

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Ghardaia



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Par : YAHIA Malika

Thème

Étude des traits morphologiques, des caractéristiques nutritionnelles et phytochimiques, ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Soutenu publiquement, le 14/06/2026, devant le jury composé de :

M ^{me} ADDOUN Noura	Maître de Conférences B	Univ. Ghardaia	Présidente
M ^{me} BENZETTA Hanane	Maître de Conférences A	Centre de recherche CRSTRA	Directrice de mémoire
M ^{me} BAALI Faiza	Maître de Conférences A	Univ. Ghardaia	Co-Directrice de mémoire
M ^{me} NABI Ikram	Maître de Conférences A	Univ. Ghardaia	Examineur

Année universitaire : 2025-2026

Remerciements

Tout d'abord, je rends grâce à Allah, le Tout-Puissant et le Miséricordieux, qui m'a accordé la force, le courage et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **M^{me} BENZETTA Hanane**, directrice de ce mémoire, Maître de Conférences A, au Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides (CRSTRA) à l'université de Biskra, pour son encadrement, ses conseils précieux, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de ce travail.

Je remercie sincèrement **M^{me} BAALI Faiza**, co-directrice de ce mémoire, Maître de Conférences A, au département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre à l'université de Ghardaia, pour son soutien précieux au laboratoire, son implication, ainsi que pour l'aide et les efforts qu'elle a consacrés à la réalisation de ce travail.

Je suis profondément reconnaissante envers **Dr. ADDOUN Noura**, Maître de conférences B au département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre à l'université de Ghardaia, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Je tiens à remercier également **Dr. NABI Ikram**, maître de conférences B au département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre à l'université de Ghardaia, pour le temps consacré à l'évaluation de mon travail ainsi que pour l'intérêt qu'il lui a porté.

Je remercie aussi les ingénieurs de laboratoire **Mr. BENSALAH Bachir**, **Mr. BEN HAMOUDA Hicham** pour leur aide technique, leur disponibilité et leur soutien précieux au sein du laboratoire.

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes amis et collègues de la promotion de Biochimie appliquée 2025/2026.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants du département de Biologie pour la qualité de leur enseignement, leurs précieux conseils ainsi que les connaissances qu'ils m'ont transmises tout au long de mon parcours universitaire.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dedicaces

Grâce à dieu le Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour accomplir ce travail avec espoir et détermination. Je dédie ce modeste

travail :

À ma très chère mère Nadjet, pour son amour infini, sa tendresse, ses sacrifices, ses encouragements et ses prières qui m'ont toujours accompagnée.

À mon chère père Mahfoud, pour son soutien, sa confiance, ses conseils précieux et tous les efforts qu'il a fournis pour ma réussite.

À mon grand frère Boualem, pour son aide et son soutien précieux.

À toute ma famille, pour leur soutien moral et leurs prières.

À mes chères cousines Sara et Abir, pour leur aide et leur encouragement.

À mes collègues de la boratoire Zineb et Sabrina, pour leur disponibilité, leur accompagnement, leur collaboration et les bons moments passés ensemble.

À tous mes autres collègues, pour leur moments de partage et d'entraide durant ce parcours.

À mes meilleures amies Romaisaa, Yasmine, Nesrine, Nawel, Djihane, pour leur amitié sincère, leur soutien et tous les souvenirs inoubliables.

À mes promotrices Mlle Baali Faiza et Mme Benzetta Hanane, pour leur encadrement, leurs conseils précieux, leur patience et leur accompagnement tout au long de ce travail.

À tous les enseignants qui ont contribué à ma formation durant mon parcours universitaires, pour le savoir qu'ils m'ont transmis et leurs efforts dans notre apprentissage.

Malika

ملخص

يُعدّ *Vigna unguiculata* (L.) Walp. المعروف شائعاً باسم اللوبيا، من البقوليات التي تُستهلك بذورها على نطاق واسع نظراً لقيمتها الغذائية وخصائصها البيولوجية. يهدف هذا العمل إلى دراسة الخصائص المورفولوجية والبيومترية والغذائية والكيميائية النباتية، بالإضافة إلى تقييم النشاط المضاد للأكسدة لصنفين من بذور اللوبيا: الصنف الأسود والصنف الأبيض. أظهرت الدراسة المورفولوجية أن كلا الصنفين يتميزان بشكل مستطيل أو على هيئة حرف D، مع سطح أملس ولامع. كما كشفت الدراسة البيومترية عن وجود اختلافات في العرض ومعامل الكروية والوزن، حيث سجل الصنف الأبيض أعلى القيم. وأظهرت نتائج التحليل الغذائي أن البذور السوداء تحتوي على نسب أعلى من البروتينات (28.91%)، والدهون (1.14%)، والكاربوهيدرات (58.61%)، والمواد المعدنية (3.34%) مقارنة بالبذور البيضاء. أعطى الاستخلاص بجهاز سوكسليت باستعمال الميثانول المائي بتركيز 85% أفضل مردودات، خاصة بالنسبة للبذور السوداء (3.92%)، في حين سجلت المستخلصات الهكسانية مردودات أقل من 1.2%. وأظهرت التحاليل اللونية أن المستخلصات الميثانولية كانت الأغنى بالمركبات الفينولية الكلية والفلافونويدات. وقد سُجلت أعلى التراكيز في المستخلص الميثانولي للبذور السوداء، حيث بلغت 128.04 ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك/ملغ مستخلص من البوليفينولات و 5.37 ميكروغرام مكافئ الكيرسيتين/ملغ مستخلص من الفلافونويدات. تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات باستخدام عدة اختبارات، وهي السعة الكلية المضادة للأكسدة (CAT)، واختبار DPPH و ABTS، بالإضافة إلى اختبار FRAP. وأظهرت النتائج أن المستخلص الميثانولي للبذور السوداء (EMGN) يمتلك أعلى نشاط مضاد للأكسدة، حيث بلغت قيمة السعة الكلية المضادة للأكسدة 169.80 ± 1.08 ميكروغرام مكافئ حمض الأسكوربيك/ملغ مستخلص. كما أظهر هذا المستخلص نشاطاً قوياً في اصطياد الجذور الحرة تجاه جذري DPPH و ABTS، و نصف التركيز التثبيطي بلغت قيمته 58.89 ميكروغرام/مل و 494.57 ± 13.34 ميكروغرام/مل على التوالي. وأخيراً، أظهر اختبار FRAP قدرة اختزالية أعلى للمستخلصات الميثانولية، وخاصة مستخلص البذور السوداء (EMGN)، الذي بلغت قيمة $A_{0.5}$ الخاصة به 451.72 ± 13.02 ميكروغرام/مل. في الختام، تبرز النتائج المتحصل عليها الأهمية الغذائية والعلاجية لبذور *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ولا سيما الصنف الأسود الذي تميز بغناه بالمركبات الحيوية الفعالة وامتلاكه نشاطاً مضاداً للأكسدة مرتفعاً.

الكلمات المفتاحية: *Vigna unguiculata* (L.) Walp.، الخصائص المورفولوجية، الخصائص البيومترية، الجودة الغذائية، الكيمياء النباتية، النشاط المضاد للأكسدة.

Résumé

Vigna unguiculata (L.) Walp., communément appelée niébé, est une légumineuse dont les graines sont largement consommées en raison de leur valeur nutritionnelle et de leurs propriétés biologiques. Le présent travail vise à étudier les caractéristiques morphologiques, biométriques, nutritionnelles et phytochimiques, ainsi que l'activité antioxydante de deux variétés de graines de niébé : noire et blanche. L'étude morphologique a montré que les deux variétés présentent une forme oblongue ou en forme de D, avec une surface lisse et brillante. L'analyse biométrique a révélé des différences au niveau de la largeur, de l'indice de sphéricité et du poids, la variété blanche présentant les valeurs les plus élevées. L'évaluation de la composition nutritionnelle a montré que les graines noires possèdent des teneurs plus importantes en protéines (28,91%), lipides (1,14%), glucides (58,61%) et cendres (3,34%) que les graines blanches. L'extraction par Soxhlet à l'aide de méthanol aqueux à 85% a permis d'obtenir les meilleurs rendements, notamment pour les graines noires (3,92%), tandis que les extraits hexaniques ont présenté des rendements plus faibles (< 1,2%). L'analyse colorimétrique a montré que les extraits méthanoliques étaient les plus riches en polyphénols et en flavonoïdes. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées pour l'extrait méthanolique des graines noires, avec 128,04 µg EAG/mg d'extrait en polyphénols et 5,37 µg EQ/mg d'extrait en flavonoïdes. L'activité antioxydante des extraits a été évaluée à l'aide de plusieurs tests, à savoir la capacité antioxydante totale (CAT), les tests DPPH, ABTS et FRAP. Les résultats montrent que l'extrait méthanolique des graines noires (EMGN) présente l'activité antioxydante la plus élevée, avec une CAT de $169,80 \pm 1,08$ µg EAA/mg d'extrait. De plus, l'EMGN exerce une forte activité antiradicalaire vis-à-vis des radicaux DPPH et ABTS, avec des valeurs d'IC₅₀ respectivement de 58,89 µg/mL et $494,57 \pm 13,34$ µg/mL. Enfin, le test FRAP a révélé un pouvoir réducteur plus marqué pour les extraits méthanoliques, en particulier pour l'EMGN, dont la valeur d'A_{0,5} est de $451,72 \pm 13,02$ µg/mL. En conclusion, les résultats obtenus mettent en évidence l'intérêt nutritionnel et thérapeutique des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., en particulier de la variété noire, qui se distingue par sa richesse en composés bioactifs et son importante activité antioxydante.

Mots clés : *Vigna unguiculata* (L.) Walp., étude morphologique, étude biométrique, qualité nutritionnelle, phytochimie, activité antioxydante.

Abstract

Vigna unguiculata (L.) Walp., commonly known as cowpea, is a leguminous plant whose seeds are widely consumed due to their nutritional value and biological properties. The present study aimed to investigate the morphological, biometric, nutritional, and phytochemical characteristics, as well as the antioxidant activity, of two cowpea seed varieties: black and white. Morphological analysis showed that both varieties exhibited an oblong or D-shaped form with a smooth and shiny surface. Biometric measurements revealed differences in seed width, sphericity index, and weight, with the white variety displaying the highest values. Nutritional composition analysis indicated that black seeds contained higher levels of proteins (28.91%), lipids (1.14%), carbohydrates (58.61%), and ash (3.34%) than white seeds. Soxhlet extraction using 85% aqueous methanol provided the highest extraction yields, particularly for black seeds (3.92%), whereas hexane extracts showed lower yields (<1.2%). Colorimetric analysis revealed that methanolic extracts were the richest in polyphenols and flavonoids. The highest concentrations were recorded in the methanolic extract of black seeds, with 128.04 μg GAE/mg extract of total polyphenols and 5.37 μg QE/mg extract of total flavonoids. The antioxidant activity of the extracts was evaluated using several assays, including total antioxidant capacity (TAC), DPPH, ABTS, and FRAP. The results demonstrated that the methanolic extract of black seeds (BSME) exhibited the strongest antioxidant activity, with a TAC value of 169.80 ± 1.08 μg AAE/mg extract. Moreover, BSME showed a strong free-radical scavenging activity against DPPH and ABTS radicals, with IC_{50} values of 58.89 $\mu\text{g}/\text{mL}$ and 494.57 ± 13.34 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. Furthermore, the FRAP assay revealed a greater reducing power for methanolic extracts, particularly BSME, which exhibited an $\text{A}_{0.5}$ value of 451.72 ± 13.02 $\mu\text{g}/\text{mL}$. In conclusion, the findings highlight the nutritional and therapeutic potential of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seeds, especially the black variety, which is distinguished by its higher content of bioactive compounds and its remarkable antioxidant activity.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp., morphological study, biometric study, nutritional quality, phytochemistry, antioxidant activity.

Liste des abréviations

ABTS:	Acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
A_{0,5} :	Absorbance de 0,5
CAT:	Capacité antioxydante totale
DPPH:	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
DS:	Déviation standard
EAA:	Équivalent acide ascorbique
EAG:	Équivalent acide gallique
EQ:	Équivalent quercétine
EMGN:	Extrait méthanolique graines noires
EMGB:	Extrait méthanolique graines blanche
EHGN:	Extrait hexanique graines noires
EHGB:	Extrait hexanique graines blanches
Ex:	Extrait
FRAP:	Ferric Reducing Antioxidant Power
GPx:	Glutathion peroxydase
IC₅₀:	Concentration inhibitrice à 50 %
IS:	Indice de sphéricité
PMG:	Poids de mille graines
RNS:	Espèces réactives de l'azote
ROS:	Espèces réactives de l'oxygène
TCA:	Capacité antioxydante totale
TFT:	Teneur en flavonoïdes totaux
TPT:	Teneur en polyphénols totaux
UV:	Ultraviolet
MS:	Matière sèche

Liste des tableaux

Tableau I. Caractéristique morphologique des graines de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	30
Tableau II. Caractéristiques biométriques des graines de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	31
Tableau III. Composition nutritionnelles des graines <i>Vigna unguiculata</i> (L.)Walp. noires et blanche	33
Tableau IV. Rendement, teneur en polyphénols et en flavonoïdes totaux des extraits méthanoliques et hexaniques des graines de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	35
Tableau V. IC ₅₀ des extraits de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. et du standard (acide ascorbique)	42
Tableau VI. IC ₅₀ des extraits de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. et du standard (acide ascorbique)	45
Tableau VII. A _{0,5} des extraits de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. et du standard (acide ascorbique)	46

Liste des figures

Figure 1. Distribution de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp., dans le monde	5
Figure 2. Distribution de <i>Vigna unguiculata</i> dans le monde et en Algérie	6
Figure 3. Traits morphologique de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	6
Figure 4. Morphologie des gousses et graines	10
Figure 5. Graines de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. collectées à Hassi El F'hel (Wilaya d'El Meniaa, Algérie)	19
Figure 6. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	37
Figure 7. Courbe d'étalonnage de la quercétine	39
Figure 8. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique	40
Figure 9. Capacité antioxydante totale des extraits de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. et d'acide ascorbique	40
Figure 10. Activité antiradicalaire vis-à-vis du radical DPPH	42
Figure 11. Activité antiradicalaire vis-à-vis du radical ABTS	44
Figure 12. Pouvoir réducteur à 700 nm	46

