le blé tendre. Malgré ces surfaces importantes, la production nationale reste insuffisante pour répondre à la demande croissante (Abis, 2012 ; FAO, 2014).

A titre d'exemple, la récolte totale des céréales a atteint 4 millions de tonnes (MMT), mais le blé panifiable ne représente qu'environ 1 % de cette production (Abis, 2012).

Le blé est un aliment de base incontournable pour les populations maghrébines, notamment en Algérie, qui figure parmi les plus gros consommateurs mondiaux, avec une consommation avoisinant 600 grammes par personne et par jour. Cette consommation a connu une légère hausse au cours des dernières années, en raison de l'urbanisation, de la croissance démographique et de l'augmentation des capacités de transformation agroalimentaire (Hales et Rush, 2016). Néanmoins, les projections indiquent une stabilisation probable de cette consommation à moyen terme.

Selon les données de la FAO, en 2014, l'Algérie s'est classée quatrième au niveau africain et dix-septième à l'échelle mondiale avec une production de blé estimée à 2,4 millions de tonnes. Cette production se composait en moyenne de 58,7 % de blé dur et 33 % de blé tendre le reste étant constitué d'autres types de céréales comme l'orge (FAO, 2014).

1.3.6.3. Dans la wilaya de M'sila

Une production de plus de 530.000 quintaux de diverses céréales est attendue dans la wilaya de M'sila au terme de la campagne de moisson-battage de la saison 2023-2024, a indiqué mardi le directeur de wilaya des services agricoles

Cependant, la région reste vulnérable aux aléas climatiques, notamment à l'irrégularité des précipitations et aux sécheresses fréquentes, qui influencent fortement le rendement annuel. Des études menées au niveau local soulignent aussi l'impact des prix, de la qualité des intrants et des techniques culturales sur la productivité du blé dur. Consciente de ces enjeux, la direction des services agricoles de la wilaya a engagé plusieurs programmes de soutien, notamment l'extension à 3 000 hectares des superficies consacrées à la production de semences certifiées, ainsi que l'augmentation de la capacité de stockage des céréales à 2,5 millions de quintaux.

D'après les statistiques de CCLS durant la saison 2021-2022, une quantité estimée à 18 500 quintaux de blé contre 5667 quintaux durant la campagne 2020-2021.

1.3.7 Les variétés de blé cultivés en Algérie

En Algérie, un large éventail de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est cultivé afin de répondre aux exigences agro climatiques du pays, marqué par des conditions souvent arides et semi-arides. Parmi les variétés les plus répandues de blé dur, on retrouve des cultivars locaux ou bien adaptés tels que Waha, Bidi 17, Cirta, Hedba 03, GTA Dur, Oum Rabi, Tassili, Mohamed Ben Bachir et Bousselam, reconnus pour leur bonne tolérance au stress hydrique et leur stabilité en rendement. D'autres variétés introduites telles que Simeto, Vitron, Ofanto, Cham 3, Poggio ou Polonicum sont également cultivées pour leurs qualités agronomiques et technologiques. Pour le blé tendre, qui représente une part plus modeste de la production nationale, on cultive des variétés comme Hiddab, Tessalah, Ain Abid, Mimouni, Nesser et Zidane, issues de la recherche locale ou introduites à partir de programmes internationaux. Ces variétés sont sélectionnées selon des critères de rendement, de résistance aux maladies et d'adaptation aux contraintes climatiques. L'ensemble de ces cultivars contribue à assurer une certaine diversité génétique et une meilleure sécurité alimentaire, tout en s'inscrivant dans les efforts de modernisation de la filière céréalière algérienne (Chellali, 2007 ; ITGC, 2019).

1.4 Orge (*Hordeum vulgare*)

1.4.1 Description générale de la plante

L'orge peut être classée en fonction de son comportement face aux conditions climatiques, notamment en deux grands types : les orges de printemps, sensibles au gel, et les orges d'hiver, plus résistantes au froid, pouvant supporter des températures allant jusqu'à -15 °C. Sa classification repose également sur plusieurs critères morphologiques, tels que la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence de barbes (**Rasmusson et al., 1992**). On distingue principalement deux types d'orge selon la structure de leur épi :

L'orge à deux rangs (ou *orge distique*) : elle présente un épi aplati formé de deux rangées d'épillets fertiles, disposés de part et d'autre de l'axe central du rachis, tandis que les quatre épillets latéraux sont stériles. Ce type comprend essentiellement des variétés de printemps.

L'orge à six rangs (ou *orge hexastique*, également appelée *exourgeon*) : son épi, de section plutôt rectangulaire, comporte trois épillets fertiles sur chaque axe du rachis. Cette catégorie est principalement représentée par des variétés d'hiver (**Soltner, 2005**).

Ses feuilles sont plates, munies d'une ligule courte et tronquée. Les épillets, regroupés par trois dans chaque renflement de l'axe de l'épi, sont serrés et accompagnés d'une glumelle inférieure portant une longue arête. La fleur possède trois étamines, et les stigmates sont directement insérés sur le carpelle. Le grain, ou caryopse, est de forme ovale, présente une pilosité au sommet et adhère à la base aux glumelles.

Les céréales comme l'orge et le blé sont des plantes herbacées qui se développent en touffes, également appelées "tallages", à partir d'un seul pied principal. Elles présentent une organisation structurale typique des graminées, composée de plusieurs parties distinctes :

Les racines : principalement fasciculées, elles assurent l'ancrage de la plante dans le sol et permettent l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs.

La tige (ou chaume) : cylindrique, creuse et segmentée par des nœuds, elle soutient les feuilles et l'épi. Elle joue un rôle important dans le transport de la sève.

Les feuilles : insérées de manière alterne sur la tige, elles sont longues, étroites et composées d'un limbe, d'une gaine entourant la tige, d'une ligule (membrane à la jonction du

limbe et de la gaine) et parfois d'oreillettes. Elles assurent la photosynthèse, nécessaire à la croissance de la plante.

L'épi : situé à l'extrémité de la tige, c'est l'inflorescence qui porte les épillets. Chaque épillet contient une ou plusieurs fleurs qui, une fois fécondées, donnent naissance aux grains (ou caryopses), véritables organes de reproduction et de stockage des réserves énergétiques.

Ces plantes suivent un cycle biologique bien défini, comprenant une phase végétative, une phase reproductrice et une phase de maturation, chacune jouant un rôle essentiel dans la production de graines (Slafer et al., 2002)

1.4.2. La classification botanique

D'après Feillet 2000, l'orge cultivée est appartenue à la classification suivante:

Règne : Plantae
Division : Magnoliophyta
Classe : Liliopsida
S/Classe : Commelinidae
Ordre : Poales
Famille : Poaceae
S/Famille : Hordeoideae
Tribu : Hordeae (Hordées)
S/Tribu : Hordeinae
Genre : *Hordeum*
Espèce : *Hordeum vulgare* L

1.4.3. L'origine génétique d'orge

L'orge est une plante annuelle monocotylédone appartenant à la famille des graminées (Poacées) et au genre *Hordeum*, qui compte 31 espèces. Parmi celles-ci, seule *Hordeum vulgare* est largement cultivée. Il s'agit d'une espèce diploïde ($2n = 14$) (Baik & Ulrich, 2008).

Sa domestication remonte à une période très ancienne, antérieure même à celle du blé. En effet, des fouilles archéologiques menées en Syrie et en Irak ont permis de découvrir des caryopses d'orge datant d'environ 10 000 ans avant J.-C., témoignant ainsi de son importance précoce dans l'histoire de l'agriculture (Boulal et al., 2007 ; Kellil, 2010).

1.4.4. Importance d'orge

Au début du XIX^e siècle, l'orge occupait une place prépondérante parmi les cultures agricoles, en raison de son importance économique et alimentaire. Elle était principalement destinée à l'autoconsommation humaine et servait également de complément fourrager pour le bétail, notamment dans les régions steppiques où l'élevage était pratiqué toute l'année (**Hakimi, 1993**).

Aujourd'hui, l'orge est beaucoup moins utilisée dans l'alimentation humaine, bien qu'elle soit reconnue pour ses nombreuses vertus nutritionnelles et médicinales. Elle est désormais appréciée pour ses effets bénéfiques sur la santé, notamment dans la prévention des maladies cardiovasculaires, la régulation du transit intestinal et le bon fonctionnement du système digestif. Certaines études suggèrent même un rôle potentiel dans la prévention de certains cancers. De plus, l'orge contribue efficacement à la réduction du taux de cholestérol sanguin, par un mécanisme comparable à celui de certains médicaments hypocholestérolémiants (**Houmani, 2007**).

Le grain d'orge est principalement composé de glucides, représentant entre 78 % et 83 % de sa masse. Parmi ceux-ci, l'amidon constitue la majorité (environ 60 % à 64 %), tandis que les sucres simples comme le glucose et le fructose ne sont présents qu'en faible quantité (entre 0,4 % et 2,9 %) (**Romain et al., 2006**).

L'orge contient également entre 8 % et 15 % de protéines. Cependant, sa teneur en lysine un acide aminé essentiel est relativement faible, ce qui classe ses protéines parmi les protéines dites incomplètes.

En ce qui concerne les lipides, l'orge en renferme entre 2 % et 3 %, dont une proportion importante (environ un tiers) est concentrée dans le germe du grain (**Romain et al., 2006 ; Houmani, 2007**).

Les glucides constituent environ 80 % de la matière sèche des graines d'orge, dont la majorité est représentée par l'amidon, principalement localisé dans le caryopse. Dans l'embryon, les sucres dominants sont le saccharose et la raffinose.

L'amidon est le composant principal de l'endosperme de l'orge, représentant entre 50 % et 70 % du poids sec du grain. Il est formé de deux types de polymères : l'amylose (environ 25 %) et

l'amylopectine. Cet amidon constitue la principale source d'énergie des grains d'orge (**Höije et al., 2005**).

Les protéines de réserve du grain d'orge possèdent une propriété particulière : après hydratation, elles forment une masse cohérente, insoluble et dotée de caractéristiques viscoélastiques. La couche d'aleurone contient environ 30 à 35 % de protéines, tandis que le germe en renferme entre 35 et 40 %. Les principales protéines de l'embryon sont les albumines et les globulines (**Hopkins, 2003**). Comparée à d'autres céréales, l'orge reste relativement pauvre en protéines, notamment par rapport au blé ou au triticale. Toutefois, sa teneur protéique demeure supérieure à celle du maïs.

Tableau 1.3. Constituants biochimiques de l'orge (% matière sèche) (**Hopkins, 2003**).

Constituants biochimiques de l'orge	%de matière sèche
Glucide	78-83
Protéines	09-déc
Lipides	2-3,5
Acides nucléiques	0,2-0,3
Substances minérales	2
Polyphénols	0,5-1,5

Les lipides présents dans le grain d'orge sont majoritairement des triglycérides, représentant environ 69 % de la fraction lipidique (**Badr et al., 2000 ; Hopkins, 2003**).

Ainsi, dans certaines formulations alimentaires à base d'orge, un apport complémentaire en acide linoléique peut être recommandé (**Casiraghi et al., 2005**). Les minéraux de l'orge se trouvent principalement au niveau du tégument, où ils sont majoritairement liés à l'acide phytique (un diacide organique), ce qui en réduit la biodisponibilité pour l'organisme (**Thomas, 2003**).

Bien que les teneurs en calcium et en sodium de l'orge soient légèrement supérieures à celles du maïs, cette céréale reste globalement relativement pauvre en ces éléments minéraux. (**Dahleen et Manoharan., 2007**).

Les fibres alimentaires de l'orge sont principalement constituées de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Ces fibres sont localisées majoritairement dans le tégument du grain,

où elles jouent un rôle important en facilitant le transit intestinal. En outre, les parois cellulaires de l'endosperme de l'orge contiennent des polysaccharides spécifiques, tels que les bêta-glucanes et les pentosanes, qui participent également à la structure des fibres alimentaires (**Hamoun et al., 2001**).

L'orge est une source intéressante de plusieurs antioxydants, parmi lesquels on retrouve :

Les tocotrienols (vitamine E): L'orge contient l'ensemble des formes connues de la vitamine E, pour une teneur totale d'environ 75 mg/kg. Parmi ces composés, environ 80 % sont constitués de tocotriénols, qui sont considérés comme des antioxydants particulièrement puissants, possiblement plus efficaces que les tocophérols, une autre forme de la vitamine E (**Panifili et al., 2003**).

L'orge renferme également une grande diversité de composés phénoliques, qui sont des antioxydants naturels. Ces substances sont présentes non seulement dans les grains, mais aussi dans les produits dérivés comme le malt ou les infusions à base d'orge. Les flavanols, appartenant à la famille des flavonoïdes, sont les composés les plus abondants dans le grain d'orge, leur concentration pouvant atteindre jusqu'à 225 µg/g selon la variété cultivée (**Bonoli et Verardo, 2004**).

Le gluten est un complexe de protéines élastiques qui subsiste après l'extraction de l'amidon dans certaines céréales comme le blé, l'orge, le seigle et l'avoine. Il joue un rôle essentiel en assurant la cohésion des ingrédients et en conférant aux préparations une texture souple et moelleuse (**Bontems et al., 2000**).

1.4.5 Production d'orge

1.4.5.1 Dans le monde

L'orge est une céréale largement cultivée à l'échelle mondiale, figurant parmi les dix cultures les plus répandues (**Franquesa, 2014**). Elle occupe le quatrième rang en termes de superficie cultivée, derrière le maïs, le riz et le blé (**Soltner, 2005**). Selon les données de Statista (2022), la production mondiale d'orge a atteint 147,26 millions de tonnes au cours de la campagne 2022/2023. Cette espèce présente un double intérêt, à la fois fourrager et alimentaire. Elle peut en effet faire l'objet d'une double exploitation : une première récolte en vert, destinée au

pâturage ou à la fauche, suivie d'une seconde récolte en grains (**Khaldoun, 1989**). Peu exigeante, l'orge se distingue par sa capacité à s'adapter à une grande diversité de conditions hydriques et édaphiques (**Franquesa, 2014**)

L'Union européenne est de loin le principal producteur mondial d'orge, avec une production avoisinant les 90 millions de tonnes, soit environ 72,7 % de la production totale. Les principaux pays exportateurs de cette céréale sont l'Union européenne, l'Australie et le Canada. En revanche, les plus grands importateurs d'orge sont l'Arabie saoudite, la Chine et le Japon.

1.4.5.2 En Algérie

D'après les travaux d'**Oudina et Bouzerzour** (1993), l'orge représente la deuxième céréale la plus cultivée en Algérie, après le blé dur. Par ailleurs, **Hanifi (1999)**, souligne qu'elle se classe au troisième rang en termes de superficie emblavée et de production céréalière au niveau national. Espèce rustique, l'orge se distingue par des exigences moindres en matière de qualité du sol et de disponibilité en eau par rapport au blé.

Selon la brochure de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) intitulée Grandes cultures en Algérie : Tendances et coûts de production (2017-2018), la superficie emblavée en céréales a atteint 3 445 947 hectares (ha), dont 1 284 726 ha consacrés à l'orge, représentant 37,28 % de la surface céréalière totale. La superficie totale récoltée s'est élevée à 3 101 512 ha, soit 90 % de la superficie emblavée, dont 1 085 056 ha pour l'orge. La production céréalière globale a été estimée à 60 298 003 quintaux (q), dont 19 505 047 q d'orge, soit 32,35 % du total. Le rendement moyen, toutes céréales confondues, a été de 19,44 q/ha, tandis que celui de l'orge s'est établi à 17,98 q/ha. Le rendement maximal enregistré pour l'orge a atteint 56 q/ha

1.4.5.3 Dans la wilaya de M'sila

Selon la Coopérative des céréales et des légumes secs (CCLS) de la wilaya de M'sila, le taux de récolte pour la campagne agricole 2021-2022 a été évalué à 91,45 %. Cette performance concerne une superficie totale récoltée de 34 766,15 hectares, sur les 38 017,20 hectares initialement cultivés. La production obtenue s'élève à 443 000 quintaux, contre une prévision de 474 000 quintaux, soit un taux de réalisation des objectifs de 93,36 % .

Les services de la wilaya de M'sila ont rapporté des résultats encourageants pour la campagne agricole 2021-2022, notamment en ce qui concerne l'orge. Ainsi, environ 44 000 quintaux d'orge ont été collectés par la Coopérative des céréales et des légumes secs (CCLS), contre seulement 1 338 quintaux lors de la campagne précédente (2020-2021).

1.4.6 Les variétés d'orge cultivés dans l'Algérie

Les différentes variétés d'orge et leurs caractéristiques agronomiques et technologiques (ITGC et CNCCSP, 2015)

Tableau 1.4. Les différentes variétés d'orge et leurs caractéristiques agronomiques et technologiques .

Tichedrett	Saida 183	El Bahia	El Fouara
Orge à 6 rangs Zone d'adaptation : hauts plateaux et plaines intérieures Rendement élevé. Poids de mille grains (PMG) : élevé. Période de semis : de la mi-novembre à la mi-décembre. Type de développement : hivernal, cycle tardif	Zone d'adaptation : hauts plateaux. Rendement élevé. PMG élevé. Teneur en protéines : 14,85 %. Période de semis : de la mi-octobre à la mi-novembre. Type de développement : hivernal, cycle précoce	Orge à 6 rangs. Rendement élevé. PMG élevé. Teneur en protéines : 12,95 %. Type de développement : hivernal	Orge à 6 rangs. Rendement élevé. PMG élevé. Teneur en protéines : 14,50 %. Type de développement : hivernal.

