

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
scientifique



N°Ref :.....

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master(Start-up)

Domaine : Science de la Nature de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

**VALORISATION DES TOURTEAUX ET
PRODUCTION D'ALIMENT POUR VOLAILLES**

Préparé par :

- ✓ Boudjedaa Ryane
- ✓ Boumenakh Djihan

Devant le jury :

Présidente : Mme BOUASSABA Karima

MCA Centre Universitaire de Mila

Examineur : Mme HIMOUR Sara

MCA Centre Universitaire de Mila

Encadreur : Mme KHERIEF NACEREDDINE Saliha

MCA Centre Universitaire de Mila

Co-encadreur : Mme BOUKERIA.Sabah

MCA Centre Universitaire de Mila

Co-encadreur : Mr BOURIHAN Farouk

MCA Centre Universitaire de Mila

Année Universitaire : 2024-2025



{اقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ① خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ② اقْرَأْ وَرَبُّكَ
الْأَكْرَمُ ③ الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ④ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ⑤}

[سورة العلق: 1- 5]

Remerciements

Au terme de ce travail, nous souhaitons tout d'abord exprimer notre gratitude la plus sincère envers Dieu Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce mémoire. Sa bénédiction et Son soutien ont constitué une source constante de réconfort et de motivation face aux défis rencontrés.

Nos remerciements les plus respectueux s'adressent à Madame BOUASSABA Karima la Présidente du jury, ainsi qu'à l'ensemble des membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail. Nous tenons à saluer leur disponibilité, leur rigueur scientifique et la pertinence de leurs observations, qui ne manqueront pas de contribuer à l'amélioration et à l'enrichissement de notre recherche.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance profonde à nos encadreurs, dont l'implication constante et le suivi méthodologique ont été déterminants pour l'élaboration de ce mémoire.

- À Madame KHERIEF NACEREDDINE Saliha pour la qualité de son accompagnement, ses remarques constructives et son encadrement rigoureux qui ont grandement enrichi notre réflexion scientifique.
 - À Madame BOUKERIA Sabah, pour sa disponibilité constante, ses conseils éclairés et son engagement professionnel exemplaire.
 - À Monsieur BOURIHAN Farouk pour son soutien méthodologique, sa rigueur académique et sa vision pratique, qui ont été essentiels à l'avancement de notre travail.
- Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude pour leur encadrement généreux, leur patience et leur confiance.

Nous exprimons également nos vifs remerciements à Monsieur Fouad BEN DJEDDOU, Directeur de l'Institut Technique pour le Développement de l'Agriculture Saharienne de BISKRA, pour l'accueil qu'il nous a réservé et l'appui logistique qu'il nous a accordé dans le cadre de la réalisation de notre volet pratique.

Nos remerciements s'adressent aussi à Madame Wafa MOUSSA, Directrice de la Ferme de démonstration, pour sa précieuse collaboration, sa disponibilité et les conseils techniques qu'elle a bien voulu partager avec nous.

Nous ne saurions omettre de remercier l'ensemble des enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre formation universitaire. Par la qualité de leur enseignement, leur rigueur scientifique et leur engagement pédagogique, ils ont su éveiller en nous le goût de la recherche et renforcer notre curiosité intellectuelle.

Enfin, nous adressons notre reconnaissance à nos camarades de promotion 2025, pour l'esprit de partage, d'entraide et de solidarité qui a marqué notre parcours. Leur présence bienveillante et leurs échanges stimulants ont contribué à faire de cette expérience un moment inoubliable, tant sur le plan humain qu'académique.



Dédicace

Avant tout, je remercie Dieu, Le Très-Haut, pour Sa grâce infinie, Son aide dans les moments difficiles et pour avoir illuminé mon chemin jusqu'à ce jour.

À moi-même, Pour chaque nuit blanche, chaque moment de doute, chaque effort silencieux... Tu as tenu bon. Ce travail est le fruit de ta persévérance.

À mes chers parents, Merci pour votre amour sans limites, vos prières silencieuses et votre soutien constant. Vous êtes ma plus grande force. À mes frères et sœurs : Ahmed, Nourhan et Tasnim, Merci pour votre présence réconfortante, vos mots doux, et pour avoir été là dans les bons comme dans les mauvais jours. Je vous aime profondément.

À l'âme de mon grand-père, Tu n'es plus là, mais ton souvenir vit en moi. Ce succès t'est dédié, en hommage à ton amour et ta sagesse.

À toutes les personnes que j'aime, Merci d'avoir été à mes côtés, de près ou de loin. Votre soutien a compté plus que vous ne pouvez l'imaginer.

À mes professeurs, Merci pour votre patience, vos conseils et pour avoir partagé avec nous votre savoir avec tant de générosité. À mon binôme Djihan,

Merci pour ton esprit collaboratif et ta participation précieuse tout au long de ce parcours académique

. Je te souhaite un avenir prometteur,

rempli d'opportunités et de réussites

à la hauteur

de ton mérite. Enfin, à toutes celles et ceux

qui ont cru en moi

, même en silence, Merci du fond du cœur.

Ce travail vous rend hommage aussi

Ryane

Dédicace

Louange à Dieu, par Sa grâce les bonnes œuvres s'accomplissent.

Chaque jour qui passe, je remercie Dieu, le Tout-Puissant, et je Le prie de me donner la force de poursuivre le chemin qu'Il a tracé pour moi, et de m'accorder la réussite dans ce que j'ai entrepris. Que ce travail soit le fruit des efforts, de la patience et de la persévérance.

Je dédie humblement ce travail à : Mes chers parents, Abdelhakim et Fatima, lumière de ma vie et piliers sur lesquels je me suis toujours appuyée. Aucun mot ne saurait exprimer tout l'amour, la reconnaissance et la gratitude que je vous dois. Que Dieu vous bénisse, vous protège, et vous garde précieusement pour nous. À mes frères bien-aimés : Mesbah, Redouane et Sami, toujours présents à mes côtés, je vous remercie pour votre soutien, vos encouragements constants et votre présence rassurante tout au long de mon parcours.

À mes sœurs adorées : Siham, Lobna, Alima, Hayat, Bisma, ainsi qu'à ma belle-sœur Nesrine, merci pour votre chaleur, votre tendresse et votre appui sincère à chaque étape de ma vie.

À mes petites princesses de la famille : Ritaj, Noursine, Ariam, Abrar, Ranime, Afiane, Sidra Al-Montaha et Ratile, vous êtes la joie et la lumière de la maison ; votre présence est un bonheur inestimable.

À mes neveux bien-aimés : Sajad, Baher, Youssef, Mohamed et Oussayd, vous êtes l'espoir et la promesse de l'avenir. Que Dieu vous protège et vous bénisse.

À ma collègue et compagne de parcours, Rayan, je te remercie sincèrement pour ton soutien et ta présence. Je te souhaite encore plus de réussites.

À toutes les personnes qui m'ont soutenue, de près ou de loin, je vous adresse ma reconnaissance du fond du cœur. Que Dieu vous récompense.

Et enfin...

Je dédie ce travail à celle qui a lutté, veillé, rêvé et finalement réussi

À moi-même. Alhamdoulillah

Djihan



SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

Résumé

Introduction généralea

Partie 1:Synthèse Bibliographique

Chapitre I:Alimentation avicole en tourteaux : besoins nutritionnels et sources

I.1. Généralités sur les volailles 5

I.1.1. Production avicole à l'échelle mondiale5

I.1.2. Filiaire avicole en Algérie..... 6

I.2. Besoins nutritionnels des volailles 8

I.2.1 Besoins en eau8

I.2.2 Besoins en énergie.....8

I.2.3 Besoins en protéines9

I.2.4 Besoins en vitamines.....9

I.2.5 Besoins en énergie.....10

I.3 Aliments complets pour volailles11

I.3.1 Matières premières riches en énergie utilisées dans l'alimentation des volailles12

I.3.1.1 Céréales12

I.3.2 Matières premières riches en protéines utilisées en alimentation des volailles15

I.3.2.1 Tourteaux des oléagineuses15

I.3.2.2 Types de tourteaux15

I.4 Forme de présentation de l'aliment18

Chapitre II : Maîtrise du processus de production et optimisation des tourteaux

II.1 Processus de production et facteurs influençant la qualité des tourteaux24

II.1.1 Les étapes de production des tourteaux.....24

II.1.1.1 Tourteaux des sojas24

II.1.1.2 Tourteaux de colzas24

II.1.1.3. Tourteaux de sésame25

II.2 Facteurs influençant la qualité des tourteaux (soja, colza, sésame)	25
II.2.1 Tourteaux de soja.....	25
II.2.1.1 Type de graine utilisée.....	25
II.2.1.2 Conditions du traitement	26
II.2.1.3 Stockage et conservation des tourteaux de soja	26
II.2.2 Tourteaux de colza.....	27
II.2.2.1. Type de graines	27
II.2.2.2. Conditions du traitement	27
II.2.2.3. Stockage et conservation des tourteaux de colza	28
II.2.3 Tourteaux de sésame	29
II.2.3.1 Type de graines	29
II.2.3.2. Conditions de traitements	30
II.2.3.3. Stockage et conservation	30
II.3 Amélioration de la valeur nutritionnelle des tourteaux (Soja , Colza, Sésame)	31
II.3.1. Facteurs antinutritionnels dans les tourteaux.....	31
II.3.1.1 Définition	31
II.3.1.2. Les composés antinutritionnels des tourteaux	31
II.3.1.3 Composition nutritionnelle des tourteaux	33
II.4 Traitements pour réduire les facteurs anti nutritionnels	37
II.4.1 Tourteaux de soja.....	37
II.4.1.1 Traitements thermiques (FTS)	37
II.3.1.2. Fermentations en milizu solide	37
II.4.1.3. Traitements enzymatiques	38
II.4.2. Tourteaux de colzas	38
II.4.2.1. Traitements Thermiques.....	38
II.4.2.2. Fermentations en milieu solide (FMS)	38
II.4.2.3. Traitements enzymatiques	39
II.4.3. Tourteaux de sésame.....	39
II.4.3.1. Traitements thermiques (FTS)	39
II.4.3.2. Fermentation en milieu solide (FMS).....	39
II.4.3.3. Traitements enzymatiques	40

PARTIE 2 EXPERIMENTAL

CHAPITRE III:Matériel et Méthodes

III.1 Matériel et produits	43
---	-----------

III.2 Collecte des échantillons tourteaux	44
III.3 Méthodes d'analyses et de dosages des tourteaux.....	44
III.3.1 Dosage des éléments nutritifs	44
III.3.1.1 Protéines brutes	44
III.3.1.2 Glucides	45
III.3.1.3 Lipides	46
III.3.1.4 Fibres brutes (FB)	46
III.3.1.5 Matière minérale	47
III.3.1.6 Phosphore.....	48
III.3.1.7 Calcium	48
III.3.2 Partie Start-up	49
III.3.2.1 Préparation de la matière première	49
III.3.2.2 Mesure de l'acidité	51
III.3.2.2 Matière sèche	52
III.3.2.3 Analyses microbiologiques	52
Chapitre IV : Résultats et Discussions	
IV.1. Résultats et discussions	57
IV.1.1. Protéines	57
IV.1.2. Glucides	58
IV.1.3. Lipides	59
IV.1.5. Matière minérale	60
IV.1.6. L'azote	61
IV.1.7. Phosphore.....	62
IV.1.8. Calcium.....	62
Conclusion	65
Références Bibliographique	67

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Part de marché en volume des principaux exportateurs de viandes et préparations de volailles en 2015.....	6
Figure 02: Evolution de la production de viande de volaille en Algérie de 1961 à 2018	7
Figure 03: maïs Zea mays L	12
Figure 04: sorgho.....	13
Figure 05 : L'orge.....	14
Figure 06: Blé.....	15
Figure 07: Tourteau de soja	17
Figure 08: Illustrations de miettes tamisées, mini-granulés, granulés et farine alimentaire de bonne qualité (A : Aliment de démarrage des poussins (miettes tamisées ; B : Granulés de bonne qualité ; C : Farine).....	18
Figure 09: Différents types de tourteaux utilisés (A : Tourteaux de colza, B : Tourteau de sésame, C : Tourteaux de soja).....	44
Figure 10 : Graines de maïs.....	49
Figure 11: Graines de maïs broyées	49
Figure 12: Pesés des tourteaux (Soja, Sésame, Colza) (Photo personnelle ,2025)	50
Figure 13: Son de blé (photo personnelle, 2025)	50
Figure 14: Tourteaux mélange (soja, sésame, colza, son de blé et le maïs).....	50
Figure 15: Granulation manuelle du mélange destiné à l'alimentation avicole.....	51
Figure 16: Mesure du pH du produit final.....	52
Figure 17: Variation des protéines dans les différents types de tourteaux étudiés.....	58
Figure 18: Variation des glucides dans les différents types de tourteaux étudiés	58
Figure 19: Variation des lipides dans les différents types de tourteaux étudiés.....	59
Figure 20: Variation des fibres dans les différents types de tourteaux étudiés	60
Figure 21: Variation de la matière minérale dans les différents types de tourteaux étudiés...	61
Figure 22: Variation de l'azote dans les différents types de tourteaux étudiés	61
Figure 23: Variation du phosphore dans les différents types de tourteaux étudiés	62
Figure 24: Variation du calcium dans les différents types de tourteaux étudiés	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Evolution de la production de viande de volaille en l'Algérie.....	7
Tableau 02: Recommandations nutritionnelles pour poulets standards supplémentation en vitamines	11
Tableau 03: Performances et recommandations nutritionnelles chez le poulet de Chair	11
Tableau 04: Tourteaux issus des Dicotylédones	16
Tableau 5: Tourteaux issus des Monocotylédones.....	17
Tableau 06: Matériel et produits utilisés pour la réalisation du travail.....	43
Tableau 07: Protocole de dosage des protéines	45
Tableau 08: Protocole de détermination des glucides tourteaux (Méthode de Lane-Eynon) .	45
Tableau 09: Protocole expérimental de la méthode de Soxhlet.	46
Tableau 10: Etapes de la digestion acide et alcaline dans la détermination de la fibre brute (ISO 6865)	47
Tableau 11: Procédure de détermination de la teneur en cendres / Matière minérale (AOAC995.11).	47
Tableau 12: Protocole d'analyse du phosphore par colorimétrie	48
Tableau 13: Protocole de dosage du calcium.....	49
Tableau 14: Etapes de mesure de l'acidité dans le tourteau mélange	51
Tableau 15: Protocole de détermination de la matière sèche et de la teneur en eau	52
Tableau 16: Caractérisation microbiologique du produit final	64

Résumé

Face à la demande croissante en viande de volaille et à l'augmentation du coût de leurs aliments, en grande partie due à la dépendance aux matières premières importées, ce mémoire étudie la possibilité de produire un aliment local à partir des résidus d'extraction des graines oléagineuses, notamment les tourteaux de soja, de colza et de sésame, qui s'accumulent en quantités considérables au niveau des huileries et des petites unités sans réelle valorisation.

Ces résidus ont été collectés et soumis à des analyses physiques, chimiques et microbiologiques. Les résultats obtenus sont prometteurs et confirment leur valeur nutritionnelle, en particulier leur teneur en protéines (entre 16 % et 17 %), ainsi que la conformité du pH et de la matière sèche aux normes exigées pour l'alimentation des volailles.

Après la formulation d'un mélange alimentaire équilibré intégrant ces matières, les résultats préliminaires ont montré que l'aliment obtenu est capable de couvrir les besoins nutritionnels des poulets, tout en présentant un bon niveau de sécurité microbiologique. Cela renforce les perspectives d'adoption de ce modèle pour la production d'aliments locaux durables, sains et économiques, contribuant ainsi à la réduction des coûts de production et à l'atteinte de l'autosuffisance.

Mots clés : Valorisation, Tourteaux, Volailles, Besoins nutritionnels, Alimentation des volailles.

Abstract

In light of the growing demand for poultry meat and the rising cost of feed due to heavy reliance on imported raw materials, this thesis explores the possibility of producing locally made poultry feed from oilseed pressing residues—specifically soybean, rapeseed (canola), and sesame seed cakes—which accumulate in significant quantities in oil factories and small-scale units without effective valorization.

These residues were collected and subjected to physical, chemical, and microbiological analyses. The results were encouraging, confirming their nutritional value—particularly their protein content (ranging from 16% to 17%)—as well as the suitability of their pH and dry matter content according to poultry feed standards.

After formulating a balanced feed mix that includes these materials, preliminary results showed that the produced feed can meet the nutritional needs of chickens while maintaining a good level of microbiological safety. This supports the potential adoption of this model for the production of sustainable, healthy, and economical local poultry feed, contributing to reduced production costs and improved self-sufficiency.

Key words : Valorization , Oilseed cakes , Poultry , Nutritional requirements , Poultry feeding.

ملخص

في ظل الطلب المتزايد على لحوم الدواجن وارتفاع تكاليف أعلافها بسبب الاعتماد الكبير على المواد الأولية المستوردة، قمنا في هذه المذكرة بدراسة إمكانية إنتاج علف محلي الصنع انطلاقاً من مخلفات عصر البذور الزيتية، خاصة كسب فول الصويا، الكولزا والسمسم، التي تتراكم بكميات معتبرة على مستوى مصانع الزيوت والمؤسسات الصغيرة دون تثمين فعلي.

تم جمع هذه المخلفات وإجراء تحاليل فيزيائية، كيميائية وميكروبيولوجية عليها، حيث أظهرت نتائج مشجعة تؤكد قيمتها الغذائية، لا سيما من حيث نسبة البروتين (16% إلى 17%) والاحتياجات الأخرى، وملاءمة الـ pH، والمادة الجافة مع المعايير المطلوبة لتغذية الدواجن.

بعد إعداد تركيبة غذائية متكاملة وإدراج هذه المواد، أظهرت نتائج أولية أن العلف الناتج قادر على تغطية احتياجات الدجاج من العناصر الغذائية، إلى جانب تسجيل مستوى جيد من السلامة الميكروبيولوجية، ما يعزز من فرص اعتماد هذا النموذج في إنتاج أعلاف محلية مستدامة، صحية واقتصادية، تساهم في خفض تكلفة الإنتاج وتحقيق الاكتفاء الذاتي.

كلمات مفتاحية: تثمين , كسب البذور الزيتية , الدواجن , الاحتياجات الغذائية , تغذية الدواجن

Introduction générale

L'aviculture constitue l'un des segments les plus dynamiques de l'agriculture dans les pays en développement, en raison de son importance en tant que source essentielle de protéines animales et de sa contribution significative à l'économie nationale et à la création d'emplois. Ce rôle structurant est bien documenté dans la littérature scientifique, soulignant sa pertinence dans les stratégies de sécurité alimentaire **(Zaman et al., 2004)**.