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION

1

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralités sur la plante

3

1.1. Famille de Fabacées

3

1.2. Genre *Vigna*

3

1.3. *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

4

1.3.1. Distribution géographique

4

1.3.2. Description botanique

6

1.3.3. Importance agronomique et économique

7

1.3.4. Utilisations traditionnelles

8

2. Morphologie des graines et leurs caractéristiques nutritionnelles

9

2.1. Graine

9

2.2. Morphologie de la graine

9

2.3. Principales métabolites primaires de la graine de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

10

2.4. Importance nutritive de la graine de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

10

3. Métabolites secondaires et activités biologiques

11

3.1. Définition des métabolites secondaires

11

3.2. Composés phénoliques

11

3.2.1. Acides Phénoliques

12

3.2.2. Flavonoïdes

13

3.2.3. Tanins

13

3.2.4. Autres composés

14

3.3. Principaux métabolites secondaires de Fabacées

15

3.4. Activité biologique

16

3.4.1. Activité antioxydante

16

3.4.1.1. Le stress oxydatif

16

3.4.1.2. Les radicaux libres

17

3.4.1.3. Rôle des antioxydants

18

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

1. Matériel	19
1.1. Matériel biologique	19
1.1.1. Matériel végétal	19
1.2. Matériel non biologique	20
1.2. Produits chimiques et appareillages	20
1.2.1. Produits chimiques	20
1.2.2. Appareillages	20
2. Méthodes	20
2.1. Étude morphologique et biométrie	20
2.1.1. Étude morphologique	20
2.1.2. Étude biométrie	21
2.1.2.1. Mesure des dimensions	21
2.1.2.2. Détermination du poids de 1000 graines	21
2.1.2.3. Détermination de la surface et le volume des graines	21
2.2. Analyses chimiques des matières premières	22
2.2.1. Teneur en humidité	22
2.2.2. Détermination de la teneur en matière sèche	22
2.2.3. Détermination de la teneur en cendres	22
2.2.4. Détermination de la teneur en protéines totales	23
2.2.5. Détermination de la teneur en lipides	23
2.2.6. Détermination de la teneur en glucides totaux	24
2.3. Etudes phytochimiques	25
2.3.1. Extraction	25
2.3.1.1. Préparation de l'extrait méthanolique	25
2.3.1.2. Préparation de l'extrait hexanique	25
2.3.1.3. Calcul du rendement	25
2.3.2. Etude phytochimique	26
2.3.2.1. Dosage des polyphénols totaux	26
2.3.2.2. Dosage des flavonoïdes totaux	26
2.4. Evaluation <i>in vitro</i> l'activité antioxydante	27
2.4.1. Capacité antioxydante totale (CAT)	27
2.4.2. Test de l'activité anti- radicalaire DPPH	27
2.4.3. Test de réduction du radicale-cation ABTS ^{•+}	28

2.4.4. Pouvoir réducteur du fer (FRAP)	29
2.5. Analyse statistique	29
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	
1. Etude morphologique	30
2. Etude biométrique	30
3. Qualité nutritionnelle	32
4. Etude phytochimique	35
4.1. Extraction	35
4.2. Dosage des polyphénols totaux	36
4.2. Dosage des flavonoïdes totaux	38
5. Activité antioxydante	39
5.1. Capacité antioxydante totale	39
5.2. Test de DPPH	41
5.3. Test d'ABTS	43
5.4. Test de FRAP	45
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	50
ANNEXE	

INTRODUCTION

La tendance mondiale vers une alimentation durable et respectueuse de l'environnement favorise l'utilisation des produits végétaux, notamment les fruits, légumes et légumineuses, qui représentent une source importante de nutriments et de protéines végétales. En plus de leur intérêt nutritionnel, les légumineuses contribuent à l'amélioration de la fertilité des sols grâce à leur capacité de fixation biologique de l'azote, ce qui renforce leur importance dans les systèmes agricoles durables (**Ashaolu et Suttikhana, 2023**).

Les légumineuses constituent un groupe végétal majeur utilisé dans l'alimentation, l'industrie et la médecine. Elles jouent un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire mondiale en fournissant des protéines accessibles et en participant à la réduction de l'érosion des sols. La famille des Fabaceae représente l'un des groupes végétaux les plus importants et regroupe plusieurs espèces riches en protéines, fibres, vitamines, minéraux et antioxydants, associés à la prévention de plusieurs maladies chroniques (**Kebede et Yildiz, 2020; Zhao et al., 2021**).

Dans ce contexte, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. constitue une légumineuse d'une grande importance nutritionnelle et agronomique dans les régions tropicales et subtropicales. Grâce à sa richesse en protéines, glucides, vitamines, minéraux et composés phytochimiques tels que les flavonoïdes et les composés phénoliques, le niébé contribue à la sécurité alimentaire et présente un intérêt biologique important. De plus, sa capacité d'adaptation aux conditions climatiques difficiles et son rôle dans l'amélioration de la fertilité des sols renforcent son importance dans les systèmes agricoles durables (**Kebede et Yildiz, 2020; Kim et al., 2024**).

En Algérie des travaux sont réalisés sur la morphologie et la biométrie des graines de niébé collecté de différentes régions (**Ghalmi et al., 2010; Bassedik et Tellah, 2021**). Les études nutritionnelles détaillées et l'étude de l'activité antioxydant des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. sont encore rares en Algérie. De plus, les études portant sur les composés bioactifs du genre *Vigna* ont révélé la présence de polyphénols, flavonoïdes et tanins responsables d'une activité antioxydante notable, capable de neutraliser les radicaux libres et de contribuer à la prévention du stress oxydatif. Ces propriétés fonctionnelles et nutraceutiques confèrent au niébé un intérêt croissant dans les domaines de la nutrition, de la santé et de la valorisation des ressources phytogénétiques locales.

Pour ces raisons, le présent travail est pour objectif d'une étude morphologique, biométrique, nutritionnelle, phytochimique ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante de deux variétés de graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., noire et blanche. Pour cela, nous avons fixés les objectifs suivants: une étude morphologique et biométrique des graines, évaluation de la composition nutritionnelle des deux variétés des graines, extraction des composés bioactifs à l'aide du méthanol et de l'hexane, détermination des teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux et évaluation de l'activité antioxydante par les tests TCA, DPPH, ABTS et FRAP.

Le présent manuscrit est structuré en trois chapitres; le premier est consacré à l'étude bibliographique portera sur les rappels bibliographiques sur la famille de légumineuses, le genre *Vigna* et l'espèce de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., sa distribution mondiale et en Algérie, leurs utilisations. Le deuxième présente le matériel et les méthodes utilisés tandis que le troisième regroupe les résultats obtenus ainsi que leur discussion. Ce travail est achevé par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus et les perspectives envisagées.

MATERIEL ET METHODES

Cette étude expérimentale a été réalisée au laboratoire de Biochimie de l'Université de Ghardaïa. Elle a pour objectif de caractériser deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (blanche et noire) à travers l'évaluation de leurs caractéristiques morphologiques et biométriques, de leurs composition chimique, de leur profil phytochimique ainsi que de leurs activités antioxydantes *in vitro*. Les différentes analyses effectuées visent à mettre en évidence leurs valeur nutritionnelle et leurs potentiel biologique.

1. Matériel

1.1. Matériel biologique

1.1.1. Matériel végétale

Les graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (variétés blanche et noire) ont été collectées au cours de la saison estivale de l'année 2025 dans la région de Hassi El F'hal (Wilaya d'El Meniaa, Algérie). Après récolte, les graines ont été soigneusement nettoyées afin d'éliminer les impuretés, puis séchées à l'air libre à température ambiante jusqu'à obtention d'une masse constante. Elles ont ensuite été broyées à l'aide d'un broyeur électrique (multifonction grinder 25000 rotation/min) afin d'obtenir une poudre fine et homogène. La poudre obtenue a été conservée dans des récipients hermétiques, à l'abri de la lumière et de l'humidité, jusqu'à son utilisation pour les différentes analyses.



Figure 5. graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., collectées à Hassi El F'hel (Wilaya d'El Meniaa, Algérie). A: graines blanches, B : graines noires (**Photo originale, 2026**).

1.2. Matériel non biologique

1.2.1. Produits chimiques

Les principaux produits chimiques utilisés dans ce travail comprennent : méthanol (CH_3OH), hexane (C_6H_{14}), carbonate de sodium (Na_2CO_3), réactif de Folin-Ciocalteu, acide gallique ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$), trichlorure d'aluminium (AlCl_3), quercétine dihydraté ($\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 2,2 diphenyl-1 picryle hydrazyl (DPPH), phosphate de sodium (Na_2HPO_4), molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$), acide sulfurique (H_2SO_4), 2'-azinobis (3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic) (ABTS), butylhydroxytoluène (BHT), acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), ferricyanure de potassium ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$), acide trichloracétique (TCA), phenol ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$), Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), persulfate de potassium ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$). Les réactifs et les produits chimiques employés dans cette recherche sont de pureté analytique, fournis par Fluka, Sigma Aldrich et Biochem.

1.2.2. Appareillage

Les appareils utilisés dans cette étude étaient constitués un extracteur de type Soxhlet, un évaporateur rotatif de type Heidolph (Allemagne), une balance de précision (Ohaus, Chine), un spectrophotomètre UV-visible (Secomam, France), une étuve (Mettler, Allemagne), un bain marie (Mettler, Allemagne), un four à moufle (Protherm Furnaces, Turquie), appareil de Kjeldahl (VELP Scientifica, Italie), Système automatique de distillation et de titrage (Italie) (Annexe).

2. Méthodes

2.1. Étude morphologique et biométrique

2.1.1. Étude morphologique

L'étude morphologique de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a été réalisée par observation visuelle directe des graines. Les caractères suivants ont été décrits: la forme, la couleur, l'aspect général des graines. Un échantillon représentatif de 30 à 50 graines a été prélevé aléatoirement. Les graines ont été disposées dans des boîtes de Pétri propres. Les observations ont été effectuées à l'œil nu et, si nécessaire, à l'aide d'une loupe binoculaire afin de mieux visualiser les détails morphologiques.

2.1.2. Étude biométrique

Les mesures de longueur, largeur, épaisseur, le poids de 1000 graines et le volume et la surface de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ont été déterminés.

2.1.2.1. Mesure des dimensions

Les trois dimensions des graines (longueur, largeur et épaisseur) ont été mesurées sur un échantillon de 100 graines sélectionnées de manière aléatoire, à l'aide d'un pied à coulisse. L'indice de sphéricité (IS) a ensuite été calculé à partir de ces trois dimensions selon la formule suivante (Koura *et al.*, 2014) :

$$IS = \frac{(L \times l \times e)^{1/3}}{L}$$

Où : L = longueur de la graine ; l = largeur de la graine ; e = épaisseur de la graine

2.1.2.2. Détermination du poids de 1000 graines

Le poids de 100 graines a été déterminé selon ISTA (1993). Dix répliques aléatoires de 100 graines de chaque variété ont été pesées en utilisant une balance de précision (Mahgoub et Joval, 1994). Trois répétitions ont été réalisées pour chaque commune afin d'assurer la fiabilité des résultats.

2.1.2.3. Détermination de la surface et le volume des graines

La surface (S) et le volume (V) des graines ont été calculés à partir de l'estimation du diamètre moyen (d) de la graine. La surface a été calculée à l'aide de la formule $S = \pi d^2$ et le volume avec la formule $V = (\pi/6) * d^3$ correspondant au volume d'une sphère avec $\pi = 3,14$, d: le diamètre moyen de la graine en prenant perpendiculairement deux mesures sur la graine. Le bien fondé de ces calculs ont été vérifiés par des mesures volumétriques en immergeant des lots de dix graines dans l'eau (Raveneau, 2012).

2.2. Analyses chimiques des matières premières

2.2.1. Teneur en humidité

La détermination de la teneur en humidité des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (noires et blanches) a été réalisée selon la méthode de l'étuve à air chaud décrite par **Jyoshna et Saxena (2021)**. Une prise d'essai de 10 g de graines a été pesée avec précision dans une capsule préalablement tarée. Les échantillons ont ensuite été placés dans une étuve réglée à 110 °C pendant 5 heures afin d'éliminer l'eau contenue dans les graines. Après séchage, les échantillons ont été retirés de l'étuve puis refroidis dans un dessiccateur contenant du chlorure de calcium (CaCl₂), afin d'éviter toute reprise d'humidité de l'air ambiant durant le refroidissement. Une fois les échantillons complètement refroidis, ils ont été à nouveau pesés. Le cycle de séchage, refroidissement et pesée a été répété jusqu'à obtention d'un poids constant, garantissant l'élimination totale de l'humidité. La teneur en humidité a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{\text{Masse frais de la graine} - \text{Masse sec de la graine}}{\text{Masse frais de la graine}} \times 100$$

2.2.2. Détermination de la teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche a été déterminé selon la méthode 923.03 (AOAC, 925.10, 2005). Un échantillon de 10 g est pesé dans une capsule tarée. Il est ensuite placé dans une étuve réglée à 105 °C jusqu'à obtention d'une masse constante, puis refroidi dans un dessiccateur. La masse de matière sèche est calculée à partir de la moyenne de trois mesures. Le pourcentage de matière sèche (MS) est déterminé selon l'équation suivante:

$$\text{MS (\%)} = \frac{\text{Masse sec de la graine}}{\text{Masse frais de la graine}} \times 100$$

2.2.3. Détermination de la teneur en cendres

La teneur en cendres des graines de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. a été déterminée déterminée par la méthode 923.03 (AOAC, 2012). Une prise d'essai de 10 g de poudre fine a été introduite dans un creuset en porcelaine préalablement séché et pesé. Après

une précarbonisation douce, les échantillons ont été incinérés dans un four à moufle à 500°C pendant 3 heures jusqu'à l'obtention des cendres blanches. Ensuite, les creusets ont été refroidis dans un dessiccateur puis pesés. Le pourcentage de cendres est calculé par la formule:

$$\text{Cendres (\%)} = \frac{\text{Masse des cendres}}{\text{Masse frais de la graine}} \times 100$$

2.2.4. Détermination de la teneur en protéines totales

Le dosage des protéines a été réalisé selon la méthode de Kjeldahl, une technique de référence largement utilisée pour l'analyse de l'azote et des protéines dans les matrices alimentaires (**Khebou, 2022 ; Cases et Cayot, 2024**). Une masse de 1 g de poudre fine de graines de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., obtenue par broyage, a été introduite dans un ballon de Kjeldahl. Ensuite, 25 mL d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄) ainsi qu'un mélange catalytique composé de 3,5 g de sulfate de potassium (K₂SO₄) et de 0,1 g de sulfate de cuivre pentahydraté (CuSO₄.5H₂O) ont été ajoutés. L'ensemble a été soumis à une digestion dans un digesteur à une température de 420 °C pendant 1 heure, conformément aux protocoles standards (**Khebou, 2022**). Après digestion, 0,2 g d'échantillon initial a été prélevée pour chaque répétition, réalisée en triplicat. La distillation a été effectuée à l'aide d'un appareil automatique de type Kjeldahl (VELP UDK 159). Durant cette étape, 50 mL d'eau distillée et 55 mL d'hydroxyde de sodium (NaOH) ont été ajoutés, tandis que l'ammoniac libéré a été recueilli dans 30 mL de solution réceptrice. La distillation s'est déroulée avec une puissance de vapeur fixée à 50%, sans temps de pause, et avec une vidange automatique du tube. Le titrage a été réalisé simultanément à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique (HCl). Le taux de protéines a ensuite été calculé en utilisant un facteur de conversion de 6,25, comme recommandé dans la littérature scientifique (**Cases et Cayot, 2024**).

