

---

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université Akli MOHAND OULHADJ-Bouira**

Faculté des Sciences & des Sciences Appliquées  
Département de Génie des Procédés



**Mémoire**

Présenté par

**AMIRI Samia**

**BEN AGDI Nasrine**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique



**Évaluation des effets des  
traitements physiques et chimiques  
du tourteau de ricin : impacts sur la  
composition et la croissance des  
poussins de chair**



Soutenue le 15/07/2024 devant le jury composé de :

Mr. AOUDJIT F.      MCA, Univ. Bouira    Président du jury  
Mr. HAMDACHE A.    MCB, Univ. Bouira    Examineur  
Mr. KERNANI R.      MCA, Univ. Bouira    Encadreur

Année universitaire 2023/2024

---

# Dédicaces

*Nous dédions ce projet à nos familles, qui ont été notre roc tout  
au long de notre parcours académique :*

*À nos parents, dont le soutien inconditionnel et les  
encouragements constants ont été une source d'inspiration  
inestimable.*

*À nos frères et surs, pour leur soutien indéfectible et leur  
compréhension.*

*À nos amis proches, qui ont partagé nos succès et nos défis avec  
une camaraderie précieuse.*

*A.M.P.R.I Samia*

*§*

*B.E.N.A.G.D.I Nasrine*

---

# *Remerciement*

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, le courage, la force et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à M. Kernani, notre encadrant de projet, pour son accompagnement exceptionnel tout au long de cette aventure. Sa patience, ses conseils avisés et sa disponibilité constante ont été essentiels à la réussite de ce travail.

Nos sincères remerciements vont également aux éminents membres du jury pour leur examen attentif et leurs commentaires judicieux, qui ont grandement contribué à l'enrichissement de notre projet.

Nous remercions chaleureusement l'équipe du laboratoire du département de Génie des Procédés pour leur accueil, leur coopération, ainsi que leur soutien logistique et technique indispensable à la réalisation de ce travail.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la concrétisation de ce mémoire.

Veillez accepter nos sincères remerciements et nos salutations respectueuses.

# Table des matières

List of Figures	vi
List of Tables	vii
Introduction générale	1
<b>I Etude bibliographique</b>	<b>2</b>
<b>1 <i>Ricinus communis</i> L. : De la botanique aux applications</b>	<b>3</b>
1.1 Botanique de <i>Ricinus communis</i> L. . . . .	4
1.1.1 Description de la plante . . . . .	4
1.1.2 Conditions de croissance . . . . .	7
1.1.2.1 Conditions de sol . . . . .	8
1.1.2.2 Exposition au soleil . . . . .	8
1.1.2.3 Tolérance à la sécheresse . . . . .	8
1.1.2.4 Adaptation aux climats . . . . .	9
1.2 Répartition du ricin ( <i>Ricinus communis</i> ) en Algérie . . . . .	9
1.3 Utilisation du ricin . . . . .	10
1.3.1 Utilisations traditionnelles . . . . .	10
1.3.2 Utilisations médicinales . . . . .	10
1.3.3 Utilisations industrielles . . . . .	11
1.4 Utilisation agricole du ricin . . . . .	11
1.5 Utilisation agricole de ricin . . . . .	12
1.6 Processus de transformation des grains de ricin . . . . .	12
1.6.1 Production de tourteaux de après extraction de l'huile ricin . . . . .	12
1.6.2 Séchage des Tourteaux de Ricin . . . . .	13
1.7 Composition nutritionnelle de la farine de graines de ricin . . . . .	14
1.8 Les toxines dans les graines de ricin . . . . .	15
1.9 Stratégies de détoxification du tourteau de ricin pour l'alimentation des animaux de ferme . . . . .	17
1.9.1 Méthodes de détoxification physiques et chimiques . . . . .	20
1.10 Farine de graines de ricin dans la nutrition animale . . . . .	21
1.10.1 Animaux non ruminants . . . . .	21

<b>II</b>	<b>Matériels et Méthodes</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>Matériels et Méthodes</b>	<b>23</b>
2.1	Matériel végétal et échantillonnage . . . . .	24
2.1.1	Collecte des graines . . . . .	24
2.1.2	Extraction . . . . .	24
2.1.3	Séchage . . . . .	24
2.1.4	Broyage . . . . .	24
2.1.5	Stockage des échantillons . . . . .	25
2.2	Caractérisation physico-chimique des résidus obtenus . . . . .	25
2.2.1	Détermination de la teneur en eau . . . . .	25
2.2.2	Détermination de la teneur en cendres des échantillons . . . . .	26
2.2.3	Dosage des protéines avec la méthode de Bradford . . . . .	26
2.2.4	Analyse des fibres (ADF et NDF) . . . . .	27
2.2.5	Dosage des sucres totaux avec la Méthode de Dubois . . . . .	29
2.2.6	Dosage de l'amidon . . . . .	30
2.3	Traitements pour la détoxification du tourteau de ricin . . . . .	31
2.3.1	Traitement par ébullition . . . . .	31
2.3.2	Traitement à la chaux . . . . .	31
2.3.3	Traitement au chlorure de sodium . . . . .	31
2.4	Utilisation de la farine de ricin dans l'alimentation des volaille . . . . .	32
<b>III</b>	<b>Résultats et Discussion</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>Résultats et Discussion</b>	<b>34</b>
3.1	Teneur en nutriments dans la farine de ricin non traité . . . . .	34
3.2	Evolution de la teneur en protéine et en fibre après traitement . . . . .	36
3.3	Observations du comportement et de la croissance des poussins nourris avec des farines de tourteau de ricin traitées . . . . .	38
	<b>Bibliographie</b>	<b>42</b>

# Table des figures

1.1	Feuille de <i>Ricinus communis</i> [1] . . . . .	5
1.2	Inflorescence chez le ricin ; Fleurs femelles apicales et fleurs mâle basales [2] . . . . .	5
1.3	Morphologie et déhiscence des fruits de Ricin : (a) : Tricoque de Ricin vu de dessous (pédoncule). ; (b) : Tricoque de Ricin vu de dessus ; (c) : Trois étapes de la déhiscence loculicide des carpelles du fruit de Ricin. Chaque carpelle s'ouvre et libère la graine. [3] . . . . .	7
1.4	La graine de Ricin possède une excroissance du tégument, (caroncule) et dérive d'un ovule anatrope caractérisé par le raphé (ligne dorsale sur la photo de droite). [3] . . . . .	8
2.1	Courbe d'Étalonnage pour le Dosage des Protéines avec la Méthode de Bradford (Bleu de Coomassie à 595 nm) . . . . .	27
2.2	Courbe d'Étalonnage pour le Dosage des sucres totaux avec la Méthode de Dubois à 490 nm) . . . . .	30