Etude bibliographique

Chapitre II : Généralité sur

La chlorophylle

Et le complément alimentaire

Chapitre II : Généralité sur la chlorophylle et le complément alimentaire

2.1 La chlorophylle

La chlorophylle est un pigment végétal essentiel, principalement responsable de la couleur verte caractéristique des plantes. Présente dans les chloroplastes des cellules végétales, elle joue un rôle central dans le processus vital de la photosynthèse. Grâce à ce mécanisme, les plantes sont capables de capter l'énergie lumineuse du soleil et de la convertir en énergie chimique, transformant ainsi le dioxyde de carbone (CO₂) et l'eau en oxygène et en matière organique, contribuant directement à la production de la biomasse végétale (**Cha et al., 2008**).

Il existe plusieurs types de pigments photosynthétiques, parmi lesquels on distingue principalement la chlorophylle a, la chlorophylle (b) et (c), ainsi que d'autres pigments accessoires tels que les caroténoïdes (carotène, xanthophylle), la phycocyanine ou encore la phycoérythrine. Parmi eux, la chlorophylle (a) est la plus universelle et la plus abondante, présente dans toutes les plantes vertes, les algues et les cyanobactéries. Elle est indispensable pour capter l'énergie lumineuse nécessaire à la photosynthèse primaire, tandis que les autres pigments jouent un rôle complémentaire en absorbant des longueurs d'onde de lumière différentes, optimisant ainsi le rendement énergétique global du processus (**Cha et al., 2008 ; Conseil régional de l'environnement des Laurentides, 2009**).

Les chlorophylles absorbent principalement les longueurs d'onde bleues et rouges de la lumière solaire. Cette énergie lumineuse absorbée est ensuite utilisée par la plante pour transformer le dioxyde de carbone (CO₂) de l'air et l'eau (H₂O) du sol en glucides (sucres), servant de source d'énergie, tout en libérant de l'oxygène (O₂) dans l'atmosphère.

La présence, la concentration et le type de chlorophylle peuvent varier selon l'espèce végétale, le stade de développement, les conditions environnementales (lumière, température, stress hydrique) et la saison. Cette variabilité fait des chlorophylles des indicateurs intéressants de l'état physiologique de la plante (**LALLOUCHE et al., 2018**).

2.1.1 Les types de la chlorophylle

Il existe plusieurs types de chlorophylle (a, b, c, d et f), mais les plus courantes dans les plantes terrestres sont (Anthony *et al.*, 2003) :

La chlorophylle a : le pigment principal, universel chez toutes les plantes, algues vertes et cyanobactéries.

La chlorophylle b : pigment accessoire, qui complète l'absorption de la lumière et optimise le rendement photosynthétique (Féret., 2009).

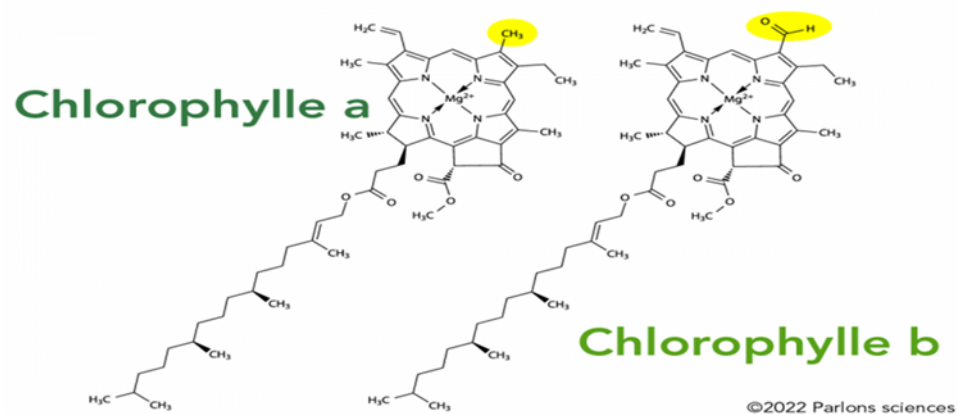


Figure 2.1. Molécules de chlorophylle A et B (Tazi, 1991 ; Anthony *et al.*, 2003).

Ces deux molécules possèdent une structure chimique très proche, à l'exception d'une différence dans la composition d'une chaîne latérale. Cette légère variation suffit à modifier leurs propriétés d'absorption de la lumière.

Les chlorophylles a et b jouent un rôle complémentaire dans l'absorption de la lumière, en captant des longueurs d'onde spécifiques du spectre électromagnétique :

La chlorophylle a absorbe principalement les longueurs d'onde dans les zones bleue (autour de 430 nm) et rouge (autour de 662 nm). La chlorophylle b, quant à elle, a un pic d'absorbance plus marqué dans la zone bleue (autour de 455 nm) et moins prononcé dans la zone rouge (vers 642 nm) (Tazi, 1991 ; Anthony *et al.*, 2003; Féret., 2009). Ces différences permettent aux plantes d'optimiser la capture de l'énergie lumineuse en élargissant la gamme de longueurs d'onde absorbées.

Cependant, ni la chlorophylle a ni la chlorophylle b n'absorbent efficacement la lumière verte, située entre 490 et 550 nm. Cette lumière est donc faiblement absorbée mais fortement réfléchie, ce qui explique pourquoi les feuilles nous apparaissent vertes à l'œil nu (Tazi, 1991).

Enfin, la chlorophylle a est généralement associée à des teintes vert foncé, tandis que la chlorophylle b confère des reflets vert jaunâtre, en raison de leurs différences d'absorption. Ce duo chlorophyllien constitue un système efficace d'adaptation à l'environnement lumineux, garantissant une photosynthèse optimale dans différentes conditions d'éclairement.

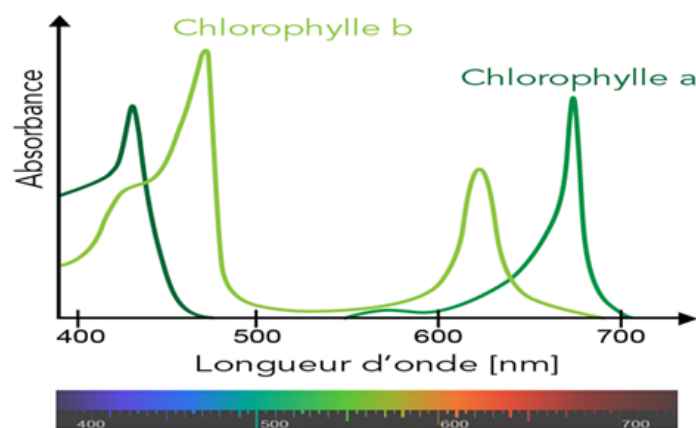


Figure 2.2. Spectres d'absorption des longueurs d'onde des molécules de chlorophylle A et B (Tazi, 1991).

2.1.2 Les bienfaits de la chlorophylle sur la santé

La chlorophylle, au-delà de son rôle fondamental dans la photosynthèse, présente de nombreuses propriétés bénéfiques pour la santé humaine. Ce pigment naturel agit notamment comme antioxydant puissant, contribuant à la neutralisation des radicaux libres responsables du Stress oxydatif et du vieillissement cellulaire. Il possède également des propriétés anti-inflammatoires, utiles dans la prévention de diverses affections chroniques. En outre, la chlorophylle joue un rôle important dans la détoxification de l'organisme, notamment en chélate certains métaux lourds et toxines, facilitant ainsi leur élimination. Elle favorise également la synthèse des globules rouges en stimulant la production d'hémoglobine, du fait de sa structure chimique proche de celle de l'hème sanguin. Elle soutient par ailleurs le renforcement du système

immunitaire en participant à la production des globules blancs (**Tchiégang, 2004 ; Cha et al., 2008**). Sur le plan digestif, la chlorophylle contribue à l'équilibre du micro biote intestinal, en régulant la croissance de levures pathogènes comme *Candida albicans*. Cela permet de réduire les fermentations intestinales excessives, atténuant ainsi les ballonnements et les inconforts digestifs. Elle favorise également un transit intestinal régulier, ce qui en fait un complément alimentaire naturel particulièrement intéressant pour la santé digestive et métabolique.

La chlorophylle présente de multiples vertus thérapeutiques, dont certaines sont particulièrement bénéfiques dans le contexte de la prévention ou du soutien de divers déséquilibres physiologiques. Sa structure chimique proche de celle de l'hème (composant de l'hémoglobine)

lui confère la capacité de stimuler la production de globules rouges, favorisant ainsi la synthèse de l'hémoglobine. Cet effet est particulièrement intéressant pour les personnes anémiées, notamment les femmes enceintes ou les personnes âgées, chez qui l'anémie est plus fréquente. (**Rafajlovska et al, 2001**).

Par ailleurs, la chlorophylle favorise une meilleure circulation sanguine, ce qui aide à soulager les sensations de jambes lourdes, en particulier lors de périodes de forte chaleur. Grâce à ses effets fluidifiants, elle améliore l'oxygénation des tissus et soutient une bonne oxygénation cardiaque, participant à la régulation de la pression artérielle. Elle contribue aussi à améliorer l'apport d'oxygène aux poumons, optimisant ainsi les échanges gazeux au niveau pulmonaire (**Donaldson, 2004 ;Vaňková, 2018**).

Dotée d'un pouvoir détoxifiant important, la chlorophylle soutient le foie dans ses fonctions d'élimination des toxines, en facilitant l'évacuation des métaux lourds (mercure, plomb) ainsi que des résidus médicamenteux. Cette action contribue à améliorer la digestion et la santé intestinale globale. En agissant directement sur la régulation du micro biote intestinal, la chlorophylle limite la prolifération bactérienne pathogène, réduit la production de gaz et maintient un bon équilibre acido-basique. Elle facilite ainsi le transit intestinal et soutient une digestion saine et efficace (**Rafajlovska et al, 2001**).

2.1.3. Sources alimentaires naturelles riches en chlorophylle

La chlorophylle est abondamment présente dans la majorité des plantes comestibles de couleur verte, mais sa concentration peut être significativement altérée par la cuisson. En effet, la chaleur dégrade ce pigment photosynthétique, entraînant une perte pouvant atteindre 50 % de sa teneur initiale. Il est donc recommandé de consommer les végétaux riches en chlorophylle sous forme crue ou peu transformée pour en préserver les bienfaits nutritionnels (**Vaňková, 2018 ; Novidzro et al., 2019**).

Parmi les sources alimentaires les plus concentrées, on retrouve les herbes aromatiques fraîches comme le persil, la menthe ou encore le basilic. Par exemple, une demi-tasse de persil frais peut contenir jusqu'à 19 mg de chlorophylle, ce qui en fait un ingrédient à privilégier dans les préparations crues ou peu cuites (**Costache et al., 2012 ; Phytonut, 2021**).

Certaines plantes spécifiques, notamment la luzerne (alfalfa), l'ortie et le mûrier, constituent également d'excellentes sources naturelles de chlorophylle, souvent utilisées dans la formulation de compléments alimentaires. De même, les graines germées, surtout lorsqu'elles sont exposées à la lumière, offrent une teneur élevée en ce pigment, tout en apportant d'autres micronutriments bénéfiques (**Phytonut, 2021**).

L'herbe de blé et l'herbe d'orge, en particulier à l'état juvénile, sont reconnues pour leur teneur exceptionnelle en chlorophylle, pouvant atteindre 70 % de leur matière sèche, ce qui justifie leur présence fréquente dans les formulations de jus verts et de super aliments (**Novidzro et al., 2019**).

Parmi les légumes, les plus riches sont ceux à feuilles vert foncé, comme les épinards (23,7 mg par tasse), le cresson (15,6 mg), la roquette (8,2 mg), mais aussi les haricots verts (8,3 mg) et les poireaux (7,7 mg). Ces légumes sont facilement intégrables dans l'alimentation quotidienne. Enfin, certaines micro algues telles que la spiruline, la klamath ou la chlorelle sont également très concentrées en chlorophylle. Parmi elles, la chlorelle se distingue comme la meilleure source naturelle, avec une teneur avoisinant les 3,6 g pour 100 g de poudre, ce qui en fait un complément de choix dans les régimes visant à renforcer les apports en chlorophylle (**Phytonut, 2021**).

2.2. Complément alimentaire

2.1.1 Historique des compléments alimentaires

Origine des compléments alimentaires remonte à plusieurs siècles et, comme souvent en science et en médecine, tout a commencé par observation. Lors des longues expéditions maritimes, les marins restaient en mer pendant plusieurs mois sans contact avec la terre ferme. Ils étaient alors fréquemment touchés par le scorbut, une maladie se manifestant par une fatigue intense, des lésions cutanées et des hémorragies. Cependant, lorsqu'ils embarquaient des agrumes à bord pour leur alimentation, ces symptômes disparaissaient. Ce n'est que plusieurs siècles plus tard que les chercheurs identifièrent la substance responsable de cet effet protecteur : la vitamine C (**Derumeaux et al., 2005 ; Crenn, 2020 ; Lepengue et al., 2016**).

Un autre exemple marquant est celui du rachitisme et de la vitamine D. Au XIX^e siècle, de nombreux jeunes enfants souffraient de rachitisme, une maladie se traduisant par un retard de croissance et des déformations osseuses. Cependant, il fut observé que la consommation de certains poissons semblait les protéger contre cette affection. Ce n'est que plus tard que les scientifiques identifièrent la substance responsable de cet effet bénéfique : la vitamine D. Au 20^{ème} siècle l'histoire des compléments alimentaires (CA) commence dans les années 1970 avec Linus Pauling, pionnier du concept de « juste dose » et fondateur de la nutrition ortho moléculaire. Cette approche vise à améliorer la santé grâce à un apport optimal de substances naturellement présentes dans la nature. C'est à partir de cette époque que les compléments alimentaires commencent à se développer, notamment aux États-Unis, grâce à leur libre accès (**Derumeaux et al., 2005 ; ANSES, 2019 ; Crenn, 2020**).

En France, le marché des CA émerge dans les années 1980 avec l'arrivée d'une grande marque en pharmacie, proposant d'abord des gélules de mono-plantes disposant d'une autorisation de mise sur le marché (AMM), puis des formules à base de plusieurs plantes sans AMM. Dès 1987, les premiers CA sont commercialisés hors pharmacie, notamment dans les

grandes surfaces (GMS) et surtout dans les boutiques de régime du réseau bio, alors très avant-gardiste (Lepengue et al., 2016 ; ANSES, 2019).

Le véritable essor du marché intervient en 1991, à la suite du déremboursement des vitamines et minéraux. Toutefois, les petits distributeurs doivent faire face à un vide réglementaire, et plusieurs laboratoires sont poursuivis pour « exercice illégal de la pharmacie ».

En 1996, la crise de l'ESB (« vache folle ») conduit à un encadrement plus strict des gélules à base de gélatine bovine. Le 15 avril 1996, la France publie son premier décret encadrant les Compléments alimentaires, les définissant comme des « produits destinés à être ingérés en complément de l'alimentation courante pour pallier des carences réelles ou supposées en nutriments ». Ce décret couvre les vitamines et minéraux, mais exclut les plantes.

Le 10 juin 2002, la directive européenne 2002/46/CE élargit cette définition en incluant les plantes et autres substances à visée physiologique. Cette directive est transposée en droit français le 20 mars 2006 avec le décret 2006-352, instaurant une procédure de demande D'autorisation de mise sur le marché des compléments alimentaires, à déposer auprès de la DGCCRF selon trois cas :

Article 15 : notification simple pour les substances déjà autorisées dans les denrées où les CA.

Article 16 : procédure de reconnaissance mutuelle pour les produits non autorisés en France mais commercialisés dans autres États membres.

Article 17 (Novel Food) : procédure plus rigoureuse pour les substances non utilisées en Europe avant 1997, nécessitant des preuves d'innocuité.

Le 9 mai 2006, un arrêté fixe la liste des nutriments autorisés dans les CA, ainsi que les formes et doses journalières maximales.

Entre 2006 et 2007, la DGCCRF élabore un projet d'arrêté listant les plantes autorisées selon l'article 16, soumis à l'évaluation de l'ANSES. Deux avis sont rendus (21 décembre 2007 et 8 septembre 2008), mais en absence de consensus, le projet n'est finalement pas adopté. Les décrets n°2008-841 et n°2008-839 du 22 août 2008 ont permis de libérer 148 plantes du monopole pharmaceutique. Avant cette évolution, seules 34 plantes pouvaient être commercialisées en l'état,

conformément au décret n°79-480 du 15 juin 1979 relatif à la vente au public des plantes médicinales inscrites à la pharmacopée. Le 14 juin 2012, une liste de 222 allégations de santé autorisées a été publiée au Journal officiel de l'Union européenne, reconnaissant officiellement les bienfaits de certaines vitamines, minéraux et autres substances (**Derumeaux et al., 2005 ; Crenn, 2020 ; Lepengue et al., 2016 ; ANSES, 2019**).