2.2.5. Détermination de la teneur en lipides

Le dosage des lipides des graines de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. a été réalisé selon le protocole d'extraction Soxhlet décrit par

Yeddes *et al.* (2012), en utilisant l'hexane comme solvant apolaire, comme recommandé pour l'extraction des composés lipidiques neutres dans les matrices végétales (**Sasidharan *et al.*, 2011** ; **Azwanida, 2015**). Une prise d'essai de 50 g de poudre fine de graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a été placée dans une cartouche d'extraction, puis soumise à une extraction continue avec 300 mL d'hexane pendant 6 heures à reflux dans un appareil Soxhlet. À la fin de l'extraction, le solvant a été éliminé par évaporation et le résidu lipidique récupéré a été pesé afin de déterminer le rendement d'extraction. Celui-ci est exprimé en pourcentage selon la relation:

$$R (\%) = \frac{\text{Masse des lipides extraits}}{\text{Masse de l'échantillon sec}} \times 100$$

2.2.6. Détermination de la teneur en glucides totaux

La méthode repose sur l'hydrolyse des glucides en présence d'acide sulfurique concentré, suivie de leur déshydratation en dérivés furfuriques. Ces derniers réagissent ensuite avec le phénol pour former un complexe coloré stable (**Albalasmeh *et al.*, 2013**). Le dosage des glucides totaux a été réalisé selon la méthode colorimétrique au phénol-acide sulfurique décrite par **Dubois *et al.* (1956)**. L'extraction des sucres solubles a été effectuée à partir de 2 g de poudre végétale mis en contact avec 10 mL d'éthanol à 80%, puis incubés à 80 °C pendant 20 minutes afin de solubiliser les glucides. Après centrifugation à 4000 rpm pendant 10 minutes, le surnageant a été récupéré pour l'analyse. Brièvement, 2 mL d'échantillon ou de solution standard de glucose (40-200 µg/mL) ont été introduit, suivi de 1 mL de solution de phénol à 5%. Ensuite, 5 mL d'acide sulfurique concentré ont été ajouté rapidement au mélange. Les tubes sont immédiatement homogénéisés sans agitation excessive, puis laissés au repos pendant 10 minutes à température ambiante. Il est ensuite incubé au bain-marie à 25–30 °C pendant 20 minutes afin de permettre le développement de la coloration. Après refroidissement à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 485 nm contre un blanc

contenant tous les réactifs sauf l'échantillon. Les teneurs en glucides totaux ont été déterminées à partir de la courbe d'étalonnage du glucose et exprimées en pourcentage.

2.3. Étude phytochimiques

2.3.1. Extraction

2.3.1.1. Préparation de l'extrait méthanolique

L'extraction des composés phénoliques des graines de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a été réalisée par la méthode Soxhlet selon la méthode décrite par **Vongsak et al. (2013)**. Brièvement, 50 g de poudre de graines (blanches et noires) ont été placés dans une cartouche d'extraction et soumis à une extraction continue à l'aide de 300 mL de méthanol à 85% chauffé à une température d'évaporation de 60 °C, pendant 6 heures. À la fin de l'extraction, le solvant a été récupéré et filtré à travers un papier filtre Whatman n°01 afin d'éliminer les particules solides. Le filtrat obtenu a ensuite été concentré à 40 °C à l'aide d'un évaporateur rotatif (Heidolph, Allemagne) jusqu'à l'obtention d'un extrait sec. L'extrait méthanolique (EM) obtenu a été conservé à 4 °C jusqu'à son utilisation.

2.3.1.2. Préparation de l'extrait hexanique

L'extraction des composés lipidique apolaire des deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *ta* a été réalisée par la méthode Soxhlet, selon le protocole décrit par **Yeddes et al. (2012)**. 50 g de matériel végétal broyé ont été placés dans une cartouche d'extraction, puis soumis à une extraction à l'aide de 500 mL d'hexane chauffé à une température d'évaporation de 70 °C. Après six cycles d'extraction, le solvant contenant les composés extraits de la plante a été récupéré puis concentré à sec sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif. L'extrait hexanique (EH) obtenu a été conservé à 4 °C jusqu'à son utilisation.

2.3.1.3. Calcule du rendement

Le rendement d'extraction (R) correspondent au rapport entre la masse des extraits secs obtenus après évaporation des solvants et la masse de la poudre végétale utilisée. Il est exprimé en pourcentage (%) et calculé selon la formule suivante:

$$R (\%) = \frac{M1 - M2}{M3} \times 100$$

M1: Masse du ballon après évaporation du solvant.

M2: Masse du ballon vide (avant évaporation).

M : Masse de la matière végétale de départ.

2.3.2. Etude phytochimique

2.3.2.1. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux (TPT) dans les différents extraits de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a été réalisée selon la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par **Aouachria et al. (2017)**. Cette méthode repose sur une réaction colorimétrique mesurée à 765 nm. Brièvement, 1 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 1/10) a été ajouté à 200 µL d'extrait ou de solution standard (acide gallique) préparée à différentes concentrations. Après une incubation de 4 minutes à température ambiante, 800 µL de carbonate de sodium (Na₂CO₃) à 7,5% ont été ajoutés au mélange réactionnel. L'ensemble a ensuite été incubé pendant 2 heures à température ambiante afin de permettre le développement complet de la coloration. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Secomam, France), en utilisant un blanc ne contenant pas d'extrait. La teneur en polyphénols totaux a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (0–100 µg/mL) et exprimée en microgrammes équivalents d'acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg Ex).

2.3.2.2. Dosage des flavonoïde totaux

La teneur en flavonoïdes totaux (TFT) de divers extraits de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. a été déterminée selon la méthode au chlorure d'aluminium (AlCl₃) rapportée par **Naz et al. (2017)**. Cette méthode est basée sur la formation d'une liaison covalente entre les groupements hydroxyles (OH) des flavonoïdes et AlCl₃, produisant un complexe jaune qui a une absorbance maximale à 430nm (**Baali et al., 2024**). La méthode consiste à ajouter 1 mL d'extrait/standard (quercétine) à 1mL de la solution d'AlCl₃ (2%). Suite à une incubation de 10min à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 430nm.

La teneur en flavonoïdes totaux est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage quercétine (0 à 30 μ g/mL). Les résultats ont été exprimés en microgrammes équivalents de quercétine par milligramme d'extrait (μ g EQ/mg Ex).

2.4. Evaluation *in vitro* de l'activité antioxydante

2.4.1. Capacité antioxydante totale (CAT)

La capacité antioxydante totale (CAT) des extraits de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a été évaluée selon la méthode au phosphomolybdène décrite par **Prieto *et al.* (1999)**. Cette méthode repose sur la réduction des ions molybdate (MoO_4^{2-}) en une forme réduite de molybdène (Mo^{5+}), conduisant à la formation d'un complexe vert phosphomolybdique en milieu acide, proportionnel à l'activité antioxydante de l'échantillon. Le principe de cette technique est basé sur la capacité des composés antioxydants à réduire le molybdène, traduisant ainsi leur pouvoir réducteur global. Brièvement, 0,3 mL de différents extraits à différentes concentrations a été mélangé à 3 mL de solution réactive contenant 0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium. Les tubes ont ensuite été incubés au bain-marie à 95 °C pendant 90 minutes. Après refroidissement à température ambiante, l'absorbance des solutions a été mesurée à 695 nm contre un blanc préparé dans les mêmes conditions, mais en remplaçant l'extrait par du méthanol. La capacité antioxydante totale a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique (0-500 μ g/mL) et exprimée en microgrammes équivalents d'acide ascorbique par milligramme d'extrait (μ g EAA/mg Ex). Le BHT a été utilisé comme standard.

2.4.2. Test de l'activité anti-radicalaire DPPH

L'activité antioxydante des extraits de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. a été évaluée par le test au DPPH (2,2diphényl-1-picrylhydrazyl), basé sur la capacité des composés antioxydants à céder des électrons ou des atomes d'hydrogène afin de neutraliser le radical libre DPPH. Cette réduction s'accompagne d'un changement de coloration du milieu réactionnel, passant du violet au jaune, mesurable par spectrophotométrie à 517 nm (**Popovici *et al.*, 2010**). Le protocole utilisé est celui décrit par **Li *et al.* (2009)**. Brièvement, 1 mL de

solution de DPPH (0,1 mM) a été mélangé avec 3 mL d'extraits ou de solution standard (acide ascorbique) préparée à différentes concentrations (0-200 µg/mL). Le mélange a été incubé pendant 30 minutes à l'obscurité, puis l'absorbance a été mesurée à 517 nm contre un contrôle constitué de méthanol à la place de l'extrait. Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH a été calculé selon la formule suivante:

$$I (\%) = \frac{Ac - At}{Ac} \times 100$$

I (%) : Pourcentage d'inhibition,

Ac : Absorbance du contrôle,

At : Absorbance en présence de l'extrait.

Les courbes de pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations ont ensuite été utilisées pour déterminer la concentration inhibitrice médiane (IC₅₀), exprimée en µg/mL, et comparée à celle de l'acide ascorbique utilisé comme antioxydant de référence.

2.4.3. Test de réduction du radical-cation ABTS^{•+}

L'activité antioxydante est évaluée à travers la capacité des composés à neutraliser le radical cationique ABTS^{•+} (2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)). Ce radical est généré par réaction avec le persulfate de potassium (K₂S₂O₈). La présence d'un donneur d'hydrogène entraîne la réduction de l'ABTS^{•+}, ce qui se traduit par une diminution de l'intensité de la coloration du milieu, mesurée spectrophotométriquement à 734 nm (**Kasote et al., 2019**).

L'activité antiradicalaire de différents extraits deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a été déterminée selon la méthode décrite par **Re et al. (1999)**. Pour cela, une solution d'ABTS^{•+} est préparée en mélangeant une solution d'ABTS (2,45 mM) avec du persulfate de potassium (7 mM), puis incubée pendant 16 heures. Cette solution est ensuite diluée avec de l'eau distillée jusqu'à obtenir une absorbance de 0,7 ± 0,03 à 734 nm. Un volume de 1,9 mL de cette solution a été mélangé à 0,1 mL d'extraits à différentes concentrations. Après une incubation de 7 minutes à température ambiante l'absorbance est mesurée à 734 nm. Le Trolox est utilisé comme standard de référence, et les résultats ont été exprimés en

pourcentage d'inhibition ainsi qu'en activité antiradicalaire (IC_{50}), selon la même approche que celle utilisée précédemment pour le test DPPH.

2.4.4. Pouvoir réducteur du fer (FRAP)

La méthode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) permet d'évaluer la capacité antioxydante globale des extraits de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., en mesurant leur aptitude à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}). Cette réduction est réalisée à partir du complexe ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$), et constitue un indicateur direct du pouvoir réducteur des extraits. En effet, une forte capacité de réduction est généralement associée à une activité antioxydante élevée (**Bentabet *et al.*, 2014**). Un volume de 2,5 mL de différents extraits à différentes concentrations a été mélangé avec 2,5 mL de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 mL de solution de $K_3Fe(CN)_6$ à 1%. Le mélange réactionnel est ensuite incubé au bain-marie à 50 °C pendant 20 minutes (Memmert, Allemagne). Après incubation, la réaction est arrêtée par l'ajout de 2,5 mL d'acide trichloroacétique (TCA) à 10%. Les tubes sont ensuite centrifugés à 3000 rpm pendant 10 minutes. Par la suite, 2,5 mL du surnageant sont mélangés avec 2,5 mL d'eau distillée et 100 μ L de chlorure ferrique ($FeCl_3$) à 0,1%. L'absorbance est mesurée à 700 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Secomam, France), en utilisant un blanc préparé dans les mêmes conditions mais sans extrait (remplacé par du méthanol). Les résultats sont exprimés en $A_{0,5}$, correspondant à la concentration de l'extrait nécessaire pour atteindre une absorbance de 0,5 indiquant ainsi son pouvoir réducteur.

2.5. Analyse statistique

L'analyse statistique a été faite en utilisant le logiciel Graphpad Prism version 7.0., les résultats sont représentés sous la forme de moyenne \pm déviation standard (DS). Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du test de Student ainsi que l'analyse de variance (ANOVA), suivie du test de Tukey. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives pour $p \leq 0,05$.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Etude morphologique

Dans cette partie nous présentons les caractères morphologiques ainsi que les différents paramètres biométriques de deux variétés des graines de *V. unguiculata* (L.) Walp., noires et blanches. Dans cette optique la forme de la graine, la couleur de spermoderme, aspect de spermoderme et la brillance de spermoderme ont été déterminés et les résultats sont présentés dans le tableau I.

Tableau I. Caractéristique morphologique des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Variétés	Forme	Couleur de spermoderme	Aspect de spermoderme	Briance de spermoderme
Graines noires	Oblongues ou forme de « D »	Noire uniforme	Lisse	Peu brillant
Graines blanches	Oblongues ou forme de « D »	Blanche uniforme	Lisse	Peu brillant

Les résultats obtenus montrent que les deux variétés de graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., présentent une morphologie globalement similaire, notamment la forme et l'aspect des graines. En effet, les graines noires et blanches présentent une forme oblongues ou en forme de D.

La principale différence entre les deux variétés a été observée au niveau de la couleur. Cette variation est principalement attribuée à des différences qualitatives et quantitatives des pigments, notamment des polyphénols, des anthocyanes et d'autres composés phénoliques impliqués dans la pigmentation des téguments (**Sombié et al., 2018**). Nos résultats sont en accord avec l'étude de **Patel et al. (2025)**, qui montre que les graines de niébé de l'Inde présentent une diversité morphologique importante, notamment au niveau de la couleur (noir, brun, rouge, etc.), alors que la forme reste généralement limitée à quelques types (réniforme, oblongue, rhomboïde).

2. Etude biométrique

Les mesures biométriques des graines *V. unguiculata* (L.) Walp., telles que la longueur, la largeur et l'épaisseur, surface, volume, poids de 1000 graines et indice de sphéricité ont été réalisés et sont présentées dans le tableau II et l'annexe 1.

Tableau II. Caractéristiques biométriques des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Biométrie/ Variétés	Graines noires	Graines blanches
Longueur (mm)	6,61± 0,76 ^a	7,58± 0,75 ^b
Largeur (mm)	5,00± 0,65 ^b	5,41± 0,64 ^b
Épaisseur (mm)	4,89± 0,32 ^a	4,16± 0,36 ^a
Indice de sphéricité (IS)	0,66±0,04 ^a	0,32±0,04 ^b
Surface (mm ²)	107,23± 23,32 ^a	133,83± 25,80 ^b
Volume (mm ³)	106,27± 34,54 ^a	147,61± 43,40 ^b
Poids de 1000 graines (g)	70,09 ±0,32 ^a	90,11± 0,45 ^b

Chaque valeur représente la moyenne ± DS ($n = 3$). Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$, test de Student).

Les résultats montrent que les deux variétés noires et blanches possèdent des longueurs différentes significativement ($6,61 \pm 0,76$ et $7,58 \pm 0,75$ mm) ($p \leq 0,01$), respectivement. La largeur et l'épaisseur des graines étudiées sont identiques et ne présentent pas une différence significative ($p < 0,05$). L'indice de sphéricité plus important chez les graines noires ($0,66 \pm 0,04$) par rapport aux graines blanches ($0,32 \pm 0,04$) ($p \leq 0,001$). En plus, une différence significative a été observée chez le volume, surface et le poids de 1000 graines ($p \leq 0,001$). Les graines blanches présentent un volume, une surface et un poids plus élevée ($147,61 \text{ mm}^3$, $133,83 \text{ mm}^2$ et $90,11$ g) que les graines noires ($106,27 \text{ mm}^3$, $107,23 \text{ mm}^2$ et $70,09$ g), respectivement. Cela indique que les graines blanches sont plus sphérique grande que les graines noires.