À l'échelle mondiale, ce secteur connaît une croissance rapide, portée par une demande accrue en produits d'origine animale. Cette tendance est particulièrement marquée dans les pays en développement, où l'urbanisation accélérée, l'amélioration du pouvoir d'achat et l'augmentation de la population renforcent les besoins en produits carnés. L'Asie domine largement la production mondiale, avec une part estimée à près de 45 %, tandis que l'Afrique, bien qu'elle ne dépasse pas 13 %, présente un potentiel de développement considérable **(FAO, 2015)**.

En Algérie, la filière avicole a connu un essor significatif depuis les années 1980, soutenu par les politiques publiques d'investissement et de modernisation du secteur. Selon les dernières estimations, la production nationale avoisine aujourd'hui les 460 000 tonnes de viandes blanches et près de 6 milliards d'œufs par an, mettant en évidence l'importance stratégique de ce secteur pour la sécurité alimentaire du pays **(MADR, 2009 ; Alloui, 2014)**.

Cette expansion rapide s'accompagne toutefois de défis majeurs, notamment en matière d'alimentation animale. Comme pour toutes les espèces d'élevage, la nutrition des volailles repose sur une transformation efficiente des matières premières en produits alimentaires destinés à la consommation humaine. Il est donc fondamental de formuler des rations équilibrées capables de répondre aux besoins quantitatifs et qualitatifs des animaux tout au long de leur cycle de production **(Ensminger, 1980)**.

Dans cette optique, la recherche de sources protéiques locales et économiquement viables apparaît comme une solution stratégique face à la dépendance aux intrants importés, tels que le tourteau de soja ou la farine de poisson. Les tourteaux, coproduits issus de la trituration des graines oléagineuses, constituent ainsi une alternative de choix en alimentation avicole, grâce à leur forte teneur en protéines végétales (entre 30 % et 47 %, selon la graine) et à leur profil en acides aminés essentiels **(Feedtables, 2022 ; VetAgro Sup, 2023)**.

Par ailleurs, les tourteaux apportent d'autres nutriments intéressants sur le plan nutritionnel : acides gras insaturés tels que les oméga-3 et oméga-6, minéraux essentiels (calcium, phosphore, magnésium) et fibres alimentaires, contribuant à améliorer la digestibilité et la santé intestinale des volailles (**Alimentec, 2022 ; LaNutrition, 2022**).

De par ces caractéristiques, les tourteaux représentent une matière première précieuse dans la formulation d'aliments locaux, de haute valeur nutritionnelle. Leur valorisation s'inscrit pleinement dans une logique de durabilité et d'économie circulaire, visant à réintégrer ces coproduits dans la chaîne de valeur agroalimentaire, tout en réduisant le gaspillage et en renforçant la résilience des systèmes de production (**ITAVI, 2023 ; Boucherba, 2014**)

Les tourteaux issus du pressage des graines oléagineuses sont négligés en Algérie malgré leur valeur nutritionnelle, et souvent considérés comme des déchets. Parallèlement, l'alimentation animale repose largement sur des produits importés coûteux, ce qui freine l'autosuffisance et affaiblit la filière avicole. Dans ce contexte, notre objectif sera :

- La collecte et valorisation des tourteaux locaux.
- L'analyse physico-chimique des tourteaux.
- La formulation d'un aliment équilibré.
- L'évaluation de la faisabilité nutritionnelle et économique.
- Le renforcement de la sécurité alimentaire et de la filière avicole.

Partie 1

Synthèse

Bibliographique



Chapitre I

Alimentation avicole en tourteaux : besoins nutritionnels et sources

I.1. Généralités sur les volailles

Le terme volaille désigne l'ensemble des oiseaux domestiques de basse-cour élevés principalement pour la production de viande ou d'œufs. Cette catégorie comprend les gallinacés (tels que le poulet, la dinde, le coq, la pintade et la caille) ainsi que les palmipèdes (notamment le canard et l'oie) **(Le Figaro Santé, s.d.)**.

Le système digestif des volailles présente des particularités anatomiques notables, notamment la présence d'un bec, de deux estomacs distincts : le proventricule (ou estomac glandulaire) et le gésier (ou estomac musculaire), ainsi qu'une partie terminale formée par le cloaque, où convergent les voies digestives, urinaires et génitales. La question de l'alimentation et de la nutrition chez les volailles revêt une importance capitale, tant pour les éleveurs que pour les nutritionnistes. Il est essentiel d'assurer une alimentation équilibrée et adaptée aux différentes phases de développement (démarrage, croissance, finition) et aux objectifs de production (viande ou œufs). Cela nécessite une connaissance précise des besoins nutritionnels spécifiques à chaque espèce **(Larbier et Leclercq, 1992)**.

I.1.1. Production avicole à l'échelle mondiale

La filière avicole mondiale a connu un essor considérable au cours des dernières décennies, en réponse à une demande croissante en produits carnés. En effet, la production mondiale de viande de volaille a atteint un volume de 120,5 millions de tonnes en 2017, témoignant d'une évolution marquée du secteur **(Renab. et al., 2020)**. Cette dynamique s'inscrit dans une tendance globale observée durant les cinquante dernières années, caractérisée par une croissance soutenue de la production mondiale de viande, une intensification rapide des systèmes de production animale, ainsi que des transformations significatives dans les modes de transformation, de consommation et de commercialisation des produits d'origine animale **(Renab. et al., 2020)**.

À l'échelle mondiale, la viande de volaille occupe désormais la deuxième place en termes de production et de consommation, après la viande porcine. Le poulet constitue l'espèce la plus représentée, avec une part de 85 % de la production totale de viande de volaille, englobant également la dinde, l'oie, le canard et d'autres espèces **(Horman, 2004)**.

Historiquement, la viande de volaille ne représentait que 12 % de la production mondiale de viande en 1961. Toutefois, selon les estimations de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), ce chiffre a considérablement augmenté pour atteindre 114,8 millions de tonnes en 2015. Durant cette même année, le continent asiatique s'est affirmé comme le principal pôle de production avicole, concentrant à lui seul 35 % de la production mondiale, grâce notamment à des pays tels que la Chine, l'Inde, la Thaïlande et l'Indonésie. L'Amérique du Nord, avec en tête les États-Unis, assurait environ 20 % de la production mondiale, tandis que l'Amérique du Sud occupait la troisième position avec une part de 19 %, majoritairement attribuée au Brésil (**Deman, 2015**).

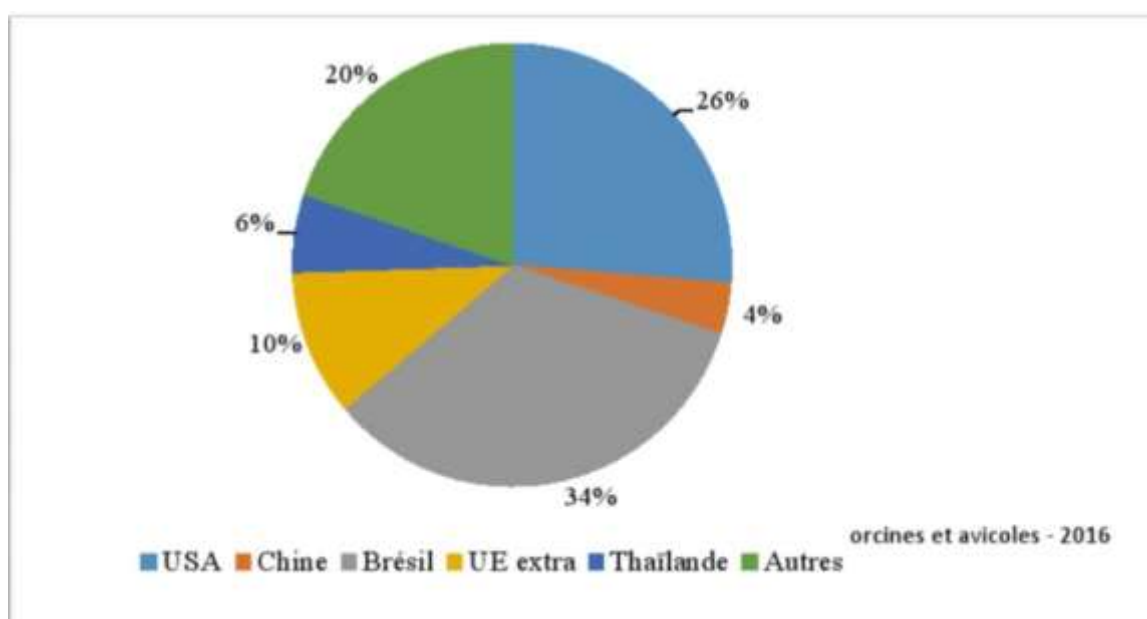


Figure 01: Part de marché en volume des principaux exportateurs de viandes et préparations de volailles en 2015 (**Deman, 2015**)

I.1.2. Filiale avicole en Algérie

Au cours des trois dernières décennies, la filière avicole en Algérie a connu une expansion remarquable, constituant l'un des secteurs de production animale les plus dynamiques du pays. Cette croissance significative s'explique principalement par les politiques publiques de soutien et de développement mises en œuvre par l'État dès le début des années 1980, visant à encourager l'investissement dans les activités agricoles et d'élevage (**Alloui, 2014**).

En 2007, le secteur avicole intensif a enregistré un chiffre d'affaires estimé à 86 milliards de dinars, soit environ 1,78 milliard d'euros. Il a également généré une valeur ajoutée brute de 410 millions d'euros, représentant ainsi près de 10 % de la richesse agricole nationale, ce qui

souligne l'importance économique croissante de cette filière dans le tissu agroalimentaire algérien (MADR, 2015).

Par ailleurs, les données officielles issues des statistiques de la FAO, publiées sur le site « Our World in Data », confirment cette dynamique de croissance. Depuis 1961, la production de viande de volaille en Algérie n'a cessé d'évoluer, atteignant environ 294 663 tonnes en 2018, comme l'illustrent le tableau 1 et la figure 02.

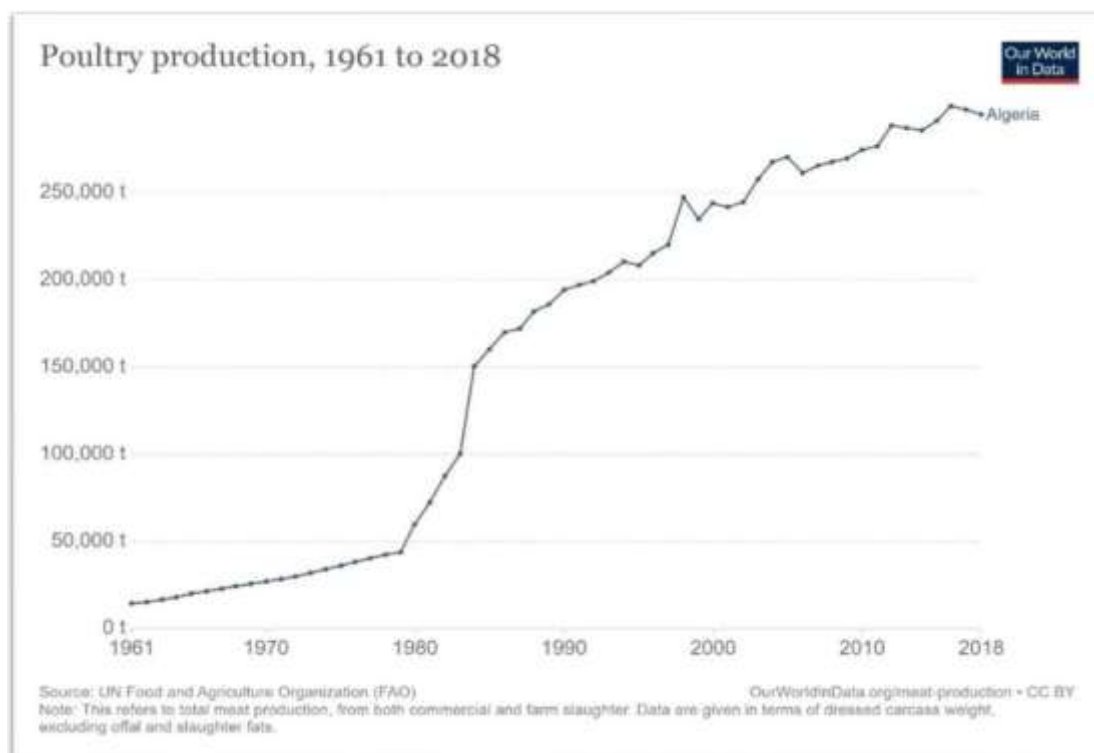


Figure 02: Evolution de la production de viande de volaille en Algérie de 1961 à 2018

Tableau 01: Evolution de la production de viande de volaille en l'Algérie

	1961	1981	2001	2014	2018
Production de la viande de volaille en Algérie	14 290	72 150	241 820	285 884	294 663

Cependant, la filière avicole en Algérie enregistrait une production annuelle oscillant entre 350 000 et 475 000 tonnes de viande de volaille, correspondant à environ 240 millions de poulets abattus chaque année. Par ailleurs, la production d'œufs dépassait les 3 milliards d'unités, ce qui témoigne de l'importance stratégique de cette filière dans la couverture des besoins en protéines animales. La filière s'appuie sur un tissu composé d'environ 20 000

éleveurs, mobilisant près de 500 000 emplois directs et assurant les moyens de subsistance à environ 2 millions de personnes à travers le pays. Toutefois, malgré ce potentiel, la dépendance vis-à-vis de l'extérieur demeure élevée. En effet, près de 80 % des 2 500 000 tonnes d'aliments nécessaires à l'élevage sont importées, notamment le maïs, les tourteaux de soja ainsi que les compléments vitaminiques et minéraux. En outre, l'Algérie continue d'importer une part importante de ses intrants avicoles, incluant les produits vétérinaires, les équipements spécialisés ainsi qu'un certain nombre de reproducteurs nécessaires au renouvellement des cheptels (**Alloui, 2014**).

I.2. Besoins nutritionnels des volailles

I.2.1 Besoins en eau

Chez les volailles, comme chez l'ensemble des espèces animales, l'eau constitue le principal composant de l'organisme (**Larbier et Leclercq, 1992**). Elle représente environ 70 % du poids d'un œuf à couver, 85 % de celui d'un poussin nouvellement éclos, et 60 % du poids d'un poulet âgé de 60 jours (**ITAVI, 2016**).

Selon **Smith et Nicou (1992)**, l'eau joue un rôle vital dans le métabolisme des oiseaux en facilitant l'absorption des nutriments et l'élimination des déchets toxiques.

Elle permet également la diffusion des molécules, assurant ainsi les différents échanges et transports indispensables au bon fonctionnement de l'organisme (**ITAB, 2015**).

Par ailleurs, l'eau contribue activement à la régulation thermique, particulièrement importante chez les oiseaux vivant dans des environnements chauds (**Smith et Nicou, 1992**). Les besoins en eau varient selon plusieurs facteurs, notamment l'âge, le sexe, le statut nutritionnel, via la lipogenèse, car un animal plus gras contient proportionnellement moins d'eau, ainsi que le génotype, en lien avec le degré d'engraissement (**Larbier et Leclercq, 1992**).

I.2.2 Besoins en énergie

Selon **Ninelle, (2009)**, l'énergie constitue la fraction de la ration alimentaire utilisée par la volaille pour satisfaire ses besoins d'entretien et de production. Elle est estimée en calculant la différence entre l'énergie brute ingérée et celle excrétée sous forme de fèces, d'urine et de gaz. Chez le poulet de chair de souche Cobb 500, les besoins en énergie métabolisable varient généralement entre 2900 et 3150 Kcal/kg, en fonction du stade de développement.

Plusieurs facteurs peuvent influencer ces besoins, notamment la souche génétique, la composition de la ration alimentaire ainsi que les conditions environnementales, notamment la température ambiante (**Vias, 1995**).

D'après **Smith et Nicou (1992)**, dans l'alimentation des volailles, l'énergie est principalement fournie par les glucides, tandis qu'une part secondaire provient des lipides. Il est donc essentiel de bien connaître les besoins énergétiques spécifiques à chaque espèce et à chaque phase de production, afin de prévenir les carences. En effet, un déficit énergétique pousse l'animal à puiser dans ses réserves corporelles, ce qui peut altérer son état physiologique et réduire significativement sa performance productive.

I.2.3 Besoins en protéines

Les protéines sont constituées d'une chaîne d'acides aminés, dont certains sont essentiels (tels que la lysine et la méthionine), c'est-à-dire que l'organisme ne peut pas les synthétiser, et d'autres non essentiels, aussi appelés banals, que l'organisme peut produire. Chaque protéine possède une composition spécifique en acides aminés, et ces derniers sont indispensables au développement des muscles, des plumes et à la production d'œufs.

L'alimentation des volailles doit donc être soigneusement formulée pour fournir une quantité adéquate de chaque acide aminé essentiel, ainsi qu'un apport suffisant en azote pour permettre la synthèse des acides aminés non essentiels (**Ninelle, 2009**).

D'après **Baghel et Prathan (1988)**, la lysine, la méthionine, la cystine, l'arginine et le tryptophane sont des acides aminés cruciaux qui font fréquemment défaut dans les rations des volailles.

I.2.4 Besoins en vitamines

Comme pour les autres nutriments essentiels, les besoins en vitamines se définissent comme la quantité minimale requise pour assurer une croissance optimale chez les jeunes sujets, ainsi que les meilleures performances de ponte ou de reproduction chez les adultes (**Larbier et Leclercq, 1992**).

Bien qu'elles soient présentes en très faibles quantités dans l'alimentation, ces vitamines jouent un rôle fondamental dans les processus enzymatiques du métabolisme (**Smith et Nicou, 1992**). Une carence en vitamines peut rapidement entraîner des troubles sévères tels que : un retard de croissance, un affaiblissement général, du rachitisme, une dystrophie musculaire, ainsi que des problèmes locomoteurs (**Celagri, 2021**).

D'après **Smith et Nicou (1992)**, une absence de vitamine D₃ dans le régime alimentaire peut causer du rachitisme chez les poussins, de l'ostéoporose chez les adultes, ainsi qu'une baisse, voire un arrêt total de la ponte. Ces auteurs précisent également que sans un apport suffisant en vitamine D₃, les volailles sont incapables d'assimiler correctement le calcium et le phosphore, même s'ils sont présents en quantité adéquate dans la ration. Cela met en évidence l'interdépendance entre la vitamine D₃, le calcium et le phosphore, et l'importance d'un équilibre précis entre ces éléments dans l'alimentation.

I.2.5 Besoins en énergie

Parmi les minéraux indispensables à la physiologie aviaire, le phosphore (P) et le calcium (Ca) occupent une place primordiale. Ils jouent un rôle essentiel non seulement dans le maintien de l'équilibre humoral, mais également dans la formation du squelette et de la coquille des œufs (**Ferrando, cité dans Andela Abessolo, 2008**). Selon les travaux de **Smith et Nicou (1992)**, les besoins nutritionnels en calcium et en phosphore varient en fonction de la quantité de vitamine D présente dans l'alimentation. Une diminution du taux de vitamine D entraîne une augmentation des besoins en Ca et P, tandis qu'un apport suffisant en vitamine D permet de les réduire.