# Liste des tableaux

1.1	Niveaux de nutriments dans la farine de graines de ricin . . . . .	14
3.1	Teneur en nutriments dans la farine de ricin non traité . . . . .	34
3.2	Teneur en protéines et en fibres dans la farine de tourteau de ricin après traitement (P(%) : teneur en protéine, F(%)teneur en fibre . . . . .	36
3.3	Résultats observés de l'observation du comportement et de la croissance des poussins . . . . .	38

# Introduction

La nutrition des animaux d'élevage joue un rôle crucial dans leur santé, leur bien-être et leur productivité. Dans ce contexte, l'utilisation efficace des sous-produits agricoles, tels que le tourteau de ricin, représente une opportunité significative pour développer des aliments économiques et nutritionnellement équilibrés pour les animaux, en particulier les poussins de chair. Cependant, le tourteau de ricin contient naturellement des composants toxiques, notamment la ricine, qui nécessitent des traitements spécifiques pour rendre ce sous-produit sécuritaire et bénéfique comme alimentation animale.

Cette étude se concentre sur l'évaluation des effets de différents traitements physiques appliqués au tourteau de ricin afin d'améliorer sa qualité nutritionnelle et de minimiser les risques pour la santé des animaux. Trois méthodes de traitement ont été examinées : l'ébullition, le traitement à la chaux et le traitement au chlorure de sodium. Chaque méthode vise à réduire la teneur en substances toxiques, tout en préservant les nutriments essentiels comme les protéines, les fibres et les sucres.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité de ces traitements sur la détoxification du tourteau de ricin et d'analyser leur impact sur la croissance, le développement physique et le comportement des poussins de chair. En plus des analyses chimiques pour mesurer les changements dans la composition nutritionnelle des farines de tourteau de ricin traitées, des observations détaillées seront effectuées pour évaluer la santé et le bien-être des animaux nourris avec ces aliments.

Première partie

Etude bibliographique

# Chapitre 1

## *Ricinus communis* L. : De la botanique aux applications

### Introduction

*Ricinus communis* L., communément appelé ricin, est une plante d'importance économique et médicinale. Originnaire d'Afrique tropicale, cette plante est maintenant cultivée dans diverses régions du monde en raison de ses multiples utilisations.

Le ricin est scientifiquement désigné sous le nom de *Ricinus communis* L. selon la classification taxonomique standard. Cette dénomination spécifique comprend le genre (*Ricinus*) et l'épithète spécifique (*communis*), tandis que "L." fait référence à Carl Linnaeus, le botaniste suédois qui a formellement décrit et nommé cette espèce pour la première fois [4].

Le ricin est connu sous plusieurs noms vernaculaires selon les régions et les langues, reflétant ainsi sa large distribution et son utilisation variée dans différentes cultures. En arabe, le ricin est communément appelé kharouâa. Ce nom est utilisé dans de nombreux pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, où la plante est cultivée à la fois pour ses graines et pour l'huile extraite de celles-ci. En anglais, le ricin est désigné sous plusieurs noms ; Castor plant ou castor oil plant. Ces termes font directement référence à l'huile

de ricin, une huile polyvalente extraite des graines de la plante. L'huile de ricin est largement utilisée dans les industries cosmétique, pharmaceutique et chimique [5].

## 1.1 Botanique de *Ricinus communis L.*

### 1.1.1 Description de la plante

*Ricinus communis L.*, communément appelé ricin, est une plante appartenant à la famille des *Euphorbiacées*. Cette une plante largement répandue et reconnue pour sa croissance rapide et son apparence distincte, se présente comme un arbuste ou un petit arbre herbacé, parfois creux, atteignant parfois plus de 7 mètres de hauteur. Son feuillage est particulièrement attrayant, souvent cultivé comme une plante annuelle très robuste qui peut également survivre plusieurs années dans des conditions favorables [6].

*Ricinus communis* peut atteindre des hauteurs impressionnantes, variant de 2 à 5 mètres en une seule saison de croissance dans des climats tempérés, et jusqu'à 10 mètres dans des climats tropicaux en tant que plante vivace. La plante a une structure robuste avec une tige creuse, ce qui lui permet de supporter son propre poids et d'atteindre de telles hauteurs.

- **Feuillage** : le feuillage (Fig.1.2) du ricin est l'une de ses caractéristiques les plus distinctives et attrayantes. Les feuilles sont grandes, souvent mesurant entre 30 et 70 cm de diamètre, et sont profondément palmées avec 5 à 11 lobes dentés. La couleur des feuilles varie considérablement, allant du vert foncé à des nuances de rouge, pourpre ou bronze, ce qui ajoute à l'attrait ornemental de la plante. Ces feuilles luxuriantes et colorées rendent le ricin populaire dans les jardins et les aménagements paysagers.
- **Fleurs** : Les fleurs de ricin sont regroupées en inflorescences en épis, avec des fleurs mâles et femelles distinctes sur la même plante (plante monoïque). Les fleurs mâles, situées à la base de l'épi, ont de nombreuses étamines, tandis que les fleurs femelles, situées au sommet, possèdent des styles rouges proéminents.



FIGURE 1.1: Feuille de *Ricinus communis* [1]



FIGURE 1.2: Inflorescence chez le ricin ; Fleurs femelles apicales et fleurs mâle basales [2]

- **Fruits et graines** : Les fruits du ricin, scientifiquement connus sous le nom de capsules tricoques, présentent une structure complexe et distinctive. Voici une description

détaillée de leur anatomie et de leur mode d'ouverture.

- **Anatomie du fruit :** Les capsules du ricin sont tricoques, ce qui signifie qu'elles sont composées de trois lobes distincts. Elles sont souvent hérissées de pointes, bien que celles-ci puissent parfois être absentes. Chaque capsule est formée par la fusion de trois carpelles et présente une placentation axile [7].
- **Développement des graines :** Chaque capsule trilobulaire contient généralement trois graines en développement. Les graines sont de forme ovale à oblongue, de couleur marron clair, avec des marbrures rouges ou brunes caractéristiques.
- **Mécanisme de séhiscence :** Le processus d'ouverture des capsules du ricin, appelé déhiscence, est particulièrement intéressant en raison de sa nature septicide et loculicide :
  1. **Déhiscence septicide :** Dans un premier temps, les trois carpelles se séparent par des fentes situées au niveau des cloisons intercarpellaires. Cette déhiscence septicide divise la capsule en trois coques distinctes.
  2. **Déhiscence loculicide :** Ensuite, chaque coque individuelle s'ouvre par des fentes le long de sa nervure médiane. Cette déhiscence loculicide permet la libération des graines situées dans chaque loge de la capsule.
- **Structure du Fruit Trilobulaire :** La figure 1.4 illustre la structure détaillée du fruit trilobulaire du ricin :
  1. Chaque loge de la capsule contient une seule graine en développement, montrant la placentation axile.
  2. Les trois carpelles se séparent initialement par des fentes intercarpellaires, préparant la capsule à la déhiscence septicide.