La longueur de deux graines de *V. unguiculata* (L.) Walp., noires et blanches étudiées sont inférieures à celle rapportée par **Omage et Ikhajiagbe (2021)**, qui ont obtenu des longueurs de 7,2 mm pour les graines noires et de 9,5 mm pour les graines blanches.

L'épaisseur des graines noires de *V. unguiculata* (L.) Walp., de notre étude est supérieur à celle à celle rapportée par **Omage et Ikhajiagbe (2021)** (3,8 mm). L'épaisseur des graines blanches est inférieure à celle rapportée par **Omage et Ikhajiagbe (2021)**, qui ont enregistré une valeur de 5,2 mm. Les poids de 1000 graines déterminés dans la présente étude sont inférieurs à ceux rapportés par **Anzara et al. (2024)**, qui ont obtenu respectivement 130 g et 260 g pour les variétés noires et blanches. Par ailleurs, l'indice de sphéricité obtenu dans notre étude est légèrement inférieur pour les graines de *V. unguiculata* (L.) Walp., noires et blanches

comparativement aux valeurs rapportées par **Amadi et Okorie (2022)**, qui ont enregistré des indices de 0,69 mm pour les graines de *V. unguiculata* (L.) Walp., noires et de 0,74 mm pour les graines d blanches.

Les mesures biométriques des graines de *V. unguiculata* (L.) Walp., notamment la longueur, la largeur et l'épaisseur, constituent des caractères morphologiques importants utilisés en taxonomie et dans l'étude de l'adaptation environnementale. La taille et la forme des graines sont souvent associées à des caractères génétiques spécifiques et représentent des critères essentiels dans la classification des accessions et l'évaluation de la diversité génétique. Par ailleurs, les conditions environnementales telles que la température, la disponibilité en eau, la fertilité du sol et les pratiques culturales influencent fortement le développement des graines et leurs dimensions biométriques (**Panzeri et al., 2022**). Des variations de longueur, de largeur ou d'épaisseur peuvent ainsi refléter des mécanismes d'adaptation aux conditions écologiques locales. Plusieurs études ont montré que les caractères biométriques des graines sont liés à la fois aux facteurs génétiques et aux conditions environnementales, ce qui en fait des indicateurs importants pour les programmes de sélection et de conservation des ressources génétiques (**Kocherane et al., 2019**).

3. Qualité nutritionnelle

Les caractéristiques nutritionnelles constituent un critère essentiel pour évaluer la valeur alimentaire et le potentiel technologique des légumineuses. Dans cette étude, une analyse physicochimique des graines de deux variétés de *V. unguiculata* (L.) Walp., noire et blanche, a été réalisée afin de déterminer leurs principales composantes nutritionnelles, notamment la teneur en humidité, en matière sèche, en cendres, en lipides, en protéines et en glucides. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.

Tableau III. Composition nutritionnelles des graines *Vigna unguiculata* (L.)Walp., noires et blanches.

Tests/Variétés	Teneur en humidité (%)	Matière Sèche (%)	Cendres (%)	Lipides totaux (%)	Protéines totales (%)	Glucides totaux (%)
Graines noires	5,46±0,36 ^a	94,53±0,36 ^a	3,79±0,10 ^a	1,14 ^a	28,91±0,45 ^a	8,61±0,67 ^a
Graines blanches	6,42±0,33 ^a	93,57±0,33 ^a	2,32±0,02 ^b	0,66 ^b	22,79±0,70 ^b	5,86±0,87 ^b

Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n = 3$). Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$, test de Student).

La teneur en humidité est légèrement plus élevée dans les graines blanches ($6,42 \pm 0,33\%$) que dans les graines noires ($5,46 \pm 0,36\%$). Toutefois, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre les deux variétés ($p > 0,05$).

Concernant la matière sèche, les graines noires et blanches présentent des valeurs similaires ($94,53 \pm 0,36$ et $93,57 \pm 0,33\%$, respectivement) ($p > 0,05$), traduisant une concentration plus importante en constituants solides et donc en nutriments.

La teneur en cendres est plus importante dans les graines noires ($3,34 \pm 0,48\%$) comparativement aux graines blanches ($2,82 \pm 0,73\%$). L'étude statistique révèle une différence significative entre les moyennes de deux variétés étudiées ($p < 0,05$). Ces résultats indiquent une richesse plus élevée en éléments minéraux essentiels dans la variété noire.

Les lipides totaux sont également plus élevés dans les graines noires ($1,14\%$) que dans les graines blanches ($0,66\%$). Les moyennes de deux variétés présentent une différence significative ($p \leq 0,001$). Les résultats montrent que les deux variétés restent globalement faibles en matières grasses. Cette différence peut influencer légèrement la valeur énergétique et certaines propriétés fonctionnelles.

De même, les protéines totales sont significativement plus élevées dans les graines noires ($28,91 \pm 0,45\%$) que dans les graines blanches ($22,79 \pm 0,70\%$). ($p \leq 0,01$), ce qui met en

évidence un meilleur potentiel nutritionnel de la variété noire en tant que source de protéines végétales.

Enfin, les glucides totaux suivent la même tendance avec des valeurs plus élevées dans les graines noires ($8,61 \pm 0,67\%$) que dans les graines blanches ($5,86 \pm 0,87\%$). Ces moyennes montrent une différence hautement significative ($p < 0,001$), ce qui suggère une valeur énergétique globale supérieure.

Les résultats des teneurs en humidité, en cendres et en glucides obtenus dans cette étude sont inférieurs à ceux rapportés par **Libra et al. (2025)** qu'ont travaillé sur des variétés de Côte d'Ivoire. Ces auteurs ont enregistré respectivement des taux d'humidité de 13,71% et 16,10 % pour les graines noires et blanches, des teneurs en cendres de 4,21 % et 3,70%, ainsi que des teneurs en glucides de 37,36% et 36,14%. En revanche, on peut considérer que la teneur en lipide chez les graines noires de notre étude (1,14%) est similaire à celle de graines noires de Côte d'Ivoire (1,26%), et la teneur en lipide chez les graines blanches à notre étude (0,66%) est légèrement inférieure à celle de Côte d'Ivoire (1,54%).

Concernant les protéines, les graines noires étudiées présentent une teneur élevée (28,91%) à la teneur de protéines de graines noires de Côte d'Ivoire (24,93%), tandis que nos graines blanches affichent une teneur de protéines inférieure (22,79%), par rapport aux graines blanches de Côte d'Ivoire (24,26%).

Alae-Carew et al. (2020) expliquent que les caractéristiques nutritionnelles des graines sont fortement influencées par les conditions environnementales et sanitaires. Les stress abiotiques, tels que la sécheresse, la chaleur et la salinité, ainsi que les affections biotiques, peuvent altérer la composition nutritionnelle des graines, réduire leur teneur en nutriments essentiels et affecter leur qualité alimentaire.

Musah et al. (2020) soulignent que l'étude des caractéristiques nutritionnelles des graines est essentielle pour évaluer leur valeur alimentaire et leur potentiel dans la sécurité nutritionnelle. La graine de *V. unguiculata* (L.) Walp., représente une ressource alimentaire stratégique en raison de sa richesse en protéines, dont la teneur varie généralement entre 20 et 30% de la matière sèche. Cette légumineuse joue un rôle majeur dans la sécurité alimentaire

et nutritionnelle, particulièrement dans les régions arides et semi-arides d’Afrique. Les protéines de cette espèce démontrent une valeur nutritionnelle importante grâce à leur richesse en acides aminés essentiels, notamment la lysine, ce qui en fait un excellent complément des céréales traditionnellement consommées dans ces régions. Les graines de *V. unguiculata* (L.) Walp., sont utilisées dans l’alimentation animale (Timko et Singh, 2008 ; Boukar et al., 2018).

4. Étude phytochimique

4.1. Extraction

Dans ce travail, deux solvants ont été utilisés afin d’extraire les composés bioactifs de deux variétés de graines de *V. unguiculata* (L.)Walp., le méthanol aqueux à 85% et l’hexane pur, le méthanol 85% permet l’extraction des composés polaires et semi-polaires, tandis que l’hexane est utilisé pour extraire les composés apolaires, notamment les lipides. L’extraction par Soxhlet a été choisie en raison de son caractère exhaustif, permettant une récupération efficace et continue des composés à partir de la matrice végétale. Les résultats du rendement ainsi que l’étude phytochimique sont présentés dans le tableau IV.

Tableau IV. Rendement, teneur en polyphénols et en flavonoïdes totaux des extraits méthanoliques et hexaniques des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Extrait	Rendement (%)	TPT($\mu\text{g EAG/mg E}$)	TFT ($\mu\text{g EQ/mg E}$)
EMGN	3,92	128,04 \pm 1,68 ^a	5,37 \pm 0,52 ^a
EMGB	2,99	96,44 \pm 1,11 ^b	1,40 \pm 0,04 ^b
EHGN	1,14	4,34 \pm 0,10 ^c	0,92 \pm 0,01 ^c
EHGB	0,66	3,85 \pm 0,18 ^c	0,90 \pm 0,02 ^c

Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n = 3$). Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$, test de Tukey). TPT : teneur en polyphénols totaux, TFT : teneur en flavonoïdes totaux. E : extrait, EMGN: extrait méthanolique graines noires, EMGB : extrait méthanolique graines blanches, EHGN: extrait hexanique graines noires, EHGB : extrait hexanique graines blanches.

Les rendements en extraits des graines de *V. unguiculata* (L.) Walp varient selon la variété et le solvant utilisé. L’extrait méthanolique de la variété noire présente un rendement légèrement supérieur, avec 3,92%, suivi de celui de la variété blanche avec 2,99%. En

revanche, les extraits hexaniques montrent des rendements plus faibles, soit 1,14% pour la variété noire et 0,66% pour la variété blanche.

Avanza et al., (2021) ont confirmé que les solvants polaires, notamment le méthanol et les mélanges éthanol/eau, donnent des rendements supérieurs aux solvants apolaires, Ainsi, bien que nos rendements soient légèrement inférieurs à ceux rapportés dans la littérature (souvent >5%), ils restent cohérents avec la tendance générale et mettent en évidence le potentiel plus élevé de la variété noire pour l'extraction des métabolites secondaires.

L'extraction des métabolites secondaires à partir des tissus végétaux constitue une étape essentielle dont l'efficacité dépend principalement du solvant utilisé, de la méthode d'extraction et des conditions opératoires. Les solvants polaires, comme le méthanol, favorisent l'extraction des composés hydrophiles, tandis que les solvants apolaires, tels que l'hexane, sont adaptés aux substances lipophiles. Ainsi, le choix du système d'extraction influence directement le rendement et la nature des composés phytochimiques obtenus. (**Assouguem et al., 2025**).

4.2. Dosage des polyphénols totaux

Dans le cadre de l'étude des extraits végétaux, une attention particulière est portée à la quantification des polyphénols totaux parmi les différents composés phytochimiques, en raison de leur rôle majeur dans les activités biologiques des extraits végétaux, leur dosage permet ainsi d'estimer le potentiel antioxydant global des échantillons et de mieux comprendre leur activité (**Chaves et al., 2020**).

Le dosage des polyphénols totaux des extraits hydro-méthanoliques et hexaniques des deux variétés de *V. unguiculata* (L.) Walp, a été réalisé selon la méthode de Folin-Ciocalteu, reconnue pour sa faisabilité et sa reproductibilité, la teneur en composés phénoliques a été déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire ($y = ax + b$) de la courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique à différentes concentrations (Figure 6). Les résultats sont exprimés en μg d'équivalent acide gallique par mg d'extrait ($\mu\text{g EAG/mg Ex}$).

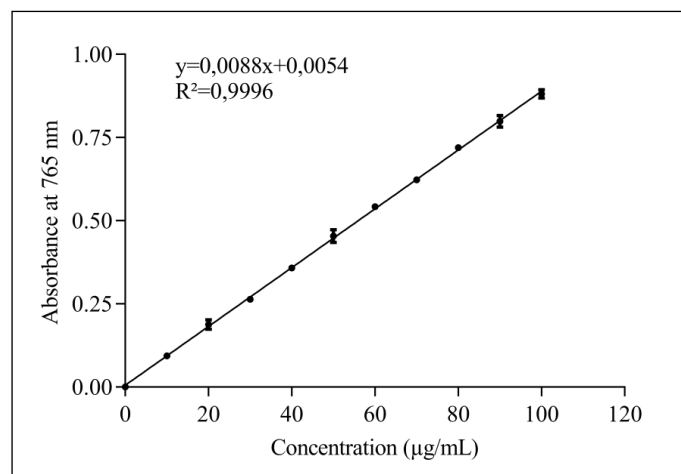


Figure 6. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique, Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n=3$).

Les résultats présentés dans le tableau IV montre que l'EMGN présente la teneur la plus élevée ($128,04 \pm 1,68 \mu\text{g EAG/mg E}$), suivi de l'EMGB ($96,44 \pm 1,11 \mu\text{g EAG/mg E}$). Ces teneurs révèlent une différence hautement significative ($p \leq 0,001$). Les extraits hexaniques montrent des teneurs très faibles et comparables ($4,34 \pm 0,10$ et $3,85 \pm 0,18 \mu\text{g EAG/mg E}$), sans différence notable ($p > 0,05$). Nos résultats sont supérieurs à ceux rapportés par **Yusnawan et al. (2021)**, qui ont étudié huit géotypes de *V. unguiculata* (L.) Walp., et ont montré que les extraits acétoniques (70%) de géotypes foncés de l'Indonésie, présentaient des teneurs en polyphénols plus élevées que les géotypes clairs, avec des valeurs comprises entre 15,20 et 21,15 mg EAG/g.

Zia-Ul-Haq et al. (2013), ont également trouvé que l'extrait méthanolique des graines blanches contient $19.32 \pm 0.1 \text{ mg EAG/g}$. Ces teneurs sont inférieures par rapport aux teneurs trouvées chez nos graines.

En revanche nos résultats sont inférieurs à ceux rapportés par **Tzanova et al. (2023)**, qui ont mis en évidence des teneurs en polyphénols totaux plus élevées dans les extraits éthanoliques obtenus par ultrasons, atteignant $277 \pm 3 \text{ mg GAE/g E}$ pour les graines blanches et $349 \pm 5,2 \text{ mg GAE/g E}$ pour les graines noires. Toutefois, une similitude a été observée

dans la tendance générale, les variétés foncées présentant systématiquement des teneurs en polyphénols plus importantes que les variétés claires.

Il convient de souligner qu'à notre connaissance, il n'existe pas d'études spécifiques portant sur les extraits hexaniques des variétés de niébé noir et blanc, ce qui limite les possibilités de comparaison directe avec nos résultats.

Yusnawan et al. (2021) ont étudié huit génotypes de *V. unguiculata* (L.) Walp., et ont montré que les génotypes foncés de l'Indonésie, présentaient des teneurs en polyphénols plus élevées que les génotypes clairs, avec des valeurs comprises entre 15,20 et 21,15 mg EAG/g, des résultats similaires à ceux obtenus dans notre étude.