Selon les mêmes auteurs, le sodium (Na) et le chlore (Cl) favorisent l'assimilation des protéines chez les volailles. Cependant, un excès de ces deux minéraux peut provoquer une surconsommation d'eau, pouvant nuire à l'équilibre hydrique et au métabolisme général de l'animal.

Les oligo-éléments, quant à eux, interviennent dans de nombreuses fonctions métaboliques essentielles. Une carence ou un excès d'oligo-éléments peut être à l'origine de diverses pathologies ou anomalies physiologiques chez les oiseaux (**Underwood, 1997**). Le fer (Fe), le cobalt (Co) et le cuivre (Cu) sont indispensables à la synthèse de l'hémoglobine (**Ninelle, 2009**), tandis que le zinc (Zn) est reconnu pour son rôle clé dans la croissance, le développement, la stimulation du système immunitaire, ainsi que dans la résistance aux maladies (**Nys, 2001**).

Les tableaux suivants présentent les recommandations nutritionnelles spécifiques en vitamines et en minéraux pour les poulets de chair de souche Cobb 500, afin de répondre de manière optimale à leurs besoins physiologiques tout au long de leur croissance.

Tableau 02: Recommandations nutritionnelles pour poulets standards supplémentation en vitamines (Cobb 500,2022).

Element	Unité	Démarrage	Croissance 1	Finition 1 et 2
Vitamine A	MIU	10 à13	10	10
Vitamine D3	MIU	5	5	5
Vitamine E	KIU	80	50	50
Vitamine K	g	3	3	3
Vitamine B1 (thiamine)	g	3	2	2
Vitamine B2 (riboflavin)	g	9	8	6
Vitamine B6 (pyridoxine)	g	4	3	3
Vitamine B12	mg	20	15	15
Choline*	g	500	400	350
Acide Folique	g	2	2	1.5
Acide Nicotinique	g	60	50	50
Acide Pantothénique	g	15	12	10

Tableau 03: Performances et recommandations nutritionnelles chez le poulet de Chair (Cobb 500, 2022).

Element	Unité	Démarrage	Croissance 1	Finition 1 et 2
Calcium	%	0,96	0,8	0,74
Sodium	%	0,16 - 0,23	0,16 - 0,23	0,16 - 0,23
Chlorure	%	0,16 - 0,30	0,16 - 0,30	0,16 - 0,30
Potassium	%	0,60 -0,95	0,60 -0,95	0,60 -0,95
Manganèse	g	100	100	100
Zinc	g	100	100	100
Fer	g	40	40	40
Cuivre	g	15	15	15
Iode	g	1	1	1

I.3 Aliments complets pour volailles

L'alimentation des volailles repose sur un mélange équilibré d'ingrédients formulé pour répondre aux besoins nutritionnels des poulets, tant pour assurer leur croissance que pour optimiser leur production d'œufs. Ce mélange est composé principalement de céréales,

légumineuses, oléagineux, matières grasses, ainsi que d'un apport contrôlé en vitamines, minéraux, acides aminés et additifs nutritionnels. Ces aliments se présentent généralement sous forme de granulés ou de farine moulue, selon les objectifs de production ou le stade physiologique des animaux (FAI, 2023).

I.3.1 Matières premières riches en énergie utilisées dans l'alimentation des volailles

I.3.1.1 Céréales

Les céréales constituent l'une des principales sources d'énergie dans les rations destinées aux volailles. Ce sont des plantes appartenant à la famille des graminées, cultivées principalement pour leurs grains riches en amidon. On distingue d'une part les grandes céréales telles que le blé, le riz, le maïs, l'orge, l'avoine et le seigle, et d'autre part les petites céréales comme le sorgho et le mil (Aquaportail, 2022).

I.3.1.1.1 Maïs

Le maïs **Zea mays . L , voir (fig.01)**, appartenant à la famille des Graminées, est la céréale la plus cultivée au monde, surpassant le riz et le blé en termes de production. Ses grains sont particulièrement riches en amidon (environ 65 %) et contiennent également une proportion notable de matières grasses (environ 4 %), ce qui en fait une source d'énergie privilégiée dans l'alimentation animale. Sa faible teneur en fibres (environ 10 % de NDF) contribue à une digestibilité élevée de l'amidon, ce qui se traduit par une valeur énergétique métabolisable importante. C'est pourquoi le maïs est largement utilisé dans l'alimentation des poules pondeuses ainsi que des poulets de chair, qui en tirent un excellent rendement énergétique (Sauvant et al., 2004).

En outre, les grains de maïs sont également très répandus dans l'alimentation des lapins, notamment dans les régions chaudes, où ils constituent un ingrédient de choix pour les rations (Heuzé et al., 2017).



Figure 03: maïs Zea mays L (Heuzé et al., 2017)

I.4.1.1.2 Sorgho

Le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), appartenant à la famille des Poacées, est classé comme la cinquième céréale de base à l'échelle mondiale, après le blé, le riz, le maïs et l'orge. En nutrition animale, le grain de sorgho (voir fig. 02) est principalement valorisé pour sa richesse énergétique et représente un excellent ingrédient pour l'alimentation des volailles, des porcs et des ruminants (Balole et al., 2006).

La teneur en protéines brutes du grain de sorgho varie généralement entre 9 et 13 % de la matière sèche, ce qui est légèrement supérieur à celle du maïs, bien que cette valeur puisse fluctuer considérablement en fonction des conditions culturales.

À l'instar du maïs, le sorgho est pauvre en lysine, un acide aminé essentiel, ce qui peut rendre nécessaire une supplémentation en acides aminés pour équilibrer la ration. Par ailleurs, la teneur en matières grasses du sorgho est légèrement inférieure à celle du maïs. Il est également important de noter que le grain de sorgho est dépourvu de xanthophylles – pigments responsables de la coloration jaune de la peau des volailles et que 70 % de son phosphore est sous forme liée au phytate, ce qui peut réduire sa biodisponibilité (Sauvant et al., 2004)



Figure 04: sorgho (Gilles Tran / AFZ)

I.3.1.1.3 L'orge

L'orge (voir fig. 03) est une plante graminée annuelle, au port dressé et touffu, pouvant atteindre une hauteur de 50 à 120 cm. Elle occupe une place importante dans l'alimentation animale, en particulier les variétés à six rangs, connues pour leur teneur plus élevée en protéines, ce qui en fait un ingrédient nutritif de grande valeur dans les rations alimentaires du bétail (OCDE, 2004).

Les sous-produits issus de la transformation du grain d'orge sont également largement utilisés dans la nutrition animale. Parmi eux, on retrouve les drêches de bière, la levure de bière,

les tiges de malt (incluant les germes et radicules), ainsi que les distillateurs et solubles d'orge, les coques, le son et l'aliment d'orge, ce dernier étant un résidu de la fabrication de l'orge perlé (OCDE, 2004).

Sur le plan nutritionnel, l'orge contient une proportion importante d'amidon, représentant environ 60 % de la matière sèche (généralement entre 55 et 63 %), bien que cette valeur reste inférieure à celle observée dans le maïs et le blé. En ce qui concerne les protéines, sa teneur moyenne est d'environ 11 à 12 %, avec des variations comprises entre 9,5 % et 13 % de la matière sèche, ce qui est similaire au blé et supérieur au maïs (Feedipedia, 2011).

Cependant, l'orge présente une teneur en fibres notablement plus élevée que le maïs et le blé, avec des valeurs de fibres brutes de 4 à 6 %, de ADF (fibres au détergent acide) entre 5 et 7 %, et de NDF (fibres au détergent neutre) entre 18 et 24 %. Cette richesse en fibres peut entraîner une valeur nutritive réduite chez les espèces animales sensibles à une teneur élevée en fibres (Feedipedia, 2011).



Figure 05 :L'orge (Gilles Tran / AFZ)

I.3.1.1.4 Blé

Le blé (voir fig. 04) regroupe plus de 25 000 espèces cultivées à travers le monde (van Ginkel et al., 1996). Il constitue une denrée de base essentielle, apportant à la fois de l'énergie et des protéines dans l'alimentation humaine et animale.

Dans le cadre de la nutrition des volailles, le grain de blé tendre est particulièrement prisé et représente l'un des principaux ingrédients utilisés dans les formules alimentaires. Il peut être incorporé sous forme de grain entier en association avec un complément concentré, sans effets négatifs sur les performances zootechniques des poulets de chair. Au contraire, il peut même exercer des effets bénéfiques sur la santé du tube digestif (Williams et al., 2008).

Par ailleurs, le blé peut remplacer totalement le maïs dans les rations alimentaires. Toutefois, les performances de croissance et de production risquent d'être légèrement

inférieures, sauf si l'alimentation est enrichie en enzymes spécifiques permettant de compenser certaines limitations digestives propres au blé (**Blair, 2008**).



Figure 06: Blé (Denis Bastianelli, CIRAD)

I.3.2 Matières premières riches en protéines utilisées en alimentation des volailles

I.3.2.1 Tourteaux des oléagineuses

Les tourteaux sont les résidus solides obtenus après l'extraction de l'huile à partir des graines ou des fruits oléagineux. Ils représentent des coproduits (ou sous-produits) de la trituration, c'est-à-dire l'industrie de fabrication des huiles. Environ 85 à 86 % de l'huile extraite est destinée à la consommation humaine, tandis que le reste est utilisé dans la fabrication de savons, détergents, peintures, résines glycérophthaliques, lubrifiants, cosmétiques, encres, etc. Les tourteaux constituent la deuxième catégorie d'aliments la plus importante après les céréales. Ils représentent en effet la principale source de protéines dans l'alimentation des volailles (**Anonyme 2, 2006**).

I.3.2.2 Types de tourteaux

Il existe autant de types de tourteaux que de plantes oléagineuses exploitées. On peut les classer comme suit (**Claude. T, 2005**) (tableau 4 et 5).

Tableau 04: Tourteaux issus des Dicotylédones (Claude. T, 2005).

Légumineuses	Crucifères	Linacées	Malvacées
• Tourteaux de soja (principaux producteurs : USA, Brésil, Argentine)	• Tourteaux de colza (Brassica napus) (France, CEE, Canada)	• Tourteaux de colza (Brassica napus) (France, CEE, Canada)	• Tourteaux de tournesol (France, CEE)
• Tourteaux d'arachide (Afrique)	• Tourteaux de navette (Brassica campestris = Brassica rapa) (USA, Canada)	• Tourteaux de navette (Brassica campestris = Brassica rapa) (USA, Canada)	• Tourteaux de carthame : très rares en France, principalement produits au Maghreb
	• Tourteaux de moutarde : appelés également “drêches de moutarde”, ces tourteaux sont toxiques.	• Tourteaux de moutarde : appelés également “drêches de moutarde”, ces tourteaux sont toxiques.	

Comme il existe d'autres familles selon la même référence :

- Papavéracées : tourteaux d'œillette ou de pavot, aujourd'hui très rares en Europe. La graine oléagineuse du pavot est la seule partie non toxique. L'huile de pavot est comestible et peut être utilisée dans l'industrie.
- Juglandacées : tourteaux de noix ;
- Oléacées : pour les olives, on parle de “grignons d'olives” pour désigner les résidus solides après extraction ;
- Sapotacées : tourteaux de karité (pays tropicaux), l'huile étant utilisée uniquement en cosmétique ;
- Pédiacées : tourteaux de sésame ;
- Euphorbiacées : tourteaux de ricin (très toxiques, à manipuler avec précaution) ;
- Malvacées : tourteaux de coton (principaux producteurs : USA, Inde, Chine). Très utilisés aux États-Unis ; en Europe, la Grèce développe cette culture et devient un exportateur important de tourteaux de coton.

Tableau 5: Tourteaux issus des Monocotylédones (Claude. T, 2005).

Type	Origines
Tourteaux de coprah	Le coprah correspond à l'amande (partie intérieure) du fruit du cocotier (<i>Cocos nucifera</i>)
Tourteaux de palmiste	Obtenus à partir du noyau du fruit du palmier à huile. L'huile est extraite du péricarpe, tandis que la graisse et le tourteau proviennent du noyau. L'Indonésie est un exportateur majeur.
Tourteaux de germe de céréales	notamment le germe de maïs, utilisé dans divers domaines alimentaires et industriels

➤ **Tourteau de soja**

Le tourteau de soja (voir fig. 06) est un coproduit obtenu après l'extraction de l'huile des graines de soja. Il constitue une source majeure de protéines et d'énergie dans l'alimentation animale, notamment pour les volailles. Grâce à un décorticage plus approfondi, il est possible d'obtenir un tourteau à très forte teneur en protéines, dépassant 40 %, ce qui permettrait une substitution totale ou partielle du soja classique dans les formulations alimentaires destinées aux volailles. Toutefois, si le taux de décorticage dépasse 50 %, et que celui-ci est réalisé avant l'extraction selon le procédé classique, cela pourrait engendrer des pertes notables de protéines et d'huile dans les particules fines, en plus de poser des difficultés liées à la gestion des coques excédentaires, qui sont actuellement valorisées par combustion dans les installations industrielles (Peyronnet et al., 2012).



Figure 07: Tourteau de soja (Gilles Tran, AFZ)

➤ **Tourteau de colza**

Le tourteau de colza est reconnu comme une source protéique intéressante, présentant un profil relativement équilibré en acides aminés essentiels, ce qui le rend adapté à l'alimentation animale (Vermorel et al., 1978). La graine de colza se distingue par sa forte teneur en matières grasses, avoisinant en moyenne 435 g/kg de matière sèche, ce qui lui confère une énergie brute

élevée, estimée à environ 6 688 kcal/kg de matière sèche. Grâce à ces caractéristiques, le tourteau de colza peut être utilisé dans les formules alimentaires des volailles avec un taux d'incorporation pouvant aller jusqu'à 10 % (**Leclercq et al., 1989**).

I.4 Forme de présentation de l'aliment

La forme physique de l'aliment destiné aux volailles représente un facteur déterminant dans la consommation alimentaire et, par conséquent, dans les performances zootechniques des animaux. Selon **Bréchet et al. (2013)**, la taille moyenne des particules, ainsi que leur homogénéité, peut influencer significativement l'ingestion et les performances de croissance chez le poulet de chair. Ainsi, la présentation de l'aliment doit être adaptée à la morphologie du système digestif des volailles ainsi qu'à leurs besoins physiologiques (**Nir et al., 1994**).

D'après **Bordeaux et Roinsard, (2015)**, dans le commerce, les aliments destinés aux volailles sont disponibles sous trois principales formes physiques (figure 07) :

- La farine ;
- Les granulés de différentes tailles (généralement entre 2 et 4 mm) ;
- Les miettes (granulés concassés).

L'aliment de phase démarrage est généralement proposé sous forme de miettes ou de farine, formes qui peuvent être optimisées par l'incorporation de matières grasses ou d'huiles afin de réduire la production de poussières. Les aliments de phase croissance et finition sont quant à eux le plus souvent distribués sous forme de granulés ou de miettes.

Selon **Bréchet et al. (2013)**, la présentation granulée améliore l'ingestion par rapport à une présentation sous forme de farine fine, qui a tendance à coller au bec des volailles, réduisant ainsi leur consommation effective et, par conséquent, leurs performances de croissance.)



Figure 08: Illustrations de miettes tamisées, mini-granulés, granulés et farine alimentaire de bonne qualité (A : Aliment de démarrage des poussins (miettes tamisées ; B : Granulés de bonne qualité ; C : Farine) (**Arbor Acres., 2018**).

Chapitre II : Maîtrise du processus de production et optimisation des tourteaux



II.1 Processus de production et facteurs influençant la qualité des tourteaux

II.1.1 Les étapes de production des tourteaux

II.1.1.1 Tourteaux des sojas

Le processus de production du tourteau de soja passe par deux étapes principales :

➤ **Etape 01 : Réception et préparation du grain**

Les graines de soja subissent plusieurs étapes préparatoires avant l'extraction de l'huile. Le décorticage permet de séparer l'amande riche en huile des coques et d'éliminer les facteurs antinutritionnels. Le broyage et le floconnage améliorent la perméabilité du tourteau au solvant, augmentant ainsi l'efficacité de l'extraction. La cuisson joue un rôle clé en augmentant l'humidité des graines, réduisant la viscosité de l'huile, assouplissant les graines, rompant les parois cellulaires, et détruisant les composés thermosensibles et toxiques. Elle provoque également la coagulation des protéines et l'inactivation des enzymes nuisibles. Ces opérations combinées optimisent la qualité et le rendement de l'extraction (**Dunford, 2012 ; Laisney, 1992**).

➤ **Etape 02 : Extraction de l'huile**

L'extraction au solvant est la méthode la plus efficace pour extraire presque toute l'huile de soja, tout en éliminant les facteurs antinutritionnels. Cependant, elle est complexe et dangereuse à cause de l'utilisation de solvants inflammables. (**Newkirk, 2010**) L'extraction par pression produit une huile très pure sans substances chimiques, mais laisse 9 à 20 % d'huile dans le tourteau, ce qui la rend moins rentable et plus coûteuse. (**Winfo sprl, 2011**) Malgré cela, la méthode mécanique reste sûre sur le plan alimentaire et est encore utilisée aujourd'hui avec des presses continues (à vis simple ou double), bien qu'elle soit moins efficace que l'extraction au solvant. (**Winfo sprl, 2011**).

II.1.1.2 Tourteaux de colzas

La production de tourteau de colza fait partie d'un processus de transformation industrielle structuré, reposant principalement sur deux étapes essentielles :

- Etape 01 : Réception et préparation du grain : Les graines doivent être préalablement dépoussiérées et souvent décortiquées. Les graines riches en huile comme le colza sont d'abord triturées, c'est-à-dire broyées et pressées (**Agryco, 2023**).

- **Etape 02 :** Extraction de l'huile par Trituration : Elle peut être réalisée de deux manières : pression discontinue à froid (moins de 80°C) et pression discontinue à chaud (précuisson des graines à 90°C, puis broyage et pression jusqu'à 120°C). La pression à chaud permet un meilleur rendement en huile (environ 20%) comparé à la pression à froid (environ 12%), et par Extraction : La méthode la plus courante est l'extraction par solvant, consistant à cuire la préparation dans un solvant à 50-60°C, puis à séparer l'huile du solvant par distillation (**Agryco, 2023**).

II.1.1.3. Tourteaux de sésame

La production du tourteau de sésame passe par deux étapes principales :

➤ **Etape 01 : Réception et préparation du grain**

La fabrication du tourteau de sésame débute par la réception, le tri et le nettoyage des graines pour éliminer les impuretés (poussières, cailloux, graines étrangères). Ensuite, les graines sont décortiquées mécaniquement ou manuellement afin de faciliter l'extraction de l'huile et d'améliorer la digestibilité du tourteau. Dans certains cas, les graines sont trempées pour ramollir les enveloppes, puis séchées pour réduire l'humidité, ce qui diminue les risques microbiens et améliore le rendement au pressage (**CIRAD, 2002**).