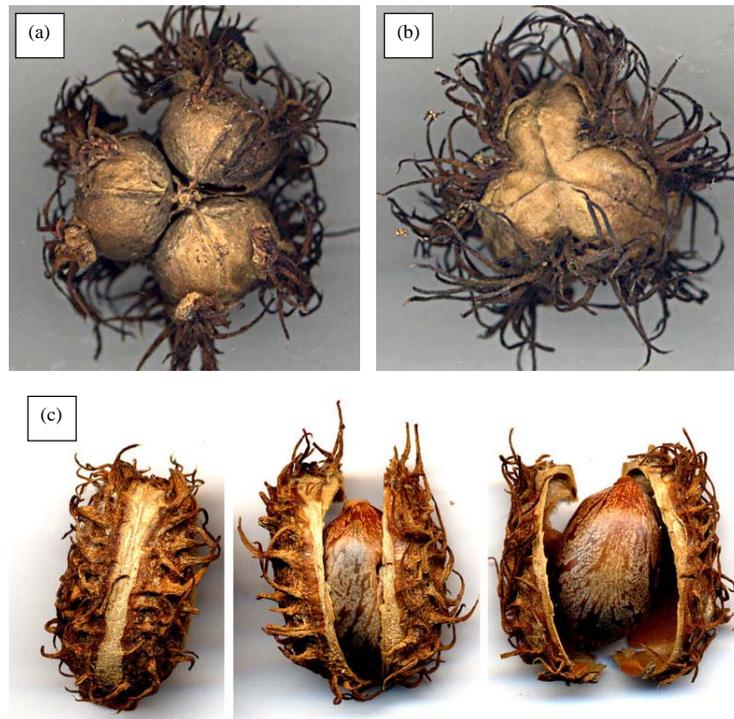


FIGURE 1.3: Morphologie et déhiscence des fruits de Ricin : (a) : Tricoque de Ricin vu de dessous (pédoncule). ; (b) : Tricoque de Ricin vu de dessus ; (c) : Trois étapes de la déhiscence loculicide des carpelles du fruit de Ricin. Chaque carpelle s'ouvre et libère la graine. [3]

3. Les trois coques séparées s'ouvrent par des fentes le long de leur nervure médiane, facilitant ainsi la libération des graines par déhiscence loculicide.
- La graine de *\*Ricinus communis\** est unique car il n'y en a qu'une par carpelle. Son tégument externe est richement orné, mais malgré son apparence décorative, il est crucial de noter sa grande toxicité. Cette graine est albuminée, ce qui signifie que la majeure partie de sa masse est constituée d'albumen, avec des cotylédons minces.

### 1.1.2 Conditions de croissance

Le ricin est une plante extrêmement adaptable, capable de prospérer dans une variété de conditions de sol et de climat. Il préfère les sols bien drainés et riches en matière organique, mais peut également tolérer des sols moins fertiles. La plante nécessite beaucoup de lumière solaire pour une croissance optimale et peut survivre à des périodes de sécheresse une fois établie. En climat tempéré, le ricin est souvent cultivé comme une plante annuelle en raison des températures hivernales qui peuvent tuer la plante. Cependant,



FIGURE 1.4: La graine de Ricin possède une excroissance du tégument, (caroncule) et dérive d'un ovule anatrophe caractérisé par le raphé (ligne dorsale sur la photo de droite). [3]

dans les régions tropicales et subtropicales, il peut survivre et se développer comme une plante vivace [8].

#### 1.1.2.1 Conditions de sol

Le ricin prospère principalement dans des sols bien drainés et riches en matière organique. Ces types de sols fournissent les nutriments nécessaires pour soutenir sa croissance robuste. Cependant, la plante est également capable de tolérer des sols moins fertiles, bien que sa croissance puisse être moins vigoureuse dans de telles conditions [9, 10].

#### 1.1.2.2 Exposition au soleil

Pour une croissance optimale, le ricin nécessite une exposition abondante à la lumière solaire directe. C'est un facteur critique pour maximiser la photosynthèse et favoriser le développement des feuilles, des tiges et des inflorescences. Dans des conditions de faible lumière, la croissance du ricin peut être compromise, entraînant une production de graines réduite [11].

#### 1.1.2.3 Tolérance à la sécheresse

Une fois établi, le ricin peut survivre à des périodes de sécheresse modérée. Cependant, une irrigation adéquate est essentielle pendant les périodes sèches pour maintenir une

croissance continue et prévenir le stress hydrique. Les plants de ricin peuvent développer des systèmes racinaires profonds qui leur permettent d'exploiter l'eau en profondeur dans le sol, améliorant ainsi leur résistance à la sécheresse [4].

#### 1.1.2.4 Adaptation aux climats

En climat tempéré, le ricin est couramment cultivé comme plante annuelle en raison de sa sensibilité au froid. Les températures hivernales peuvent endommager la plante, ce qui limite sa survie au-delà d'une saison de croissance. En revanche, dans les régions tropicales et subtropicales, où les températures hivernales restent douces, le ricin peut se développer comme une plante vivace, capable de croître et de produire des graines sur plusieurs années consécutives [12].

La capacité du ricin à s'adapter à une large gamme de conditions de sol, d'exposition au soleil et de climat en fait une plante polyvalente pour diverses pratiques agricoles et horticoles à travers le monde. Sa résilience face aux conditions environnementales variables contribue à sa popularité en tant que culture à la fois industrielle et ornementale dans de nombreuses régions.

## 1.2 Répartition du ricin (*Ricinus communis*) en Algérie

En Algérie, le ricin est cultivé de manière traditionnelle dans certaines régions d'Algérie, notamment pour la production d'huile de ricin. Cependant, il se rencontre aussi fréquemment à l'état spontané, en bordure de routes, dans les friches et les jardins. Donc en résumé, le ricin est largement répandu à travers l'Algérie, avec des zones de concentration dans les régions côtières, les hauts-plateaux et certaines oasis du sud, bénéficiant de conditions climatiques et édaphiques favorables à son développement. Les régions les plus propices à la culture et à la prolifération naturelle du ricin en Algérie sont :

- Les zones côtières méditerranéennes, notamment dans les régions d'Alger, d'Annaba et d'Oran.
- Les régions semi-arides du nord du pays, comme les hauts-plateaux et les vallées.
- Certaines oasis dans les régions sahariennes du sud de l'Algérie.