Après plusieurs années d'attente, l'arrêté dit « plantes », encadrant l'utilisation des plantes dans les compléments alimentaires, voit enfin le jour en 2014. Une première signature a été effectuée le 24 juin, actant l'autorisation de plus de 400 plantes. Les fabricants et distributeurs disposent alors d'un délai de six mois, soit jusqu'à la fin de l'année, pour se mettre en conformité avec cette nouvelle réglementation (**Crenn, 2020 ; Lepengue et al., 2016**).

2.1.2 Définition des compléments alimentaires

Selon la législation algérienne, et plus précisément le décret exécutif n° 12-214 du 15 mai 2012 (correspondant au 23 Joumada Ethania 1433), les compléments alimentaires en vitamines et sels minéraux sont définis comme des sources concentrées de ces nutriments, utilisés seuls ou en combinaison. Ils sont commercialisés sous des formes telles que les gélules, comprimés, poudres ou solutions, et ne sont pas consommés comme des aliments classiques. Pris en petites quantités, leur objectif est de compenser les carences en vitamines et/ou en sels minéraux dans l'alimentation habituelle (**ANSES, 2019**).

Les compléments alimentaires (CA) ont une définition, fondée sur une directive européenne de 2002 et un décret français de 2006 (décret n°2006-352, transposition de la directive européenne 2002-46).

Ce sont des produits alimentaires qui complètent le régime alimentaire normal. Ils constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés. Qui sont commercialisées sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons munis d'un compte-gouttes et les autres formes analogues de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités mesurées en petites quantités (**Derumeaux et al., 2005 ; Crenn, 2020 ; Lepengue et al., 2016**).

2.1.3 Le marché des compléments alimentaires

2.1.3.1 Le marché mondial

Les compléments alimentaires connaissent une popularité croissante à l'échelle mondiale. En 2008 à 45 milliards d'euros avec 30% des ventes réalisées en Europe. En 2022, la valeur du marché mondial était estimée à 163,9 milliards de dollars, et elle devrait atteindre environ 300 milliards de dollars d'ici 2030 (**Crenn, 2020 ; Vig et Himanshu, 2022**).

2.1.3.2 Le marché européen

Des compléments alimentaires est largement concentré entre trois pays qui, à eux seuls, représentent près des deux tiers du total :

L'Italie avec 21 % de part de marché,

L'Allemagne, également avec 21 %,

Et la France avec 12 %.

Le tiers restant est réparti entre dix autres pays :

Les pays scandinaves regroupent 10 % des ventes,

L'Espagne, la Belgique et les Pays-Bas se partagent 4 %,

Tandis que l'Autriche, la Suisse et la Turquie représentent ensemble 2 %,

Et enfin le Portugal, l'Irlande et la Grèce cumulent environ 1 % du marché.

En ce qui concerne la consommation moyenne par habitant en 2008 :

Les Français dépensaient environ 17,5 euros par personne, contre 20 euros pour les Britanniques, 24 euros pour les Allemands, et 28 euros pour les Italiens (**Vig et Himanshu, 2022**).

2.1.3.3 Le marché algérien

Environ 95 % des compléments alimentaires disponibles sur le marché algérien sont importés, principalement en provenance de Chine et d'Inde, avec certains produits contenant des substances chimiques.

Pourtant, l'Algérie dispose localement des ressources nécessaires à leur production, notamment à travers une riche biodiversité en plantes aromatiques et médicinales, ainsi que des sources naturelles d'oméga-3 extraits du poisson, et divers dérivés du lait.

2.1.4 Les intérêts des compléments alimentaires

La définition des compléments alimentaires met en évidence leur distinction fondamentale par rapport aux médicaments. Les compléments alimentaires exercent une action de nature physiologique ou nutritionnelle : ils visent à corriger des déficits ou carences nutritionnelles, sans pour autant présenter un effet pharmacologique, à la différence des médicaments, dont l'objectif est de traiter ou prévenir des maladies. En effet, les compléments alimentaires n'ont pas de visée thérapeutique. Ils ne sont pas conçus pour soigner ou prévenir une pathologie, mais plutôt pour soutenir les fonctions physiologiques normales de l'organisme par un apport nutritionnel adéquat. On parle alors d'effet physiologique, par opposition à l'effet pharmacologique ou thérapeutique, propre aux substances qui corrigent une altération ou une dysfonction de l'organisme. Les compléments alimentaires contribuent ainsi au maintien de l'équilibre interne du corps, appelé homéostasie, tandis que les médicaments interviennent pour restaurer cet équilibre en cas de dérèglement (Derumeaux *et al.*, 2005 ; Crenn, 2020 ; Lepengue *et al.*, 2016 ; ANSES, 2019).

L'homéostasie correspond à la régulation naturelle des fonctions biologiques de l'organisme (comme la température corporelle ou la composition du sang), afin de les maintenir stables malgré les variations de l'environnement. Elle repose sur l'action conjointe du système nerveux autonome (ou végétatif), qui régule les fonctions vitales involontaires, et des glandes endocrines, qui libèrent des hormones dans la circulation sanguine.

Le maintien de cet équilibre s'effectue par un effet physiologique. En revanche, lorsqu'un déséquilibre pathologique survient, son rétablissement nécessite une action pharmacologique. Ainsi, selon la dose, la forme galénique et l'intention (thérapeutique ou nutritionnelle), une même substance peut, dans certains cas, présenter à la fois un effet physiologique et un effet pharmacologique (**Ben mreref et Guesmi, 2020/2021**).

2.1.5 Les compléments alimentaires à base des plantes

Les plantes et leurs préparations comptent parmi les ingrédients les plus couramment utilisés dans les compléments alimentaires, en particulier celles issues de l'usage traditionnel.

Elles peuvent être employées sous différentes formes : soit sous leur forme traditionnelle, comme des poudres, des extraits secs ou des extraits aqueux ; soit sous forme de substances actives isolées à partir de la plante elle-même (**Valette, 2015**).

Les plantes produisent deux grandes catégories de métabolites :

Les métabolites primaires, tels que les protéines, lipides, glucides, vitamines, fibres et sels minéraux. Ces composés ont principalement une fonction nutritionnelle, et leur utilisation ne pose généralement aucune difficulté particulière.

Les métabolites secondaires, comme les alcaloïdes, polyphénols, caroténoïdes, coumarines, quinones, terpènes ou lignanes. Ces substances sont de plus en plus utilisées pour leurs effets physiologiques. Toutefois, leur statut réglementaire peut varier selon les pays et les formes de commercialisation.

2.1.5.1 Les plantes utilisées en compléments alimentaires :

Les plantes utilisées dans les compléments alimentaires, met en évidence la diversité des catégories botaniques représentées. On distingue notamment :

- **Les plantes alimentaires** : comme l'ail ou le chou, couramment consommés dans l'alimentation quotidienne.
- **Les fougères** : à l'exemple du capillaire, traditionnellement utilisée en phytothérapie.
- **Les algues bleues** : telles que la spiruline, reconnue pour sa richesse en protéines et nutriments.
- **Les algues vertes** : comme la chlorelle, appréciée pour ses propriétés détoxifiantes.
- **Les algues brunes** : telles que l'ascophylle noueuse ou la laminaire, riches en iode et en fibres.
- **Les algues rouges** : à l'instar de la mousse d'Irlande (ou carrageen), utilisée pour ses propriétés épaississantes et ses bienfaits digestifs.
- **Les plantes riches en huiles essentielles** : comme la mélisse, la menthe poivrée ou la sauge, connues pour leurs effets apaisants et digestifs.
- **Les gymnospermes** : tels que le cyprès vert, le ginkgo biloba ou le genévrier commun, souvent utilisés pour leurs effets sur la circulation ou les voies respiratoires
-

2.1.6 L'importance des compléments alimentaires :

Les suppléments à base de plantes peu transformés présentent plusieurs avantages par rapport aux vitamines et minéraux synthétiques. En voici les principaux :

Biodisponibilité accrue : Les nutriments d'origine végétale sont généralement mieux absorbés et utilisés par l'organisme, ce qui optimise leur efficacité.

Risque réduit de toxicité : Une bonne assimilation ne signifie pas nécessairement un apport élevé. En effet, une consommation excessive de certains minéraux peut être toxique. Les suppléments à base de plantes présentent en général un risque moindre de surdosage comparé aux produits d'origine synthétique ou animale.

Présence de cofacteurs et de Co-nutriments : Les plantes offrent un éventail complet de nutriments naturels (vitamines, minéraux, huiles essentielles, et phytonutriments) qui agissent en

synergie pour renforcer leurs bienfaits. Parmi les composés les plus intéressants sur le plan de la santé, on retrouve :

Pigments végétaux : chlorophylle, curcumine, flavonoïdes, caroténoïdes, lutéine, anthocyanes

Flavonoïdes : catéchines, quercétine, polyphénols

Composés aromatiques : allicine, sulforaphane, carvacrol, thymol

Alcaloïdes : caféine, quinine, théobromine, pipérine

Enzymes naturelles : protéase, cellulase, amylase, nattokinase, lipase

Terpénoïdes : saponines, limonène, phytostérols, acide oléanolique

Polysaccharides : cellulose, acémannane, pectine, hémicellulose

Arômes et goûts naturels : Contrairement à de nombreux compléments synthétiques, les suppléments à base de plantes sont exempts d'additifs chimiques, d'édulcorants artificiels ... etc .

Partie pratique

Chapitre III : Matériels et méthodes

Chapitre III : Matériels et méthodes

3.1 Matériel végétale

3.1.1 Mise en place de l'expérimentation

Dans le cadre de cette expérimentation, deux espèces végétales sont utilisées : le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) (figure 3.1) et l'orge (*Hordeum vulgare*) (figure 3.2). Les deux espèces sont des plantes herbacées annuelles appartenant à la famille des Poaceae (graminées). La sélection de ces espèces repose principalement sur leur teneur élevée en chlorophylle, constituant essentiel de notre complément alimentaire. Un autre critère déterminant est leur disponibilité dans la région d'étude, rendue possible par un climat favorable, propice à la culture de ces céréales.



Figure 3.1.Blé dur (*Triticum turgidum ssp. Durum*)



Figure 3.2. l'orge (*Hordeum vulgare*).

3.1.2 Lieu de l'expérimentation

Le processus de plantation s'est déroulé dans la serre du Département des Sciences Agronomiques de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila .

3.1.3 Mise en place de l'expérimentation

Les essais ont été réalisés dans un cadre expérimental simple, en conditions de culture hors-sol, sans substrat et sans apport d'éléments fertilisants chimiques. Les graines ont été lavées abondamment à l'eau du robinet afin d'éliminer les poussières, les impuretés et les graines vides. Elles ont ensuite été trempées dans de l'eau propre pendant 12 heures, ce qui a favorisé leur réhydratation et activé les mécanismes enzymatiques de germination. Elles ont ensuite été soigneusement séchées à l'air libre pour éviter tout excès d'humidité qui pourrait favoriser les fermentations. Enfin, elles ont été réparties en une couche homogène dans les boîtes de germination (voir figure 3.3). Le principe employé repose exclusivement sur l'humidification journalière des graines de blé dur et d'orge à l'aide d'un pulvérisateur, dans le cadre d'une démarche de production de jeunes plants destinés à la fabrication d'un complément alimentaire bio.

Les essais ont été répétés trois fois à des périodes différentes, ce qui a permis de comparer les rendements à chaque essai.



Figure 3.3. quelques exemples sur la mise en place de l'expérimentation.

3.1.4 Collecte des jeunes feuilles de blé dur et d'orge

La collecte des jeunes feuilles des deux espèces étudiées, à savoir le blé dur et l'orge, a été réalisée de manière systématique et structurée dix jours après le semis (figure 3.4).



Figure 3.4. Stade de collecte des jeunes feuilles de blé dur et d'orge.

3.1.5 Séchage des feuilles

La matière végétale est séchée à l'air libre, à l'abri de la lumière (figure 3.5). Une partie de la récolte du dernier essai est conservé fraîche pour les analyses nécessitant de la matière non séchée.



Figure 3.5. Séchage de matières végétales.

3.2 Les paramètres étudiées

3.2.1 Dosage de la chlorophylle

La teneur en chlorophylle a été déterminée selon la méthode de Francis et al. (1970), qui consiste en les étapes suivantes :

- Macération de 100 mg de feuilles préalablement broyées à l'aide d'un pilon, dans 10 ml d'un mélange d'acétone à 80 % et d'éthanol à 40 % (Figure 3.6).
- Les extraits sont ensuite placés dans des tubes à essai enveloppés dans des sachets noirs afin d'éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière (Figure 3.7).
- Après 48 heures, un blanc est préparé à partir du même mélange (acétone 80 % / éthanol 40 %), puis la densité optique des solutions est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'onde : 645 nm et 663 nm (Figure 3.8).

Détermination des teneurs de chlorophylles

La détermination des teneurs de la chlorophylle réalisée selon les formules suivantes : **Arnon (1949)**

$$\text{Ch.a} = 12\text{DO}_{633} - 2.67\text{DO}_{645}$$

$$\text{Ch.b} = 22.5 \text{DO}_{645} - 4.68\text{DO}_{663}$$

$$\text{Chl T} = \text{Ch.a} + \text{Ch.b}$$



Figure 3.6. Des tubes à essais enveloppés.



Figure 3.7. Macération des feuilles.



3.2.2 Dosage des cendres

Protocole réalisé par Dr. Lalouche B. et Dr. Hadj Kouider B., comprenant les étapes suivantes :

- Peser avec précision (à 0,001 g près) les creusets vides et noter les masses.
- Placer environ 8 g de feuilles finement coupées dans chaque creuset (deux creusets sont utilisés pour chaque variété) (Figure 3.9).
- Peser les creusets contenant les feuilles et noter les masses.
- Introduire les creusets dans un four froid, puis régler la température à 550 °C (Figure 3.10).
- Retirer les creusets du four et les laisser refroidir à l'air libre pendant environ 10 minutes.
- Transférer les creusets dans un dessiccateur et laisser refroidir jusqu'à atteindre la température ambiante (Figure 3.11).
- Une fois les creusets refroidis, les peser à nouveau et noter les masses finales.

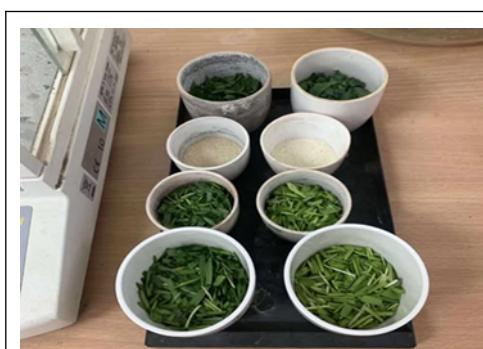


Figure 3.9. Placement de matière végétale dans les creusées.



Figure 3.10. Placement des creusées dans le four.



Figure 3.11. Transféré dans le dessiccateur.

3.2.2.1 Détermination des teneurs en cendres sur matière sèche (Ad)

La détermination des teneurs en cendre sur matière sec est réalisée selon la formula suivant :

$$Ad (\%) = \frac{(m_3 - m_1) (m_2 - m_1) * 100}{m_2 (m_3 - m_1) - Mad}$$

- m_1 (g) : Masse du creuset vide
- m_2 (g) : Masse du creuset + échantillon avant incinération
- m_3 (g) : Masse du creuset + cendres après incinération
- Mad (%) : Teneur en humidité
- Ad (%) : Teneur en cendres sur matière sèche

3.2.3 Extraction des composants phénolique par macération

Dosage des composés phénoliques selon la méthode de **Romani et al. (2006)**, modifiée par **Falleh et al. (2008)**, réalisée selon les étapes suivantes :

- Dans deux fioles distinctes, on met 10 g de feuilles de blé dur finement découpées et 10 g de poudre d'orge

- On Ajoute 100 ml de solvant (eau, éthanol 70 %, acétone 70 % ou méthanol 70 %).

(Figure 3.12)

- On laisse le mélange en contact pendant 2 heures à température ambiante, à l'abri de la lumière.
- On filtre le mélange à l'aide d'un papier filtre Whatman. (Figure 3.13)
- On réalise une seconde extraction des résidus en répétant la même procédure.
- On centrifuge le filtrat obtenu pendant 20 minutes à 4000 tours/minute, à température ambiante. (Figure 3.14)
- On filtre à nouveau le supernatant à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1.
- On verse le filtrat obtenu dans des boîtes de Pétri, puis le laisser sécher à l'air libre pendant 5 jours. (Figure 3.15)

3.2.3.1 Détermination du Rendement d'extraction

Falleh et al. 2008, le rendement d'extraction est calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = MR_{ext} / MR_{éch} \times 100$$

R : le rendement en % ;

MR_{ext} : la masse de l'extrait après évaporation du solvant en mg

MR_{éch} : la masse sèche de l'échantillon en mg



Figure 3.12. mélange solvant
matière végétale.

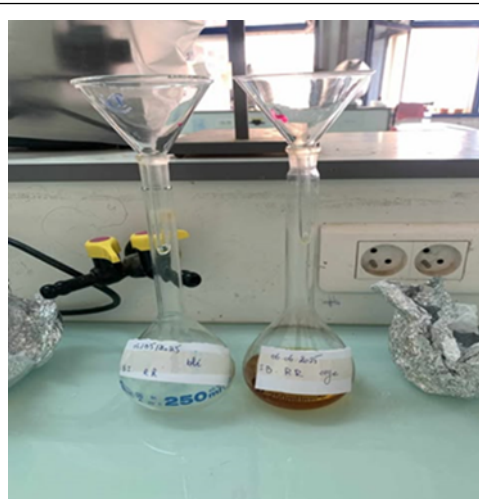


Figure 3.13. le filtrat de mélange.