➤ **Etape 02 : Extraction de l'huile**

Les graines préparées sont broyées puis pressées à chaud (environ 120 °C) à l'aide de presses à vis pour extraire l'huile. Cette méthode laisse environ 10 à 20 % d'huile résiduelle dans le tourteau. Pour réduire davantage cette teneur, une extraction complémentaire à l'aide de solvants organiques (comme l'hexane) peut être effectuée. Le résidu solide obtenu – le tourteau – peut ensuite être broyé ou transformé en granulés pour faciliter son stockage et son utilisation dans l'alimentation animale (**CIRAD, 2002**).

II.2 Facteurs influençant la qualité des tourteaux (soja, colza, sésame)

II.2.1 Tourteaux de soja

II.2.1.1 Type de graine utilisée

Le soja en grain représente une source particulièrement riche en protéines, à l'instar du tourteau de soja. En raison de leur teneur élevée en huile, les graines de soja présentent également une valeur énergétique supérieure. Toutefois, elles renferment des concentrations

importantes de facteurs antinutritionnels, notamment des inhibiteurs de la trypsine, qui peuvent nuire à la digestibilité des nutriments. Afin de neutraliser ces composés indésirables et d'optimiser la qualité nutritionnelle des graines, un traitement thermique approprié tel que le toastage ou l'extrusion est indispensable (**Alain H. et collaborateurs, 2004**).

II.2.1.2 Conditions du traitement

Le traitement thermique améliore l'utilisation de l'énergie des protéines dans le tourteau de soja en agissant sur les protéines et en libérant les graisses contenues dans les cellules. Le degré de cette amélioration dépend de la méthode de traitement, des conditions appliquées et de l'espèce animale ciblée (**Gonzalo G. et al., 2000**). Étant donné que la qualité du tourteau est particulièrement sensible à la méthode de traitement, il est essentiel de l'évaluer, notamment à travers des études de digestibilité *in vivo*, bien qu'elles soient coûteuses, longues et sujettes à des variations biologiques. La méthode la plus fiable reste les analyses de laboratoire, plus rapides et plus utiles pour apprécier la pertinence du traitement (**Darwin G. et Britzman, 2005**).

II.2.1.3 Stockage et conservation des tourteaux de soja

II.2.1.3.1 Conditions optimales de stockage

Étant donné l'importance économique et nutritionnelle des graines et du tourteau de soja, ceux-ci sont néanmoins sujets à la détérioration durant le stockage. Il existe donc des moyens efficaces pour réduire cette dégradation en contrôlant les facteurs influents. Les graines de soja mûres contiennent un taux d'humidité variant entre 13 et 15 % selon les régions et la période de récolte (**Ulysses.A, 1980**).

Il existe deux types d'eau dans la graine : l'eau libre, qui peut être éliminée par séchage, et l'eau liée moléculairement, qui ne peut être retirée facilement. Pour assurer une bonne qualité de stockage, le taux d'humidité ne doit pas dépasser 12 %, l'humidité étant le facteur principal influençant la conservation des graines (**Kimball, 2005**).

II.2.1.3.2 Risques de dégradation

D'après Ulysses, (1980, les risques de dégradation se résume comme suit :

➤ **Contamination (changement de couleur et d'apparence)**

Les graines de soja saines ont une couleur brillante et uniforme, sans taches ni rides. Le changement de couleur indique généralement une invasion fongique ou microbienne, ce qui provoque un réchauffement.

➤ **Odeur de moisi**

L'odeur de moisi indique généralement une infestation avancée par des insectes ou des champignons dans les graines et le tourteau de soja. Lorsqu'elle est détectée, il faut aérer immédiatement les graines pour éliminer les insectes et limiter les dégâts. D'autres mauvaises odeurs signalent une invasion fongique et des changements chimiques dans les produits riches en huile.

➤ **Formation d'agréats**

Dans les silos est causée par des fuites d'eau ou la transmission d'humidité, ce qui favorise la croissance de moisissures, surtout dans les zones humides. L'agréation se produit souvent près des parois métalliques du silo en raison de la condensation de l'humidité.

II.2.2 Tourteaux de colza

II.2.2.1. Type de graines

Constitue un facteur déterminant dans la qualité nutritionnelle du tourteau obtenu. En effet, les tourteaux issus de graines riches en acide érucique présentent une teneur en protéines plus élevée, atteignant environ 37,1 %, ainsi qu'une teneur légèrement inférieure en fibres par rapport aux autres types de graines. Par ailleurs, les tourteaux produits à partir de graines de colza génétiquement modifiées (OGM) se caractérisent par des teneurs plus élevées en protéines totales et solubles, accompagnées d'une meilleure digestibilité enzymatique, ce qui améliore leur efficacité nutritionnelle dans l'alimentation animale (**Terres Inovia, 2018 Terres Univia, 2021**).

II.2.2.2. Conditions du traitement

Le traitement thermique, en particulier le toastage, constitue l'une des conditions essentielles pour améliorer la qualité du tourteau de colza. Il consiste à exposer le tourteau à de la vapeur surchauffée à une température d'environ 115 °C pendant environ une heure et demie.

Ce procédé permet d'éliminer les composés volatils tels que les sénévol, de réduire les résidus de solvants, tout en préservant la valeur nutritionnelle.

De plus, le toastage diminue la protéolyse dans le rumen, ce qui améliore l'utilisation de l'azote alimentaire chez les ruminants (**Animres, 1970**).

La granulation est également un facteur déterminant, car la taille des particules (par exemple 4×40 mm ou 4×60 mm) ainsi que l'utilisation ou non de vapeur lors du processus influencent la digestibilité du tourteau et les performances zootechniques, en particulier chez le porc (**IFIP, 2022**).

II.2.2.3. Stockage et conservation des tourteaux de colza

II.2.2.3.1. Conditions optimales de stockage

Pour assurer une bonne conservation des graines de colza, il est essentiel de maintenir leur taux d'humidité autour de 8 %, afin de limiter les risques de développement microbien. Une humidité trop faible (inférieure à 7 %) fragilise les graines, tandis qu'un taux supérieur à 9 % favorise l'échauffement et la dégradation de l'huile (**Terres Inovia, 2023 ; Perspectives Agricoles, 2022**).

Il est recommandé de récolter les graines à maturité, de les nettoyer, puis de les refroidir progressivement jusqu'à 10 °C avant l'hiver, à l'aide de plusieurs phases de ventilation (**Agrobio Bretagne, 2021**).

La ventilation du colza nécessite un temps plus long que celle des céréales, avec un écart de température entre l'air et les graines ne dépassant pas 7 à 10 °C pour éviter la condensation (**Tour de Plaine, 2021**).

En cas de graines germées, un séchage ou une ventilation rapide est indispensable afin de ramener l'humidité à 7–8 % (**Terres Inovia, 2023**).

II.2.2.3.2. Risque de dégradation des tourteaux

Le risque de dégradation des tourteaux peut être résumé comme suit :

➤ Dégradation des protéines

Une cuisson excessive (jusqu'à 130 °C) lors du traitement thermique diminue la dégradabilité de l'azote, réduisant la valeur nutritionnelle. Le dépelliculage améliore cette dégradabilité (**Bendailh et al., 2009 ; INRAE, 2021**).

➤ **Présence de substances toxiques**

Les glucosinolates se dégradent en composés toxiques (aglycones) pouvant provoquer des troubles métaboliques (goitre, croissance ralentie), en plus de réduire l'appétence à cause de leur goût amer (**ITAVI, 2020 ; VetAgro Sup, 2021 ; INRAE, 2021**).

➤ **Contaminations microbiennes**

Les mycotoxines (ex. aflatoxines produites par *Aspergillus flavus*) sont toxiques et peuvent contaminer les produits animaux. Les salmonelles représentent également un danger pour la santé publique (**Ministère de l'Agriculture, 2020 ; VetAgro Sup, 2021**).

➤ **Résidus de pesticides**

Les tourteaux peuvent contenir des résidus phytosanitaires dépassant les seuils réglementaires, posant un risque pour la sécurité alimentaire (**Ministère de l'Agriculture, 2020**).

➤ **Oxydation des lipides**

Les graisses résiduelles dans le tourteau sont sensibles à l'oxydation, affectant la conservation et nécessitant des antioxydants (**INRAE, 2021**).

II.2.3 Tourteaux de sésame

II.2.3.1 Type de graines

Les graines de sésame sont considérées parmi les cultures oléagineuses les plus importantes au niveau mondial. Connues sous le nom de « reine des oléagineux », elles occupent la neuvième position parmi les principales cultures contribuant à environ 90 % de la production mondiale d'huile comestible (**Bamigboye et al., 2010 ; Gadade et al., 2017**).

Les caractéristiques génétiques de la variété cultivée influencent fortement la composition nutritionnelle du tourteau de sésame. Certaines variétés présentent des teneurs plus élevées en protéines ou en lipides, ce qui se répercute directement sur la valeur nutritionnelle du produit final (**CRZ/ISRA, 2020**).

Le sésame est reconnu pour sa haute valeur nutritionnelle. Il contient une teneur élevée en lipides (45–55 %), en protéines (19–25 %), ainsi qu'en minéraux (calcium, phosphore, magnésium, fer, zinc, sélénium), en vitamines B et E, et en antioxydants naturels (**Borchani et al., 2010 ; Nzikou et al., 2010**).

II.2.3.2. Conditions de traitements

Parmi les paramètres technologiques, la température de traitement est un facteur critique. Un chauffage excessif peut altérer la digestibilité des protéines, mais dans le cas du sésame, les protides présentent une bonne stabilité face aux traitements thermiques prolongés, ce qui permet de conserver leur valeur biologique même après cuisson (**Agritrop, 2003**).

D'autre part, l'humidité joue un rôle déterminant dans la qualité du tourteau : un taux trop élevé favorise la croissance de micro-organismes indésirables et la formation de mycotoxines, compromettant ainsi la sécurité sanitaire de l'aliment (**ITAB Lab, 2023**).

II.2.3.3. Stockage et conservation

II.2.3.3.1. Conditions optimales de stockage

Les conditions de stockage influencent fortement la stabilité du produit. Un entreposage dans un environnement à forte humidité et à faible aération favorise la prolifération de moisissures, notamment d'*Aspergillus flavus*, producteur d'aflatoxines hautement toxiques pour les animaux. À l'inverse, un stockage approprié – combinant une faible humidité, une température modérée et une bonne ventilation – permet de préserver la qualité nutritionnelle du tourteau tout en réduisant les risques de contamination et la présence de composés antinutritionnels (**ITAB Lab, 2023**).

II.2.3.3.2. Risques de dégradations

➤ Contamination par les mycotoxines

Comme d'autres tourteaux issus de graines oléagineuses, le tourteau de sésame peut être contaminé par des mycotoxines produites par des champignons. Un traitement thermique à la vapeur en milieu basique peut contribuer à réduire ce risque, mais une surveillance régulière de la qualité du produit reste indispensable (**Afssa, 2009**).

➤ **Contamination par des substances chimiques dangereuses**

Les graines de sésame et leurs sous-produits ont été identifiés comme pouvant être contaminés par l'oxyde d'éthylène, un agent stérilisant classé comme cancérigène génotoxique. Dans certains cas, les niveaux de contamination dépassaient les limites réglementaires de plus de 1000 fois, posant ainsi un risque sanitaire grave en cas de consommation régulière (Meersens, 2022).

➤ **Oxydation des acides gras**

Le stockage prolongé des sous-produits du sésame peut entraîner une oxydation des acides gras, affectant ainsi la qualité de l'aliment et potentiellement la santé et la performance des animaux qui en consomment (Feed Strategy, 2021).

➤ **Contamination microbienne et mycotoxines**

Les produits à base de sésame peuvent être sensibles à la contamination par les aflatoxines, des toxines fongiques dangereuses pour la santé humaine et animale lorsqu'elles sont ingérées (Italian Journal of Food Safety, 2023).

II.3 Amélioration de la valeur nutritionnelle des tourteaux (Soja , Colza, Sésame)

II.3.1. Facteurs antinutritionnels dans les tourteaux

II.3.1.1 Définition

Les facteurs antinutritionnels présents dans les tourteaux sont des composés d'origine naturelle ou fongique qui réduisent la valeur nutritive de ces sous-produits et peuvent nuire à la santé des animaux. Ils interfèrent avec la digestion et l'absorption des nutriments, entraînant un ralentissement de la croissance, des troubles métaboliques, et peuvent également conférer un goût désagréable aux tourteaux, réduisant ainsi leur appétence (Energie Wallonie, 2021 ; VetAgro Sup, 2024).

II.3.1.2. Les composés antinutritionnels des tourteaux

II.3.1.2.1 Tourteaux de soja

➤ **Goitrigènes et œstrogènes**

Le tourteau de soja contient des substances anti nutritionnelles telles que les goitrigènes, qui perturbent la fonction thyroïdienne chez les volailles en cas d'utilisation excessive, ainsi

que la génistéine, un isoflavone à activité oestrogénique, pouvant provoquer des déséquilibres hormonaux lors d'une exposition prolongée ou à forte dose. (Hemken et al., 1971 ; McDonald et al., 2002).

➤ **Polysaccharides non amylacés (NSP)**

Les NSP présents dans le tourteau de soja réduisent la digestibilité des nutriments (protéines, amidon, lipides) et augmentent les fermentations intestinales, nuisant à la performance digestive des volailles. L'ajout d'enzymes exogènes comme la xylanase et la protéase permet de limiter ces effets (Choct et al., 1995 ; Smits et al., 1996 ; Leeson et al., 2005).

➤ **Phytates et biodisponibilité des minéraux**

Le tourteau de soja est riche en phosphore, principalement sous forme de phytates, peu digestibles pour les monogastriques. Ces composés réduisent la biodisponibilité du zinc et contribuent à la pollution environnementale via l'excrétion fécale du phosphore. Une supplémentation en zinc est donc nécessaire (Blair, 2008 ; Waldroup et al., 2008).

II.3.1.2.2. Tourteaux de colza

➤ **Glucosinolates**

Présents dans les Brassicacées, les glucosinolates altèrent la fonction thyroïdienne et réduisent l'appétence chez les animaux, notamment les volailles. Leur teneur a été réduite grâce aux variétés améliorées et aux traitements industriels (4–15 µmol/g). (Przybylski et al., 2005 ; Fenwick, 1982).

➤ **Acide phytique**

L'acide phytique diminue la biodisponibilité des minéraux (Zn, Ca, Fe) et représente jusqu'à 95 % du phosphore total dans le tourteau de colza, limitant son assimilation. (Mejicanos et al., 2016 ; Selle et al., 2003 ; Spragg et al., 2007).

➤ **Tannins**

Les tannins se lient aux protéines, réduisant leur digestibilité. Ils sont concentrés dans l'enveloppe des graines de colza. (Bell, 1993 ; Lipsa et al., 2012).

➤ **Sinapine**

La sinapine ($\approx 1\%$) diminue la palatabilité du tourteau et inhibe l'ingestion alimentaire. (Mejicanos et al., 2016).

II.3.1.2.3 Le Tourteaux de sésame

➤ **Acide phytique**

Le principal facteur antinutritionnel identifié dans le tourteau de sésame est l'acide phytique. Ce composé a la capacité de chélater (lier) certains minéraux essentiels tels que le calcium et le zinc, réduisant ainsi leur biodisponibilité dans l'organisme. Cette interaction est particulièrement problématique dans les régimes pauvres en minéraux hautement disponibles (AJOL, 2021).

➤ **Autres composés et mycotoxines**

Contrairement à certains autres tourteaux (comme celui d'arachide), le tourteau de sésame n'est pas couramment associé à la présence de mycotoxines, telles que les aflatoxines, bien que cela ne soit pas totalement exclu en cas de mauvaises conditions de stockage. Néanmoins, la présence de composés antinutritionnels naturels, notamment les phytates, doit être prise en considération lors de l'utilisation en alimentation animale (VetAgro Sup, 2022 ; AJOL, 2021).

II.3.1.3 Composition nutritionnelle des tourteaux

II.3.1.3.1 Soja

➤ **Protéines**

La teneur en protéines du tourteau de soja est influencée par plusieurs facteurs, notamment la présence d'impuretés, l'ajout de coques lors du traitement, ainsi que les variations saisonnières qui affectent la composition des graines. Dans le cas du tourteau décortiqué, la teneur garantie en protéines varie entre 46,5 % et 50 %. (Van Eys, J.E., 2001).

➤ **Fibres**

La teneur en fibres du tourteau de soja provient principalement des coques ajoutées au cours du processus de fabrication. La présence d'impuretés peut également augmenter cette teneur. Les fibres réduisent l'énergie disponible dans le produit. La teneur maximale garantie est de 7 % pour le tourteau extrait au solvant, et de 3,3 % à 3,5 % pour le tourteau décortiqué (Van Eys, J.E., 2001).

➤ **Lipides**

Les tourteaux extraits par solvant contiennent peu de lipides résiduels (1 à 2,5 %), ce qui reflète une extraction très efficace (**Lessire et al., 2009**).

Les procédés moins performants laissent 5 à 20 % de graisses résiduelles, selon le niveau de dégraissage (**FeedTables, 2023**).

Les tourteaux « soja express » présentent 6 à 8 % de lipides, bénéfiques pour les ruminants grâce à leur faible dégradabilité dans le rumen (**Insta-Pro International, 2020**).

Ces graisses, riches en acides gras essentiels, augmentent la valeur énergétique du tourteaux (**VetAgro Sup, 2023**).

➤ **Minéraux**

Le tourteau de soja présente des niveaux importants de calcium, de phosphore (dont une grande partie sous forme de phytate), de potassium et de magnésium, avec de faibles teneurs en sodium, chlore et soufre (**Feed Tables, 2023**).

Il constitue également une bonne source de fer, de zinc, de cuivre et de manganèse, ainsi que d'oligo-éléments essentiels tels que le sélénium, le cobalt, le molybdène et l'iode (**Agroscope, 2023**).

Cette richesse minérale contribue à la haute valeur nutritionnelle du tourteau de soja dans l'alimentation animale (**VetAgro Sup, 2023**).

II.3.1.3.2 Colza

➤ **Protéines**

Le tourteau de colza contient environ 34 % de protéines, avec une richesse particulière en acides aminés soufrés, ce qui en fait un complément protéique intéressant pour l'alimentation animale (**OCL, 2010 ; Energie Wallonie, 2013**).

Des études récentes ont mis en évidence la possibilité d'extraire des biopeptides actifs à partir des protéines de colza, présentant des effets antioxydants et antifongiques, valorisables dans l'industrie agroalimentaire (**Terres Univia, 2021**).