Le climat méditerranéen du nord de l'Algérie, avec ses étés chauds et secs et ses hivers doux, offre des conditions propices à la croissance du ricin. Les sols riches en matière organique, bien drainés, que l'on retrouve dans de nombreuses régions, conviennent également à cette plante. La présence de cours d'eau et de systèmes d'irrigation facilite également son développement, notamment dans les zones arides du sud.

## 1.3 Utilisation du ricin

### 1.3.1 Utilisations traditionnelles

L'huile de ricin a une longue histoire d'utilisation remontant aux civilisations égyptiennes et grecques, principalement pour l'éclairage et les applications corporelles [13]. Dans la médecine traditionnelle indienne, les feuilles, les racines et l'huile de ricin sont utilisées pour traiter divers maux tels que l'inflammation et les affections hépatiques [14]. Les feuilles sont également utilisées pour soulager les angines et les douleurs musculaires, tandis que les racines sont réputées bénéfiques pour les maladies nerveuses, rhumatismales, la sciatique et la pleurodynie [15].

### 1.3.2 Utilisations médicinales

L'huile de ricin est surtout connue pour son puissant effet laxatif attribué à l'acide ricinoléique, qui stimule le péristaltisme intestinal. Bien que son utilisation soit courante pour déclencher l'accouchement dans la médecine traditionnelle, son efficacité clinique reste non prouvée [16]. En usage externe, l'huile de ricin est appréciée pour ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, analgésiques et antibactériennes, utilisée en cataplasme pour traiter diverses affections telles que les rhumatismes, les douleurs musculaires, les inflammations cutanées et l'épine calcanéenne [4]. Des études préliminaires suggèrent également son potentiel dans le traitement du diabète et du cancer, bien que des essais cliniques soient nécessaires pour confirmer ces effets [16].

### 1.3.3 Utilisations industrielles

L'huile de ricin est largement utilisée comme lubrifiant de haute qualité et est une matière première essentielle dans divers secteurs industriels tels que la chimie, l'alimentation et les cosmétiques [17]. Elle est également utilisée dans l'industrie des peintures et vernis, ainsi que dans la fabrication de produits sophistiqués comme les fibres en nylon, les lubrifiants de moteur, les plastiques, le similicuir, et même dans les prothèses résistantes aux balles [18]. En cosmétique, elle est présente dans les rouges à lèvres, les soins capillaires, les crèmes pour les mains, les savons de bain et les produits de soins des pieds [17].

## 1.4 Utilisation agricole du ricin

Le ricin présente plusieurs utilisations agricoles diversifiées qui vont au-delà de sa simple production d'huile. En tant qu'engrais vert et amendement des sols, il joue un rôle crucial en améliorant la fertilité du sol grâce à ses résidus de culture riches en matière organique. Ces résidus peuvent être incorporés au sol pour améliorer sa structure et sa capacité de rétention d'eau. De plus, certaines variétés de ricin, bien que potentiellement toxiques, offrent un potentiel comme source d'alimentation pour le bétail en raison de leur teneur élevée en huile et en protéines [19].

Par ailleurs, les grandes feuilles du ricin offrent une option attrayante pour la création de brise-vents et de haies brise-vent dans les exploitations agricoles. Ces installations aident non seulement à protéger les cultures des vents forts, mais aussi à réduire l'érosion éolienne des sols, contribuant ainsi à la durabilité des pratiques agricoles. En outre, certains composés du ricin, comme la ricine, possèdent des propriétés insecticides qui peuvent être exploitées dans des stratégies de lutte biologique contre les ravageurs agricoles, bien que leur utilisation nécessite une gestion minutieuse pour minimiser les effets sur les organismes non ciblés [20].

Donc, le ricin représente une ressource agricole polyvalente qui, bien gérée, peut offrir des avantages significatifs en termes d'amélioration des sols, de protection des cultures

et de lutte biologique, tout en nécessitant une gestion attentive de sa toxicité et de ses impacts environnementaux [21].

## 1.5 Utilisation agricole de ricin

Le ricin n'est généralement pas utilisé comme aliment pour le bétail en raison de sa forte toxicité pour de nombreux animaux, y compris les mammifères. Les graines de ricin contiennent des toxines puissantes, notamment la ricine, qui peuvent être mortelles pour le bétail et d'autres animaux s'ils sont ingérés. Même après l'extraction de l'huile de ricin, les résidus restants contiennent encore des substances toxiques qui les rendent impropres à l'alimentation animale. Bien que certaines variétés de ricin cultivées spécifiquement pour le fourrage puissent contenir moins de toxines, leur utilisation nécessite toujours des précautions et un traitement rigoureux pour réduire les risques. Dans l'ensemble, l'utilisation du ricin comme fourrage pour le bétail reste très limitée en raison des dangers importants liés à sa toxicité [22].

## 1.6 Processus de transformation des grains de ricin

### 1.6.1 Production de tourteaux de après extraction de l'huile ricin

L'industrie de l'huile de ricin génère une quantité significative de résidus secs après l'extraction de l'huile. Ces tourteaux représentent environ la moitié du poids des graines de ricin [23] et contiennent entre 34 % et 36 % de protéines. Par un processus de décortication, la teneur en protéines du tourteau peut être augmentée jusqu'à 60 % [24], ce qui en fait une source potentielle précieuse de protéines pour l'alimentation animale. Cependant, malgré sa disponibilité abondante et sa richesse en protéines, le tourteau de ricin n'est pas largement utilisé comme complément protéique en raison de sa toxicité, notamment la présence de ricine, une protéine très toxique. Son utilisation nécessite un traitement minutieux pour éliminer les toxines et valoriser les nutriments.

### 1.6.2 Séchage des Tourteaux de Ricin

Après l'extraction de l'huile de ricin, les tourteaux restent humides, ce qui peut favoriser la croissance microbienne et entraîner une détérioration rapide s'ils ne sont pas traités. Le séchage des tourteaux vise à réduire leur teneur en eau, prolongeant ainsi leur durée de conservation, facilitant leur stockage, leur manipulation et les préparant pour les étapes suivantes de traitement. Maintenir une faible humidité est crucial pour éviter la décomposition et préserver la qualité nutritionnelle des tourteaux [25].