De plus, **Sombié et al. (2018)** ont étudié 31 génotypes de *V. unguiculata* (L.) Walp., au Burkina Faso et ont observé que les extraits acétoniques des graines blanches présentaient des teneurs en polyphénols inférieures à celles obtenues dans notre étude dont les valeurs sont compris entre 63.14 ± 4.45 et 190.70 ± 21.13 mg EAG/g de la matière sèche.

La répartition des métabolites secondaires au cours du développement des graines est un processus dynamique influencé par des facteurs génétiques et environnementaux. **Palazón et Alcalde (2025)** soulignent que la biosynthèse des composés phénoliques varie selon les stades de maturation et les conditions de culture, telles que la température, l'eau et la lumière. Ainsi, la teneur en phénols des graines dépend à la fois du patrimoine génétique de la plante et des conditions environnementales. Plusieurs paramètres peuvent influencer directement la quantité de composés phénoliques obtenus lors de l'extraction, parmi ces facteurs, on retrouve notamment le site de récolte, la période de collecte, l'organe végétal choisi, la durée de séchage. De plus, la méthode d'extraction et le choix du solvant influencent fortement la quantité et la qualité des polyphénols (**Dai et Mumper, 2010; Zhang et al. 2018**).

4.3. Dosage des flavonoïdes totaux

La détermination de la teneur en flavonoïdes a été effectuée selon la méthode décrite par **Baali et al. (2024)**, reposant sur la formation de complexes entre les composés phénoliques et le trichlorure d'aluminium. L'évaluation quantitative a été réalisée à partir de la courbe d'étalonnage obtenue avec la quercétine préparée à différentes concentrations, en utilisant

l'équation de régression linéaire ($y = ax + b$) (figure 7). Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent quercétine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g EQ/mg Ex}$).

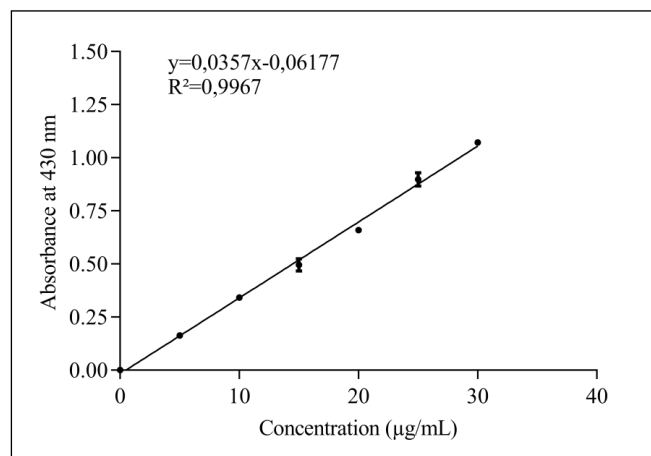


Figure 7. Courbe d'étalonnage de la quercétine, chaque point représente la moyenne \pm DS ($n=3$).

Les résultats du dosage quantitatif des flavonoïdes (Tableau IV) montrent que l'EMGN présente la teneur la plus élevée ($5,37 \pm 0,52 \mu\text{g EQ/mg E}$), suivi de l'EMGB ($1,40 \pm 0,04 \mu\text{g EQ/mg E}$) ($p \leq 0,001$). En revanche, les extraits hexaniques d'EMGN et EMGB montrent des teneurs très faibles et statistiquement similaires ($0,92 \pm 0,01$, $0,90 \pm 0,02 \mu\text{g EQ/mg E}$, respectivement) ($p > 0,05$). Globalement, les graines noires apparaissent plus riches en composés phénoliques et flavonoïdes que les graines blanches, ce qui pourrait être lié à des différences génétiques et à la pigmentation des graines. De plus, la supériorité des extraits méthanoliques confirme l'importance de la polarité du solvant dans l'extraction des métabolites secondaires.

Ces résultats sont également inférieurs aux valeurs rapportées par **Tzanova et al. (2023)**, sur différents type de niébé au Bulgarie, qui ont enregistré, pour l'extrait éthanolique, des teneurs de $17,4 \pm 0,9 \text{ mg EC/g}$ chez la variété noire et de $9,8 \pm 0,7 \text{ mg EC/g}$ chez la variété blanche. sur différents type de niébé au Bulgarie.

5. Activité antioxydante

5.1. Capacité antioxydante totale

La mesure de la CAT repose sur la réduction du molybdène (VI) en molybdène (V) par les composés présents dans les extraits végétaux, En milieu acide, cette réaction entraîne la

formation d'un complexe phosphate–molybdène (V), caractérisé par une coloration verdâtre (Prieto *et al.*, 1999).

Les résultats sont déterminés à partir de l'équation de régression linéaire ($y = ax + b$) de la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique à différentes concentrations (Figure 8).

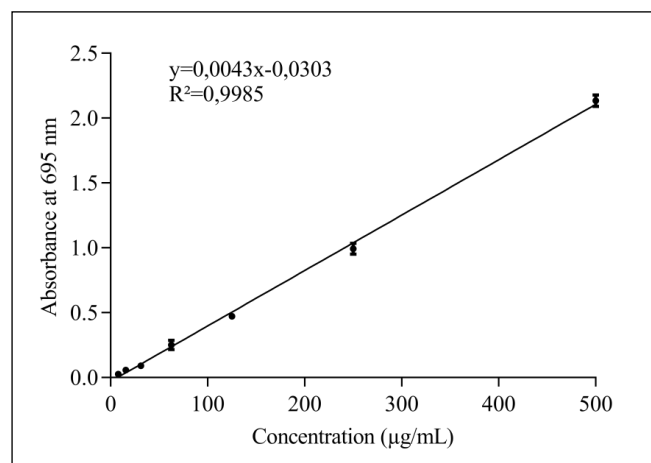


Figure 8. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique, Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n=3$).

Les résultats de la CAT des extraits sont présentés dans la figure 9 et les valeurs sont exprimées en μg équivalent d'acide ascorbique par mg d'extrait ($\mu\text{g EAA}/\text{mg Ex}$).

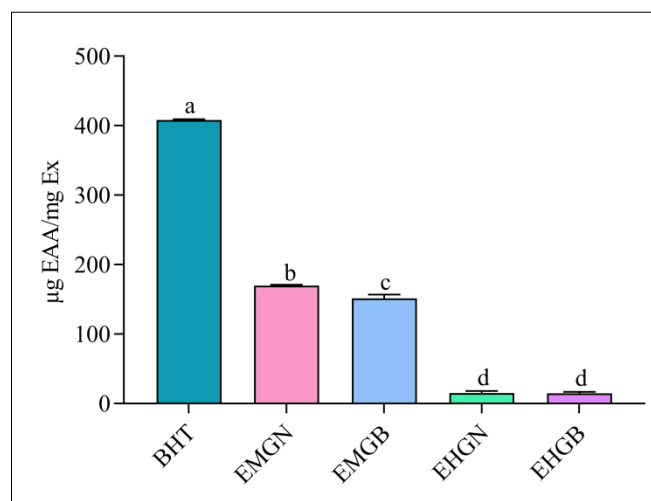


Figure 9. Capacité antioxydante totale des extraits de *V. unguiculata* (L.) Walp., et d'acide ascorbique. Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n=3$). EMGN: extrait méthanolique graines noires, EMGB : extrait méthanolique graines blanches, EHGN: extrait hexanique graines noires, EHGB : extrait hexanique graines blanches.

Les résultats montrent que l'EMGN présente une capacité antioxydante la plus élevée dont la CAT est de $169,80 \pm 1,08 \mu\text{g EAA/mg E}$, suivi de l'EMGB avec une CAT de $151,54 \pm 5,27 \mu\text{g EAA/mg E}$, mais ces résultats sont significativement inférieurs à celle du BHT dont la CAT est de $407,96 \pm 1,43 \mu\text{g EAA/mg E}$ ($p \leq 0,001$). Les EHGN et EHGB présente une CAT faible et similaire ($p > 0,05$) dont les CAT sont respectivement de $15,34 \pm 2,72$ et $14,72 \pm 2,02 \mu\text{g EAA/mg E}$.

Il convient de souligner qu'à notre connaissance, il n'existe pas d'études spécifiques portant sur les extraits méthanolique et hexaniques des variétés de niébé, ce qui limite les possibilités de comparaison directe avec nos résultats.

Ogundele et al. (2025), ont étudié les extraits éthanoliques de graines de *Canavalia ensiformis* (Jack bean), une espèce de la famille des Fabacées cultivée au Niger. Les résultats ont montré une capacité antioxydante de $53,15 \pm 4,30 \text{ mg EAA/g}$ pour les graines crues et de $48,00 \pm 4,50 \text{ mg EAA/g}$ pour les graines torréfiées. Ces valeurs demeurent inférieures à celles observées dans notre étude.

5.2. Test de DPPH

L'activité antioxydante des extraits a été déterminée par le test DPPH, une méthode couramment utilisée pour évaluer la capacité des composés à neutraliser les radicaux libres, Cette technique est largement reconnue dans les études phytochimiques en raison de sa facilité de mise en œuvre et de sa fiabilité pour quantifier l'activité antiradicalaire (**Akar et al., 2017; Kasote et al., 2019**).

A partir des valeurs obtenues de l'absorbance, le pourcentage d'inhibition des différents extraits et de l'acide ascorbique ont été calculés (Figure 10).

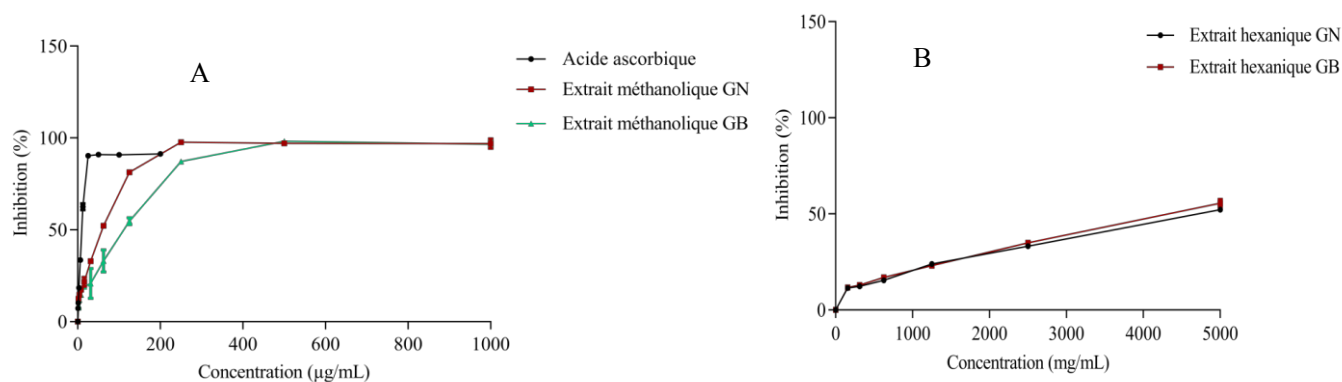


Figure 10. Activité antiradicalaire vis-à-vis du radical DPPH, A :du trolox et des extraits méthanoliques de *V. unguiculata* (L.) Walp., B: des extraits hexaniques. Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n=3$).

Les valeurs d'IC₅₀ pour les deux extraits et de l'acide ascorbique sont indiquées dans le tableau V.

Tableau V. IC₅₀ des extraits de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. et du standard (acide ascorbique).

Extraits	Test de DPPH (IC ₅₀ : µg/mL)
EMGN	58,89 \pm 0,80 ^b
EMGB	111,25 \pm 5,99 ^c
EHGN	4347,80 \pm 175 ^d
EHGB	4707,80 \pm 94 ^d
Acide ascorbique	9,80 \pm 0,24 ^a

Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n = 3$). Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$, test de Tukey). EMGN: extrait méthanolique graines noires, EMGB : extrait méthanolique graines blanches, EHGN: extrait hexanique graines noires, EHGB : extrait hexanique graines blanches.

Les résultats du test DPPH montrent une variation importante de l'activité antioxydante en fonction du type d'extrait et de la variété de *V. unguiculata* (L.) Walp., L'EMGN présente la plus forte activité antiradicalaire parmi les extraits étudiés, avec une IC₅₀ de 58,89 µg/mL, suivi de l'extrait méthanolique des graines blanches (IC₅₀ = 111,25 µg/mL). Les résultats du test DPPH de deux extraits révèlent une différence hautement significative ($p \leq 0,001$). En revanche, les extraits hexaniques des deux variétés EMGN et EMGB affichent une très faible

activité antioxydante dont les valeurs d'IC₅₀ sont de 4347,80±175 et 4707,80 ± 94 µg/mL sans différence significative ($p > 0,05$). La différence entre l'activité de deux extraits et l'acide ascorbique utilisé comme standard est statistiquement très significatives (9,80 ± 0,24 µg/mL) ($p \leq 0,001$).

Plusieurs études menées sur les graines de *V. unguiculata* (L.) Walp., celles de **Zia-Ul-Haq et al. (2013)** en Pakistan et **Tzanova et al. (2023)** en Bulgarie, révèlent que l'extrait méthanolique et éthanolique des graines blanches et noire possèdent une activité antiradicalaire de 32,5 ± 0,2 µmol Trolox/g E et 23.6 ±1.3 µmol Trolox /g E, respectivement.

Cependant, l'effet scavenger de l'extrait méthanolique des feuilles de *V. unguiculata* (L.) Walp., est presque le même que celui déterminé chez la même plante d'Inde (IC₅₀= 37.66±0.235 µg/mL) (**Londonkar & Awanti, 2015**).

Aman et al. (2024), ont rapporté une activité antioxydante importante pour l'extrait méthanolique des feuilles de *V. unguiculata* (L.) Walp., avec une valeur d'IC₅₀ de 81,3 µg/mL.

Plusieurs études ont mis en évidence, à travers différentes approches expérimentales, la capacité des extraits naturels à neutraliser les radicaux libres. Cette activité antioxydante est influencée par plusieurs paramètres, notamment la concentration utilisée, la structure chimique des molécules, la nature des groupements substituants ainsi que le degré de polymérisation (**Nagarajan et al., 2020**).

Plusieurs études ont mis en évidence que l'activité antiradicalaire déterminée par le test DPPH est étroitement corrélée à la teneur en polyphénols totaux des extraits. Cette corrélation s'explique par l'aptitude des composés phénoliques à céder des électrons ou des atomes d'hydrogène, leur permettant ainsi de neutraliser efficacement les radicaux libres, notamment le DPPH, En outre, la présence de groupements hydroxyles dans leur structure chimique confère aux polyphénols un important pouvoir réducteur ainsi qu'une capacité élevée à stabiliser les radicaux formés (**Hafshejani et al., 2023**).

5.3. Test d'ABTS

Le test ABTS est une méthode largement utilisée pour l'évaluation de l'activité antioxydante d'un large spectre de composés, Il repose sur la capacité des antioxydants à

neutraliser le radical cation ABTS^{•+}, une espèce stable et colorée utilisée comme système modèle, Cette neutralisation entraîne une diminution de l'intensité de la coloration, reflétant directement l'activité antioxydante des échantillons, Cette méthode est adaptée aussi bien aux composés hydrophiles que lipophiles et constitue une approche simple, rapide et fiable pour l'évaluation du potentiel antioxydant des extraits naturels (Cano *et al.*, 2023).