Grâce au développement des variétés de colza dites « double zéro » (00), à faible teneur en glucosinolates, l'usage du tourteau dans l'alimentation animale est devenu plus sécurisé

(Energie Wallonie, 2013 ; Anim. Res., 1970).

➤ **Fibres**

Le tourteau de colza présente une teneur élevée en fibres (entre 10 et 18 % de la matière sèche), supérieure à celle de certains autres tourteaux. Cette richesse en fibres réduit la digestibilité et la valeur énergétique, notamment chez les porcs, ce qui limite son incorporation à moins de 15 % dans la ration (ITAVI, 2021 ; Web-Agri, 2012).

Les fibres proviennent principalement des enveloppes des graines, peu digestibles. Néanmoins, elles peuvent favoriser la santé gastro-intestinale chez les ruminants si elles sont bien dosées (Terres Inovia, 2020 ; Cali-Alim, 2022).

➤ **Lipides**

Les tourteaux de colza issus de la pression, notamment à froid, présentent des teneurs élevées en lipides (jusqu'à 26 % de la matière sèche), tandis que ceux extraits par solvant n'en contiennent qu'environ 2,85 %, ce qui illustre clairement l'impact du procédé d'extraction sur la teneur en graisse (Lessire et al., 2009 ; ITAVI, 2020).

Les tourteaux riches en lipides sont plus vulnérables à l'oxydation, ce qui limite leur stabilité sans antioxydants (Énergie Wallonie, 2003).

L'augmentation des lipides améliore la valeur énergétique, atteignant jusqu'à 3 721 kcal/kg MS chez le coq (Lessire et al., 2009).

Ainsi, la méthode d'extraction influence directement la qualité nutritionnelle des tourteaux de colza (Lessire et al., 2009 ; ITAVI, 2020).

➤ **Minéraux**

Le tourteau de colza se distingue par sa richesse en protéines (environ 34 %), ainsi que par des teneurs significatives en calcium (8,3 g/kg) et en phosphore (11,4 g/kg), en plus de vitamines du groupe B et de fibres, ce qui renforce sa valeur nutritionnelle dans l'alimentation animale (Germineo, 2023 ; Énergie Wallonie, 2019).

Cependant, contrairement aux aliments commerciaux enrichis, le tourteau de colza n'est généralement pas complétement en minéraux, rendant souvent nécessaire l'ajout de suppléments minéraux pour équilibrer les rations (**Idele, 2020**).

Les principaux minéraux présents dans le tourteau de colza sont le calcium, le phosphore et le molybdène, qui contribuent à réduire les besoins en apports minéraux externes dans les régimes alimentaires pour animaux (**Énergie Wallonie, 2019 ; ORBi, 2000**).

II.3.1.3.3 Sésame

➤ Protéines

Les tourteaux de sésame sont particulièrement riches en protéines, avec une teneur moyenne comprise entre 32 % et 37 %, selon les analyses. Ils représentent donc une source précieuse de protéines pour l'alimentation animale. Ces tourteaux contiennent des acides aminés essentiels tels que la méthionine, la cystine, l'arginine et la leucine, mais sont relativement pauvres en lysine (**ITAB Lab, 2022 ; Alimentec, 2022 ; Feedtables, 2024 ; Anim. Res., 1973**).

➤ Fibres

Les fibres représentent environ 14 à 17 % de la matière sèche du tourteau de sésame, faisant de ce dernier un ingrédient particulièrement riche en fibres alimentaires. La majorité des glucides présents sont sous forme de fibres, avec très peu de sucres simples ou d'amidon (**ITAB Lab, 2022 ; Alimentec, 2022 ; Feedtables, 2024**).

➤ Lipides

La teneur en lipides résiduels dans les tourteaux de sésame varie généralement entre 12 % et 16 %. Ces matières grasses sont principalement composées d'acides gras insaturés, avec une forte proportion d'acides gras polyinsaturés (68 à 72 %), notamment l'acide linoléique (oméga-6) et l'acide α -linoléique (oméga-3) (**ITAB Lab, 2022 ; Alimentec, 2022 ; Feedtables, 2024**).

➤ Minéraux

Les tourteaux de sésame présentent une teneur élevée en minéraux essentiels, notamment en calcium, phosphore, magnésium, potassium, zinc et fer.

Ce profil minéral équilibré en fait un ingrédient intéressant pour couvrir les besoins en oligo-éléments dans l'alimentation animale (**Feedtables, 2024**).

II.4 Traitements pour réduire les facteurs anti nutritionnels

II.4.1 Tourteaux de soja

II.4.1.1 Traitements thermiques (FTS)

Le traitement thermique est l'une des méthodes les plus efficaces pour réduire les facteurs antinutritionnels du tourteau de soja, notamment les inhibiteurs de trypsine, ce qui améliore la digestibilité et la valorisation des protéines (**VetAgro Sup, 2020**).

L'efficacité du procédé dépend de paramètres précis : une température de 110 à 120 °C pendant 20 à 30 minutes permet d'inactiver les composés indésirables sans altérer la qualité des protéines. Un excès de chaleur peut toutefois entraîner la dégradation d'acides aminés essentiels tels que la lysine (**Annison, 1971 ; Parsons et al., 1991**).

La cuisson à la vapeur (chaleur humide) est plus efficace que la chaleur sèche pour réduire les inhibiteurs de trypsine. L'extrusion, combinant pression et chaleur, s'avère également performante, notamment dans les procédés sans extraction d'huile (**Terres Inovia, 2019 ; Cniel et al., 2020**).

Il est essentiel de trouver un compromis entre l'efficacité de l'inactivation des facteurs antinutritionnels et la préservation des qualités nutritionnelles du tourteau (**Martin et al , 2004**).

II.3.1.2. Fermentations en milizu solide

La FMS est une technologie biotechnologique basée sur la culture de champignons comme *Aspergillus* sur du tourteau de soja faiblement humidifié, ce qui améliore sa valeur nutritionnelle en augmentant les protéines et les enzymes, tout en réduisant les composés antinutritionnels (**Vitagora, 2023 ; UMC, 2021**).

Elle constitue une alternative durable à la fermentation liquide grâce à une consommation d'eau réduite et une faible production de rejets, tout en répondant aux exigences de naturalité des produits sans additifs (**Vitagora, 2023 ; Lesaffre, 2023**).

Le procédé comprend : humidification, ensemencement, incubation (30 °C, pH 4–5), puis séchage pour stabiliser le produit obtenu (**Univ. Chlef, 2022 ; UMC, 2021**).

Cette méthode améliore la biodisponibilité des nutriments et renforce l'immunité des jeunes animaux, ce qui favorise de meilleures performances et réduit la mortalité (**Vitagora, 2023**).

II.4.1.3. Traitements enzymatiques

Le traitement enzymatique est une méthode efficace pour éliminer certains facteurs antinutritionnels présents dans le tourteau de soja, tels que les inhibiteurs de trypsine, les phytates, les tanins et les saponines, en les dégradant à l'aide d'enzymes spécifiques afin d'améliorer l'absorption des nutriments (**ITAVI, 2020 ; Terres Inovia, 2021**).

Cette technique vise à augmenter la digestibilité des protéines et la disponibilité des acides aminés essentiels, contribuant ainsi à une meilleure valeur nutritionnelle du tourteau et à de meilleures performances animales (**Transformation du soja à la ferme, 2020**).

Les enzymes les plus utilisées sont la phytase, qui dégrade les phytates, et les protéases, qui neutralisent les inhibiteurs de protéases, ce qui améliore la biodisponibilité du phosphore et de l'azote (**Ann. Zootech., 1971 ; Transformation du soja à la ferme, 2020**).

Bien que cette méthode soit encore moins répandue que le traitement thermique, elle constitue une alternative prometteuse, notamment lorsqu'elle est combinée à d'autres procédés visant à optimiser la qualité nutritionnelle du tourteau (**Transformation du soja à la ferme, 2020**).

II.4.2. Tourteaux de colzas

II.4.2.1. Traitements Thermiques

Le traitement thermique réduit partiellement les glucosinolates (30–70 %) en inactivant la myrosinase (**Daun et al., 1997**). mais une température excessive (>100 °C) diminue la digestibilité des protéines, surtout chez les monogastriques (**Cetiom, 2001 ; Newkirk, 2009**).

Le tourteau pressé à froid conserve plus de glucosinolates faute de chaleur suffisante (**Newkirk, 2009**).

II.4.2.2. Fermentations en milieu solide (FMS)

La fermentation en milieu solide (FMS) est une technique biotechnologique efficace pour réduire les facteurs antinutritionnels dans les tourteaux de colza, notamment les phytates et les glucosinolates (**Vitagora, 2024**). Elle repose sur l'utilisation de micro-organismes spécifiques,

comme *Aspergillus niger*, capables de dégrader ces composés indésirables de manière naturelle et respectueuse de l'environnement (**Lesaffre, 2024**).

En plus de réduire les facteurs antinutritionnels, la FMS améliore la digestibilité et enrichit le tourteau en protéines, augmentant ainsi sa valeur nutritionnelle en alimentation animale (**JATROREF, s.d.**).

II.4.2.3. Traitements enzymatiques

Les traitements enzymatiques, surtout la phytase microbienne, améliorent la libération des nutriments chez les volailles. Cependant, ces enzymes sont surtout adaptées aux céréales, ce qui limite leur efficacité sur les produits à base de colza. Les résultats pour les enzymes dégradant les polysaccharides sont encore peu concluants (**Kozlowski et al., 2014**).

II.4.3. Tourteaux de sésame

II.4.3.1. Traitements thermiques (FTS)

Est une étape cruciale dans l'amélioration de la qualité des tourteaux de sésame après extraction de l'huile. Cette technique consiste à chauffer les graines, souvent entre 120°C et 140°C, ce qui permet non seulement d'améliorer l'arôme et le rendement en huile, mais aussi de produire un tourteau plus stable et plus nutritif (**Oil Mill Plant, 2023**).

Le chauffage permet également d'inactiver plusieurs facteurs antinutritionnels, notamment les inhibiteurs de la trypsine, améliorant ainsi la valeur protéique et la digestibilité du tourteau. Des effets similaires ont été observés dans le traitement thermique d'autres graines oléagineuses, comme le soja (**IFIP, 2022**).

II.4.3.2. Fermentation en milieu solide (FMS)

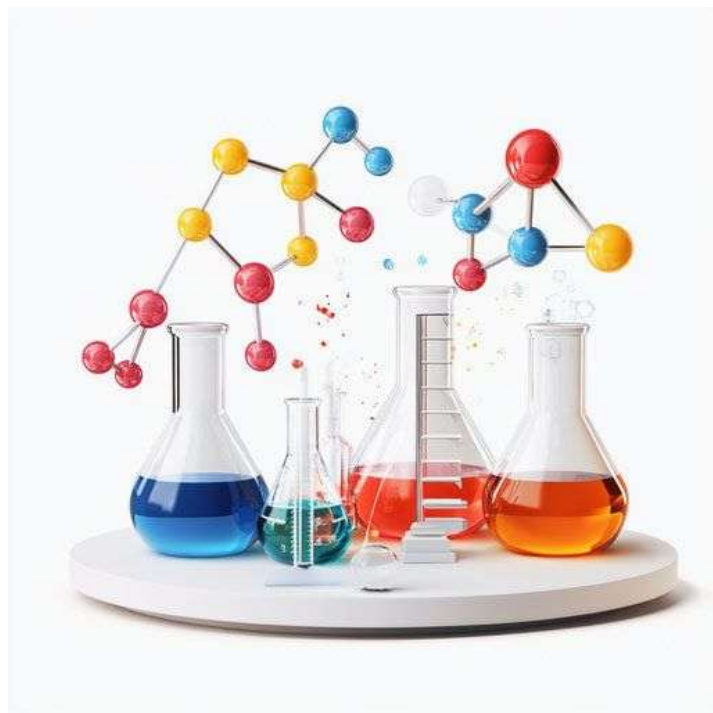
Consiste à cultiver des micro-organismes, principalement des champignons filamenteux comme *Aspergillus* ou *Penicillium*, sur du tourteau de sésame, un sous-produit riche en protéines issu de l'extraction de l'huile. Cette méthode naturelle permet d'améliorer la valeur nutritionnelle du tourteau, notamment en augmentant la proportion de protéines digestibles et en enrichissant son profil enzymatique, ce qui ouvre la voie à son utilisation dans l'alimentation animale ou dans diverses applications industrielles (**Vitagora, 2024 ; CIRAD, 2020 ; UMC, 2023**).

II.4.3.3. Traitements enzymatiques

Le traitement enzymatique des tourteaux de sésame repose essentiellement sur l'utilisation d'enzymes telles que les xylanases, produites par des champignons comme *Aspergillus niger*. Ces enzymes permettent la dégradation des composants complexes du tourteau, notamment les polysaccharides présents dans la paroi cellulaire, ce qui améliore la digestibilité et renforce la valorisation du tourteau dans l'alimentation animale ou dans d'autres applications biotechnologiques (**Production des xylanases par *Aspergillus niger*, UMC, 2023**).

PARTIE 2

EXPREMENTAL



CHAPITRE III

Matériel et Méthodes

III Matériel et Méthodes

Cette étude vise à évaluer la faisabilité d'incorporer les tourteaux, co-produits de l'extraction d'huiles végétales, dans l'alimentation des volailles. L'approche repose sur une caractérisation de la qualité nutritive et microbiologique de ces sous-produits, dont les résultats seront utilisés pour la formulation de rations équilibrées. L'intérêt principal est la valorisation des sous-produits industriels, la réduction des coûts alimentaires et l'amélioration de la performance zootechnique des volailles, en accord avec les principes de durabilité de l'industrie avicole. Le travail a été réalisé dans les laboratoires pédagogiques du Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila et au laboratoire d'essais et de contrôle de la qualité daté d'une autorisation ministérielle N°034 du 07/01/2024.

III.1 Matériel et produits

Pour la réalisation de ce travail de valorisation des tourteaux et de production d'un aliment de volaille, nous avons utilisé le matériel et les produits cités dans le tableau ci-dessous.

Tableau 06: Matériel et produits utilisés pour la réalisation du travail

N°	Nom de réactif /ingrédient	Equipement / Matériel
1	Acide sulfurique (H ₂ SO ₄) Concentré et dilué	Balance analytique (± 0.1 mg)
2	Hydroxyde de sodium (NaOH) 1.25% / 20% / 40%	Étuve (105 °C)
3	Acide chlorhydrique (HCl) dilué et normalisé	Four à moufle (550°C)
4	Acide borique 4 %	PH-mètre +electrode adaptée
5	Solution de permanganate de potassium (KMnO ₄)	Extracteur Soxhlet +condenseur
6	Solution d'oxalate d'ammonium	Appareil Kjeldahl (manuel ou auto)
7	Solution d'ammoniaque (NH ₄ OH)	Spectrophotomètre (880 nm)
8	Solution de molybdate d'ammonium	Appareil de titrage (burette, flacon, etc....)
9	Acide ascorbique / chlorure stanneux	Système de filtration (creuset, entonnoir ...)
10	Solution tampons PH 4 et 7	Burette, pipettes, fioles jaugées
11	Hexane	Bain -marie
12	Acétone ou éthanol	Plaque chauffante
13	Solution de fehling A et B	Verrerie de laboratoire (béchers, fioles, etc....)
14	Solution de sucre étalon (1.5 mg/ml)	Gants, hotte chimique
15	Bleu de méthylène 1%	Moulin électrique
16	Phénolphthaléine	Papier filtre, chiffon doux
17	Solution indicatrice rouge de méthyle	Récipient homogénéisation + béccher 500ml
18	Eau distillée	Cuillères, bols plastiques
19	Sel de table	Sacs alimentaires
20	KCl, KH ₂ PO ₄	Papier absorbant / papier de séchage
21	Képi de sucre, tourteaux (soja, colza, sésame)	
22	Maïs, son de blé, coquilles d'œufs.	

III.2 Collecte des échantillons tourteaux

La collecte des échantillons de tourteaux (tourteaux de soja, de colza et de sésame) a été effectuée directement auprès d'un laboratoire privé spécialisé dans l'extraction d'huiles végétales naturelles, située dans la commune de Ferdjioua, Wilaya de Mila. Sans oublier de mentionner que les tourteaux de colza ont été fournis par l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne (ITDAS) de Biskra. Le processus de collecte a été rigoureusement mené afin de garantir la représentativité des échantillons quant à la qualité des tourteaux produits par l'établissement, tout en tenant compte des conditions de stockage initiales.



Figure 09: Différents types de tourteaux utilisés (A : Tourteaux de colza, B : Tourteau de sésame, C : Tourteaux de soja) (photo personnelle, 2025)

III.3 Méthodes d'analyses et de dosages des tourteaux

III.3.1 Dosage des éléments nutritifs

Les différents types de tourteaux choisis ont subis un ensemble d'analyses et dosages à savoir les protéines, les glucides, les lipides, les fibres, la partie minérale, le phosphore, l'azote et le calcium, dans le but de déterminer leur composition nutritionnelle et d'évaluer leur qualité afin de composer notre tourteau qui a servi comme matière première dans la fabrication de l'aliment de volailles qui s'inscrit dans un cadre de start-up.

III.3.1.1 Protéines brutes

Les protéines ont été analysées selon la méthode de Kjeldahl qui estime la teneur en protéines brutes en mesurant l'azote total de l'échantillon. Elle comprend quatre étapes clés : digestion, distillation, titrage et calcul selon le protocole citer dans le tableau 07.

Tableau 07: Protocole de dosage des protéines

Etapes	Description
1. Digestion	2 g d'échantillon homogénéisé sont digérés avec de l'acide sulfurique et un catalyseur à 200-300°C pendant 2 heures, puis dilués
2. Distillation	Une portion du digestat dilué est ajoutée à l'unité Kjeldahl avec de l'hydroxyde de sodium. L'ammoniac libéré est ensuite recueilli dans une solution d'acide borique.
3. Titrage	L'ammoniac piégé est titré avec de l'acide chlorhydrique normalisé pour quantifier l'azote.
4. Calcul	La teneur en azote est convertie en pourcentage de protéines brutes à l'aide d'un facteur de conversion spécifique à l'échantillon.

III.3.1.2 Glucides

Les glucides ont été analysés selon une méthode colorimétrique basée sur la réaction des sucres réducteurs avec les solutions de Fehling A et B, suivie d'un titrage pour quantifier la concentration. Elle implique une hydrolyse pour libérer les sucres selon le protocole ci-dessous (tableau 08).