Plusieurs méthodes de séchage sont disponibles pour traiter les tourteaux de ricin, chacune avec ses avantages et inconvénients particuliers :

- **Séchage au Soleil** : Cette méthode utilise l'énergie solaire pour évaporer l'humidité, ce qui est économique et écologique. Cependant, elle dépend des conditions météorologiques et peut être lente et moins fiable dans des environnements humides ou pluvieux [25].
- **Séchage à l'Air Forcé** : En utilisant des ventilateurs pour augmenter le flux d'air autour des tourteaux, cette méthode accélère le processus de séchage par rapport au séchage solaire. Elle nécessite cependant une source d'énergie électrique, ce qui peut augmenter les coûts [26].
- **Séchoirs Industriels** : Ces séchoirs offrent un contrôle précis de la température et de l'humidité, assurant un séchage efficace et uniforme. Bien qu'ils soient idéaux pour les opérations à grande échelle, leur mise en place et leur fonctionnement sont associés à des coûts d'infrastructure et d'exploitation plus élevés [27, 28].

Un séchage approprié maintient les propriétés nutritionnelles de la farine de ricin, notamment leur teneur en protéines, qui pourrait être altérée par l'humidité favorisant la croissance microbienne. Des études montrent que le séchage efficace améliore la stabilité des tourteaux et leur valeur en tant que complément alimentaire pour animaux, surtout après une éventuelle détoxification [28].

## 1.7 Composition nutritionnelle de la farine de graines de ricin

La composition chimique de la graine de ricin est présentée dans le Tableau 1.1. La farine de graines contient entre 21 et 48% de protéines brutes (PB), en fonction du niveau de décortication et de déshuilage [29–31], et les graines entières et dégraissées ont une énergie brute variant de 3,2 à 6,5 kcal/g [32]. Une comparaison entre la composition en acides aminés de la farine de ricin et du soja [33] a révélé une similarité presque totale pour tous les acides aminés essentiels, à l'exception de la lysine et des acides aminés soufrés ; la lysine est moins abondante et les acides aminés soufrés sont plus élevés dans la farine de ricin. Il a également été observé que la farine de ricin détoxifiée vaut environ 85% de la valeur de la farine de soja en termes d'évaluation de la performance animale. La supplémentation de la farine de ricin avec de la lysine et du tryptophane a montré des résultats similaires à ceux du méthionine supplémenté dans l'alimentation des poussins avec des protéines de soja isolées, améliorant considérablement la valeur d'utilisation nette des protéines. La teneur en minéraux, notamment en calcium et en phosphore, est comparable à celle d'autres protéines végétales utilisées dans l'alimentation animale. La farine pressée mécaniquement se caractérise par une forte teneur en matières grasses et une haute énergie. La farine dégraissée contient également beaucoup de fibres si les graines ne sont pas décortiquées [34]. Il a été observé que la farine de graines de ricin peut être améliorée par un décorticage adéquat, un déshuilage, des stratégies de détoxification et une supplémentation en acides aminés limitants [32, 35] .

TABLE 1.1: Niveaux de nutriments dans la farine de graines de ricin

Nutriments	Plage (%)	Références
Humidité (%)	5-12	[30, 36, 37]
Protéine brute (%)	21-48	[30, 38]
Matière grasse brute (%)	1,9-50	[30, 32]
Glucides solubles (%)	9,1-20,5	[30]
Fibres brutes (%)	2,5-24,5	[30, 32]
Cendres totales (%)	8,1-19,2	[30, 39]
Énergie brute (kcal/kg)	3218-5690	[39]
Calcium (%)	1,06-5,67	[39]
Phosphore (%)	0,3-0,73	[39]

## 1.8 Les toxines dans les graines de ricin

Le ricin contient un cocktail complexe de substances toxiques comprenant le ricin, l'agglutinine du *Ricinus communis* (RCA120), l'alkaloïde ricinine et l'allergène [40, 41].

Le ricin est une lectine glycoprotéine composée de 2 chaînes, A et B, liées par un pont disulfure. La compréhension du ricin, un cytotoxine puissant, a été compliquée par la présence d'une protéine homologue, identifiée comme l'agglutinine du *Ricinus communis* RCA, une hémagglutinine efficace et une protéine dimérique beaucoup moins toxique avec une haute identité de séquence avec le ricin [42]. Plus tard, une isoforme du ricin nommée ricin E (alors que le ricin original est appelé ricin D) a été découverte tant au niveau protéique que génétique, contenant une chaîne B hybride de ricin et de RCA, ajoutant une complexité supplémentaire à la question. Alors que le ricin est une toxine monomérique d'environ 60 kDa, l'agglutinine du *R. communis* est un homodimère de 120 kDa constitué de deux sous-unités A et B. Au niveau des acides aminés, les chaînes A et B de RCA60 et RCA120 présentent un degré élevé d'homologie de 93% et 84%, respectivement, reflétant des structures similaires mais non identiques et des propriétés biochimiques similaires [43]. La diffusion immunoradiale (RID) et le dosage immunoenzymatique lié à des anticorps (ELISA) sont deux méthodes basées sur des anticorps couramment utilisées pour quantifier le ricin et RCA ; cependant, les anticorps utilisés dans ces méthodes ne peuvent pas distinguer le ricin et RCA en raison de l'homologie de séquence élevée des protéines respectives. L'agglutinine RCA agglutine les globules rouges, mais ne traverse pas facilement les intestins et n'est pas considérée comme toxique par ingestion. Par conséquent, le ricin devient la principale préoccupation lorsque les graines de ricin sont consommées par les animaux.

Schieltz et al. (2015)[44] dans leur étude ont récemment séparé le ricin et RCA et ont rapporté que la teneur moyenne en ricin était de 9,3 mg/g de graine et la teneur moyenne en RCA était de 9,9 mg/g de graine parmi 18 cultivars. Le ricin se trouve uniquement dans l'endosperme de la graine de ricin, mais n'entre pas dans l'huile car cette protéine est insoluble dans l'huile. Les rapports sur la teneur en ricin des graines de ricin varient mais se situent probablement dans la plage de 1 à 5% du poids de la graine. Selon Pinkerton et al. (1999) [45], la concentration de ricin variait de 1,9 à 16 g/kg parmi 263 accessions de la banque de germoplasme de l'USDA. Le rapport d'Akande et al. (2012) [46] a montré qu'environ 4,7 mg/ml d'échantillon de tourteau de graine de ricin

produisait une agglutination. La comparaison de cette valeur avec 66,7 mg/ml de cursine, une lectine de graine de *Jathropa*, indique une forte toxicité du ricin. En Europe, aux États-Unis et dans d'autres parties du monde, le ricin a été une préoccupation majeure dans les graines de ricin et est peut-être la principale toxine limitant son utilisation comme aliment pour animaux

Un autre composé toxique est l'alcaloïde à faible poids moléculaire ricinine (PM = 164,2 g/mol). La ricinine ou 3-cyano-4-méthoxy-N-méthyl-2-pyridone (CAS 524-40-3) appartient au groupe des alcaloïdes pipéridiniques. Les graines de ricin contiennent environ 0,2% de cet alcaloïde. La ricinine est un alcaloïde relativement inoffensif, généralement considéré comme un marqueur du ricin. Elle est présente à un niveau minimal dans les graines de ricin et n'a pas été signalée comme constituant une menace pour l'homme ou les animaux. La teneur en ricinine varie, mais elle contient 2,3 à 32,9 g/kg dans les feuilles, 2,4 g/kg dans les tiges, 3 g/kg dans les racines et 0,43 à 7,0 g/kg dans les graines. Elle peut cependant être mortelle si elle est ingérée à forte dose.