Figure 3.14.centrifuger le filtrat.

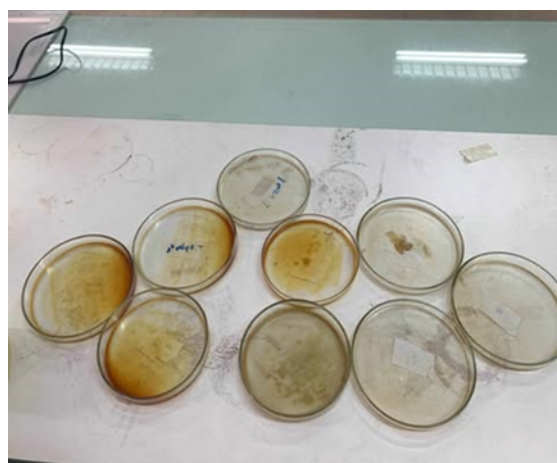


Figure 3.15.Verser le filtrat dans des boîtes pétries.

3.2.4 Mesure des paramètres de nutrition minérale

Les teneurs en Sodium (Na), Magnésium (Mg), Aluminium (Al), Silicium (Si), Chlore (Cl), Calcium (Ca), Manganèse (Mn), Fer (Fe), Nickel (Ni), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Brome (Br), Rubidium (Rb), Strontium (Sr), Molybdène (Mo) et Ruthénium (Ru) sont mesurée à l'aide d'un appareil XFR. Les résultats sont exprimés en (%).

3.2.4.1 Les analyses statistiques

Les résultats obtenus sont soumis à l'analyse de la variance à un facteur (deux espèces : blé dur et l'orge), les moyennes sont comparées selon le test de **Newman Keuls**, basée sur la plus petite différence significative. Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre n'étant pas significativement différentes.

Partie pratique
Chapitre IV : Résultats et
discussions

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Analyses physico-chimiques et technologiques

4.1.1. Teneur en chlorophylle

Les analyses réalisées en laboratoire ont révélé la présence de chlorophylle (a), (b) et totale dans les jeunes feuilles de blé et d'orge (Tableau 4.1 et figure 4.1).

L'ensemble de nos résultats est illustré dans les histogrammes suivants (Tableau 4.1, figure 4.1, 4.3, 4.3).

4.1.1.1. Teneur en chlorophylles « a »

Les résultats obtenus montrent que les jeunes feuilles de blé présentent des valeurs moyennes en chlorophylle « a » plus élevées que celles d'orge, avec des valeurs moyennes respectives de 29,851 $\mu\text{g/g}$ MF pour le blé et de 26,418 $\mu\text{g/g}$ MF pour l'orge, comme l'illustrent clairement les données présentées dans la figure (4.1).

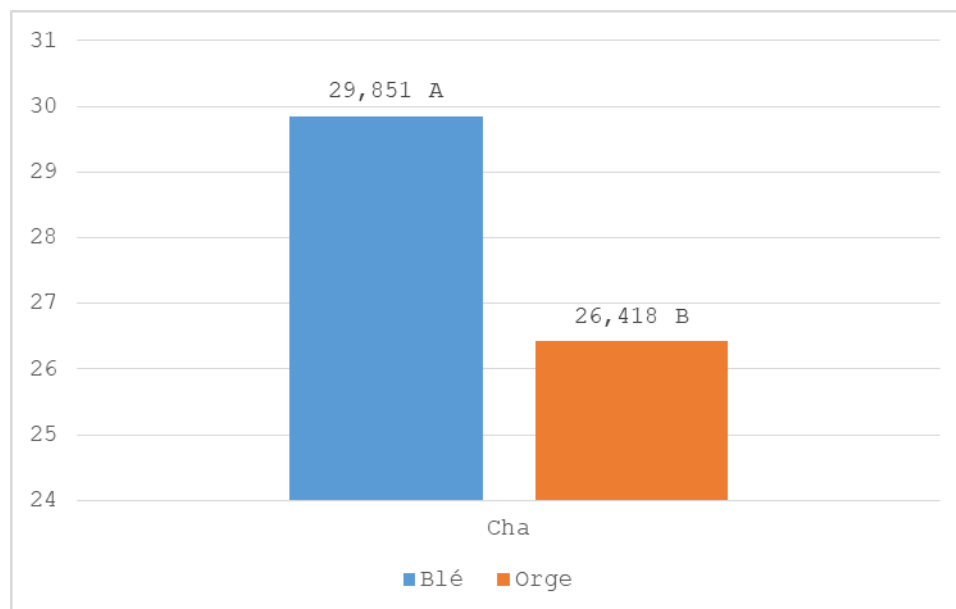


Figure 4.1. Teneur en chlorophylle « a » chez les jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les résultats de cette étude révèlent que les jeunes feuilles de blé constituent une source remarquable de chlorophylle « a », ce qui pourrait constituer un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

4.1.1.2. Teneur en chlorophylle « b »

Les résultats obtenus montrent que les jeunes feuilles de blé présentent des valeurs moyennes en chlorophylle « b » plus élevées que celles d'orge, avec des valeurs moyennes respectives de 45.395 $\mu\text{g/g}$ MF pour le blé et de 39.888 $\mu\text{g/g}$ MF pour l'orge, comme l'illustrent clairement les données présentées dans la figure (4.2).

Les résultats de cette étude révèlent que les jeunes feuilles de blé constituent une source remarquable de chlorophylle « b », ce qui pourrait être un bon indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

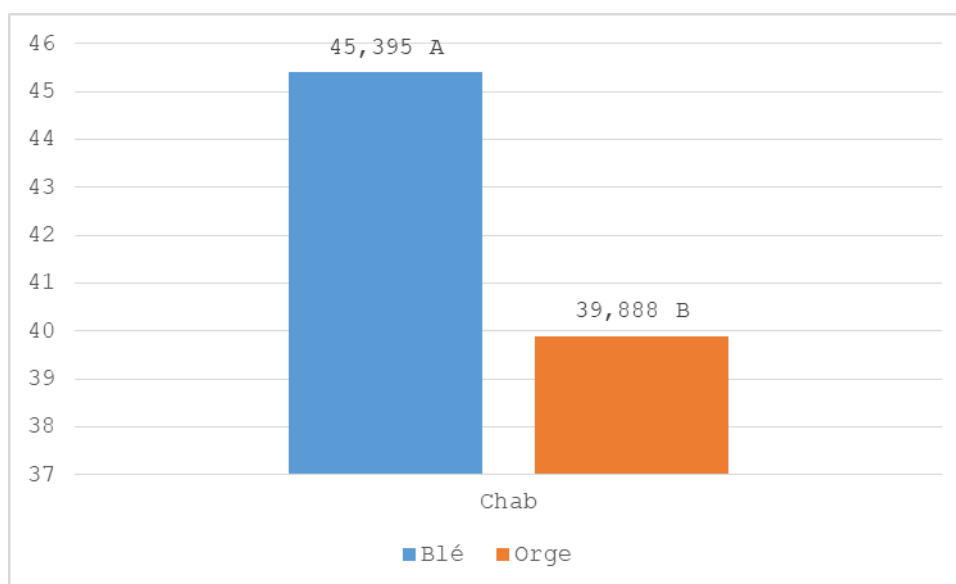


Figure 4.2. Teneur en chlorophylle « b » chez les jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

4.1.1.3. Teneur en chlorophylle « t »

Les résultats obtenus montrent que les jeunes feuilles de blé présentent des valeurs moyennes en chlorophylle « t » plus élevées que celles d'orge, avec des valeurs moyennes respectives de 75.24 $\mu\text{g/g}$ MF pour le blé et de 66.30 $\mu\text{g/g}$ MF pour l'orge, comme l'illustrent clairement les données présentées dans la figure (4.3).

Les résultats de cette étude révèlent que les jeunes feuilles de blé constituent une source remarquable de chlorophylle « t », ce qui pourrait constituer un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

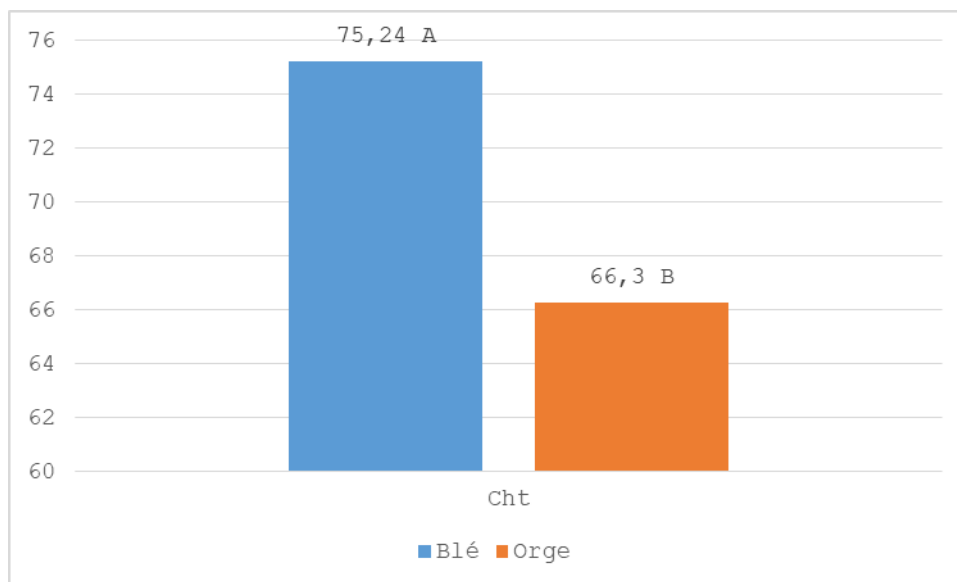


Figure 4.3. Teneur en chlorophylle totale chez les jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les compléments alimentaires sont très répandus à travers le monde, notamment pour traiter certaines maladies ou prévenir d'autres, ou encore pour préserver la santé. La chlorophylle semble être une bonne candidate, car c'est un nutriment d'origine végétale. Les chlorophylles sont les principaux pigments des feuilles et sont responsables de leur coloration verte (**Tchiégang, 2004**). Sa structure est comparable à celle de l'hémoglobine. Celle-ci donne la couleur rouge aux globules rouges car son atome central est le fer alors que le siège central de la chlorophylle est porté par un atome de magnésium. La chlorophylle est donc une source de magnésium Mg^{2+} qui contribue à réduire la fatigue, le stress, l'ostéoporose, ou encore les crampes. Ces pigments ont en effet de multiples propriétés thérapeutiques, comme un effet protecteur contre la dégénérescence cellulaire, la prévention de maladies chroniques (cancer cardiovasculaire et du côlon), la régulation du cholestérol sanguin, des activités antioxydantes et le renforcement du système immunitaire (**Cha et al., 2008**).

La chlorophylle est une molécule très importante sur Terre, elle permet la photosynthèse. Elles donnent aussi de la couleur aux légumes et à plusieurs fruits. Les extraits ainsi obtenus peuvent être utilisés sur le marché des ingrédients dans les aliments. Ces extraits peuvent servir de colorant naturel ainsi que d'ingrédients pouvant entrer dans la composition d'aliments

fonctionnels. En effet, ces deux molécules présentent des effets santé (antioxydant, anti-inflammatoire, anti-mutagène). C'est prouvé par de nombreux auteurs (Lienau et al., 2003 ; Sharma et al., 2007 ; Simonich et al., 2008, Kijlstra et al., 2012).

La teneur en chlorophylle totale est déduite de la somme des chlorophylles (a) et (b), qui sont deux pigments présents dans les feuilles. La chlorophylle (a) est le principal pigment impliqué dans la photosynthèse, tandis que la chlorophylle (b) est le pigment accessoire qui collecte l'énergie nécessaire pour produire de la chlorophylle (a).

Les résultats des analyses effectuées au laboratoire indiquent que les jeunes feuilles de blé se caractérisent par une forte teneur en chlorophylle (a), (b) et totale. Cependant, les teneurs en chlorophylle « totale », « a » et « b » chez les jeunes feuilles d'orge sont relativement faibles (Figure 1, 2 et 3). Par conséquent, il est important de constater que la matière sèche des jeunes feuilles de blé constitue une source significative de chlorophylle. Cette propriété pourrait potentiellement servir de marqueur nutritionnel pour la santé humaine. Ces jeunes feuilles sont donc un véritable cocktail d'éléments précieux pour notre santé. Elle s'adresse à tous ceux qui souhaitent prendre leur santé en main, en faisant de la prévention, mais aussi en traitant parfois certains problèmes selon une approche naturelle.

4.1.2. Teneur en cendre

La figure (4.4) représente les teneurs moyennes de cendre des jeunes feuilles de blé et d'orge.

Les résultats obtenus montrent que les jeunes feuilles de blé présentent des valeurs moyennes en cendre plus élevées que celles d'orge, avec des valeurs moyennes respectives de 6.605% pour le blé et de 6.405% pour l'orge, comme l'illustrent clairement les données présentées dans la figure (4.4).

Les résultats de cette étude révèlent que les jeunes feuilles de blé et d'orge constituent une source remarquable de cendre, ce qui pourrait constituer un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

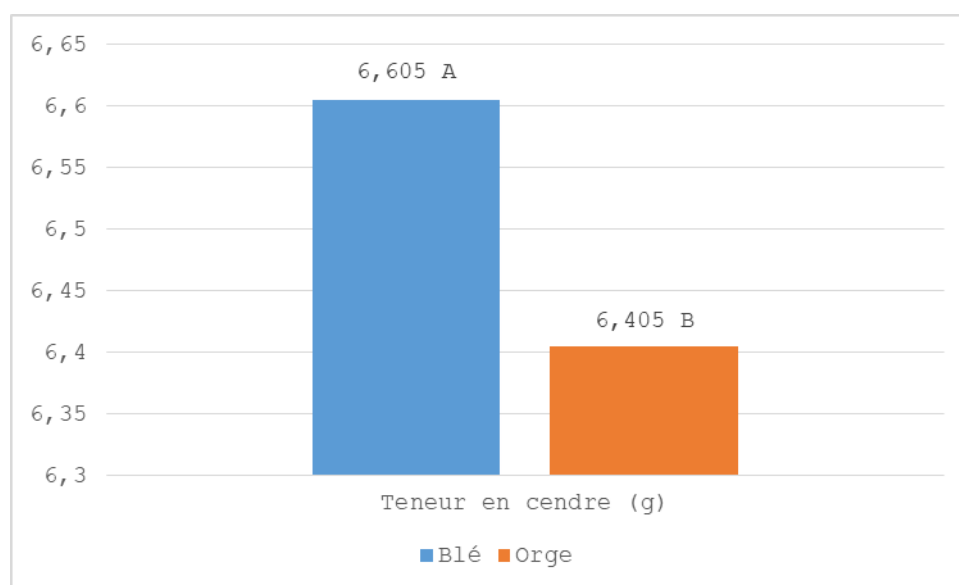


Figure 4.4. Teneur en cendres d'extrait.

Les cendres constituent le résidu solide restant après la combustion d'un produit biologique, elles se composent uniquement de la matière minérale contenant l'ensemble des sels minéraux (Savado, 2006 ; Wang *et al.*, 2009). Les résultats que nous avons obtenus montrent que les jeunes feuilles de blé contiennent des teneurs élevées en cendres, contrairement à celles d'orge. Les jeunes feuilles de blé renferment une teneur élevée en cendres, ce qui permet d'affirmer qu'elle représente une bonne source de substances minérales (ou expression de la richesse en éléments minéraux).

4.1.3. Teneur en polyphénol

La figure (4.5) représente les teneurs moyennes de polyphénol dans les extraits des jeunes feuilles de blé et d'orge.

D'après cette figure (4.5), on observe que l'extrait à base de jeunes feuilles d'orge est très riche en composés phénoliques, avec une valeur enregistrée de 2,96 (mg / 100g), tandis que l'extrait à base de jeunes feuilles de blé est très pauvre en ce composé, avec une valeur de 0,9 (mg / 100g).