À partir des valeurs d'absorbance obtenues, les pourcentages d'inhibition des extraits ainsi que de l'antioxydant de référence (trolox) ont été déterminés (Figure 11). L'activité anti-radicalaire est ensuite évaluée à partir de la valeur IC₅₀, qui reflète le potentiel antioxydant des échantillons.

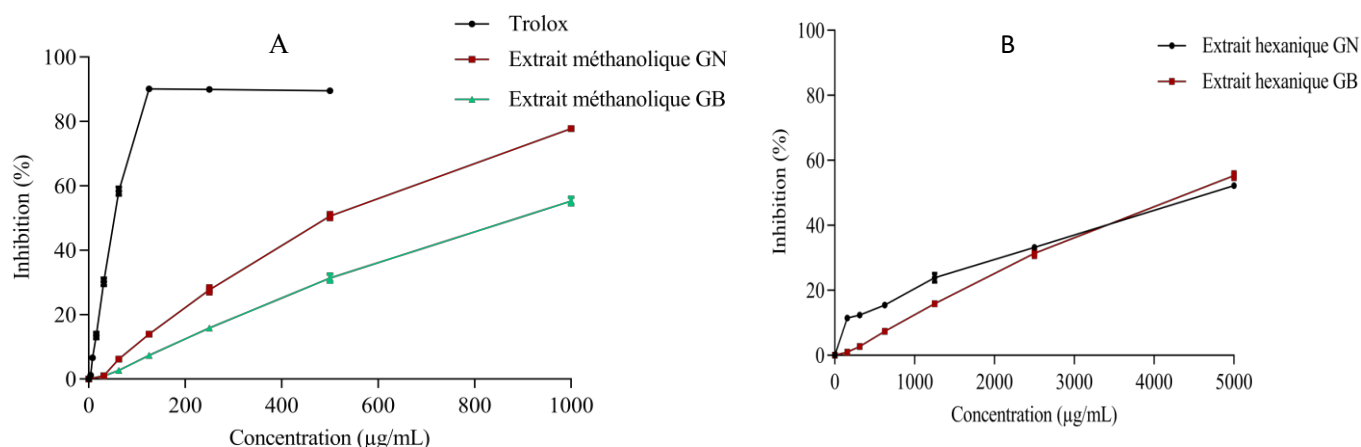


Figure 11. Activité antiradicalaire vis-à-vis du radical ABTS, A: du trolox et des extraits méthanoliques de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., B: des extraits hexaniques. Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n=3$).

Les valeurs d'IC₅₀ pour les deux extraits et de l'acide ascorbique sont indiquées dans le tableau VI.

Tableau VI. IC₅₀ des extraits de *Vigna unguiculata* (L.) Walp et du standard (acide ascorbique).

Extraits	Test d'ABTS (IC ₅₀ : µg/mL)
EMGN	494,57±13,34 ^b
EMGB	889,40±23,49 ^c
EHGN	4070±94 ^d
EHGB	4447±117 ^d
Trolox	53,72±2,00 ^a

Chaque valeur représente la moyenne ± DS ($n = 3$). Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$, test de Tukey). EMGN: extrait méthanolique graines noires, EMGB : extrait méthanolique graines blanches, EHGN: extrait hexanique graines noires, EHGB : extrait hexanique graines blanches.

Les résultats montrent que l'EMGN présente la meilleure activité antioxydante (IC₅₀ 494,57 ± 13,34 µg/mL), suivi de l'EMGB (889,40±23,49 µg/mL). Les résultats de l'activité antiradicalaire vis-à-vis du radical ABTS chez les deux extraits montrent une différence hautement significative ($p \leq 0,001$). En revanche, les deux extraits hexanique EHGN et EHGB montrent la plus faible activité antiradicalaire, dont les IC₅₀ sont respectivement de très 4070 ± 94 et 4447±117 µg/mL, sans différence significative ($p > 0,05$). Toutes ces activités sont inférieures à celle du trolox dont IC₅₀ est de 53,72±2,00 µg/mL.

Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux de **Firdousi et al. (2018)**, qui ont rapporté une IC₅₀ de 480 µg/mL pour les graines de *Vigna unguiculata* subsp. dans une étude réalisée en Inde.

Toutefois, Il n'existe pas de données spécifiques dans la littérature rapportant l'utilisation de solvants apolaires tels que l'hexane pour l'évaluation de l'activité antioxydante par le test ABTS dans les légumineuses.

5.4. Test de FRAP

Dans le prolongement de l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits, le test du pouvoir réducteur est une méthode couramment utilisée pour estimer le potentiel antioxydant des extraits. Cette méthode est basée sur la capacité des extraits à intervenir dans une réaction de réduction impliquant des ions ferriques en ions ferreux. Elle est largement employée en

raison de sa simplicité, de sa rapidité et de sa fiabilité, constituant ainsi un outil simple et reproductible pour caractériser l'activité réductrice des extraits naturels (Munteanu et Apetrei, 2021).

Les résultats présentés dans la figure 12 indiquent que la capacité de réduction du fer augmente avec la concentration, aussi bien pour les deux extraits que pour l'acide ascorbique utilisé comme standard.

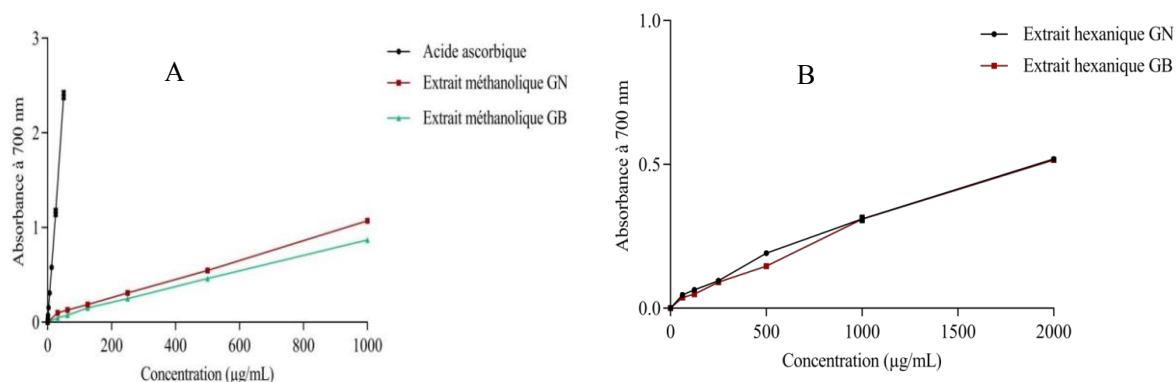


Figure 12. Pouvoir réducteur à 700 nm, A : du trolox et des extraits méthanoliques de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., B: des extraits hexaniques. Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n=3$).

Les valeurs d' $A_{0,5}$ pour les deux extraits et de l'acide ascorbique sont indiquées dans le tableau VII.

Tableau VII. $A_{0,5}$ des extraits de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., et du standard (acide ascorbique), Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n=3$),

Extraits	Test de FRAP ($A_{0,5}$: $\mu\text{g/mL}$)
EMGN	451,72 \pm 13,02 ^b
EMGB	548,66 \pm 8,82 ^c
EHGN	1909,07 \pm 2,36 ^d
EHGB	1927,50 \pm 16,47 ^d
Acide ascorbique	10,70 \pm 0,25 ^a

Chaque valeur représente la moyenne \pm DS ($n = 3$). Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$, test de Tukey). EMGN: extrait méthanolique graines noires, EMGB : extrait méthanolique graines blanches, EHGN: extrait hexanique graines noires, EHGB : extrait hexanique graines blanches.

Les résultats présentés dans le tableau VIII montrent que l'EMGN présente la meilleure activité réductrice ($A_{0,5} = 451,72 \pm 13,02 \mu\text{g/mL}$), suivi de l'EMGB avec une valeur de $548,66 \pm 8,82 \mu\text{g/mL}$. En revanche, les extraits hexaniques des graines noires et blanches affichent un faible pouvoir réducteur et sans différence significative dont les $A_{0,5}$ est de $1909,07 \pm 2,36$ et $1927,50 \pm 16,47 \mu\text{g/mL}$, respectivement ($p > 0,05$). La différence entre l'activité de deux extraits et l'acide ascorbique utilisé comme standard est statistiquement très significatives ($10,70 \pm 0,25 \mu\text{g/mL}$) ($p \leq 0,001$).

Nos résultats sont proches de ceux rapportés par **Zia-UI-Haq et al, (2013)**, qui trouvent des valeurs $A_{0,5}$ comprises entre 400 et 600 $\mu\text{g/mL}$ pour les extraits méthanoliques. Les résultats obtenus dans la présente étude sont cohérents avec ceux rapportés par **Mtolo et al. (2017)** dans une étude menée en Afrique du Sud. Ces auteurs ont évalué l'activité d'extraits méthanoliques de plusieurs cultivars de *V. unguiculata* (L.) Walp., et ont obtenu des valeurs comprises entre 400 et 480 $\mu\text{g/mL}$, ce qui concorde avec les résultats observés dans notre travail.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les légumineuses occupent une place importante dans l'alimentation humaine grâce à leur richesse nutritionnelle et à leur teneur en composés bioactifs d'intérêt biologique. Dans ce contexte, ce travail s'inscrit sur l'étude morphologique, biométrique, nutritionnelle, phytochimique et de l'évaluation de l'activité antioxydante de deux variétés de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., noire et blanche.

L'étude morphologique a montré que les deux variétés présentent une forme oblongue et en D avec un aspect lisse et brillant tandis que l'analyse biométrique a révélé des différences au niveau des dimensions, de l'indice de sphéricité et du poids de 1000 graines. Les résultats de l'analyse nutritionnelle ont montré que la variété noire de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., est relativement plus riche en protéines, lipides, glucides et cendres comparativement à la variété blanche, ce qui confirme sa valeur nutritionnelle importante.

L'extraction des composés bioactifs par le méthanol aqueux à 85 % et l'hexane pur a permis de montrer que l'extrait méthanolique de la variété noire de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., présente le rendement le plus élevé avec 3,92 %, suivi de l'extrait méthanolique de la variété blanche avec 2,99 %, tandis que les extraits hexaniques ont présenté des rendements plus faibles de 1,14 % et 0,66 %, respectivement.

La quantification des composés phénoliques par la méthode colorimétrique a mis en évidence une teneur nettement plus élevée dans les extraits méthanoliques que dans les extraits hexaniques. Les extraits méthanoliques des graines noires de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ont présenté la plus forte teneur en polyphénols totaux (128,04 µg EAG/mg Ex), suivis de ceux des graines blanches (96,44 µg EAG/mg Ex), tandis que les extraits hexaniques ont affiché des teneurs très faibles, inférieures à 5 µg EAG/mg Ex. De même, la teneur la plus élevée en flavonoïdes totaux a été enregistrée dans les graines noires, avec une valeur de 5,37 ± 0,52 µg EQ/mg Ex, confirmant que la pigmentation foncée est associée à une richesse plus élevée en métabolites secondaires.

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. a révélé une nette supériorité des extraits méthanoliques par rapport aux extraits hexaniques. Parmi les deux variétés étudiées, les graines noires ont présenté les meilleures

performances dans l'ensemble des tests, avec une capacité antioxydante totale de 169,80 µg EAA/mg Ex. De plus, cet extrait a démontré une forte capacité de piégeage des radicaux libres DPPH et ABTS, avec des valeurs d'IC₅₀ de 58,89 µg/mL et 494,57 µg/mL, respectivement. Il a également présenté un pouvoir réducteur important, caractérisé par une valeur d'A_{0,5} de 451,72 ± 13,02 µg/mL. En revanche, les extraits hexaniques ont montré une activité antioxydante nettement plus faible.

La richesse des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. en composés phénoliques, ainsi que leur importante activité antioxydante, pourrait justifier leur intérêt nutritionnel et leur utilisation dans l'alimentation traditionnelle, mais également leur potentiel dans la prévention de certaines maladies associées au stress oxydatif.

Cependant, des recherches complémentaires restent nécessaires afin de d'identifier les composés bioactifs responsables de l'activité antioxydante observée. À la lumière de ces résultats, plusieurs perspectives de recherche peuvent être envisagées :

- Identification et caractérisation des composés bioactifs par des techniques analytiques plus spécifiques (LC-MS, GC-MS).
- Tester d'autres activités biologiques et pharmacologiques des extraits notamment l'activité anti-inflammatoire, antibactérienne.
- Étude de l'effet des conditions de culture et de stockage sur la composition phytochimique et les activités biologiques des graines.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Abebe, B. K., & Alemayehu, M. T. (2022). A review of the nutritional use of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) for human and animal diets. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100383. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100383>
- Akar, Z., Küçük, M., & Dogan, H. (2017). A new colorimetric DPPH• scavenging activity method with no need for a spectrophotometer applied on synthetic and natural antioxidants and medicinal herbs, *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 32(1), 640-647, <https://doi.org/10.1080/14756366.2017.1284068>
- Alae-Carew, C., Nicoleau, S., Bird, F. A., Hawkins, P., Tuomisto, H.L., Haines, A., Dangour, A.D., & Scheelbeek, P.F.D. (2020). The impact of environmental changes on the yield and nutritional quality of fruits, nuts and seeds: A systematic review, *Environmental Research Letters*, 15(2), 023002, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5cc0>
- Albalasmeh, A. A., Berhe, A. A., et Ghezzehei, T. A. (2013). A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 253-261. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.072>
- Amadi, N. V., & Okorie, S. U. (2022). Measurement of engineering properties of three varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) seeds. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 16(3, Ser. II), 43-51. <https://doi.org/10.9790/2402-1603024351>
- Aman, S., Arora, N., & Arora, P. (2024). Antioxidant activity of methanolic extract of *Vigna unguiculata* leaves. *Asian Journal of Biological Research*, 27(4S), Article 5813. <https://doi.org/10.53555/AJBR.v27i4S.5813>
- Amawi, H., Ashby, C. R., Jr., Samuel, T., Peraman, R., & Tiwari, A. K. (2017). Polyphenolic nutrients in cancer chemoprevention and metastasis: Role of the epithelial-to-mesenchymal (EMT) pathway. *Nutrients*, 9(8), 911. <https://doi.org/10.3390/nu9080911>
- Anzara, G.R., Yao, K.G.A., Gbotto, A.A., Dago, K., Akaffou, D.S., & Zoro, B.I.A, (2024). Phenotypic characterization of different seed coat color of cowpea cultivars, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., in West-Central Côte d'Ivoire, *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 29(1), 247–254, <https://doi.org/10.30574/gscbps.2024.29.1.0391>
- AOAC (2005) Official method of Analysis. 18th Edition, Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC, Method 935.14 and 992.24.
- AOAC, (2012). Official methods of analysis, Association of official analytical chemist 19th edition, Washington D.C., USA.