L'allergénicité du *Ricinus communis* L. est associée aux composants de ses graines et de son pollen. Une allergie aux haricots de castor a été décrite dans de nombreux secteurs industriels tels que les laboratoires, les moulins de traitement de l'huile, les points de vente d'engrais et l'industrie de l'ameublement. Siddiqi et Freedman (1963) [47] ont identifié l'acide chlorogénique (acide 3-caféoylquinique) comme un allergène présent dans les graines de castor, similaire à celui des grains de café et des oranges. Plus récemment, trois allergènes ont été identifiés dans le castor nommés Ric c1, Ric c2 et Ric c3. L'anticorps IgE spécifique à Ric c 1 l'indique comme le principal allergène du castor. Deus-de-Oliveira et al. (2011) [48], qui ont décrit les acides aminés critiques dans les épitopes de liaison IgE dans Ric c 1 et Ric c 3, ont conclu que l'identification des résidus d'acide glutamique avec des rôles critiques dans la liaison IgE à Ric c 3 et Ric c 1 soutient l'utilisation potentielle d'acides aminés libres dans le traitement des allergies. Les allergènes du castor provoquent des problèmes médicaux tels que la conjonctivite, la rhinite et l'urticaire. Un échantillon de tourteau de castor non traité contenait 12,5% d'allergène. L'allergène est plus stable à la chaleur et n'est pas facilement dénaturé contrairement au ricin.

D'autres substances toxiques comprennent l'acide ricinoléique, l'acide 12-hydroxyoléique et un niveau élevé de fibres dans les graines de ricin non décortiquées entre 11,4 et 38,21%,

tandis que d'autres composés traces rapportés dans le ricin incluent le tanin, le phytate et l'oxalate [49]

## 1.9 Stratégies de détoxification du tourteau de ricin pour l'alimentation des animaux de ferme

Parmi les toxines énumérées ci-dessus, la ricine est la plus toxique et les tentatives de détoxification du tourteau devraient principalement cibler cette toxine. Diverses méthodes de détoxification ont été utilisées par différents chercheurs avec des degrés de succès et des limitations variables.

**Partie 1**

Méthodes	Niveaux d'inclusion, %	Animal utilisé	Résultats	Réf.
Traitement thermique	15, 30	Moutons adultes	Pas de problème de santé notable, mais modifications de l'histologie du foie	[50]
Traitement thermique humide/ébullition	15	Lapin	Croissance lente	[51]
Décorticage et cuisson	10	Poussins de chair	Performance déprimée	[36]
Cuisson à deux étapes pendant 50 min.	10	Finisseur poulets	Dépression de l'apport alimentaire	[36]
Rôtissage à 140 °C pendant 20 min.	10	Poussins de chair, Canards	Réduction de l'apport alimentaire et du gain de poids	[52]
Chaleur humide et autoclavage	33 rempl.	Moutons	Performance sous-optimale	[53]
Autoclavage	10	Poussins	Croissance déprimée	[35]
Ébullition et supplément de SS-xylanase	15	Finisseur poulets	Comparé au contrôle	[54]
Extraction à l'eau chaude et supplément en AA	40	Poussins	Aucun effet néfaste	[36]

**Partie 2**

Méthodes	Niveaux d'inclusion, %	Animal utilisé	Résultats	Auteurs
Fermentation et autoclavage	10	Porc	Faible performance	[? ]
Tremper dans l'eau et fermentation pendant 5 jours	5	Finisseur de poulets	Aucun effet néfaste	[47]
Traitement à la chaux	-	Moutons adultes	Aucun effet néfaste	[46]
Traitement CaO	9.14	Bovins	Remplace le tourteau de soja sans effet négatif	[45]
Traitement à la soude	<10	Rats	Aucun effet néfaste trouvé	[36]
Ébullition et traitement à la soude	<15	Poulet de chair	Aucun effet néfaste trouvé	[50]
Mélange avec du tourteau de graine de sal (tanin)	-	Rat	Produit résultant inoffensif	[? ]
Traitement avec CaO, Ca(OH) <sub>2</sub>	-	Moutons	Aucun effet néfaste, la ricine a été détruite	[46]
Fermentation en état solide utilisant <i>Paecilomyces variotii</i>	-	Non alimenté	Réduction des bandes de ricine avec production simultanée d'enzymes tannase et phytase	[50]
Inactivation thermique à différents pH	-	Non alimenté	Stabilité thermique pour la ricine à pH 4,5	[55]

### 1.9.1 Méthodes de détoxification physiques et chimiques

On a considéré que chauffer le tourteau de ricin dans l'eau inactivait la composante ricine, ce qui le rendrait sûr pour l'alimentation, mais les activités allergènes n'étaient pas détruites. La ricine dans les graines de ricin en flocons a été détoxifiée à 100-102 °C pendant 12 à 15 minutes. La ricine a été inactivée par la chaleur, 80 °C en solution aqueuse pendant 1 heure, et nécessite des températures plus élevées ou des périodes plus longues pour l'inactivation sous forme de poudre ou brute. Les traitements par chaleur humide sont plus efficaces que les traitements par chaleur sèche pour inactiver les lectines des tourteaux de *Jatropha curcas*. La ricine a conservé la moitié de sa toxicité après avoir été chauffée pendant 2 minutes à 90 °C dans une formule infantile liquide. L'extraction à l'eau chaude a été la plus réussie de tous les traitements appliqués, éliminant la majeure partie de la composante toxique du tourteau de ricin. Le chauffage à sec de la pommade de ricin à 205 °C a inactivé l'allergène mais a également carbonisé le tourteau. Il semble que le chauffage humide à une température de 100 °C pendant une demi-heure à une heure sera suffisant pour détoxifier la graine pour une utilisation animale. Les coûts énergétiques élevés du traitement du tourteau sont toutefois préoccupants et peuvent constituer une barrière pour le traitement industriel et commercial [56].