Tableau 08: Protocole de détermination des glucides tourteaux (Méthode de Lane-Eynon)

Etape	Description
Préparation de l'échantillon	○ Titrage de l'échantillon
Hydrolyse & Neutralisation	○ Prendre 50ml du filtrat dans une fiole de 100ml. ○ Ajouter 2.5ml d'HCl concentré, laisser reposer 24h. ○ Neutraliser avec NaOH 40% (phénolphtaléine) puis HCl normal (jusqu'à disparition du rose.) ○ Diluer à 100ml
Titrage à Blanc	○ Chauffer. ○ Ajouter environ 17ml d'étalon de sucre de travail. ○ Faire bouillir 2 min. ○ Ajouter 4 gouttes de bleu de méthylène (1%). ○ Titrer jusqu'à la réapparition de la couleur orange vif.
Titrage de l'Échantillon	○ Prendre 5ml de Fehling A + 5ml de Fehling B dans une fiole conique. ○ Ajouter 7,5 -8 ml de solution d'échantillon finale (ou 25ml si <10% de sucre). ○ Diluer à environ 50ml. ○ Ajouter 4 gouttes de bleu de méthylène (1%). ○ Quand la solution bout rapidement, ajouter 5-7 gouttes d'étalon de sucre par intermittence. ○ Arrêter le titrage lorsque la couleur orange vif réapparaît

III.3.1.3 Lipides

Les lipides ont été dosés selon la méthode Soxhlet extrait les lipides d'un échantillon solide par lavage continu et répété avec un solvant organique chaud (hexane). Le solvant dissout les graisses, siphonne vers le ballon, puis s'évapore pour recommencer le cycle, assurant une extraction complète, en suivant le protocole mentionné dans le tableau 09 et la formule en dessous.

$$\text{Matière grasse brutes} = \frac{(\text{poids final du ballon} - \text{poids du ballon vide})}{\text{poids de l'échantillon initial}} \times 100$$

Tableau 09: Protocole expérimental de la méthode de Soxhlet.

Etape	Description
Préparation	Sécher (105 C) moudre (1 mm) et peser 10 g. d'échantillon.
Installation	Placer l'échantillon dans la cartouche Soxhlet, ajouter 250 ml d'hexane au ballon, puis assembler l'appareil
Extraction	Chauffer pour que le solvant s'évapore, se condense et siphonne à travers l'échantillon pendant 6 heures (ou jusqu'à ce que le siphon soit incolore).
Récupération	Évaporer le solvant du ballon, sécher le résidu de graisse à l'étuve (105 C pendant 30 à 60 minutes), refroidir au dessiccateur et peser jusqu'à poids constant.

III.3.1.4 Fibres brutes (FB)

La fibre brute se compose principalement de cellulose et de lignine et est le résidu restant après une digestion successive à l'acide et à l'alcali. La détermination des fibres a suivi les étapes de la digestion acide et alcaline comme le mentionné le tableau 10.

Tableau 10: Etapes de la digestion acide et alcaline dans la détermination de la fibre brute (ISO 6865)

Etape	Description
a. Digestion acide	○ Ajouter 150 ml de 1.25% H₂SO₄ à l'échantillon dans l'unité de boiling. ○ Faire bouillir pendant 30 minutes, en maintenant un volume constant avec un condenseur à reflux. ○ Filtrer et laver soigneusement avec de l'eau distillée chaude.
b. Digestion alcaline	○ Ajouter 150 ml de 1.25% NaOH au résidu (obtenu après la digestion acide). ○ Faire bouillir à nouveau pendant 30 minutes dans les mêmes conditions. ○ Filtrer et laver soigneusement avec de l'eau distillée chaude et de l'acétone ou de l'éthanol pour éliminer toute graisse résiduelle.

III.3.1.5 Matière minérale

La fraction minérale a été déterminée par la méthode d'incinération/gravimétrie, dont le principe est de brûler la matière organique contenue dans l'échantillon à très haute température. Ce qui reste après la combustion est le résidu inorganique (les cendres), qui représente la teneur totale en minéraux de l'échantillon selon la formule suivante :

$$\times 100 \text{ Teneur en minéraux (\%)} = \frac{(\text{Poids du creuset après cendrage} - \text{poids du creuset vide})}{\text{Poids de l'échantillon}}$$

Tableau 11: Procédure de détermination de la teneur en cendres / Matière minérale (AOAC995.11).

Etape	Description
Préparation de l'échantillon	• Sécher l'échantillon à 105 C jusqu'à obtenir un poids constant. • Le moulin pour qu'il passe à travers un tamis de 1mm.
Pesée	• Peser 5 g de l'échantillon sec dans un creuset préalablement pesé.
Carbonisation (facultatif mais recommandé)	• Chauffer doucement le creuset pour carboniser l'échantillon et réduire la fumée lors de l'incinération. • Arrêter lorsque seuls des résidus noirs subsistent
Centrage au four à moufle	• Transférer le creuset dans un four préchauffé à 550 ± 2 C • Laisser incinérer pendant 4 heures, ou jusqu'à ce que les cendres soient gris-blanc et sans particules noires.
Refroidissement et pesée	• Retirer les creusets du four et les placer dans un dessiccateur pour les faire refroidir pendant 30 minutes. • Peser le creuset refroidi avec les cendres

III.3.1.6 Phosphore

Les ions phosphate présents dans l'échantillon réagissent avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former de l'acide phosphomolybdique. Cet acide est ensuite réduit par un agent réducteur (comme l'acide ascorbique) pour produire un complexe de couleur bleue. L'intensité de cette couleur est directement proportionnelle à la concentration en phosphate et est mesurée à 880 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Tableau 12: Protocole d'analyse du phosphore par colorimétrie (AOAC 995.11).

Etape	Description
Préparation de l'Échantillon	• Incinération de 5 g d'échantillon pour obtenir des cendres. • Dissolution des cendres et ajustement du volume à 100 ml.
Préparation des Réactifs	• Préparation des solutions étalons de phosphate
Réaction Colorimétrique	• Ajout de réactifs (acide sulfurique, molybdate d'ammonium, agent réducteur) aux échantillons et étalons pour développer une couleur bleue
Mesure Spectrophotométrie	• Mesure de l'absorbance à 880nm
Calcul des Résultats	• Utilisation d'une courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration de phosphore dans l'échantillon

III.3.1.7 Calcium

Le protocole mentionné dans le tableau 13, détermine la teneur en calcium en le précipitant sous forme d'oxalate de calcium, puis en le titrant avec une solution de permanganate de potassium. L'apparition d'une coloration rose persistante marque le point final de la réaction.

Tableau 13: Protocole de dosage du calcium (ISO 6490-1).

Etape	Description
Préparation de l'échantillon.	○ On incinère l'échantillon, puis on dissout les cendres dans l'acide chlorhydrique HCl.
Précipitation du calcium	○ On ajoute de l'oxalate d'ammonium pour précipiter le calcium sous forme d'oxalate de calcium CaC_2O_4 , puis on laisse reposer.
Filtration et lavage	○ On filtre et on lave le précipité pour éliminer les impuretés.
Dissolution du précipité	○ On dissout l'oxalate de calcium dans de l'acide sulfurique H_2SO_4 dilué et chaud.
Titrage	○ On titre la solution avec du permanganate de potassium KMnO_4 jusqu'à l'obtention d'une couleur rose durable.

III.3.2 Partie Start-up

Dans le cadre d'un montage d'un projet de start-up, nous avons utilisé trois types de tourteaux (soja, colza et sésame) dans le but d'une production d'une matière première moins coûteuse et prête à être utilisée dans une formule de préparation d'un aliment de volaille tout en respectant la qualité alimentaire et énergétique du produit.

III.3.2.1 Préparation de la matière première

Plusieurs étapes ont été suivies, nous les présentons comme suit :

- ❖ **Etape 1 :** Les ingrédients utilisés (maïs, tourteaux de soja, de sésame et de colza, coquilles d'œufs broyées et son de blé) ont été d'abord réduits en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique.



Figure 10 : Graines de maïs

Figure 11: Graines de maïs broyées

- ❖ **Etape 2 :** Les particules obtenues ont ensuite été tamisées à travers un jeu de tamis calibrés pour garantir une granulométrie uniforme et chaque composant tamisé a été pesé individuellement sur une balance électronique de précision ($\pm 0,01$ g).



Figure 12: Pesés des tourteaux (Soja, Sésame, Colza) (Photo personnelle ,2025)



Figure 13: Son de blé (photo personnelle, 2025)

- ❖ **Etape 3 :** L'ensemble des ingrédients a été ensuite transféré dans une cuve de mélange et soumis à une agitation mécanique contrôlée jusqu'à obtention d'un mélange parfaitement homogène.
- ❖ **Etape 4 :** Enfin, du chlorure de sodium (sel de table) a été ajoutée à la formulation à la dose prescrite et incorporé au moyen du même procédé de mélange pour assurer une distribution homogène dans l'alimentation finale.



Figure 14: Tourteaux mélange (soja, sésame, colza, son de blé et le maïs)
(Photo personnelle, 2025)

❖ **Etape 5 :** Selon une formule bien étudiée, nous sommes arrivés au produit final. Et pour optimiser la préhension et la consommation par les volailles, le mélange préparé a été transformé en granulés de taille uniforme. En l'absence de granulateur industriel, la granulation a été effectuée manuellement suivant un protocole standardisé : le mélange sec a été humidifié légèrement, puis pressé et roulé entre les paumes pour former des grains d'environ 2-4 mm de diamètre. Les granulés obtenus ont ensuite été séchés à l'air ambiant jusqu'à atteindre un taux d'humidité inférieur à 12 % avant leur utilisation.



Figure 15: Granulation manuelle du mélange destiné à l'alimentation avicole

III.3.2.2 Mesure de l'acidité

L'acidité du produit a été estimée par la mesure du pH selon le protocole expliqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14: Etapes de mesure de l'acidité dans le tourteau mélange

Etape	Description
Préparation de l'échantillon	• Peser 100 g de l'aliment pour volailles finement homogénéisé. • Transférer l'échantillon dans un bécher de 100 ml. • Ajouter 30-100 ml d'eau distillée pour obtenir une suspension fluide sans altérer le pH. • Agiter doucement (à la spatule ou sur agitateur magnétique) jusqu'à obtenir une dispersion homogène. • Laisser reposer 2-3 minutes pour permettre la décompression des bulles d'air.
Mesure du pH	• Rincer l'électrode du pH-mètre à l'eau distillée, puis l'essuyer délicatement sans frotter la membrane. • Immerger l'électrode dans la suspension préparée, en veillant à ce que la partie sensible soit totalement submergée. • Attendre la stabilisation de la lecture (30-60 s) sans agiter l'échantillon. • Relever la valeur affichée avec deux décimales



Figure 16: Mesure du pH du produit final (Photo personnelle, 2025)

III.3.2.2 Matière sèche

La matière sèche est exprimée par la teneur en eau du produit calculé comme le montre le protocole cité dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15: Protocole de détermination de la matière sèche et de la teneur en eau

Etapes	Explication
Préparation	Sécher la coupelle vide à 103 °C pendant 30 minutes, refroidir dans un dessiccateur, puis peser (masse m_0).
Pesée initiale	Pesée initiale Ajouter environ 3 à 5 g d'échantillon. Peser la coupelle + échantillon humide (masse m_1).
Séchage	Mettre l'ensemble à l'étuve à 103 °C pendant 3 à 4 heures. Refroidir dans un dessiccateur, puis peser (masse m_2).
Répétitions	Répéter le séchage jusqu'à obtenir deux pesées consécutives avec une différence inférieure à 3 mg.
Calcul	Matière sèche % = $((m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)) \times 100$

III.3.2.3 Analyses microbiologiques

En ce qui concerne les critères de qualité des aliments pour animaux divers textes disposent d'obligation relative aux substances indésirables ou agents pathogènes, dans ce contexte une série de microorganismes ont été vérifiées, à savoir les germes aérobies, coliformes totaux, Escherichia coli, moisissures, anaérobies sulfite-réducteurs, enterobacteriaceae et salmonella.

Chapitre IV :

Résultats et Discussions

IV.1. Résultats et discussions

Devant l'exigence de compétitivité des filières animales, les pratiques traditionnelles de formulation des mélanges alimentaires destinés aux animaux ont privilégié l'usage de matières premières de plus en plus concentrées en protéines et en énergie, notamment les tourteaux. Dans ce chapitre nous présentons les résultats et les discussions de l'ensemble des analyses effectuées sur les différents types de tourteaux (Soja, Colza et les graines de Sésame), ainsi que la composition de notre tourteau final. Chaque paramètre étudié, représente un facteur de caractérisation du produit final destiné à l'alimentation des volailles.

IV.1. Composition nutritive des tourteaux

IV.1.1. Protéines

Les tourteaux, riches en protéines, sont une source de protéines de référence pour les volailles. Ils fournissent un bon équilibre en acides aminés essentiels, notamment en lysine et en thréonine, et sont facilement digestibles. Les résultats des analyses effectuées sur les différents types de tourteaux, ont révélés que les tourteaux de Soja et de graines de Sésame sont plus riches en protéines que ceux de Colza. En comparant, la teneur en protéines de notre mélange tourteaux avec la norme préconisée, notre produit apparait donc dans la norme standard (18-22 %) (Fig.25) (**INRA, 2024**).

Par ailleurs, la teneur en protéines et en acides aminés d'une ration doit être ajustée en fonction de sa valeur énergétique, car les volailles régulent leur consommation alimentaire selon leurs besoins énergétiques. Ainsi, plus l'animal vieillit, plus la teneur en protéines brutes et en acides aminés de l'aliment peut être réduite (**Drougoul et al., 2004**).

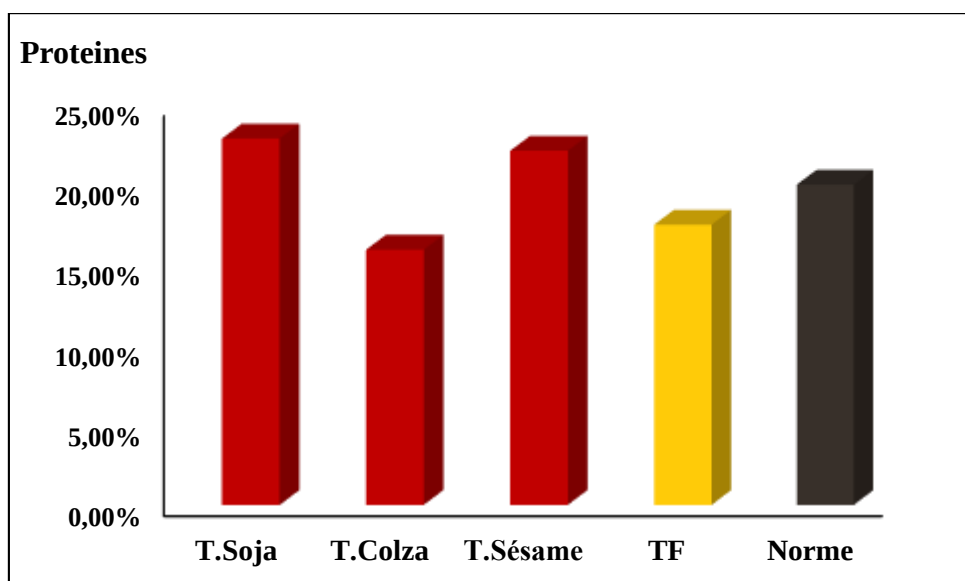


Figure 17: Variation des protéines dans les différents types de tourteaux étudiés

(T : tourteaux, F : final)

IV.1.2. Glucides

Selon la figure ci-dessus, la teneur la plus élevée en glucides est enregistré dans les tourteaux de Colza et de Soja, alors que le tourteau final contient comme même une teneur non négligeable par à rapport à la teneur norme préconisé dans l'alimentation des volailles. Les teneurs en glucides dans les tourteaux varient selon le type de tourteau. La composition exacte dépendra de la matière première et du processus d'extraction des huiles et de fabrication des tourteaux.

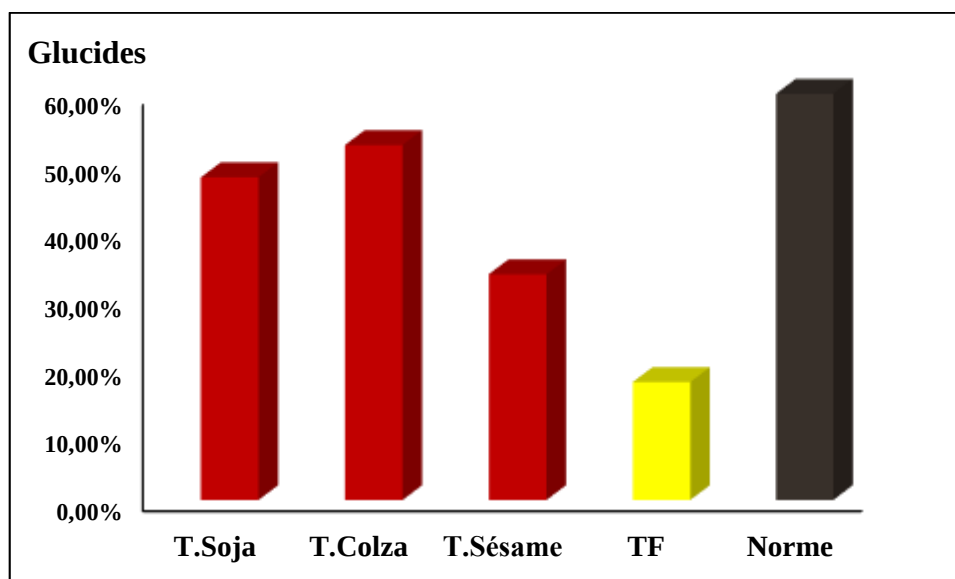


Figure 18: Variation des glucides dans les différents types de tourteaux étudiés

(T : tourteaux, F : final)

IV.1.3. Lipides

Selon les résultats obtenus, les tourteaux sont riches en matières grasses, avec des teneurs variables, selon le type de tourteau. Les tourteaux issus de l'extraction par pression à froid contiennent généralement plus de matières grasses que ceux issus de l'extraction par solvant. La teneur en lipides des tourteaux a un impact sur leur durée de conservation, car une forte teneur en matières grasses peut favoriser le rancissement. Ce qui nécessite une bonne gestion de ces tourteaux. Ainsi, ces fortes teneurs peuvent même atteindre les valeurs des graines entières.