- Aouachria, S., Boumerfeg, S., Benslama, A., Benbacha, F., Guemmez, T., Khennouf, S., & Baghiani, A. (2017). Acute, sub-acute toxicity and antioxidant activities (in vitro and in vivo) of *Reichardia picroide* crude extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 208, 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.06.028>
- Ashaolu, T. J., & Suttikhana, I. (2023). Plant-based bioactive peptides: A review of their relevant production strategies, in vivo bioactivities, action mechanisms and bioaccessibility. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 2228-2235. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16384>
- Assouguem, A., Annemer, S., Kara, M., & Lazraq, A. (2025). Innovative approaches in the extraction, identification, and application of secondary metabolites from plants, *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 94(6), 65750, <https://doi.org/10.32604/phyton.2025.065750>
- Avanza, M. V., Álvarez-Rivera, G., Cifuentes, A., Mendiola, J. A., & Ibáñez, E. (2021). Phytochemical and Functional Characterization of Phenolic Compounds from Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Obtained by Green Extraction Technologies. *Agronomy*, 11(1), 162. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010162>
- Avarre, J.-C., Le Quéré, A., Diangar, M. M., & Guèye, M. (2022). Le niébé, une alternative pour la souveraineté alimentaire des pays d'Afrique subsaharienne ? The Conversation France. <https://hal.science/hal-04048265>
- Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods used in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, 4(3), 196. <https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000196>.
- Barrientos-Riosalido, A., Bertran, L., Vilaró-Blay, M., Aguilar, C., Martínez, S., Paris, M., Sabench, F., Riesco, D., Binetti, J., Auguet, T. (2023). The role of olfactomedin 2 in the adipose tissue–liver axis and its implication in obesity-associated nonalcoholic fatty liver disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5221. <https://doi.org/10.3390/ijms24065221>
- Baali, F., Boudjelal, A., Smeriglio, A., Righi, N., Djemouai, N., Deghima, A., Bouafia, Z., & Trombetta, D. (2024). *Phlomis crinita* Cav. From Algeria: A source of bioactive compounds possessing antioxidant and wound healing activities. *Journal of Ethnopharmacology*, 331, 118295. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118295>
- Basra, A. S. (2006). *Handbook of seed science and technology*. Binghamton, NY: Food Products Press (an imprint of The Haworth Press, Inc.). ISBN 978-1-56022-314-6
- Basseddik, A., & Tellah, S. (2021). Ethnobotanical investigation and morphobiometric characterization of different cowpea seeds (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata* (L.) Walp.) in the Hoggar region (Algerian Sahara): Acquisition and future investment

- project for food security in Algeria. *Algerian Journal of Biosciences*, 2(2), 93–110. <https://doi.org/10.57056/ajb.v2i2.46>
- Beconcini, D., Felice, F., Fabiano, A., Sarmiento, B., Zambito, Y., & Di Stefano, R. (2020). Antioxidant and anti-inflammatory properties of cherry extract: Nanosystems-based strategies to improve endothelial function and intestinal absorption. *Foods*, 9(2),207. <https://doi.org/10.3390/foods9020207>
- Bentabet, N., Boucherit-Otmani, Z., & Boucherit, K. (2014). Phytochemical study and evaluation of the antioxidant activity of *Fredolia aretioides* root extracts of Algeria. *Phytothérapie*, 12(6), 364-371. <https://doi.org/10.1007/s10298-014-0834-x>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Blanche, A., & Capo-Chichi, D. C. (2015). La richesse en protéines des légumineuses, céréales et feuilles vertes communément consommées au Bénin. *Journal of Scientific and Sustainable Nutrition*, 3(1),1-15.
- Bondok, A. A. T., Saker, H. M., Abo-Marzoka, S. A., Saad-allah, K., & Rady,A.M. S. (2024). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) morpho-physiological and yield responses to chemical, organic, and biofertilizers at various watering levels utilizing drip irrigation system. *Plant Production Science*, 27(7), 1-15. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2340833>
- Borges, L. M., Simon, M. F., Moura, T. M., Queiroz, L. P., & Le Roux, M. (2025). Advances in Legume Systematics 15: Integrating knowledge on the legume family. *Brazilian Journal of Botany*, 48, 57. <https://doi.org/10.1007/s40415-025-01098-z>
- Boukar, O., Belko, N., Chamarthi, S., Togola, A., Batiemo, J., Owusu, E., Haruna, M., Diallo, S., Umar, M. L., Olufajo, O., & Fatokun, C. (2018). Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. *Plant Breeding*, 137(4), 415-424.
- Brás, L. P., Luís, Â., Chatel, G., Socorro, S., & Duarte, A. P. (2025). Stilbenes from vine extracts: Therapeutic potential and mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(17), 8269. <https://doi.org/10.3390/ijms26178269>
- Cano, A., Maestre, A. B., Hernández-Ruiz, J., & Arnao, M. B. (2023), ABTS/TAC methodology: Main milestones and recent applications, *Processes*, 11(1), 185, <https://doi.org/10.3390/pr11010185>
- Carneiro da Silva, A., da Costa Santos, D., Teixeira Junior, D. L., Bento da Silva, P., Cavalcante dos Santos, R., & Siviero, A. (2018). Cowpea: A strategic legume species for food security and health. In J. C. Jimenez-Lopez & A. Clemente (Eds.), *Legume seed nutraceutical research*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79006>

- Cases, E., et Cayot, P. (2024). Méthodes et dosages de protéines: Guide pratique. Dijon, France: Educagri éditions, 256p.
- Chaudhary, P., Janmeda, P., Docea, A. O., Yeskaliyeva, B., Abdull Razis, A. F., Modu, B., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2023). Oxidative stress, free radicals and antioxidants: Potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1158198. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1158198>
- Chaves, N., Santiago, A., & Alías, J. C. (2020). Quantification of the antioxidant activity of plant extracts: Analysis of sensitivity and hierarchization based on the method used. *Antioxidants*, 9(1), 76, <https://doi.org/10.3390/antiox9010076>
- Cui, Q., Du, R., Liu, M., & Rong, L. (2020). Lignans and their derivatives from plants as antivirals. *Molecules*, 25(1), 183. <https://doi.org/10.3390/molecules25010183>
- Dai, Jing & Mumper, Russell J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Davies, K. M., Jibrán, R., Zhou, Y., Albert, N. W., Brummell, D.A., Jordan, B.R., Bowman, J.L., & Schwinn, K. E. (2020). The evolution of flavonoid biosynthesis: A bryophyte perspective. *Frontiers in Plant Science*, 11, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00007>
- Devi, C. B., Kushwaha, A., & Kumar, A. (2015). Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6821–6827. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1832-1>
- DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., et Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Duraipandian, M., Poorani, K. E., Abirami, H., & Anusha, M. B. (2022). *Vigna unguiculata* (L.) Walp: A strategic crop for nutritional security, well-being and environmental protection. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.103025>
- Edet, O. U., Ubi, B. E., & Ishii, T. (2024). Genomic analysis of a spontaneous unifoliolate mutant reveals gene candidates associated with compound leaf development in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Scientific Reports*, 14, 10654. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-10654>
- Elshafie, H. S., Camele, I., & Mohamed, A. A. (2023). A comprehensive review on the biological, agricultural and pharmaceutical properties of secondary metabolites based-plant origin. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3266. <https://doi.org/10.3390/ijms24043266>

- Eseberri, I., Trepiana, J., Léniz, A., Gómez-García, I., Carr-Ugarte, H., González, M., & Portillo, M. P. (2022). Variability in the beneficial effects of phenolic compounds: A review. *Nutrients*, 14(9), 1925. <https://doi.org/10.3390/nu14091925>
- Firdousi, S., Chakraborty, R., & Roy, S. (2021). Nutritional and antioxidant properties of the seeds of *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.- An underutilized legume of West Bengal. *NBU Journal of Plant Sciences*, 13, 27–41. <https://doi.org/10.55734/NBUJPS.2021.v13i01.004>
- Garg, S. S., Gupta, J., Sharma, S., & Sahu, D.(2020). An insight into the therapeutic applications of coumarin compounds and their mechanisms of action. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 152,105424. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105424>
- Ghalmi, N., Malice, M., Jacquemin, J.-M., Ounane, S.-M., Mekliche, L., &Baudoin, J.-P. (2010). Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(3),371-386. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9476-5>
- Gülcin, I. (2025). Antioxidants: a comprehensive review. *Archives of Toxicology*, 99,1893-1997. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2>
- Hafshejani, S.F., Lotfi, S., Rezvannejad, E., Mortazavi, M., & Riahi-Madvar, A. (2023). Correlation between total phenolic and flavonoid contents and biological activities of 12 ethanolic extracts of Iranian propolis, *Food Science & Nutrition*, 11(7), 4308–4325, <https://doi.org/10.1002/fsn3.3356>
- Harouna, D. V., Venkataramana, P. B., Ndakidemi, P. A., & Matem, A. O. (2018). Under-exploited wild *Vigna* species potentials in human and animal nutrition: A review. *Global Food Security*, 18, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.06.002>
- Herniter, I. A., Muñoz-Amatriaín, M., & Close, T. (2020). Genetic, textual, and archeological evidence of the historical global spread of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *Legume Science*, 2(1), 57. <https://doi.org/10.1002/leg3.57>
- Houchi, R., Aid-Houchi, A., Amri, A., & Lekmache, M. (2013). Influence de la contrainte hydrique sur quelques composantes agronomiques du haricot dolique (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revue des Bioressources*, 10(1), 45–56.
- Iqbal, U., Wilairatana, P., Saqib, F., Nasir, B., Wahid, M., Latif, F., Iqbal, A., Naz, R., & Mubarak, M. S. (2023). Plant polyphenols and their potential benefits on cardiovascular health: A review. *Molecules*, 28(17), 6403. <https://doi.org/10.3390/molecules28176403>
- ISTA (1993) Seed Science and Technology 21-Supplement- Zurich, Switzerland.

- Jyoshna, M., et Saxena, N. (2021). Moisture content of the two varieties of cowpea *Vigna unguiculata* L. Seeds during storage. *Natural Volatiles & Essential Oils*, 8(4), 2745–2751.
- Karak, P. (2019). Biological activities of flavonoids: An overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(4), 1567-1574. [http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10\(4\).1567-74](http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10(4).1567-74)
- Kasote, D. M., Jayaprakasha, G. K. & Patil, B.S. (2019). Leaf disc assays for rapid measurement of antioxidant activity, *Scientific Reports*, 9(1), 1884, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38036-x>
- Kasote, D. M., Pawar, M. V., Gundu, S. S., Bhatia, R., Nandre, V. S., Jagtap, S. D., Kulkarni, M. V. (2019). Chemical profiling, antioxidant, and antimicrobial activities of *Indian stingless* bees propolis samples. *Journal of Apicultural Research*, 58(4), 617-625. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1584960>
- Kebede, E., & Yildiz, F. (2020). Grain legumes production and productivity in Ethiopian smallholder agricultural system, contribution to livelihoods and the way forward. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1722353. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1722353>
- Khan, A., Kanwal, F., Ullah, S., Fahad, M., Tariq, L., Altaf, M. T., Riaz, A., & Zhang, G. (2025). Plant secondary metabolites- Central regulators against abiotic and biotic stresses. *Metabolites*, 15(4), 276. <https://doi.org/10.3390/metabo15040276>
- Khebou, Y. (2022). Détermination de la teneur en azote et en protéines par la méthode Kjeldahl. National Institute of Applied Sciences and Technology (INSAT).
- Kim, D.K., Iwar, K., Ochar, K., Park, S.Y., Go, E.B., Lee, K.D., & Kim, S.H. (2024). Cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivation and breeding in the Republic of Korea: Advances and future perspectives. *Agronomy*, 14(11), 2679. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112679>
- Kirarei, K. E., Pixley, K. K., Pascaline, J., & Ezekiel, K. K. (2024). An overview on the taxonomy, distribution, production and economic importance of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Journal of Crops, Livestock and Pests Management*, 2(3), 1-14.
- Kisiriko, M., Anastasiadi, M., Terry, L. A., Yasri, A., Beale, M. H., & Ward, J. L. (2021). Phenolics from medicinal and aromatic plants: Characterisation and potential as biostimulants and bioprotectants. *Molecules*, 26(21), 6343. <https://doi.org/10.3390/molecules26216343>
- Kocherane, R., Krouchi, F., & Derridj, A. (2019). Genetic resources of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in Algeria: Insight from pod and seed morphology. *Agrobiologia*, 9(2), 1581–1600.

- Kotha, R. R., Tareq, F. S., Yildiz, E., & Luthria, D. L. (2022). Oxidative stress and antioxidants- A critical review on in vitro antioxidant assays. *Antioxidants*, 11(12), 2388. <https://doi.org/10.3390/antiox11122388>
- Kotynia, A., Krzyżak, E., Żądło, J., Witeczak, M., Szczukowski, Ł., Mucha, J., Świątek, P., & Marciniak, A. (2024). Anti-inflammatory and antioxidant pyrrolo[3,4-d]pyridazinone derivatives interact with DNA and bind to plasma proteins—Spectroscopic and in silico studies. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3), 1784. <https://doi.org/10.3390/ijms25031784>
- Koura, K., Ouidoh, P., Azokpota, P., Ganglo, J. C., & Hounhouigan, D. J. (2014). Caractérisation physique et composition chimique des graines de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. en usage au Nord-Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 75(1), 6239. <https://doi.org/10.4314/jab.v75i1.4>
- Krishnamurthy, H. K., Pereira, M., Rajavelu, I., Jayaraman, V., Krishna, K., Wang, T., Bei, K., & Rajasekaran, J. J. (2024). Oxidative stress: Fundamentals and advances in quantification techniques. *Frontiers in Chemistry*, 12, 1470458. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1470458>
- Ku, Y.S., Contador, C. A., Ng, M.S., Yu, J., Chung, G., & Lam, H.M. (2020). The effects of domestication on secondary metabolite composition in legumes. *Frontiers in Genetics*, 11, Article 581357. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.581357>
- Li, H. Y., Hao, Z. B., Wang, X. L., Huang, L., & Li, J. P. (2009). Antioxidant activities of extracts and fractions from *Lysimachia foenum-graecum* Hance. *Bioresource Technology*, 100(2), 970-974. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.021>
- Libra, M. A., Diby, N. A. S., Bamba, B. S., & Dosso, M. (2025). Physicochemical, bioactive compounds and functional properties of flours from three cultivars of dehydrated cowpea seeds (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 27(3), 1043-1053, <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.27.3.2941>
- Likibi, M. S. A. T., Diamouangana, J., & Yoka, J. (2020). Évaluation de la production du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en rapport avec les différents fertilisants dans la vallée du Niari (Congo). *Afrique Science*, 16(2), 10-21.
- Londonkar, R.L., & Awanti, B.S. (2015). Antioxidant activity of methanolic extract of *Vigna unguiculata*, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(3), 538-543.
- Losada-Barreiro, S., Sezgin-Bayindir, Z., Paiva-Martins, F., & Bravo-Díaz, C. (2022). Biochemistry of antioxidants: Mechanisms and pharmaceutical applications. *Biomedicines*, 10(12), 3051. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10123051>

- Macheix, J.J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: Un exemple de métabolites secondaires. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. ISBN: 9782880746254
- Mahgoub, S. M. and Joval, A. (1994). Seed Laboratory Manual, National Tree Center Project, Soba, Sudan.
- Masengo, C. A., Ilumbe, G. B., Mudogo, V., Mpiana, P. T., & Ngbolua, J.P. K.T.N. (2025). Étude ethnobotanique, phytochimique, pharmacologique et synthèse biogénique des nanocomposites dérivés de *Vigna unguiculata*. Ressources Naturelles et Foresterie, 13(4). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17709874>
- Mikail, H. G., Mohammed, M., Umar, H. D., & Suleiman, M. M. (2022). Secondary metabolites: The natural remedies. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101791>
- Mogale, E. T., Ayisi, K. K., Munjonji, L., & Kifle, Y. G. (2023). Biological nitrogen fixation of cowpea in a no-till intercrop under contrasting rainfed agro-ecological environments. Sustainability, 15(3), 2244. <https://doi.org/10.3390/su15032244>
- Molino, S., Francino, M. P., & Rufián Henares, J. Á. (2023). Why is it important to understand the nature and chemistry of tannins to exploit their potential as nutraceuticals? Food Research International, 173(Part 2), 113329. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113329>
- Mora, J., Pott, D. M., Osorio, S., & Vallarino, J. G. (2022). Regulation of plant tannin synthesis in crop species. Frontiers in Genetics, 13, 870976. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.870976>
- Mtolo, M., Gerrano, A., & Mellem, J. (2017). Effect of simulated gastrointestinal digestion on the phenolic compound content and in vitro antioxidant capacity of processed Cowpea (*V. unguiculata*) cultivars. CYTA-Journal of Food, 15(3), 391–399. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1285816>
- Munteanu, I.G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review, International Journal of Molecular Sciences, 22(7), 3380, <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Musah, M., Ndamitso, M.M., Yerima, H., Mathew, J.T., & Iwuchukwu, G.O. (2020). Nutritional assessment of *Vigna unguiculata* sub spp, sesquipedalis seeds, Communication in Physical Sciences, 5(4), 446-454.
- Nadjiam, D., Doyam, A. N., & Bedingam, L. (2015). Étude de la variabilité agromorphologique de quarante-cinq cultivars locaux de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de la zone soudanienne du Tchad, Afrique Science, 11(3), 138-151.