Divers traitements physiques et chimiques ont été utilisés par Anandan et al., 2005 ; Gowda et al., 2009) [35, 57] tels que le trempage dans l'eau, la cuisson à la vapeur, l'ébullition, le chauffage, l'utilisation d'ammoniaque, de sel et de traitements NaOH. Le traitement NaOH a été jugé plus efficace pour détoxifier le tourteau. L'interaction possible entre le tanin et la ricine a été rapportée par Ghandi et al. (1994) [58] par mélange humide du tourteau de graines de ricin avec le tourteau de graines de sal (*Shorea robusta*). La stabilité thermique à 75 °C pour l'activité cytotoxique de la ricine et la stabilité thermique de la ricine à pH 4,5 ont été rapportées par Parkouda et al. (2009)[59]. Les résultats ont démontré l'importance de prendre en compte le pH dans l'inactivation thermique des protéines toxiques dans les aliments.

Il est important de noter que la plupart des tests d'agglutination in vivo utilisés pour déterminer la toxicité du tourteau ne séparaient pas clairement la ricine et la RCA. Bien que les deux soient des lectines protéiques normalement affectées par la chaleur, dans les situations où le processus de détoxification réduit drastiquement la ricine sans affecter la teneur en RCA, il y a tendance à mal juger l'aptitude du produit détoxifié alors qu'en

réalité, le tourteau serait beaucoup moins toxique (en tant que produit alimentaire) en raison de la diminution de la toxine ricine.

## 1.10 Farine de graines de ricin dans la nutrition animale

### 1.10.1 Animaux non ruminants

La farine de ricin détoxifiée et désallergénisée a été utilisée en toute sécurité jusqu'à 12 % sans aucun effet néfaste sur la performance de croissance des porcs à l'engraissement Apata et al. (1999) [60] ont utilisé des produits de fermentation non contrôlée avec autoclave à 121 °C et 1,05 kg/cm<sup>2</sup> pendant une heure sur des tourteaux de graines de ricin dans les régimes des porcs. La performance des porcs à 5 et 10 % était comparable à celle du groupe témoin nourri à 0 %. De même, la farine de graines de ricin fermentée pouvait être incluse avec succès dans les régimes de démarrage des poussins à 50 g/kg

Les poussins en croissance nourris avec des graines de ricin non grillées à 10 % du régime ou des graines de ricin grillées à 10, 15 ou 20 % du régime pendant 6 semaines ont montré un taux de mortalité de 83 % chez les oiseaux recevant de la farine non grillée et une réduction significative de la consommation d'aliments et du gain de poids dans tous les traitements. Il y a eu des cas rapportés de mortalité de certains poussins nourris avec des régimes contenant de la farine de graines de ricin traitée thermiquement . La graine de ricin décortiquée et cuite était mieux incluse à 10 % dans les régimes des poulets de chair sans effet néfaste [18].

L'alimentation en protéines de ricin extraites à l'eau chaude avec une supplémentation appropriée en acides aminés a produit des gains comparables à ceux obtenus avec de la farine de soja chez les poulets de chair. Dans l'étude menée par Akande et Odunsi (2012) [32] en utilisant différents traitements de tourteaux de graines de ricin pour nourrir des poulets de chair à des niveaux graduels, les résultats ont indiqué que le traitement combiné de l'ébullition et du traitement à la lessive (pH = 9,5) était le plus efficace pour une inclusion jusqu'à 15 %. Okamoto et al. (1970)[61] ont détoxifié le CBM en le lavant avec de l'eau et avec de l'HCl dilué. Une alimentation de seulement 5 ou 10 % a produit un retard de croissance chez les poussins âgés de 2 à 7 semaines, tandis qu'aucun effet néfaste n'a été observé chez les poules pondeuses adultes.

Deuxième partie

Matériels et Méthodes

## Chapitre 2

# Matériels et Méthodes

### But de travail

Cette étude s'est concentrée sur les traitements physiques et chimiques des résidus secs de ricin. Les principaux objectifs de cette étude comprennent :

- Étude des propriétés physico-chimiques des résidus : Comprendre les caractéristiques intrinsèques des résidus secs de ricin, telles que leur composition chimique.
- Réduction de la toxicité : Évaluer et mettre en oeuvre des méthodes visant à diminuer la toxicité des résidus de ricin, en particulier la réduction des composants toxiques tels que le ricin.
- Valorisation des résidus : Explorer des stratégies pour valoriser économiquement les résidus de ricin traités, en considérant leur potentiel pour une application comme aliment de volaille

Cette section détaillera les méthodes expérimentales utilisées pour atteindre ces objectifs, y compris les techniques d'analyse physico-chimique, les procédures de traitement et les critères d'évaluation de la toxicité résiduelle.

## **2.1 Matériel végétal et échantillonnage**

Dans le cadre de notre recherche sur les résidus secs de ricin, nous avons utilisé principalement les parties de la plante qui restent après l'extraction de l'huile. Les graines de ricin ont été collectées dans la région de Béjaïa, où elles ont été soigneusement sélectionnées pour assurer la qualité et la représentativité des échantillons.

### **2.1.1 Collecte des graines**

Les graines de ricin ont été collectées à maturité de la région de Béjaïa, en tenant compte des conditions climatiques et saisonnières appropriées pour assurer la qualité des échantillons.

### **2.1.2 Extraction**

Une fois collectées, les graines ont été soumises à un processus d'extraction de l'huile. Ce processus a été réalisé de manière à minimiser les dommages aux graines et à obtenir un rendement maximal en huile tout en préservant les résidus végétaux.

### **2.1.3 Séchage**

Les résidus végétaux restants après l'extraction de l'huile ont été séchés soigneusement pour éliminer toute humidité résiduelle. Ce séchage a été effectué dans des conditions contrôlées pour prévenir toute dégradation et assurer la stabilité des échantillons.

### **2.1.4 Broyage**

Les résidus secs ont été réduits en une poudre fine à l'aide d'un broyeur à lame. Ce processus de broyage visait à normaliser la taille des particules pour une analyse et une utilisation ultérieures cohérentes.

### 2.1.5 Stockage des échantillons

Les échantillons de résidus de ricin sous forme de poudre ont été stockés dans des récipients hermétiques, protégés de la lumière directe, de l'humidité et de la chaleur. Ils ont été conservés dans un endroit sec et frais pour maintenir leur intégrité jusqu'au moment des analyses.

## 2.2 Caractérisation physico-chimique des résidus obtenus

Les résidus obtenus après l'extraction de l'huile de ricin ont été soumis à une série d'analyses physico-chimiques pour évaluer leurs propriétés.

### 2.2.1 Détermination de la teneur en eau

Pour évaluer la teneur en eau des échantillons, trois grammes de chaque échantillon sont pesés dans des cristallisoirs distincts. La masse initiale de chaque cristallisoir contenant l'échantillon est enregistrée précisément. Ensuite, les cristallisoirs sont placés dans une étuve à 105°C pendant une période de 24 heures pour assurer un séchage complet.