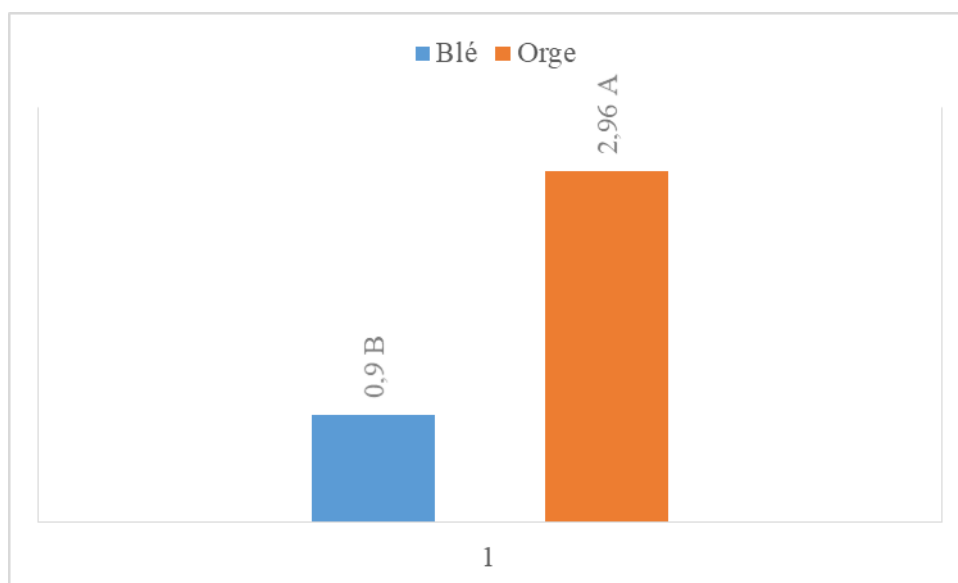


Figure 4.5. Teneur en polyphénol totaux d'extrait.

D'après **khalfallah 2013 et Adoum 2002**, cette variation est directement liée à des facteurs structurelles, génétiques, ou physiologique des céréales.

Cette étude a montré que les jeunes feuilles d'orge sont plus concentrées en composés polyphénoliques et constituent une source remarquable de polyphénols. Ces résultats suggèrent que les jeunes feuilles d'orge pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

D'après notre étude, on remarque que les jeunes feuilles d'orge se distinguent par leur teneur très élevée en polyphénols. Cette teneur est bien supérieure à celle des jeunes feuilles de blé.

Les polyphénols présents dans la plupart des végétaux. On les trouve dans les plantes, de la racine jusqu'au fruit. Ils sont issus du métabolisme secondaire des plantes (**Abdessemed et al., 2011, Smith et al., 2005, Sabiha, 2013**).

Les polyphénols sont une grande famille de molécules organiques hydrosolubles classées selon le nombre d'arrangement des atomes de carbone, la nature du squelette carboné et la longueur de la chaîne aliphatique liée au noyau benzénique.

Les polyphénols sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par l'organisme ou formés par l'environnement (**Barkat & Kadri, 2011**). Ils peuvent ainsi se conjuguer à des oses ou à des acides organiques (**Chira et al., 2008**).

Les polyphénols possèdent des effets anti-cancérigènes, antiseptiques urinaires, anti-inflammatoires, anti-radicalaires, immunostimulants, anti-thrombotiques, hépatoprotecteurs (Stevenson & Hurst, 2007; Vauzour *et al.*, 2010).

4.1.4. Composition minérale

Seize éléments minéraux sont détectés dans les deux espèces des céréales à savoir blé et l'orge analysés par la méthode TXRF. Ces éléments sont présents dans le tableau suivant (tableau 4.1). Où la colonne indique les espèces et la ligne montre les éléments détectés. La teneur s'exprime en pourcentage (%).

Deux catégories d'oligoéléments se distinguent : les oligoéléments essentiels et les oligoéléments non essentiels. Parmi eux, 12 oligoéléments sont considérés « essentiels » : le fer (Fe), le chrome (Cr), le silicium (Si), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), l'iode (I), le sélénium (Se), le manganèse (Mn), le cobalt (Co), le fluor (F), le lithium (Li), le molybdène (Mo) (Elie, 2022).

Les minéraux utilisés dans la fabrication des compléments alimentaires sont le Phosphore, le Sodium, le Magnésium, le Calcium, l'Iode, le Fer, le Manganèse, le Potassium, le Calcium, le Chrome, le Cuivre, le Molybdène, le Zinc, le Fluore, le Chlore, le Calcium (Caro *et al.*, 2010).

Tableau 4.1. Composition minérale de blé et l'orge.

Les éléments minéraux	Blé	Orge	Signification	propabilité
Na	0,246	0,135	***	0,00037
Mg	0,0742	0,063	***	0,00036
Al	0,0274	0,015	***	0,00222
Si	0,14	0,044	***	0,00009
Cl	0,825	0,25	***	0,00004
Ca	0,00233	0,00134	***	0,00827
Mn	0,00251	0,00127	***	0,00468
Fe	0,01	0,012	ns	0,29377
Ni	0,000521	0	***	0,0001
Cu	0,00153	0,0013	ns	0,09482
Zn	0,00365	0,0041	***	
Br	0,00176	0,00116	nc	0,3
Rb	0,000456	0	***	0,0001
Sr	0,00132	0,0011	ns	0,3
Mo	0,000993	0,00093	ns	0,06
Ru	0,00216	0	***	0,0001

4.1.4.1 La teneur en sodium (Na⁺)

Les analyses réalisées en laboratoire ont révélé la présence de sodium (Na %) dans les jeunes feuilles de blé et l'orge.

La figure (4.6) montre les taux de sodium enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.



Figure 4.6. Taux de sodium enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de sodium plus élevé. Ce taux est de 0,25 %. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de l'ordre de 0,13 % (figure 4.6).

Les résultats obtenus révèlent que les jeunes feuilles de blé contiennent une matière sèche plus riche en sodium que l'orge. En conséquence, ces jeunes feuilles pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

L'ion sodium (Na⁺) est le cation le plus présent dans le milieu extracellulaire. Il y retient l'eau, ce qui garantit l'hydratation extracellulaire. On le trouve également présent dans le sang. Toute perte de sodium (vomissements, diarrhées, sudation forte) risque d'entraîner une déshydratation. À l'état normal, la concentration du sodium dans le plasma est extrêmement stable (135-145 mmol) (Biesalski et al, 2001), même si les apports varient généralement entre 9 et 12 g de sel (NaCl) par jour.

Les besoins en sodium de l'adulte sont seulement de 1 g de NaCl par jour (Biesalski et al, 2001), mais en raison d'une préférence marquée pour le « salé » et en raison de la transition alimentaire, l'apport réel de sel est en général supérieur à 6 g/jour chez l'adulte, ce qui peut être

nocif, car l'excès d'apport de sodium représente un facteur important de risque d'HTA. On considère qu'il y a excès d'apport de sodium lorsque la consommation de sel dépasse (Biesalski et al, 2001 ; Alais et Linden,1997). De plus, des études d'intervention ont montré l'existence d'une relation dose-réponse entre l'apport alimentaire en sodium et la pression artérielle, tant chez les individus normotendus que chez les individus hypertendus (World Health Organization, 2012). La réduction de consommation de sodium diminue la pression artérielle et donc devrait diminuer le risque de maladie cardiovasculaire.

4.1.4.2 Teneur en magnésium (Mg)

Les analyses réalisées en laboratoire ont révélé la présence de magnésium (Mg) dans les jeunes feuilles de blé et l'orge (figure, 4.7).

Les jeunes feuilles de blé, âgées de 10 jours, contiennent un taux de magnésium élevé (0.0742%), comparativement à l'orge (0.0625%), comme l'indique la figure (4.7).

D'après les résultats obtenus, on note que les jeunes feuilles de blé présentent une matière sèche riche en magnésium, en comparaison avec l'orge. En conséquence, ces jeunes feuilles pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

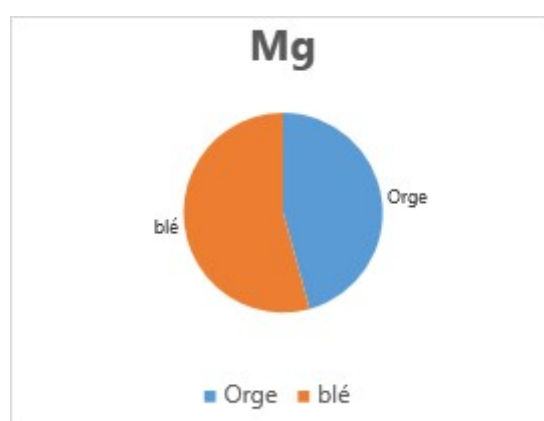


Figure 4.7. Taux de magnésium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***) ; $p=0,00036$.

Le magnésium favorise la santé musculaire en participant à la régulation des contractions musculaires. Il joue également un rôle crucial dans la fonction nerveuse, permettant ainsi une transmission efficace des signaux à travers le système nerveux, et aide également à maintenir une pression artérielle normale (Gröber & Kisters, 2015).

4.1.4.3 Teneur en aluminium (Al)

La figure (4.8) montre que les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux d'aluminium plus élevé. Ce taux est de 0.0274%. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de l'ordre de 0.0149% (figure 4.8).

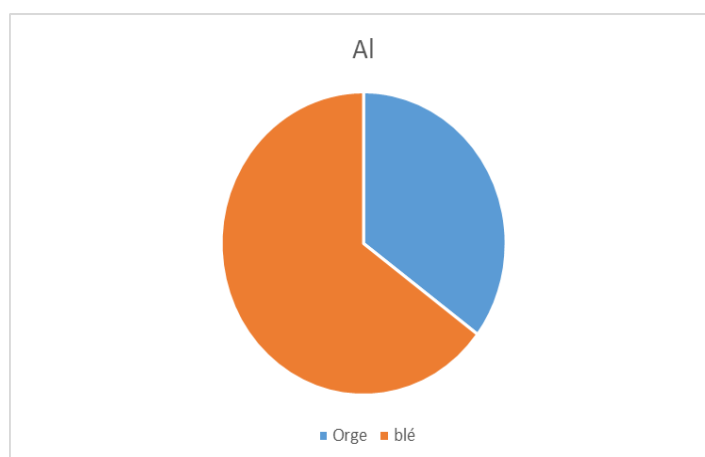


Figure 4.8. Taux d'aluminium enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

D'après les résultats obtenus, on note que les jeunes feuilles de blé présentent une matière sèche riche en aluminium, en comparaison avec l'orge. En conséquence, ces jeunes feuilles pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

L'aluminium est présent dans toutes les plantes, mais c'est souvent en très faible quantité, souvent inférieure à 1 ppm (Cunat, 1999).

4.1.4.4. Teneur en silicium (Si)

La figure (4.9) montre les taux de silicium enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de silicium plus élevé. Ce taux est de 0,14 %. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de l'ordre de 0.0435 % (figure 4.9).

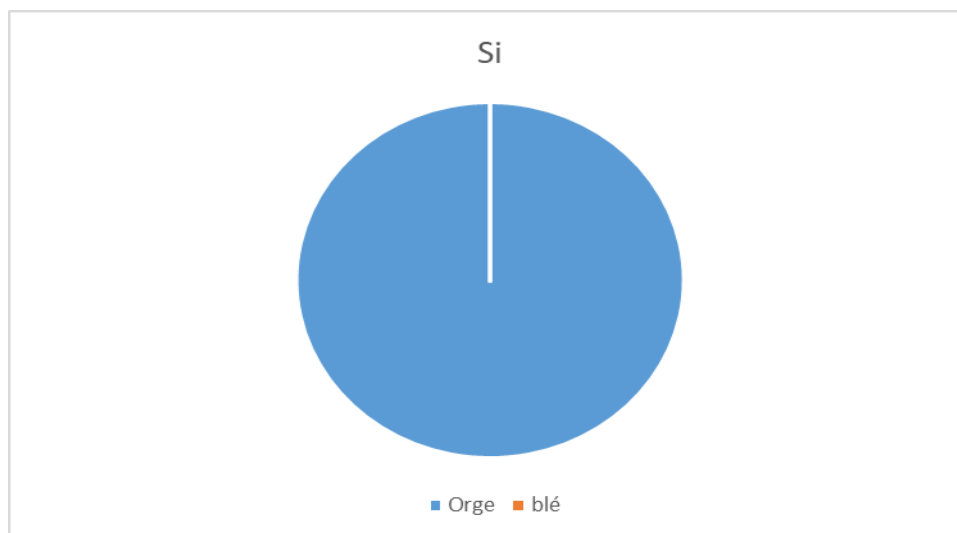


Figure 4.9. Taux de silicium enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

D'après les résultats obtenus, on note que les jeunes feuilles d'orge présentent une matière sèche riche en silicium, en comparaison avec le blé. En conséquence, ces jeunes feuilles pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

Le silicium joue un rôle protecteur dans les maladies cardiovasculaires comme l'athérosclérose, maladie touchant les artères de gros et moyen calibres et caractérisée par la formation de plaques d'athéromes qui obstruent les vaisseaux. Le Si joue également un rôle bénéfique pour la structure et le fonctionnement des os et favorise la santé osseuse en étant un des composants de la prolyl hydroxylase (enzyme de synthèse du collagène de type I et des GAG) et en stimulant la prolifération des ostéoblastes. Il favorise la fixation de calcium, lui conférant un rôle dans la croissance et le renouvellement osseux, la minéralisation et la densité minérale osseuse, ainsi que dans l'intégrité structurelle des os (**Richard, 2022**).

4.1.4.5. Teneur en phosphore (P)

La figure (4.10) montre les taux de phosphore enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

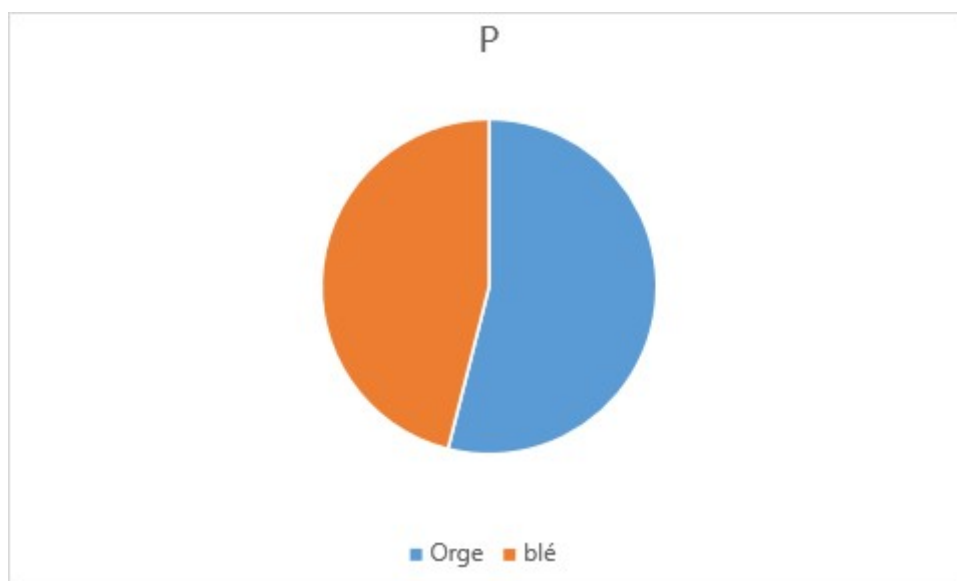


Figure 4.10. Taux de phosphore enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

L'orge a enregistré la meilleure teneur en phosphore avec une moyenne de 0,31 %. Par contre, le blé a enregistré une faible teneur en phosphore avec une moyenne de 0,27 % (voir la figure 4.10).

Les résultats obtenus montrent que les jeunes feuilles d'orge présentent une matière sèche riche en phosphore, comparativement à l'orge, ce qui peut être un indicateur important pour la nutrition humaine.

Le phosphore est le deuxième sel minéral le plus abondant dans l'organisme. Il est indispensable à la minéralisation des os et des dents, ainsi qu'à la production d'énergie dans les cellules et au maintien de leurs membranes. La carence en phosphore se traduit, par une perte d'appétit, une fragilité osseuse, une atrophie des muscles et des troubles cardiaques. (**VIDAL. cité 23 avr 2023**)

4.1.4.6. Teneur en soufre (S)

La figure (4.11) montre les taux de soufre enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

Comme l'illustre (la figure 4.11), le taux de soufre des feuilles de blé âgées de 10 jours est de 0,22 %, tandis que celui de l'orge atteint 0,23 %.

D'après les résultats obtenus, on note que les jeunes feuilles d'orge et de blé présentent une matière sèche riche en soufre. En conséquence, ces jeunes feuilles pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

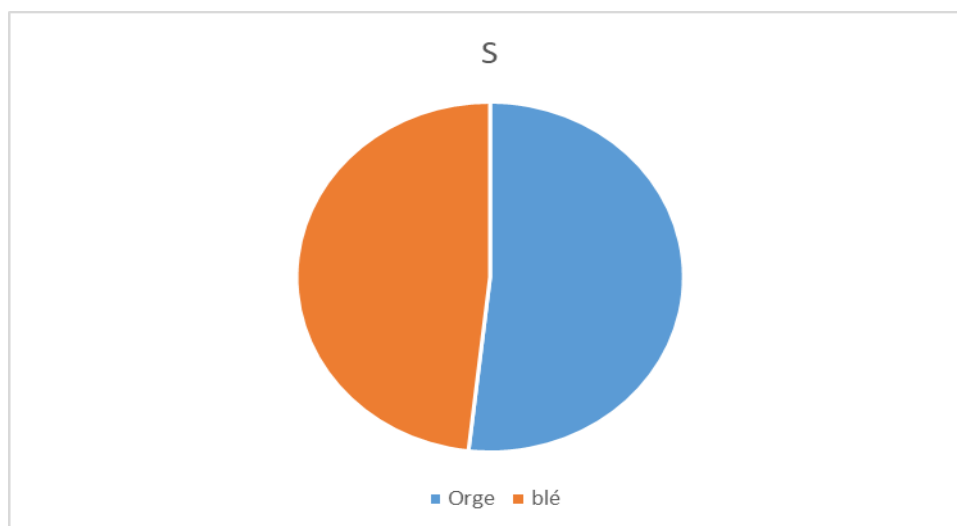


Figure 4.11. Taux de soufre enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns).