- Nagarajan, S., Nagarajan, R., Kumar, J., Salemme, A., Togna, A. R., Saso, L., & Bruno, F. (2020). Antioxidant activity of synthetic polymers of phenolic compounds, *Polymers*, 12(8), 1646, <https://doi.org/10.3390/polym12081646>
- Naz R., Ayub H., Nawaz S., Islam Z.U., Yasmin T., Bano A. & Roberts T.H. (2017). Antimicrobial activity, toxicity and anti-inflammatory potential of methanolic extracts of four ethnomedicinal plant species from Punjab, Pakistan. *BMC Complement Altern Med.*17(1): 302-315. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1815-z>.
- Omage, Z., and Ikhajigbe, B. (2021). Variations in phenotypic characteristics of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seeds sourced from open markets in Benin City, Nigeria. *agriRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.31220/agriRxiv.2021.00102>
- Ogundele, J. O., Jegede, T. F., Akinyelu, J., Oseni, M. O., Adesemuyi, F. M., Abiodun, O. M., Momod, D. U., & Oyebanji, A. O. (2025). Effects of roasting on antioxidant activities of ethanol extracts of Jack Beans (*Canavalia ensiformis*) seeds. *ChemClass Journal*, 9(1). <https://doi.org/10.33003/>
- Palanga, K. K., Dagnon, Y. D., Bawa, A., Bammite, D., Akabassi, G. C., & Tozo, K. (2025). Évaluation de la gestion traditionnelle et de la diversité génétique des variétés locales de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivées au Togo. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 43, Article 2660. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.2660>
- Palazón, J., & Alcalde, M. (2025). Secondary metabolites in plants. *Plants*, 14(14), 2146. <https://doi.org/10.3390/plants14142146>
- Pan, L., Liu, M., Kang, Y., Wang, Y., Zhang, X., & Li, J. (2023). Comprehensive genomic analyses of *Vigna unguiculata* provide insights into population differentiation and the genetic basis of key agricultural traits. *Plant Biotechnology Journal*, 21(7), 1426-1439. <https://doi.org/10.1111/pbi.14234>
- Panzeri, D., Guidi Nissim, W., Labra, M., & Grassi, F. (2022). Revisiting the domestication process of African *Vigna* species (Fabaceae): Background, perspectives and challenges. *Plants*, 11(4), 532. <https://doi.org/10.3390/plants11040532>
- Panzeri, D., Guidi Nissim, W., Labra, M., & Grassi, F. (2022). Revisiting the domestication process of African *Vigna* species (Fabaceae): Background, perspectives and challenges, *Plants*, 11(4), 532, <https://doi.org/10.3390/plants11040532>
- Pasquet, R. S. (1998). Morphological study of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp.: Importance of ovule number and definition of cv gr Melanophthalmus. *Agronomie*, 18(1), 61–70.
- Patel, P, M,, Jadav, U, B,, Viradiya, Y, A,, & Barad, A, V, (2025). Characterization of cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp genotypes based on morphology, *International*

- Journal of Agriculture and Food Science, 7(6), 259-263, <https://www.doi.org/10.33545/2664844X,2025,v7,i6b,446>
- Plants of the World Online. (2026). *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Royal Botanic Gardens, Kew. Consulté le 15 mai 2026, sur <https://powo.science.kew.org/taxon/101661-3>
- Popovici, C., Saykova, I., & Tylkowskib. (2010). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industriel*, (4), 1-8.
- Prabhu, S., Molath, A., Choksi, H., Kumar, S., & Mehra, R. (2021). Classifications of polyphenols and their potential application in human health and diseases. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*,6(1), 293-301. <https://doi.org/10.22271/journalofsport.2021.v6.ile.2236>
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a Phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337-341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
- Ramalingam, A., Kudapa, H., Pazhamala, L. T., Weckwerth, W., & Varshney, R. K. (2015). Proteomics and metabolomics: Two emerging areas for legume improvement. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01116>
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2014). *Biologie végétale* (3 éd.). De Boeck Supérieur. ISBN 978-2-8041-8156-7
- Raveneau M. P. (2012). Effet des vitesses de dessiccation de la graine et des basse températures sur la germination du pois protéagineux. Thèse de doctorat en Biologie cellulaire et moléculaire végétale. Université d'Angers, 137p.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26 (9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Richard,T.,Temsamani,H., Delaunay, J.-C., Krisa, S., & Mérillon, J.-M. (2014). Stilbènes: De la chimie à la neuroprotection [Stilbenes: From chemistry to neuroprotection]. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 49(4), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2014.03.001>
- Sarr, A., Bodian, A., Gueye, M. C., Gueye, B., Kanfany, G., Diatta, C., Bougma, L. A., Diop, E. A. M. C., Cissé, N., Diouf, D., & Leclerc, C. (2022). Ethnobotanical study of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Senegal. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 18(6), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s13002-022-00506-y>

- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Latha, L. Y. (2010). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants' extracts. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 8(1), 1-10.
- Singh, B. (2022). Cowpea: The food legume of the 21st century. p17
- Sombié, P.A.E. D., Compaoré, M., Coulibaly, A. Y., Ouédraogo, J. T., Tignégré, J.B. D. L. S., & Kiendrébégo, M. (2018). Antioxidant and Phytochemical Studies of 31 Cowpeas (*Vigna unguiculata* (L. Walp.) Genotypes from Burkina Faso. *Foods*, 7(9), 143. DOI: [10.3390/foods7090143](https://doi.org/10.3390/foods7090143)
- Sardar, H., Hadi, F., Alam, W., Halawani, I. F., Alzahrani, F. M., Saleem, R. A., Cerqua, I., Khan, H., & Capasso, R. (2024). Unveiling the therapeutic and nutritious potential of *Vigna unguiculata* in line with its phytochemistry. *Heliyon*, 10(18), e37911. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37911>
- Sowe, M. S., Etonihu, A. C., Tarigan, I. L., & Muadifah, A. (2025). Secondary metabolites of the Fabaceae plant family: A review of extraction methods, molecules and bioactivity. *Chempublish Journal*, 9(1), Article 36964. <https://doi.org/10.22437/chp.v9i1.36964>
- Suriya, S., & Selvaraj, C. I. (2025). Salinity stress tolerance in *Vigna* species: Insights into adaptive responses and innovative approaches for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1735056. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1735056>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2003). *Plant physiology* (3^e éd.). Sunderland, MA: Sinauer Associates. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>
- Timko, M. P., & Singh, B. B. (2008). Cowpea, a multifunctional legume. *Genomics of Tropical Crop Plants*, 227-258.
- Tumilaar, S. G., Hardianto, A., Dohi, H., & Kurnia, D. (2024). A comprehensive review of free radicals, oxidative stress, and antioxidants: Overview, clinical applications, global perspectives, future directions, and mechanisms of antioxidant activity of flavonoid compounds. *Journal of Chemistry*, (1), Article 5594386. <https://doi.org/10.1155/2024/5594386>
- Tzanova, M. T., Stoilova, T. D., Todorova, M. H., Memdueva, N. Y., Gerdzhikova, M. A., & Grozeva, N. H. (2023). Antioxidant potentials of different genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivated in Bulgaria, Southern Europe. *Agronomy*, 13(7), 1684. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071684>
- Umirzaqova, G. E. (2025). General information about the legume family (Fabaceae). *International Multidisciplinary Journal for Research & Development*, 12(7). <https://doi.org/10.71337/inlibrary.uz.imjrd.125983>

- Vasconcelos, I. M., Maia, F. M. M., Farias, D. F., Campello, C. C., Carvalho, A. F. U., Moreira, R. A., & Oliveira, J. T. A. (2010). Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(1), 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.05.008>
- Vongsak, B., Sithisarn, P., Mangmool, S., Thongpraditchote, S., Wongkrajang, Y., & Gritsanapan, W. (2013). Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf extract by the appropriate extraction method. *Industrial Crops and Products*, 44, 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.021>
- Wink, M. (2013). Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae). *South African Journal of Botany*, 89, 164-175. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.06.006>
- Xiao, F., Li, H.-L., Yang, B., Che, H., Xu, F., Li, G., Zhou, C.-H., & Wang, S. (2024). Disulfidptosis: A new type of cell death. *Apoptosis*, 29, 1309-1329. <https://doi.org/10.1007/s10495-024-01989-8>
- Yeddes, N., Chérif, J. K., Jrad, A., Barth, D., & Trabelsi-Ayadi, M. (2012). Supercritical SC-CO₂ and Soxhlet n-hexane extract of Tunisian *Opuntia ficus indica* seeds and fatty acids analysis. *Journal of Lipids*, Article 914693. <https://doi.org/10.1155/2012/914693>
- Yeshi, K., Crayn, D., Ritmejeryte, E., & Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses has potential application in pharmaceutical product development. *ecules*, 27(1), 313. <https://doi.org/10.3390/molecules27010313>
- Yusnawan, E., Inayati, A., & Baliadi, Y. (2021). Total phenolic content and antioxidant activity in eight cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924(1), 012047, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012047>
- Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Baranova, E. N., & Aksenova, M. A. (2023). Polyphenols in plants: Structure, biosynthesis, abiotic stress regulation, and practical applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 13874. <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>
- Zahir, I., Er-Rahmany, A., Es-Sadouny, R., & El Hadri, I. (2020). Activités biologiques de *Tetraclinis articulata*: revue de synthèse. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 89, 91–114. <https://doi.org/10.25518/0037-9565.9644>
- Zhang, Q.W., Lin, L.G., Ye, W.C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese medicine*. 13:1-26.
- Zhao, Y., Zhang, R., Jiang, K.W., Yi, T.S., Huang, C.H., & Ma, H. (2021). Nuclear phylotranscriptomics and phylogenomics support numerous polyploidization events and

hypotheses for the evolution of rhizobial nitrogen-fixing symbiosis in Fabaceae. *Molecular Plant*, 14(5), 748–773. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.02.006>

Zia-Ul-Haq, M., Ahmad, S., Amarowicz, R., & De Feo, V. (2013). Antioxidant activity of the extracts of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars commonly consumed in Pakistan, *Molecules*, 18(2), 2005–2017, <https://doi.org/10.3390/molecules18022005>

Zondi, L. (2025). *Vigna unguiculata*. Walter Sisulu National Botanical Garden, South African National Biodiversity Institute.

ANNEXES

Appareillages utilisés dans l'étude



Extracteur Soxhlet



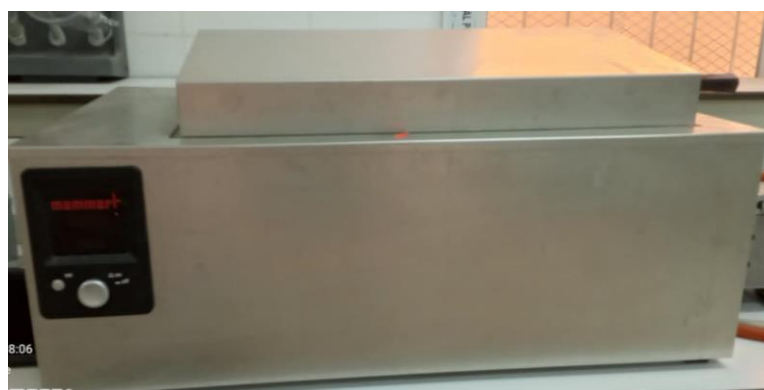
Evaporateur rotatif



Etuve



Spectrophotomètre



Etuve



Appareil Kjeldahl



Agitateur Vortex



Four à moufle

Faculté des sciences de la nature et
de la vie et sciences de la terre

Département de Biologie

جامعة غرداية



Université de Ghardaïa

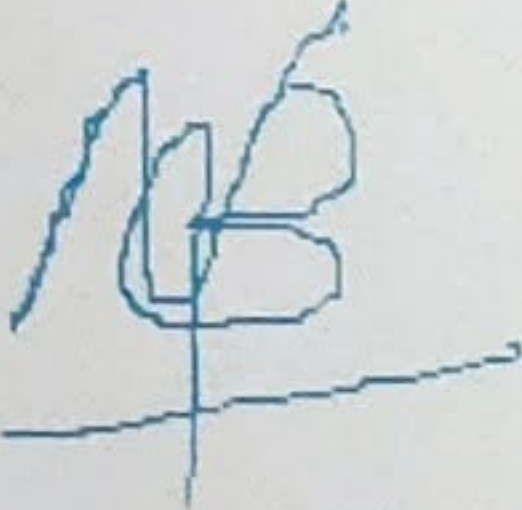

كلية علوم الطبيعة و الحياة
وعلوم الأرض

قسم البيولوجيا

Ghardaïa le : 20/06/2026

Rapport : Correction du mémoire

Enseignant (e) (s) Chargé (e) de la correction :

Nom et prénom l'examineur 1 et Signature	Nom et prénom de l'examineur 2 et Signature	Nom et prénom de président et Signature
NABI Ikram 	/	ADDOUN Noura 

Thème : Étude des traits morphologiques, des caractéristiques nutritionnelles et phytochimiques, ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Après les corrections apportées au mémoire, Les étudiantes :

YAHIA Malika

Sont autorisées à déposer le manuscrit au niveau du département.

Signature

ADDOUN Noura