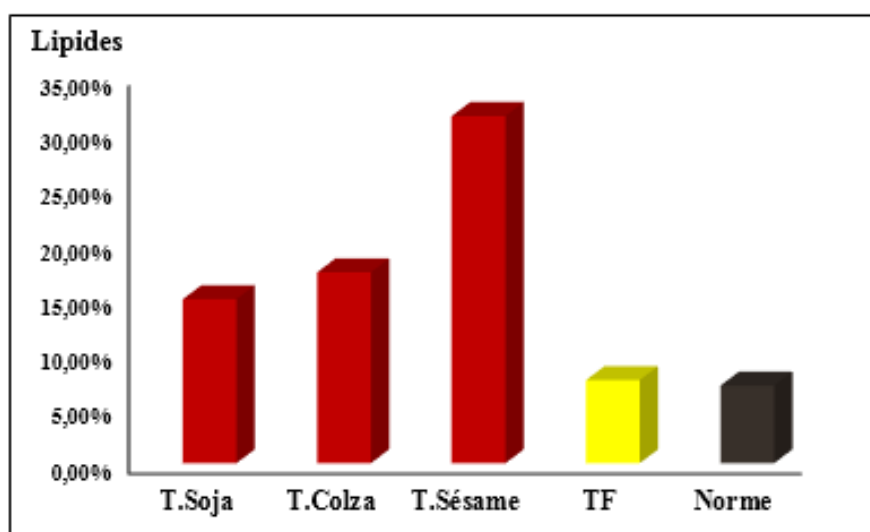


Figure 19: Variation des lipides dans les différents types de tourteaux étudiés

(T : tourteaux, F : final)

IV.1.4. Fibres

Les fibres des tourteaux, résidus de l'extraction de l'huile des graines oléagineuses, sont principalement composées de cellulose. Elles sont une source importante de fibres pour l'alimentation animale, bien que leur digestibilité puisse varier. D'après la figure ci-dessous, la teneur en fibres varie selon le type de tourteau (Soja, colza, Sésame). La teneur en fibre la plus importante est enregistrée dans les tourteaux de Soja et de Sésame, suivit par les tourteaux de Colza. La concentration en fibre de notre tourteau final, bien qu'elle reste inférieure aux autres types de tourteaux mais elle présente une teneur importante, en la comparant avec la norme. Donc notre produit est bien riche en fibres.

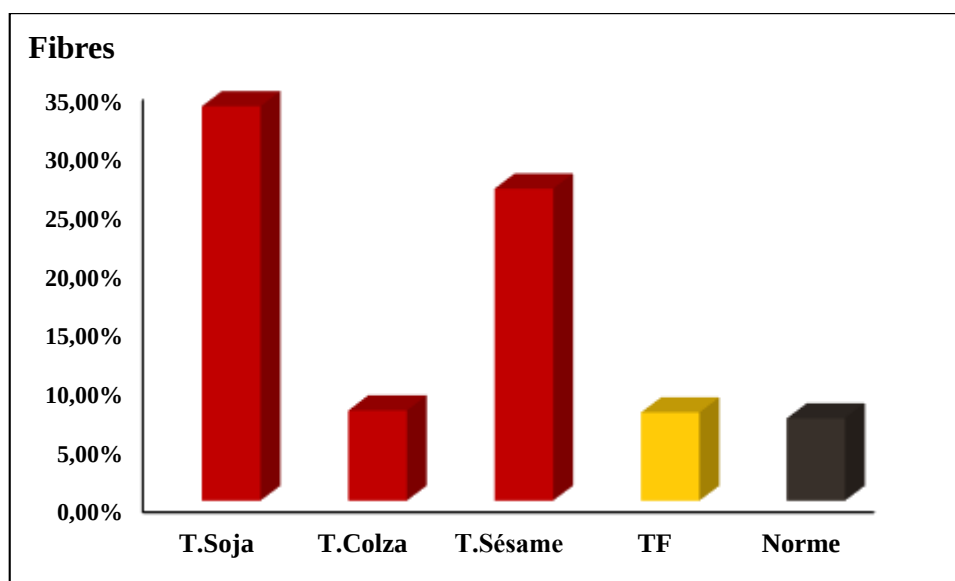


Figure 20: Variation des fibres dans les différents types de tourteaux étudiés
(T : tourteaux, F : final)

IV.1.5. Matière minérale

Elle représente la partie non organique, c'est-à-dire les éléments minéraux présents dans le tourteau. Ces minéraux incluent des éléments tels que le calcium, le phosphore, le potassium, le magnésium, etc. Ces minéraux sont nécessaires pour diverses fonctions, notamment la formation des os, la qualité des coquilles d'œufs, le métabolisme énergétique et la santé globale. Pour cette partie, les tourteaux de sésame, enregistrent la concentration la plus élevée en minéraux, tout en enregistrant un écart bien remarquable entre les différents types de tourteaux. Le mélange de tourteaux formé, présente une concentration considérable en minéraux.

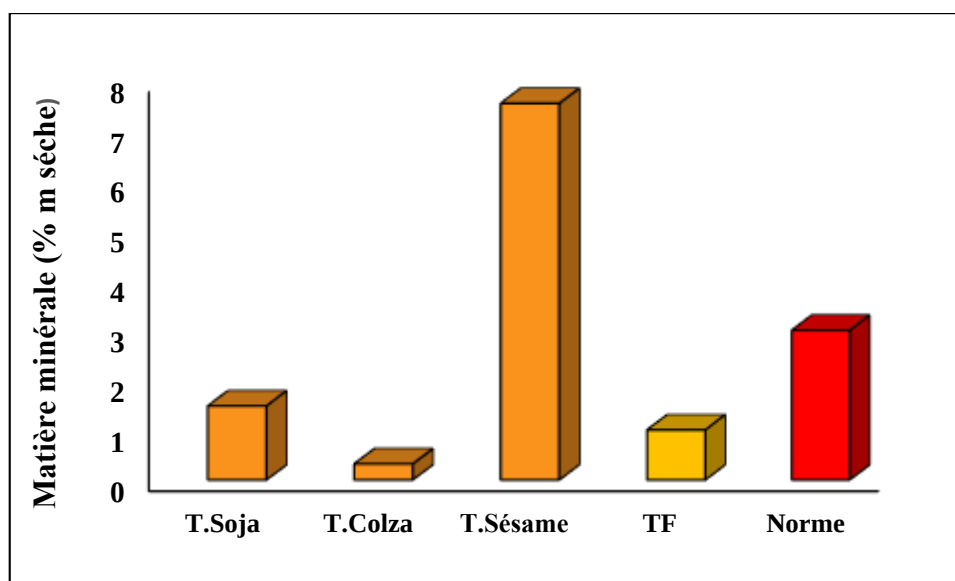


Figure 21: Variation de la matière minérale dans les différents types de tourteaux étudiés (T : tourteaux, F : final)

IV.1.6. L'azote

L'azote (N) est un élément essentiel dans la composition des matières organiques, en particulier des protéines. Dans le contexte des tourteaux (résidus solides après extraction d'huile de graines oléagineuses), l'azote est un indicateur clé de la valeur nutritionnelle, notamment pour l'alimentation animale. La teneur en azote des tourteaux varie selon leur origine (soja, colza, sésame, etc.). La teneur en protéines dans le tourteau composé n'est pas loin de la norme standard (INRA, 2024).

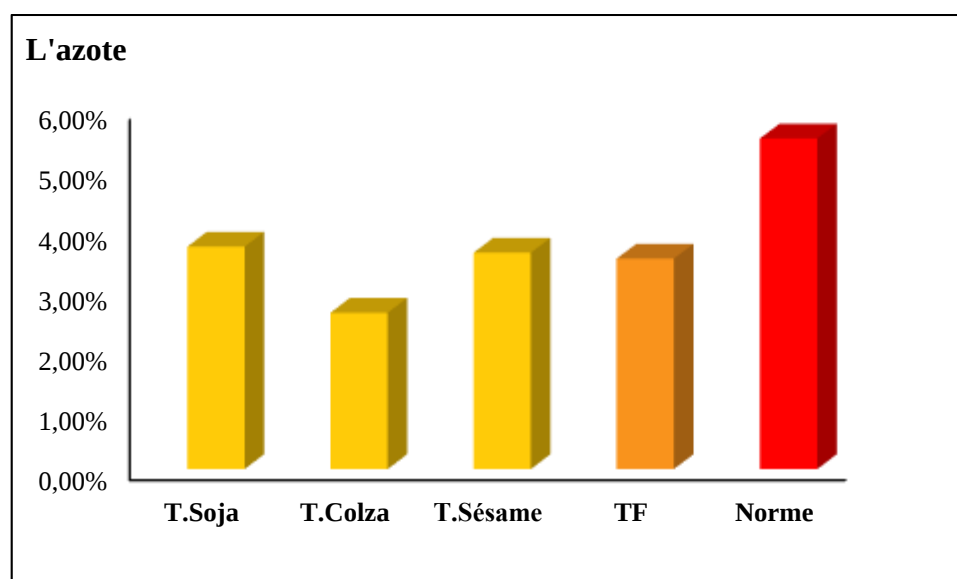


Figure 22: Variation de l'azote dans les différents types de tourteaux étudiés (T : tourteaux, F : final)

IV.1.7. Phosphore

D'après les résultats présentés par la figure ci-dessous, la teneur du mélange tourteau est relativement basse par rapport aux valeurs typiques des tourteaux, qui se situent généralement entre 0,6 % et 1,2 % selon la matière première (ex. : soja, colza, tournesol). Un phosphore total de 0,2 % suggère une matière première pauvre en phosphore ou un produit ayant subi un traitement important (raffinage, décorticage, etc.) . Comme une grande partie du phosphore végétal est non digestible (sous forme de phytate) (**Bordeaux et Roinsard, 2015**), la quantité de phosphore réellement disponible pour les volailles serait très limitée (estimée entre 0,05 % et 0,08 % digestible). Une telle teneur est insuffisante pour satisfaire les besoins nutritionnels des volailles, qui nécessitent entre 0,45 % et 0,70 % de phosphore digestible en fonction de l'âge et de la phase de production. En formulation, on compense le faible taux de digestibilité du phosphore végétal par l'ajout de phytase (enzyme) ou de sources minérales (ex. : phosphate monocalcique).

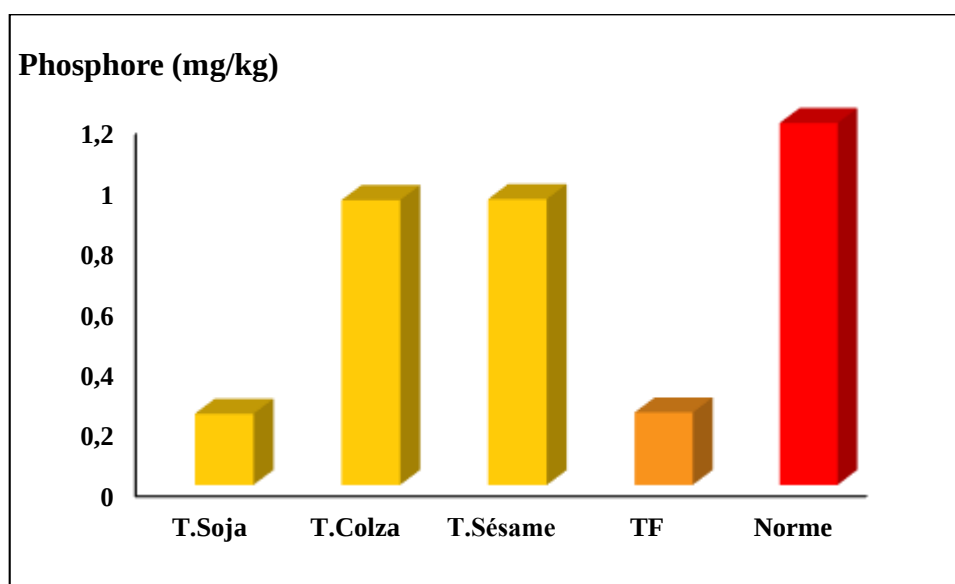


Figure 23: Variation du phosphore dans les différents types de tourteaux étudiés
(T : tourteaux, F : final)

IV.1.8. Calcium

Le calcium est indispensable à la formation du squelette, des coquilles d'œufs, à la contraction musculaire et à la coagulation du sang chez les volailles.

D'après le résultat, les tourteaux analysés sont pauvres en calcium. Il est donc nécessaire d'ajouter une source minérale (carbonate de calcium, phosphate calcique, poudre de coquille) pour couvrir les besoins nutritionnels des volailles.

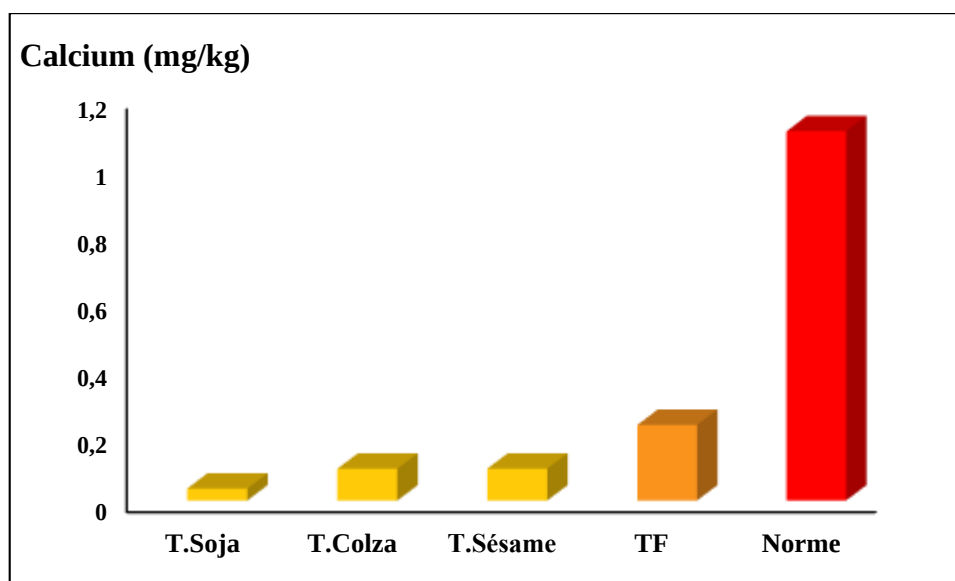


Figure 24: Variation du calcium dans les différents types de tourteaux étudiés
(T : tourteaux, F : final)

IV.2 Analyses et mesures complémentaires

Après avoir formulé le produit final, nous avons complété l'analyse avec la mesure de l'acidité, la teneur en eaux et des analyses microbiologiques.

IV.2.1 L'acidité

La valeur du pH mesurée était de 5,88 indiquant un milieu légèrement acide. Cette valeur se situe dans la plage généralement acceptable pour les aliments destinés à la volaille (entre 5,5 et 6,5), et peut contribuer à limiter le développement de certains micro-organismes pathogènes. Un pH légèrement acide favorise la stabilité microbiologique de l'aliment et peut améliorer la digestibilité chez les volailles, en particulier en l'absence de conservateurs chimiques.

IV.2.2 Matière sèche

La teneur en eau de l'échantillon d'aliment a été déterminée à 8,91 %, ce qui indique un taux d'humidité modéré et conforme aux normes recommandées pour les aliments destinés à la volaille. Un faible taux d'humidité (< 10 %) est généralement souhaitable, car il contribue à la bonne conservation de l'aliment, limite la croissance microbienne et prévient le développement de moisissures durant le stockage. Ce résultat suggère que l'échantillon analysé est stable du point de vue de la conservation et adapté à une utilisation dans la formulation des aliments pour volailles.

IV.2.3 Analyse microbiologique

L'analyse microbiologique réalisée sur l'échantillon de tourteau a montré l'absence de contaminants pathogènes (tableau.16) et une conformité globale aux normes réglementaires en vigueur pour les matières premières destinées à l'alimentation de volailles. Donc, le tourteau analysé est microbiologiquement sain et peut être utilisé en alimentation animale, y compris pour les volailles, sans risque sanitaire identifié à ce stade.

Tableau 16:Caractérisation microbiologique du produit final

Paramètre	Résultat 1	Résultat 2	Résultat 3	Résultat 4	Résultat 5
Germes aérobies à 30°C	7.9×10^4	7.1×10^4	7.4×10^4	7.9×10^4	8.1×10^4
Coliformes totaux	<9	<9	<9	<9	<9
E. coli	00	00	00	00	00
Moisissures	7.2×10^2	5.8×10^2	6.6×10^2	7.2×10^2	7.1×10^2
Anaérobies sulfito-réducteurs	00	00	00	00	00
Enterobacteriaceae	<9	<9	<9	<9	<9
Salmonella	00	00	00	00	00

Règlementations

Règlement (CE) n° 1831/2003 relatif aux exigences en matière d'hygiène des aliments pour animaux.

- Règlement (UE) n° 574/2011 – Limites maximales de contaminants dans les aliments pour animaux.
- Codex Alimentarius – Code d'usages pour la prévention de la contamination des aliments pour animaux.
- AFNOR ISO 6579 – Détection de *Salmonella* spp.

Conclusion

Face aux défis économiques et environnementaux auxquels l'Algérie est confrontée – notamment la flambée des prix des matières premières importées et la demande croissante en protéines animales – il devient essentiel d'explorer des alternatives locales durables capables de soutenir efficacement le secteur avicole. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif principal était de mettre en valeur les tourteaux issus de l'extraction des graines oléagineuses (soja, colza, sésame), en les requalifiant de simples résidus secondaires en matières premières nutritives pour la formulation d'aliments destinés aux volailles.

La démarche entreprise a débuté par une caractérisation physico-chimique approfondie des tourteaux sélectionnés, en analysant notamment leur teneur en protéines, fibres, lipides, azote, phosphore, calcium, ainsi que le pH. Ces paramètres constituent des indicateurs clés pour évaluer leur potentiel nutritionnel en alimentation animale.

Suite à la mise en évidence de leur richesse nutritionnelle, une formulation expérimentale d'un aliment complet pour volailles a été proposée, combinant les trois tourteaux étudiés à d'autres matières premières locales disponibles, telles que le maïs et le son. Cette formule a été élaborée selon des critères stricts visant à garantir un équilibre optimal en nutriments essentiels, notamment en protéines et en énergie, afin de répondre aux besoins physiologiques des volailles en phase de croissance et de production.

Le principal enseignement de ce travail est que les tourteaux oléagineux ne doivent plus être perçus comme de simples déchets, mais bien comme des ressources alimentaires stratégiques. Leur valorisation, lorsqu'elle est conduite selon une approche scientifique rigoureuse, permettrait de réduire la dépendance vis-à-vis des importations, d'alléger les coûts de production pour les éleveurs et de renforcer l'économie locale à travers un modèle circulaire et durable.

Ainsi, cette étude constitue une contribution modeste mais significative au développement du secteur de l'alimentation animale en Algérie. Elle offre une base scientifique exploitable pour des recherches futures, que ce soit dans l'optimisation des formulations ou dans l'évaluation de leurs effets zootechniques sur les performances des volailles, en termes de croissance, de conversion alimentaire et de santé digestive.

Par ailleurs, cette recherche ouvre la voie à de nouvelles perspectives d'études complémentaires, telles que l'amélioration des procédés technologiques de traitement des tourteaux, l'analyse de leur impact sur le microbiote intestinal, ou encore l'évaluation de leur rentabilité économique au sein des chaînes de valeur locales. Elle représente ainsi un point de

départ pertinent pour promouvoir une culture de valorisation agricole et d'innovation au service des filières stratégiques, notamment celle de l'aviculture.