Le soufre (S), élément biochimique important, joue un rôle primordial dans le vivant : non seulement il est constituant des acides aminés soufrés essentiels que sont la cystéine et la méthionine, il participe à la structure des protéines, mais c'est également un élément très réactif qui permet de nombreuses et diverses fonctions enzymatiques (**Bessonnet, 2018**).

4.1.4.7. Teneur en chlore (Cl)

La figure (4.12) montre les taux de chlore enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

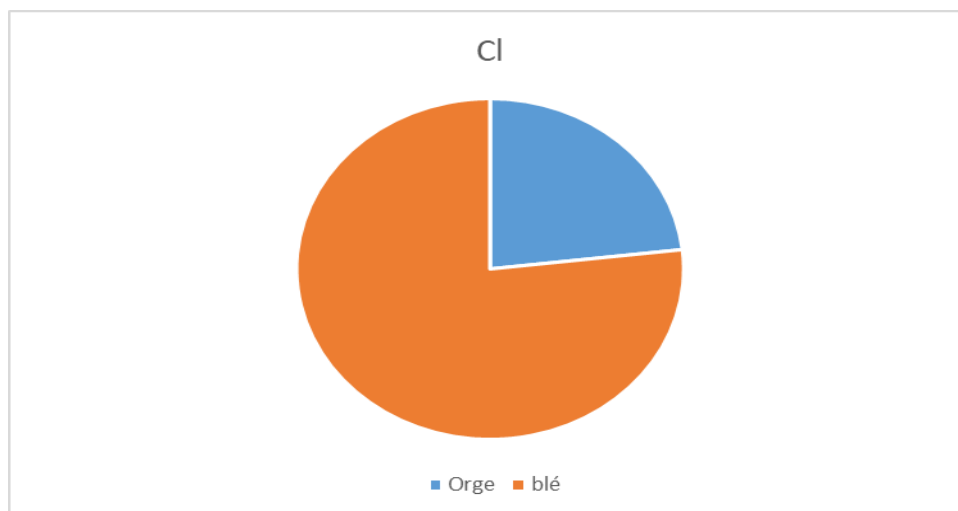


Figure 4.12. Taux de chlore enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les jeunes feuilles de l'orge âgées de 10 jours contiennent un taux de chlore plus élevé. Ce taux est de 0,83 %. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles de blé, qui est de l'ordre de 0,25 % (figure 4.12).

Les résultats obtenus montrent que les jeunes feuilles d'orge présentent une matière sèche très riche en chlore, par rapport au blé, ce qui peut être un indicateur important pour la nutrition humaine.

Dans l'organisme, le chlore est présent sous la forme de l'ion chlorure (Cl^-). Rôles Il contribue au maintien de l'équilibre osmotique et acidobasique ainsi qu'à l'activité musculaire et nerveuse. (**Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. 2021**).

4.1.4.8. Teneur en potassium (K)

La figure (4.13) montre les taux de potassium enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

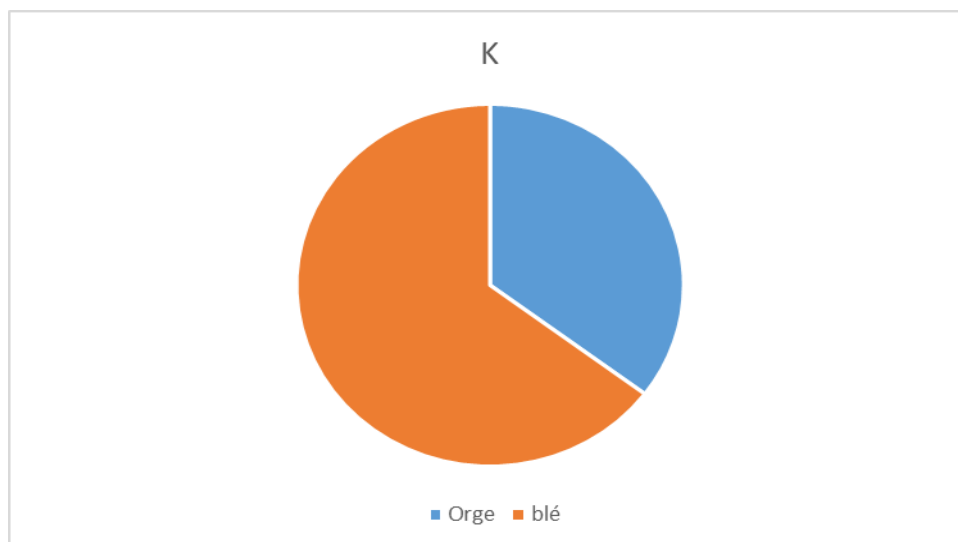


Figure 4.13. Taux de potassium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de potassium plus élevé. Ce taux est de 1,26 %. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de l'ordre de 0,69 % (figure 4.13).

Les résultats obtenus montrent que les jeunes feuilles de blé présentent une matière sèche très riche en potassium, comparativement à l'orge. En conséquence, ces jeunes feuilles pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

Le potassium joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre acido-basique ainsi que de la pression osmotique. Il contribue ainsi au maintien de la pression artérielle, à la transmission de l'influx nerveux et à la contraction musculaire. (VIDAL. cité 28 mars 2023).

4.1.4.9. Teneur en calcium (Ca)

La figure (4.14) montre les taux de calcium enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de potassium plus élevé. Ce taux est de 1,26 %. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de l'ordre de 0,69 % (figure 4.14).

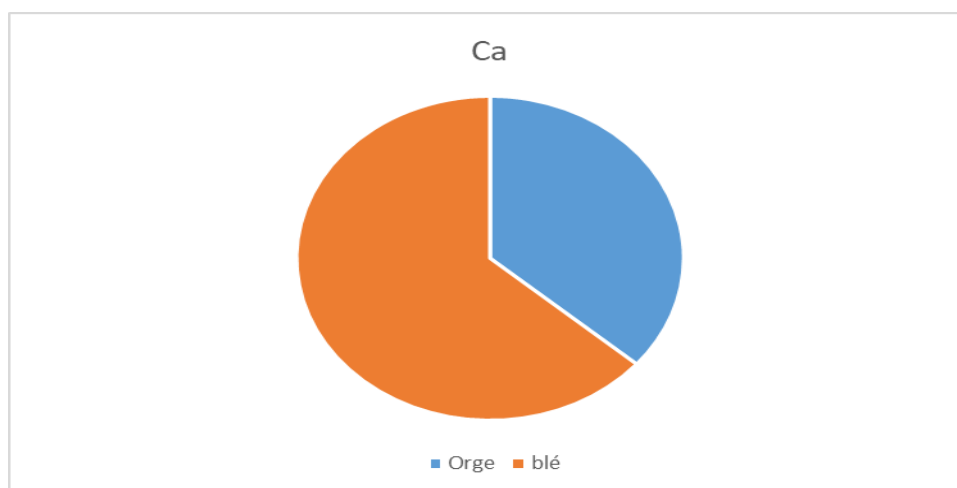


Figure 4.14. Taux de calcium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (nc, $P=0,09482$).

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de calcium plus élevé. Ce taux est de 0,23 %. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de l'ordre de 0,13 % (figure 4.14).

D'après les résultats obtenus, on note que les jeunes feuilles de blé présentent une matière sèche riche en calcium, comparativement à l'orge. En conséquence, ces jeunes feuilles pourraient être considérées comme un indicateur nutritionnel potentiel pour la santé humaine.

Le calcium est vital pour la solidité des os et des dents, mais il est également indispensable au bon fonctionnement des muscles et des nerfs, ce qui soutient ainsi la mobilité et la coordination (Weaver & Heaney, 2006). Les femmes enceintes, ainsi que pour l'enfant à naître. Une bonne prise de neuf mois est absolument nécessaire. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le calcium permettrait de protéger contre l'hypertension artérielle et de favoriser une bonne concentration de calcium dans le futur lait maternel (Green et al., 2002).

4.1.4.10 Teneur en manganèse (Mn)

La figure (4.15) montre les taux de manganèse enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

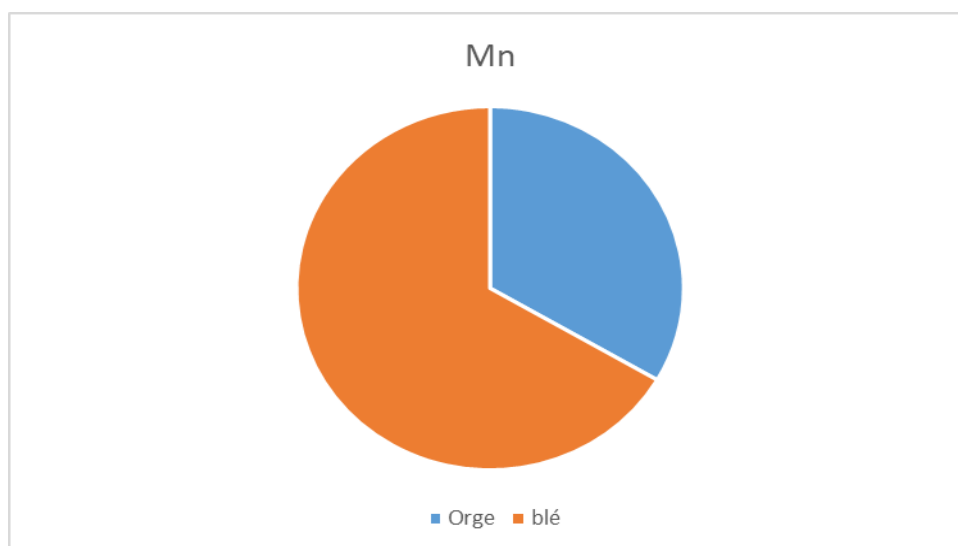


Figure 4.15. Taux de manganèse enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns).

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de manganèse plus élevé. Ce taux est de 0.00251%. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de l'ordre de 0.0021% (figure 4.15).

D'après les résultats obtenus, on note que les jeunes feuilles de blé présentent une matière sèche très riche en manganèse, comparativement à l'orge.

Le manganèse est un oligo-élément crucial à de nombreuses fonctions biologiques. Il est nécessaire au métabolisme des acides aminés, des glucides et des lipides (EFSA, 2013). Ainsi, il contribue à la synthèse des cartilages, de la myéline et à la coagulation sanguine (VIDAL. [cité 28 mars 2023]).

4.1.4.11 Teneur en fer (Fe)

La figure (4.16) montre les taux de fer enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

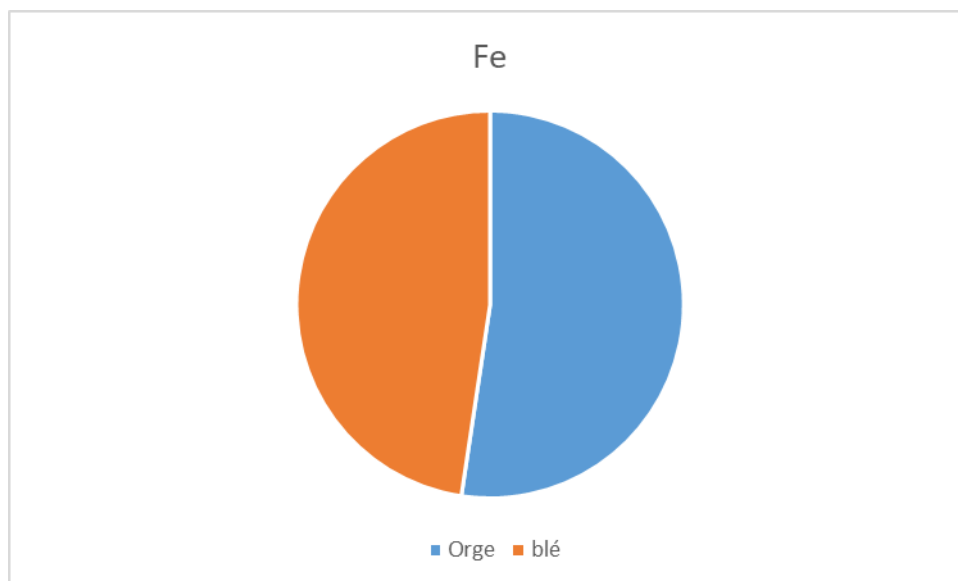


Figure 4.16. Taux de fer enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns, $P=0,29377$).

Les jeunes feuilles d'orge et de blé âgées de 10 jours contiennent le fer. Leur teneur en fer est respectivement de 0,0011 % et 0,001 %.

D'après ces résultats, on note que les matières sèches des jeunes feuilles de blé et d'orge sont une bonne source de fer.

Le fer est un élément nutritif essentiel à la formation des globules rouges, qui assurent le transport de l'oxygène dans tout le corps. Ainsi, un apport adéquat en fer est donc nécessaire pour prévenir l'anémie et maintenir des niveaux d'énergie optimaux (**Camaschella, 2015**).

4.1.4.12 Teneur en rubidium (Rb)

La figure (4.17) montre les taux de rubidium enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge

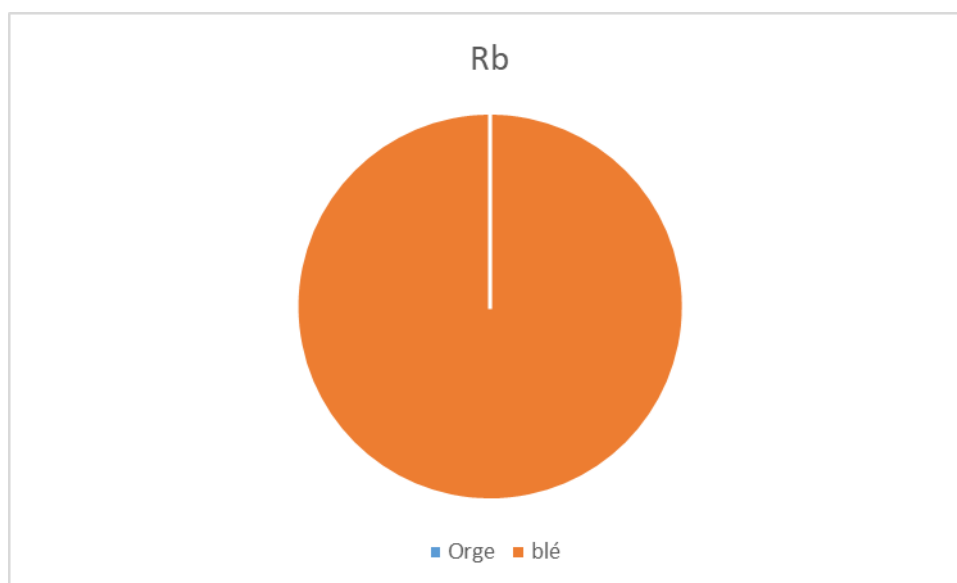


Figure 4.17. Taux de rubidium enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***).

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de rubidium de 0.000456 %. Aucun taux n'a été détecté dans les jeunes feuilles d'orge (figure 4.17).

D'après ces résultats, on note que les matières sèches des jeunes feuilles de blé est une bonne source de rubidium, tandis que l'orge est dépourvue de cet élément.

Le rubidium (Rb) n'ait pas de fonctions médicinales directes, il est utilisé dans le domaine médical grâce à certaines de ses propriétés. Principalement, il sert de traceur radioactif pour l'imagerie médicale, notamment pour l'étude de la circulation sanguine. De plus, des composés de rubidium sont étudiés pour leur potentiel effet antiépileptique.

4.1.4.13 Teneur en nickel (Ni)

La figure (4.18) montre les taux de nickel enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge

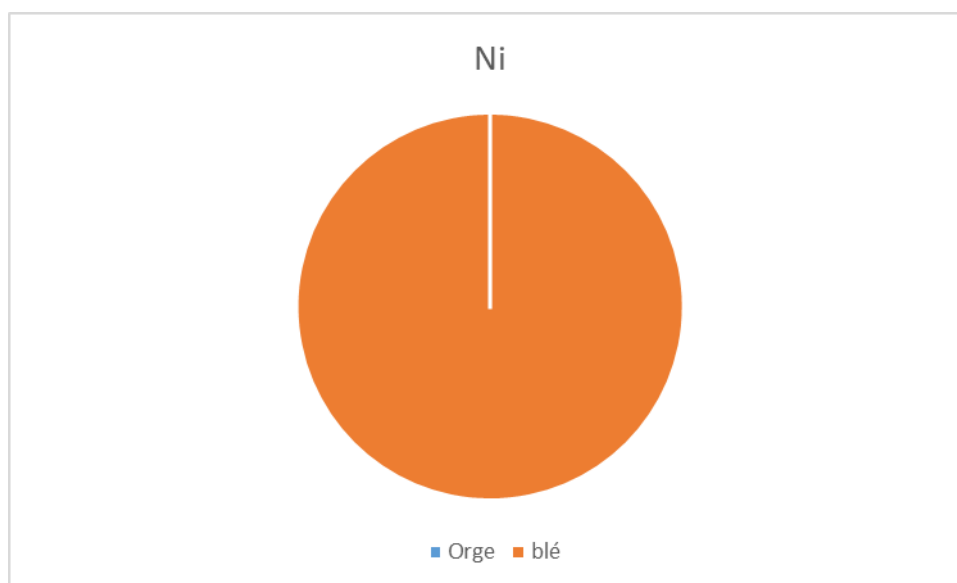


Figure 4.18. Taux de nickel enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (***) .

Les analyses réalisées en laboratoire ont révélé la présence de quelques traces de nickel chez les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours, avec un taux de 0,000521%. (Figure 4.18). Aucun taux n'a été détecté dans les jeunes feuilles d'orge (figure 4.18).

Le nickel (symbole Ni dans le tableau périodique des éléments) compte parmi les oligo-éléments. Son essentialité pour l'organisme humain n'est pas démontrée (Martin, 2002).

4.1.4.14 Teneur en molybdène (Mo)

La figure (4.19) montre les taux de molybdène enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge



Figure 4.19. Taux de molybdène enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns).

Les jeunes feuilles d'orge et de blé âgées de 10 jours contiennent le molybdène. Leur teneur en molybdène est respectivement de 0,000921 % et 0,000993 % (figure 4.19).

Les analyses réalisées en laboratoire ont révélé la présence de quelques traces de nickel chez les jeunes feuilles d'orge et de blé âgées de 10 jours, avec des teneurs respectives de 0,000921 % et 0,000993 % (figure 4.19)

Dans la muqueuse intestinale, le molybdène catalyse l'incorporation oxydative du fer sur la transferrine et favorise son absorption par l'intermédiaire de la xanthine oxydase qui possède une activité ferroxidasique. Il joue également un rôle dans la mobilisation du fer à partir des tissus de stockage et stimule l'hématopoïèse à des doses thérapeutiques minimales. Il favorise également la rétention du fluor dans l'organisme et inhibe l'absorption et le métabolisme du cuivre et du silicium. Par action sur la sulfite oxydase, il assure la dégradation des sulfites (toxiques pour l'homme) en sulfates, qui sont nécessaires à la synthèse de sulfolipides, de mucopolysaccharides et de glycoprotéines sulfatées (indispensables pendant les périodes pré et postnatales au moment de la formation du système nerveux, par exemple) (ZAWISLAK, 1991).

4.1.4.15 Teneur en Strontium (Sr)

La figure (4.20) montre les taux de strontium enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge

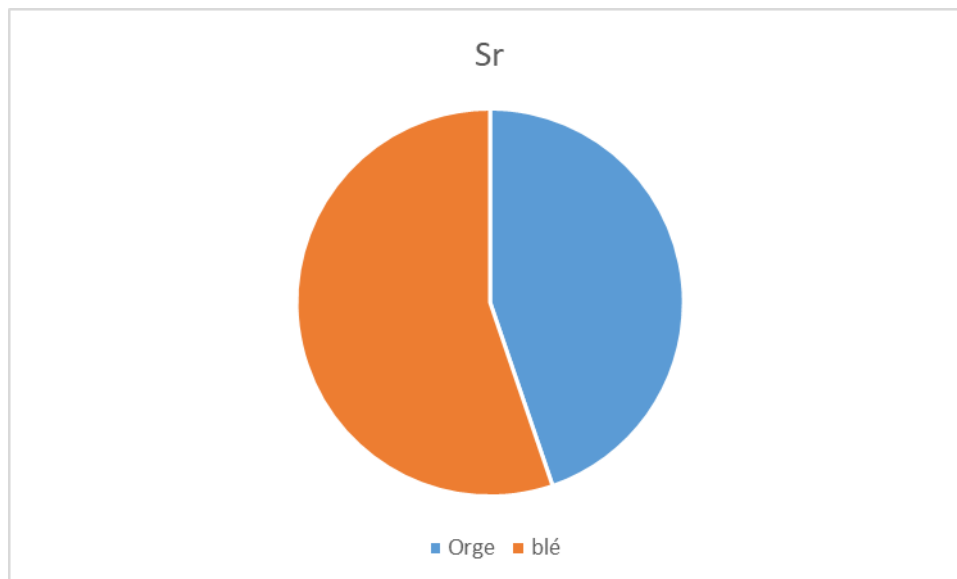


Figure 4.20. Taux de strontium enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns).

Les jeunes feuilles d'orge et de blé âgées de 10 jours contiennent le strontium. Leur teneur en strontium est respectivement de 0.00107% et 0.00132% (figure 4.20).

D'après les résultats obtenus, les jeunes feuilles de blé et d'orge constituent une bonne source de strontium.

Le strontium (Sr) présente une application médicale. En effet, le ranélate de strontium a longtemps été utilisé comme traitement des cas d'ostéoporose car il favorise l'ostéogénèse. Cependant, de récentes études ont montré que celui-ci entraîne une augmentation du risque de thrombose veineuse ainsi que de survenue d'infarctus du myocarde (Reginster, 2014 ; Cooper et al., 2014). L'agence européenne du médicament (EMA) recommande désormais la suspension du traitement chez les patients ayant des antécédents de maladies cardiovasculaires (Reginster et al., 2015).

4.1.4.16. Teneur en Brome (Br)

La figure (4.21) montre les taux de brome enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge

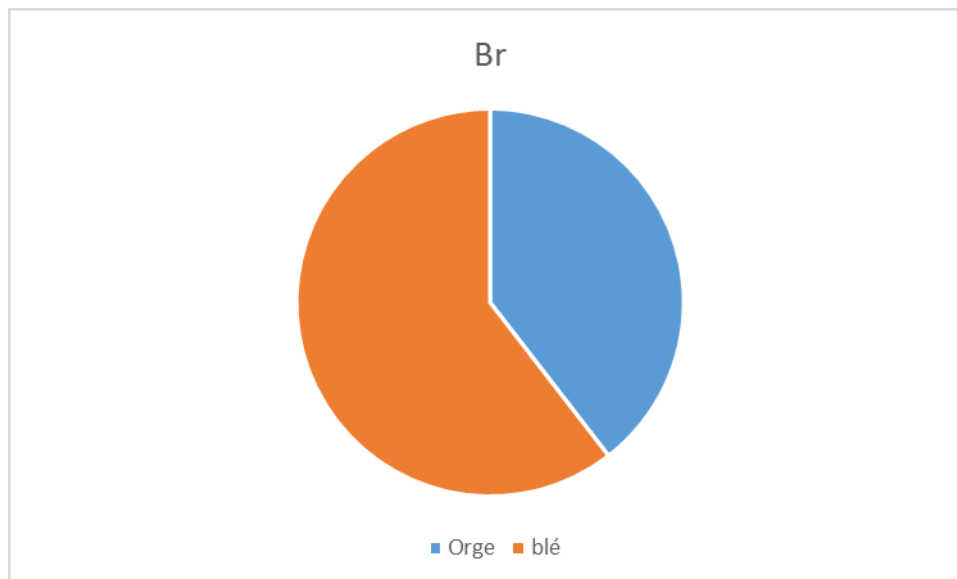


Figure 4.21. Taux de Brome enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours (ns).

Les analyses réalisées révèlent que les jeunes feuilles d'orge et de blé âgées de 10 jours contiennent des teneurs de brome relativement très faibles. Leur taux en brome est respectivement de 0,00176 % et 0,00115 %, comme l'illustre (la figure 4.21).

Dans le cadre de la protection des travailleurs, des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) ont été définies pour le brome dans l'atmosphère des locaux professionnels (Tableau 4.2).

Tableau 4.2. Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle.

stance	Pays	(ppm)
Brome	France	0,1
Brome	États-Unis (ACGIH 2015)	0,1

Source : **Brome, I. N. R. S. (2016).**

D'après les résultats obtenus (voir figure 4.21) et les données mentionnées dans le tableau (4.2), on constate que les jeunes feuilles de blé et d'orge contiennent des taux non toxiques en brome.

4.1.4.17 Teneur en cuivre (Cu)

La figure (4.22) montre les taux de cuivre enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

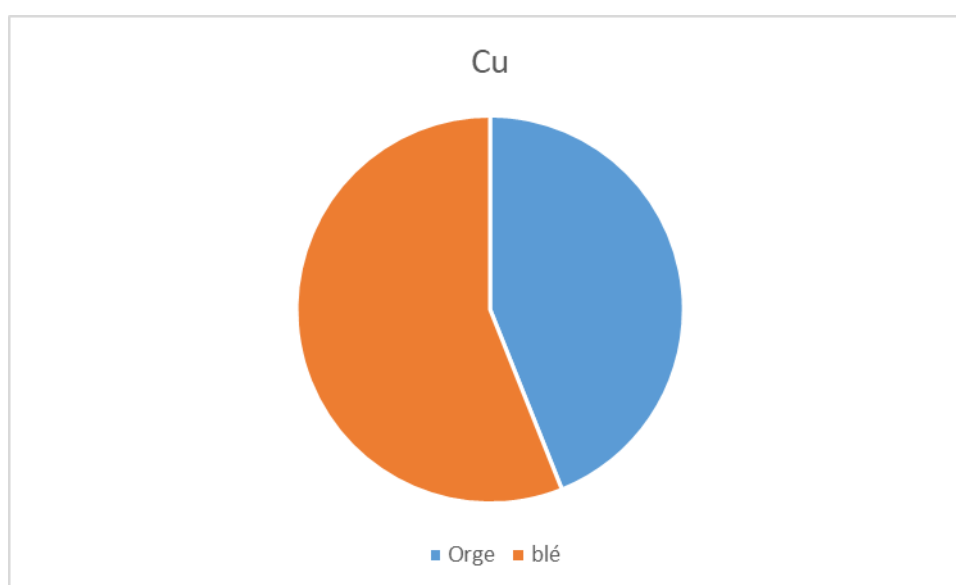


Figure 4.22. Taux de cuivre enregistrés chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent le cuivre. Ce taux est de 0,00153 %. Il est un peu plus élevé que celui des jeunes feuilles d'orge, qui est de 0,0012 % (figure 4.22).

D'après les résultats obtenus, les jeunes feuilles de blé et d'orge constituent une bonne source de cuivre.

Le cuivre joue un rôle essentiel dans la formation des globules rouges et le maintien d'un système immunitaire sain. En effet, il contribue à la protection du corps contre les infections et les maladies. Les gummies enrichis en ces minéraux offrent une option pratique pour compléter l'alimentation quotidienne et contribuer à combler d'éventuelles lacunes nutritionnelles, soutenant ainsi la santé globale et le bien-être (**Hood, 2019**).

4.1.4.18 Teneur en Ruthénium (Ru)

La figure (4.23) montre les taux de ruthénium enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

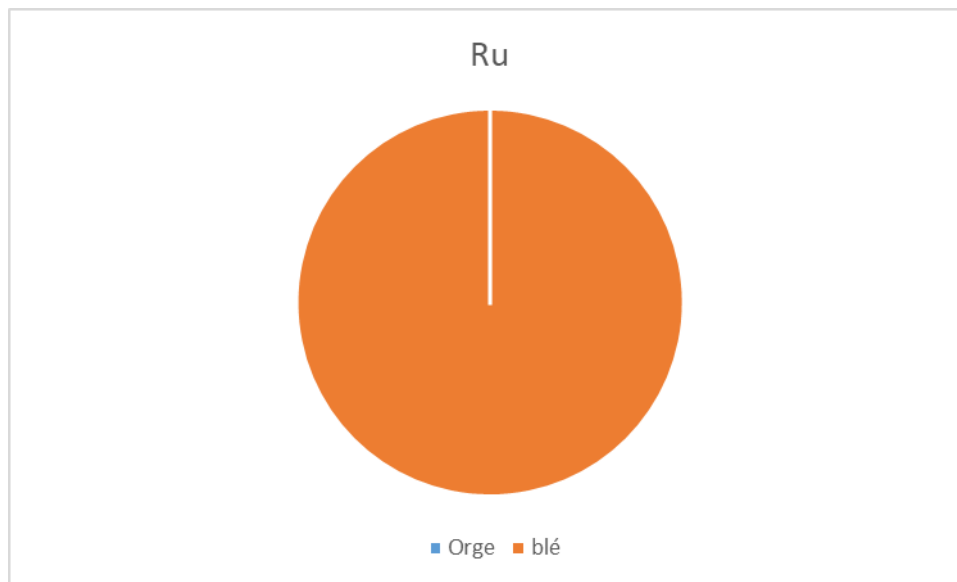


Figure 4.23. Taux de ruthénium enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les jeunes feuilles de blé âgées de 10 jours contiennent un taux de ruthénium de 0.00216%. Aucun taux n'a été détecté dans les jeunes feuilles d'orge (figure 4.23).

Les résultats obtenus montrent que les matières sèches des jeunes feuilles de blé est une bonne source de ruthénium, tandis que l'orge est dépourvue de cet élément.

Des recherches récentes ont révélé que de nouveaux composés organométalliques, basés sur le ruthénium, ont démontré une activité anticancéreuse aussi efficace que les complexes de platine utilisés jusqu'à présent. Cependant, ils présentent une neurotoxicité beaucoup plus faible (Mroczek, 2011).

4.1.4.19 Teneur en Zinc (Zn)

La figure (4.24) montre les taux de zinc enregistrés chez les jeunes feuilles âgées de 10 jours, issues de plants de blé et d'orge.

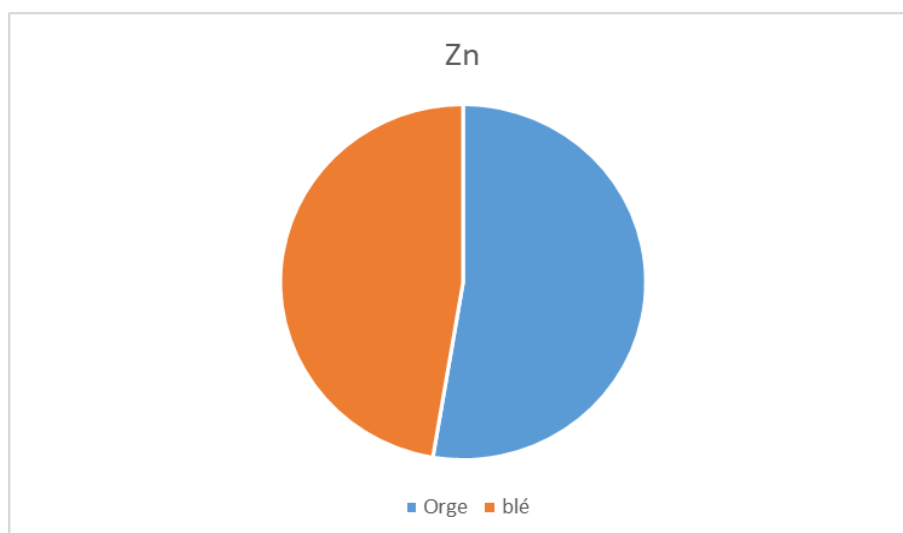


Figure 4.24. Taux de zinc enregistré chez de jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours.

Les jeunes feuilles d'orge âgées de 10 jours contiennent un taux de zinc plus élevé. Ce taux est de 0.00406%. Il est plus élevé que celui des jeunes feuilles de blé, qui est de l'ordre de 0.00365% (figure 4.24).

Les résultats obtenus montrent que les matières sèches des jeunes feuilles de blé est une bonne source de zinc, tandis que l'orge est dépourvue de cet élément.

Le zinc est reconnu pour son implication dans le renforcement du système immunitaire. Toutefois, il joue un rôle dans des processus de guérison tels que la cicatrisation des plaies et contribue à la santé de la peau, favorisant ainsi son élasticité et sa régénération (**Wessels et al., 2017**). Le tableau (4.3), indique les doses journalières des principaux minéraux.

Tableau 4.3. Liste et doses journalières maximales des minéraux pouvant entrer dans la composition des CAS (**Valette, 2015**).

Minéraux	Ca mg	Mg mg	Fe mg	Cu µg	I µg	Zn mg	Mn mg	K mg	Se µg	Mb µg	Cr µg	P mg
ses journalières	800	300	14	2000	150	15	3,5	80	50	150	25	450

D'après notre étude, on remarque que les jeunes feuilles de blé ou d'orge sont composées d'une grande quantité de chlorophylle « a », « b » et « totale », ainsi que d'une grande variété de minéraux et de cendre. De plus, les jeunes feuilles de ces deux espèces contiennent des polyphénols.

4.2. Produit Finale : (prototype)

NATROPHYLLE – Complément Alimentaire Naturel

Natrophylle est un complément alimentaire à base d'extrait de jeunes feuilles de blé et d'orge, source naturelle de chlorophylle, polyphénols et minéraux essentiels. Il contribue à revitaliser l'organisme, à purifier le sang et à renforcer les défenses antioxydants.



Figure 4.25. Prototype du complément alimentaire.

Conclusion générale

Conclusion

D'après les travaux qui ont été traités, l'étude comparative de la valeur nutritionnelle de blé et d'orge montre qu'il y'avait une différence significative pour certains composants qui sont : chlorophylle (chlorophylle « a » et chlorophylle « b »), les cendres , des composants phénoliques , et une grandes variabilité des minéraux (Sodium Na, Magnésium Mg, Aluminium Al, Silicium Si, Chlore Cl, Calcium Ca, Manganèse Mn, Fer Fe, Nickel Ni, Cuivre Cu, Zinc Zn, Brome Br, Rubidium Rb, Strontium Sr, Molybdène Mo, Ruthénium Ru.