Dans cette optique, nous recommandons l'élargissement futur de ce travail à travers des expérimentations sur le terrain, en collaboration avec des centres de recherche et des institutions agricoles, afin de valider l'efficacité de ces formulations dans des conditions réelles d'élevage, et d'enrichir les résultats obtenus par des données zootechniques et économiques concrètes

Références Bibliographique

A

- AFSSA. (2009).** Avis relatif à l'évaluation des risques liés aux mycotoxines dans les denrées alimentaires. Agence française de sécurité sanitaire des aliments (actuelle ANSES).
- Agrobio Bretagne. (2021).** Ventilation et séchage des graines [PDF].
- Alain Huart et collaborateurs. (2004).** Les besoins du poulet de chair.
- Alimentec. (2022).** Valorisation du tourteau (noix, noisette, sésame) en alimentation. Projet technique, France.
- Alloui, N. (2014).** Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie. Conférence. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole.
- Animres. (1970).** Le tourteau de colza dans l'alimentation animale. Annales de Zootechnie, 19(3), Article 0003.
- Annales de Zootechnie (Anim. Res.). (1973).** Effet de la teneur en protéines de rations à base de soja ou de sésame sur les performances animales.
- Annales de Zootechnie. (1971).** Traitement thermique et qualité des protéines du soja. Ann. Zootech., 20(1), 1–13.
- Annison, E. F. (1971).** [Titre de l'article non spécifié]. Annales de Zootechnie, 20(1), 3–24.
- Anonyme 1. (2005).** Élevage du poulet de chair souche ISA F15, guide d'élevage Hubbard.
- Anonyme 2. (2006).** Cours sur les tourteaux oléagineux, école vétérinaire de Lyon, p (1).
- Arbor acres. (2018).** Guide d'élevage du poulet de chair.

B

- Baghel, R. P. S., & Pradhan, K. (1988).** Influence of dietary energy and protein-levels on the body-weight gain, feed-efficiency and retention of lysine, methionine and cystine in broilers. Indian veterinary journal, 65(10), 895-902.
- Balolé, TV; Legwaila, GM. (2006).** Sorghum bicolor (L.) Moench. Enregistrement à partir de Protabase. In M. Brink & G. Belay (éditeurs), PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale). [cite_start]Wageningen, Pays-Bas
- Bamigboye, A. Y., Okafor, A. C., & Adepoju, O. T. (2010).** Proximate and mineral composition of whole and dehulled Nigerian sesame seed. African Journal of Food Science and Technology, 1(3), 71-75.
- Bell, J. M. (1993).** Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. Can. J. Anim. Sci, 73(4), 689-697.
- Bendailh, A., Peyronnet, C., & Régnier, B. (2009).** Dégradabilité de l'azote de tourteaux gras de colza obtenus par pression ou par solvant. [cite_start]In Journées 3R (Vol. 16).

Bio Bretagne IBB. (2015). Cahier technique : Alimentation des volailles en agriculture biologique [PDF].

Blair, R. (2008). Nutrition et alimentation des volailles biologiques. [cite_start]Série Cabi, CABI, Wallingford, Royaume-Uni.

Borchani, C., Besbes, S., Blecker, C. H., & Attia, H. (2010). Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12(5), 585-596.

Bordeaux, C., & Roinsard, A. (2015). Alimentation des volailles en agriculture biologique.

Bréchet, C., Leborgne, M.C., Fournier, E. (2013). Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. (3e éd., Vol. 2). Educagri Edition.

Breton, N. (2023). Les tourteaux : types et utilisations en alimentation animale. Agryco'Mag.

C

Cali-Alim. (2022). Tourteaux de colza – Valeur alimentaire et prix. [cite_start]Agrileader – Cali-Alim.

Celagri. (2021). L'alimentation des volailles : Les bases de l'alimentation des volailles et les voies d'amélioration de la durabilité.

Cetiom. (2001). Le tourteau de colza : une source de protéines équilibrée en alimentation animale. Fiche Technique, Ed. CETIOM.

Choct, M., Hughes, R. J., Wang, J., Bedford, M. R., Morgan, A. J., & Annison, G. (1995). Feed enzymes eliminate the anti-nutritive effect of non-starch polysaccharides and modify the fermentation in broilers. *Proc. 7th Austr. Poult. Sci. Symp.*, 121-125.

CIRAD. (2002). Filière sésame : techniques de transformation et valorisation des sous-produits. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD).

CIRAD. (2020). Synthèse bibliographique sur les sous-produits utilisables pour l'alimentation animale.

Cniel et al. (2020). Transformation du soja à la ferme – Technologies et recommandations.

Cobb-Vantress. (2022). Cobb 500 Broiler Performance & Nutrition Supplement. Cobb-Vantress Inc.

D

Darwin, G., & Britaman. (2005). Le tourteau de soja comme source de protéines. Université de l'État du Kansas, Département de zootechnie.

Daun, J. K., & Adolphe, D. (1997). A revision to the canola definition. [cite_start]GCIRC Bull., 134-141.

DEMAN, C. (2015). Perspectives de marché et compétitivité des filières avicoles mondiales et européennes. [ITAVI 7 rue du Faubourg Poissonnière, 75009 PARIS, chargée d'études économique.

Dunford, N. T. (2012). Food and industrial bioproducts and bioprocessing: advancements in oil and oilseed processing. John Wiley & Sons, Inc.

École Inter-États des Sciences et Médecine Vétérinaires (EISMV). (2014). Effets de la substitution du tourteau d'arachide de la ration par du tourteau de sésame .Mémoire de fin d'études.

E

Énergie Wallonie. (2003). Les qualités nutritives des tourteaux de colza. Direction générale opérationnelle de l'Énergie.

Énergie Wallonie. (2013). Les qualités nutritives des tourteaux de colza.

Énergie Wallonie. (2019). Les qualités nutritives des tourteaux de colza.

Énergie Wallonie. (2021). Les qualités nutritives des tourteaux de colza.

F

FeedStrategy. (2021). Pros and cons of sesame byproducts in livestock, poultry feed. FeedStrategy.

Feedtables (INRAE, CIRAD, AFZ). (2023). Tourteau de soja, huile 5–20 % – Tables de composition et de valeur nutritive.

Feedtables (INRAE, CIRAD, AFZ). (2023). Tourteau de soja, huile <5 %, 48 % protéine + huile, extrudé.

Feedtables (INRAE, CIRAD, AFZ). (2024). Tables de composition et de valeur nutritionnelle des aliments pour animaux.

Fenwick, G. R. (1982). The assessment of a new protein source - Rapeseed. Proc. Nutr. Soc., 41(3), 277-288.

G

Gadade, B. V., Kachare, D. P., Satbhai, R. D., & Naik, R. M. (2017). Nutritional composition and oil quality parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. International Research Journal Multidisciplinary Studies, 3(7).

Germineo. (2023). Tourteau de colza – Matière première.

Gonno, G. M., Latorre, M. A., & Lázaro, R. (2000). Traitement de la graine de soja. Département de Production Animal, U.P. Madrid.

H

Hemken, R. W., Vandersall, J. H., Sass, B. A., & Hibbs, J. W. (1971). Goitrogenic effects of a corn silage–soybean meal supplemented ration. Journal of Dairy Science, 54(1), 85–88.

Heuzé, V., Tran, G., & Kaushik, S. (2020). Farine de soja. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. Récupéré de <https://www.feedipedia.org/node/674> le 4 mars 2020, à 18:25.

Heuzé, V., Tran, G., & Lebas, F. (2017). Maize grain. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/556>

I

Idele. (2020). Autonomie en concentrés avec du tourteau de colza fermier.

IFIP. (2022). Effet du tourteau de colza enrichi en protéine, des conditions de granulation et de l'incorporation d'enzymes sur les performances zootechniques du porc en croissance.

IFIP. (2022). Impact du décorticage et des traitements thermiques du soja sur la valeur nutritionnelle des tourteaux partiellement déshuilés chez le porcelet.

INRAE, (2021). Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. Dégradabilité des protéines et facteurs antinutritionnels du colza. Productions Animales.

Insta-Pro International. (2020). Le tourteau de soja Express- présente de nombreux avantages nutritionnels pour les vaches laitières.

ITAB. (2015). Cahier technique : Alimentation des volailles en agriculture biologique. <http://itab.asso.fr/publications/cahier-volaille.php>

ITAB Lab. (2022). Tourteau de sésame – Volet alimentation animale. [cite_start]Institut Technique de l'Agriculture Biologique.

Italian Journal of Food Safety. (2023). The prevalence and risk assessment of aflatoxin in sesame-based products. Italian Journal of Food Safety.

ITAVI. (2016). Eau de boisson en élevage avicole : un levier majeur de réussite, mai 2016, 12 p.

ITAVI. (2020). Le tourteau de colza : matières premières innovantes pour l'autonomie des élevages de volailles français.

ITAVI. (2020). Le tourteau de soja. Institut Technique de l'Aviculture.

ITAVI. (2021). Le tourteau de colza : Matières premières innovantes pour l'autonomie des élevages de volailles français [PDF].

INRA-CIRAD-AFZ. (2004). Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons.* Editions INRA, Paris.

J

JATROREF. (s.d.). Note de synthèse : Le tourteau de jatropha - Perspectives et contraintes pour sa valorisation.

K

Kimball, N. (2005). La production américaine de soja est plus viable que jamais. American Soybean Association.

Kozlowski, K., & Jeroch, H. (2014). Enhancing the nutritional value of poultry feedstuffs using the example of rapeseed products - A review. *Ann. Anim. Sci.*, 14(2), 245-256.

L

Larbiere, M., & Leclercq, B. (1992). Nutrition et alimentation des volailles. Nutrition et alimentation des volailles, 1-358.

Leclercq, B., Lessire, M., Guy, G., Hallouis, J. M., & Conan, L. (1989). Utilisation de la graine de colza en aviculture. *Revue bibliographique et résultats de deux essais. INRAE Productions Animales*, 2(2), 129-136.

Leeson, S., & Summers, J.D. (2005). Commercial poultry nutrition. Third Edition, Nottingham University Press.

Lesaffre. (2023). La fermentation solide, des applications porteuses d’avenir.

Lesaffre. (2024). La fermentation solide : des applications porteuses d’avenir.

Lessire, M., Leclercq, B., & Bastianelli, D. (2009). Valeurs énergétique et azotée des nouveaux tourteaux de colza pour les volailles. In 25èmes Journées de la Recherche Avicole (pp. 71–75). [cite_start]Worlds Poultry Science Association - France.

Lessire, M., Métayer, J.P., & Guillemet, R. (2009). Valeurs énergétique et azotée des nouveaux tourteaux de colza pour la volaille. Journées de la Recherche Avicole, WPSA – France.

Lipsa, F. D., Snowdon, R., & Friedt, W. (2012). Quantitative genetic analysis of condensed tannins in oilseed rape meal. *Euphytica*, 184(2), 195-205.

M

Martin, M., Gatel, F., & Chagneau, A. M. (2004). Optimisation du chauffage et valeur nutritionnelle des tourteaux de soja. EM-Consulte.

McDonald, P., Edwards, R. A., & Greenhalgh, J. F. D. (2002). Animal Nutrition. 6th Edition. Longman.

Meersens. (2022). Sesame seeds a health risk. Meersens.

Mejicanos, G., Sanjayan, N., Kim, I. H., & Nyachoti, C. M. (2016). Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. *J. Anim. Sci. Technol.*, 58, 7.

Ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation. (2020). Recommandations concernant les usages des tourteaux obtenus après extraction d’huile végétale. *Bulletin Officiel Agricole*.

N

Newkirk, R. (2009). Canola meal: feed industry guide. (4th ed.). Canadian Int..Grains Inst., Canola Council.

Newkirk, R. (2010). SOJA – Guide de l’industrie de l’alimentation animale. (1re éd.).

Ninelle, N. O. S. (2009). Effets de la nature des céréales et de la taille particulière sur les performances zootechniques des poulets de chair. Doctoral dissertation, Kansas State University.

Nir, I., Shefet, G., & Aaroni, Y. (1994). Effect of particle size on performance. 1. Corn. Poultry Science, 73(1), 45-49.

Nys, Y. (2001). Oligo-éléments, croissance et santé du poulet de chair. INRAE Productions Anima, 14(3), 171-180.

Nzikou, J. M., Matos, L., Bouanga-Kalou, G., Ndangui, C. B., Pambou-Tobi, N. P. G., Kimbonguila, A., ... & Desobry, S. (2009). Chemical composition on the seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) grown in Congo-Brazzaville. Advance Journal of Food Science and Technology, 1(1), 6-11.

O

OCDE. (2004). Document de consensus sur les considérations de composition pour les nouvelles variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) : éléments nutritifs et antinutriments essentiels pour l'alimentation humaine et animale. Série sur la sécurité des nouveaux aliments destinés à l'alimentation humaine et animale n° 12, réunion conjointe du comité des produits chimiques et du groupe de travail sur les produits chimiques, les pesticides et la biotechnologie, OCDE.

OCL. (2010). Pois et tourteau de colza : deux matières premières complémentaires pour l’alimentation animale. OCL - Oléagineux, Corps Gras, Lipides, 17(5), 319–325.

Oil Mill Plant. (2023). Usine de production d’huile de sésame.

ORBi – Université de Liège. (2000). Brochure IRSIA – Colza.

P

Parsons, C. M., Hashimoto, K., Wedekind, K. J., Han, Y., & Baker, D. H. (1991). Titre de l'article non spécifié]. Poultry Science, 70(1), 133–140.

Perspectives Agricoles. (2022). Le stockage à la ferme du colza et du tournesol.

Peyronnet, C., Pressenda, F., Quinsac, A., & Carré, P. (2012). Impact du décorticage du tournesol sur la valeur nutritionnelle et l'intérêt économique des tourteaux en fabrication d'aliments composés. Oléagineux, Corps gras, Lipides, 19(6), 341-346.

Przybylski, R., [...] et al. (2005). Glucosinolates in oilseed rape (*Brassica napus*) seed and meal and their effects on animal health.

S

Sauvaut, D., Perez, J. M., & Tran, G. (2004). Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage (Porcs, volailles, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons) (pp. 301-p). INRA editions.

Selle, P. H., Walker, A. R., & Bryden, W. L. (2007). Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry. *Aust. J. Exp. Agric.*, 43(5), 475-479.

Smith, A. J., & Nicou, R. (1992). L'élevage de la volaille. *Le Technicien d'agriculture tropicale*.

Smits, C. H. M., & Annison, G. (1996). Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition - towards a physiologically valid approach to their determination. *World's Poult. Sci. J.*, 52, 203-221.

Spragg, J., & Mailer, R. (2007). Canola meal value chain quality improvement. Project Code: 1B-103-0506, AOF & Pork CRC.

T

Terres Inovia. (2018). Fiche qualité des tourteaux de colza [En ligne].

Terres Inovia. (2019). Réduire les facteurs antitrypsiques du soja par les traitements thermiques.

Terres Inovia. (2020). Expertise sur les protéines d'oléagineux : le cas du tourteau de colza. Sollicité par l'INRAE.

Terres Inovia. (2021). Réduire les facteurs antitrypsiques du soja par les traitements thermiques.

Terres Inovia. (2023). Stockage du colza à la ferme.

Terres Univia. (2021). Finalisation d'un projet sur les protéines des tourteaux de colza.

Terres Univia. (2021). Qualité des tourteaux – Colza campagne 2021/22 [En ligne].

Tour de Plaine. (2021). Comment stocker ses céréales à la ferme.?

Transformation du soja à la ferme. (2020). Technologies et pratiques. Guide pratique [PDF].

U

Ulysses, A. A. (1980). Stockage et Manutention des Graines et du Tourteau de Soja. Kansas State University Manhattan, Kansas.

Underwood E.J. (1997). Trace elements in human and animal nutrition. [cite_start]Academic Press, New York, 545 p.

Université de Chlef. (2022). Milieux de culture et fermentation industrielle.

Université Mentouri Constantine (UMC). (2021). Optimisation de la production de protéase acide par *Aspergillus niger* sur milieu solide.

Université Mentouri Constantine (UMC). (2023). Production des xylanases par *Aspergillus niger* en fermentation solide.

V

Van Ginkel, M., Villareal, R.L. (1996). Triticum L.. Enregistrement de Proseabase. In GJH Grubben & S. Partohardjono (éditeurs), Fondation PROSEA (Plant Resources of South-East Asia). Bogor, Indonésie.

Van, J.E. (2001). Utilisation du soja et du tourteau de soja dans l'industrie de l'alimentation animale : formulation et qualité.

Vermorel, M., Fayet, J. C., Baudet, J. J., Anglaret, Y., Duboisset, F., Donnat, J. P., ... & Souchet, R. (1978). Valorisation du tourteau de colza. Influence de l'élimination des glucosinolates, du dépelliculage et de l'extraction des alpha galactosides sur sa valeur nutritive. Étude sur le rat en croissance. In Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique (Vol. 18, No. 6, pp. 1393-1412). EDP Sciences.

VetAgro Sup. (2020). Tourteaux : facteurs antinutritionnels et toxiques.

VetAgro Sup. (2021). Tourteaux : facteurs antinutritionnels et toxiques.

VetAgro Sup. (2023). Tourteaux : composition chimique – Cours de bromatologie.

VetAgro Sup. (2023). Tourteaux : composition chimique.

VetAgro Sup. (2024). Tourteaux : facteurs antinutritionnels et toxiques. composition chimique. <https://www2.vetagro-sup.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmtourte/vatourte.html>

Vias, F. S. G. (1995). Contribution à l'étude comparée de la valeur nutritive du maïs (*Zea mays*) et des sorghos (*Sorghum vulgare*) dans la ration des poulets de chair en zone tropicale sèche.

Vitagora. (2023). La fermentation en milieu solide : une solution pour améliorer et valoriser les coproduits végétaux.

Vitagora. (2024). La fermentation en milieu solide : une solution pour améliorer et valoriser les co-produits agroalimentaires.

Vitagora. (2024). La fermentation en milieu solide : une solution pour améliorer et valoriser les co-produits.

W

Waldroup, P. W., & Smith, K. (2008). Fact Sheet - Soybean Use - Poultry. Soybean Meal Information Center.

Web-Agri. (2012). Confirmation de l'effet dépréciatif de plus de 15 % de tourteau de colza dans l'alimentation porcine. Web-agri.fr. <https://www.web-agri.fr/2012/article/77045/>

- Williams, J. ; Mallet, S. ; Leconte, M. ; Lessire, M. ; Gabriel, I. (2008).** Les effets des fructo-oligosaccharides ou du blé entier sur les performances et le tube digestif des poulets de chair. Br. Poule. Sci., 49(3): 329-339.
- Winfo sprl. (2011).** Méthodes de fabrication des huiles végétales. Programmes nutritionnels minceur durables et non privatifs formulés par nos nutritionnistes, Belgique, pp.1–4