L'étude comparative menée sur les jeunes feuilles de blé et d'orge âgées de 10 jours a mis en évidence un potentiel nutritionnel notable, tant pour la fabrication de compléments alimentaires que pour l'exploitation de leurs composés bioactifs, notamment la chlorophylle.

Les résultats ont révélé que le blé présente des teneurs globalement plus élevées en chlorophylle a, b et totale, ce qui en fait une source privilégiée pour l'extraction de chlorophylle à usage nutritionnel. Cette richesse en pigments photosynthétiques est accompagnée d'une forte concentration en minéraux essentiels, notamment le potassium, le calcium, le magnésium, le sodium, le manganèse, le cuivre, l'aluminium, ainsi que des traces de nickel, de ruthénium et de rubidium. Ces éléments renforcent la valeur biologique et fonctionnelle des feuilles de blé dans un contexte de complémentation alimentaire.

En revanche, l'orge s'est démarquée par une teneur significativement plus élevée en polyphénols, des composés antioxydants reconnus pour leurs effets bénéfiques sur la santé humaine. L'orge s'est aussi distinguée par une teneur plus importante en silicium, phosphore, chlore et zinc, confirmant sa complémentarité fonctionnelle au blé.

Dans l'ensemble, ces résultats démontrent que les jeunes pousses de blé et d'orge représentent deux sources végétales riches et complémentaires, présentant un intérêt réel pour le développement de compléments alimentaires naturels, locaux et adaptés aux besoins nutritionnels contemporains. Le blé, notamment, ressort comme un candidat prioritaire pour l'extraction de la chlorophylle, tandis que l'orge se positionne comme une source antioxydante de qualité, grâce à sa richesse en polyphénols.

En somme, cette étude a permis de mettre en évidence le fort potentiel nutritionnel des jeunes feuilles de blé et d'orge, notamment par leur richesse en chlorophylle et en éléments bioactifs, ouvrant ainsi la voie à une valorisation agroalimentaire durable. Malgré certaines limites techniques, les résultats obtenus confirment la faisabilité de produire un complément alimentaire

naturel, efficace et adapté aux besoins nutritionnels locaux. Ce travail constitue une base solide pour des recherches futures, notamment en approfondissant les analyses cliniques et en envisageant une production à plus grande échelle. Il s'inscrit dans une démarche innovante alliant nutrition fonctionnelle, bien-être et durabilité, marquant une première étape vers le développement de compléments alimentaires issus de ressources végétales locales.

Références bibliographiques

Abeledo, L. G., Savin, R., & Slafer, G. A. (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield. In A. Sadras & D. Calderini (Éds.), *Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy* (pp. 301–321). Academic Press.

Abis, S. (2012). *Le blé en Méditerranée : Sociétés, commerce et stratégies* (Thèse). CIHEAM.

Alais, C., & Linden, G. (1997). *Abrégé de biochimie alimentaire* (4e éd.). Masson.

Ammar, M. (2014). *Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie : État des lieux et perspectives* (Thèse de doctorat). CIHEAM Montpellier.

ANSES, 2019. Les compléments alimentaires, nécessité d'une consommation éclairée. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/content/les-compl%C3%A9ments-alimentairesn%C3%A9cessit%C3%A9-dune-consommation-%C3%A9clair%C3%A9e> (Consulté le 02/05/2022)

Anthony W. D. Larkum, Susan E. Douglas et John A. Raven, « Photosynthesis in algae », Kluwer, Londres, 2003. (ISBN 0-7923-6333-7).

Armand, M., & Germain. (1992). *Le blé : Éléments fondamentaux*. Presses de l'Université Laval.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1–15.

Arrêté du 24 juin 2014 établissant la liste des plantes autorisées dans les compléments alimentaires. (*Journal officiel de la République Française*, n° 163, 17 juillet 2014).

Badr, A., Sch., R., Rabey, H. E., Effgen, S., Ibrahim, H. H., Pozzi, C., & Salamini, F. (2000). On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution*, 17(4), 499–510.

Baik, B. K., & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 233–242.

Belabbaci, S., & Laroussi, N. E. Y. (2022). *Enquête sur l'usage et la consommation des compléments alimentaires à base de plantes dans la wilaya de [Wilaya]* (Mémoire d'exercice). Université Saad Dahleb – Blida 1.

Ben Mreref, F., & Guesmi, A. (2020–2021). Étude officinale des compléments alimentaires (Mémoire de master). Université de Mila.

Bessonnet, T. (2018). *Exploration expérimentale du métabolisme du soufre dans le vivant* (Thèse de doctorat). Université Paris-Saclay.

Biesalski, H. K., Grimm, P., & Nowitzki-Grimm, S. (2001). *Atlas de poche de nutrition*. Maloine.

- Bonjean, A., & Picard, E. (1991).** *Les céréales à paille : Origine, histoire, économie, sélection.* Aubin imprimeur.
- Bonoli, M., & Verardo, V. (2004).** Antioxidant phenols in barley flour: Comparative spectrophotometric study among extraction methods of free and bound phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(16), 5195–5200.
- Bontems, P., Deprettere, A., Cadranel, S., & Vandenplas, Y. (2000).** The coeliac iceberg: A consensus in paediatrics. *Acta Gastroenterologica Belgica*, 63.
- Bozzini, A. (1988).** Origin, distribution and production of durum wheat. Dans G. Fabriani & L. Lintas (Éds.), *Durum chemistry and technology* (p. 360). AACC.
- Caro, L., Cayrol, C., Dalem, E., & Esseghir, S. (2010).** *Projet Santé : Les compléments alimentaires* (Dossier Santé, p. 13).
- Casiraghi, M. C., Garsetti, M., Testolin, G., & Brighenti, F. (2006).** Post-prandial responses to cereal products enriched with barley β -glucan. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(4), 313–320.
- Cha, K. H., Koo, S. Y., & Lee, D. U. (2008).** Antiproliferative effects of carotenoids extracted from *Chlorella ellipsoidea* and *Chlorella vulgaris* on human colon cancer cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22), 10521–10526.
- Chellali B. 2007.** Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pbf>. (31.05.2008).
- Clement Grancourt & Prats. (1971).** *Les céréales.* J.-B. Baillière.
- Clerget, Y. (2011).** *Biodiversité des céréales : Origine et évolution* [Monographie]. Montbéliard.
- Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides). (2009).** *La chlorophylle.* <https://crelaurentides.org>
- Costache MA, Campeanu G, Neata G. 2012.** Studies concerning the extraction of chlorophyll and total carotenoids from vegetables. *Romanian Biotechnological Letters*, 17(5):7702-7708.
- Couturier, C., & Doublet, S. (2022, avril).** Le blé : Limiter la dépendance aux importations [Note d'information]. Solagro.
- Crenn, P. (2020).** Bénéfices et risques des compléments alimentaires. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 34(3), 201-206.
- Croston RP., Williams JT. (1981).** A world survey of wheat genetic resources. IBRGR. Bulletin. P (80-59- 37).
- Cunat, L. (1999).** *Biodisponibilité de l'aluminium dans l'intestin : Études in vitro et in vivo chez le rat* (Thèse). Université Paul Verlaine-Metz.

Dahleen, L. S., & Manoharan, M. (2007). Recent advances in barley transformation. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 43, 493–506.

Damien, L. (1999–2000). *Cours de première année de pharmacie* (4 p.). UFR Pharmacie et Ingénierie de la Santé, Lille.

Darche, É. (s.d.). La chlorophylle, trésor vert allié de votre santé. Biovie.

Décret exécutif n° 12-214 du 15 mai 2012 fixant les conditions d'utilisation des additifs alimentaires. (*Journal Officiel de la République Algérienne*, n° 30, 16 mai 2012).

Décret n° 2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires. (*Journal Officiel de la République Française*, n° 68, 21 mars 2006).

Derumeaux, H., Martin, A., Kalonji, E., Lafforgue, C., & Berta, J. L. (2005). Comment évaluer les compléments alimentaires à visée cosmétique?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 40(4), 214-219.

Donaldson MS. 2004. Nutrition and cancer: a review of the evidence for an anti-cancer diet. *Nutrition Journal*, 3: 19. DOI: <http://doi:10.1186/1475-2891-3-19>

Edward, G. (2017). *Plant-based supplements: The new frontier of supplements*. Global Healing. <https://explore.globalhealing.com/plant-based-supplements/>

Elie, F. (2022, 15 déc.). *Notions sur les oligoéléments et minéraux en nutrition*.

Eric. (2019, 6 9). Statistiques du marché des compléments alimentaires, une croissance toujours forte.... Espace Corps Esprit Forme

Freeman, P. L., & Palmer, G. H. (1984). The structure of the pericarp and testa of barley. *Journal of the Institute of Brewing*, 90(2), 88–94.

Hamoun, B., Panelli, S., Brard, M., Thomas, P., Chabault, E., Reynaud, S., Hequet, V., Savaete, M., Larraburu, C., Triboulot, D., & Marion, M. (2001). *Les produits céréaliers intermédiaires* (pp. 16–21, 140). Institut Agroalimentaire de Lille.

Hanifi, L. (1999). *Contribution à l'étude de l'hétérosis et des lignées haploïdes doublées chez l'orge* (Thèse). Université Lille 1.

Hilali, I. (2023). Exploration qualitative des facteurs influençant l'utilisation des compléments alimentaires chez les consommateurs tunisiens. *Revue internationale des sciences de gestion*, 6(4), 975–993.

Höije, A., Gröndahl, M., Tømmeraas, K., & Gatenholm, P. (2005). Isolation and characterization of physicochemical and material properties of arabinoxylans from barley husks. *Carbohydrate Polymers*, 61(3), 266–275.

Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale* (pp. 287–333). De Boeck.

Houlbert, A. (2016, 19 mars). Compléments alimentaires : Historique et grandes dates. *Bio Linéaires*.https://www.biolineaires.com/complements_alimentaires__historique_et_grandes_dates_des_complements_alimentaires/

Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), & Centre National de Contrôle et de Certification des Semences et Plants (CNCCSP). (2015). Les différentes variétés d'orge et leurs caractéristiques agronomiques et technologiques.

Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). (2018). Grandes cultures en Algérie : Tendances et coûts de production (campagne 2017–2018).

Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). (2019). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie : Blé dur, blé tendre, orge et avoine.

Lallouche, B. (2018). Etudes des marqueurs morphologiques, biochimiques et moléculaires des génotypes d'opuntia, en relation avec le développement dans des conditions de stress salin.

Lepengue, A. N., Souza, A., Yala, J. F., Lebamba, J., Mavoungou, J. F., & M'batchi, B. (2016). Etude de quelques caractéristiques physicochimiques et biochimiques de Wavé-fortex, un complément alimentaire naturel du Gabon. *European Scientific Journal*, 12(33), 508-520.

Mackey J. 1968. Species relations in Triticum. proc. 2nd International wheat genetic Symposium. *Hereditas*. Pp237-276.

Maghreb Info. (2022, 13 août). Culture céréalière à M'sila : Résultats très significatifs enregistrés.<https://www.maghrebinfo.dz/2022/08/13/culture-cerealiere-a-msila-des-resultats-tres-significatifs-enregistres/>

Meddah, S., & Cherif, W. (2022). *Les compléments alimentaires : aspect nutritionnel ou physiologique (État des lieux en Algérie)* (Mémoire de master). Université Blida 1.

Moule, C. (1971). *Caractères généraux des céréales*. La Maison Rustique.

Moule. (1980). *Les céréales*. La Maison Rustique.

Novidzro, K. M., Wokpor, K., Fagla, B. A., Koudouvo, K., Dotse, K., Osseyi, E., & Koumaglo, K. H. (2019). Etude de quelques paramètres physicochimiques et analyse des éléments minéraux, des pigments chlorophylliens et caroténoïdes de l'huile de graines de *Griffonia simplicifolia*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(4), 2360-2373.

Panfili, G., Fratianni, A., & Irano, M. (2003). Normal phase high-performance liquid chromatography method for the determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(14), 3940–3944.

Phytonut. (2021, 30 août). *Les aliments riches en chlorophylle*.

Rafajlovska, V., Najdenova, V., & Cvetkov, L. (2001). Influence of some factors at chlorophyll extraction from stinging nettle (*Urtica Dioica L.*). *Herba Pol.*

Rasmusson, D. C., Treeful, L. M., & Suganda, T. (1992). Inheritance of resistance to *Pyrenophora teres* in Minnesota barley. *Plant Disease*, 76(9), 927–930.

Références bibliographiques

Richard, E. (2022). Vieillesse cutané, silicium et concept scientifique anti-âge d'origine marine.

Slafer, G. A., Molina-Cano, J. L., Savin, R., Araus, J. L., & Romagosa, I. (2002). *Barley science: Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality* (665 p.).

Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., & Zid, E. D. (2005). *Les céréales en Tunisie : Production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance*. INRAT.

Soltner, D. (2005). *Les grandes productions végétales – Céréales* (20e éd.). CCTA.

Tazi, A. (1991). Étude, à l'aide de dichroïsme linéaire et de fluorescence polarisée, de l'organisation des pigments photosynthétiques des thylacoïdes d'orge alignés dans des films d'alcool de polyvinyl (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières).

Thomas, W. T. B. (2003). Prospects for molecular breeding of barley. *Annals of Applied Biology*, 142(1), 1–12.

Valette, J. (2015). *Les compléments alimentaires : Définition, aspects réglementaires, cas pratique* (Thèse de pharmacie). Université de Limoges.

Vaňková K, Marková I, Jašprová J, Dvořák A, Subhanová I, Zelenka J, Novosádová I, Rasl J, Vomastek T, Sobotka R, Muchová L, Vítek L. 2018. Chlorophyll Mediated Changes in the Redox Status of Pancreatic Cancer Cells Are Associated with Its Anticancer Effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018(4069167): 11pages. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/4069167>

Ver de Terre Production. (2019). *Céréales – Phytotechnie spéciale* (p. 95).

Ver de Terre Production. (2019). *Céréales – Phytotechnie spéciale*.

Vig H, Himanshu R, 2022. Sports Nutrition Market Size, Share & Growth. Allied Market Research. Disponible sur : <https://www.alliedmarketresearch.com/sports-nutrition-market> (Consulté le 12/05/2022).

WHO – World Health Organization. (2012). *Effect of reduced sodium intake on cardiovascular disease, coronary heart disease and stroke*.

Zoheir, Z. (2017, 27 février). 95 % des compléments alimentaires sont importés de Chine et d'Inde. *AlgérieEco*. <https://www.algerie-eco.com/2017/02/27/95-complements-alimentaires-importes-de-chine-dinde/>

ملخص

تُعدُّ الكلوروفيل صبغة طبيعية أساسية في عملية التمثيل الضوئي، وقد أصبحت محط اهتمام متزايد كمكمل غذائي بفضل خصائصها المضادة للأكسدة والمطهرة، والمنشطة. ومع هذا الطلب المتزايد، أصبحت زراعة النباتات الغنية بالكلوروفيل جالاً واعداً، خاصة في إطار التغذية الصحية؛ إذ يركز هذا العمل على إنتاج النباتات الغنية بالكلوروفيل، مع تسليط الضوء على الأنواع القابلة للزراعة في الجزائر، ولا سيما الحبوب (القمح والشعير) خاصة. كما يتناول الشروط الزراعية المثلى، وتقنيات الزراعة، وطرق استخلاص الكلوروفيل وتثمينه لأغراض غذائية. وتهدف هذه الدراسة أيضاً إلى تقييم إمكانات هذه المزروعات كمورد محلي ومستدام لتطوير مكمل غذائي طبيعي ذي قيمة مضافة عالية.

Abstract

Chlorophyll is a natural pigment essential in the process of photosynthesis, and it has become increasingly popular as a dietary supplement due to its antioxidant, purifying, and stimulating properties. With this growing demand, the cultivation of chlorophyll-rich plants has become a promising field, especially within the context of healthy nutrition. This work focuses on the production of plants rich in chlorophyll, highlighting the species that can be cultivated in Algeria, particularly grains (wheat and barley). It also addresses the optimal agricultural conditions, cultivation techniques, and methods for extracting and valorizing chlorophyll for nutritional purposes. Additionally, this study aims to evaluate the potential of these crops as a local and sustainable resource for developing a high-value natural dietary supplement.

Résumé

La chlorophylle est un pigment naturel essentiel dans le processus de photosynthèse, et elle a suscité un intérêt croissant en tant que complément alimentaire grâce à ses propriétés antioxydants, purifiantes et stimulantes. Avec cette demande croissante, la culture de plantes riches en chlorophylle est devenue un domaine prometteur, notamment dans le cadre de la nutrition saine. Ce travail se concentre sur la production de plantes riches en chlorophylle, en mettant en lumière les espèces cultivables en Algérie, en particulier les céréales (blé et orge). Il aborde également les conditions agricoles optimales, les techniques de culture, et les méthodes d'extraction et de valorisation de la chlorophylle à des fins alimentaires. Cette étude vise également à évaluer le potentiel de ces cultures en tant que ressource locale et durable pour le développement d'un complément alimentaire naturel à haute valeur ajoutée.