Après cette période de séchage, la masse de chaque cristallisoir avec l'échantillon est de nouveau mesurée avec une grande précision. La différence de masse avant et après séchage permet de calculer la quantité d'eau présente initialement dans chaque échantillon.

La teneur en eau d'un échantillon, basée sur la différence de masse avant et après séchage :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100$$

Où : -  $m_i$  est la masse initiale de l'échantillon avec le cristallisoir avant séchage (en grammes), -  $m_f$  est la masse finale de l'échantillon avec le cristallisoir après séchage (en grammes).

### 2.2.2 Détermination de la teneur en cendres des échantillons

Pour déterminer la teneur en cendres des échantillons de résidus secs de ricin, une méthode d'incinération a été utilisée. Après le séchage initial des échantillons, ces derniers ont été placés dans un four préchauffé à 600°C pendant une heure. Cette procédure permet de brûler complètement la matière organique, ne laissant que les cendres minérales. Après refroidissement dans un dessiccateur pour éviter toute absorption d'humidité, les échantillons ont été pesés avec précision pour mesurer la masse des cendres résiduelles. La teneur en cendres a été calculée en pourcentage par rapport à la masse initiale de chaque échantillon, fournissant ainsi une mesure des minéraux inorganiques présents, ce qui est crucial pour évaluer la composition et les propriétés des résidus de ricin étudiés.

La teneur en cendres (% w/w) est calculée en utilisant la formule suivante :

$$\text{Teneur en cendres (\%)} = \left( \frac{\text{Masse des cendres après incinération}}{\text{Masse initiale de l'échantillon}} \right) \times 100$$

### 2.2.3 Dosage des protéines avec la méthode de Bradford

Pour le dosage des protéines, nous avons utilisé la méthode de Bradford, qui est basée sur la liaison du colorant bleu de Coomassie brillant G-250 aux protéines. La préparation commence par la préparation du réactif de Bradford et des échantillons de protéines. Le standard de protéine utilisé est l'albumine de sérum bovin (BSA), qui a été utilisé pour établir une courbe d'étalonnage (Figure 2.1).

À chaque échantillon (500 mg brute et traité), le réactif de Bradford est ajouté et mélangé soigneusement. Après une incubation de quelques minutes pour permettre la liaison du colorant aux protéines, Ensuite l'absorbance de chaque solution a été mesuré à 595 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis.

La concentration en protéines dans les échantillons a été déterminée en comparant les valeurs d'absorbance obtenues à celles des standards de BSA, en utilisant l'équation de la courbe d'étalonnage. La formule utilisée pour calculer la concentration des protéines est :

$$C = \frac{(A - A_0)}{m}$$

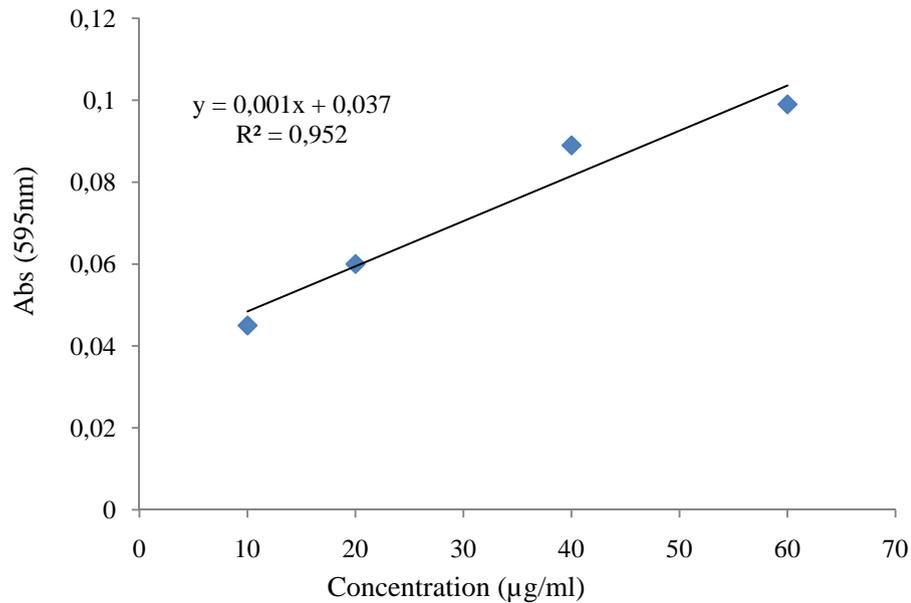


FIGURE 2.1: Courbe d'Étalonnage pour le Dosage des Protéines avec la Méthode de Bradford (Bleu de Coomassie à 595 nm)

où  $C$  est la concentration en protéines,  $A$  est l'absorbance de l'échantillon,  $A_0$  est l'absorbance dublanc, et  $m$  est la pente de la courbe d'étalonnage.

Pour calculer la teneur en protéines dans 1 kg d'échantillon ( $P$ ; mg/kg) à partir de la concentration obtenue, la formule suivante a été utilisée :

$$P \text{ (mg/kg)} = \left( \frac{\text{Concentration en protéines (mg/mL)} \times \text{Volume total de la solution (mL)}}{\text{Masse de l'échantillon (g)}} \right) \times 1000$$

Pour déterminer la teneur en lignine, cellulose et hémicellulose dans les aliments ou les substrats, on utilise principalement les analyses de fibres, notamment l'ADF (Acid Detergent Fiber) et la NDF (Neutral Detergent Fiber). Voici comment ces analyses sont réalisées :

#### 2.2.4 Analyse des fibres (ADF et NDF)

Pour évaluer la teneur en lignine, cellulose et hémicellulose dans les échantillons brutes et traités, nous avons réalisé des analyses de fibres, notamment l'ADF (Acid Detergent Fiber) et la NDF (Neutral Detergent Fiber). Ces analyses sont essentielles pour

comprendre la composition des parois cellulaires de ricin.

Nous commençons par l'ADF, qui mesure les substances comme la cellulose et la lignine insolubles dans une solution détergente acide. Nous avons traité les échantillons avec une solution détergente acide, récupérons ensuite le résidu non dissous, le séchons, le pesons et l'incinérons. La perte de masse lors de l'incinération indique la teneur en ADF, que nous calculons par rapport à la masse initiale de l'échantillon.

la valeur de l'ADF est calculée par :

$$\text{ADF (\%)} = \left( \frac{\text{Masse du résidu sec}}{\text{Masse de l'échantillon initial}} \right) \times 100$$

Ensuite, la NDF mesure les composants de la paroi cellulaire, y compris la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, insolubles dans une solution détergente neutre. Nous avons traité les échantillons avec une solution détergente neutre, récupérons ensuite le résidu non dissous, le séchons, le pesons et l'incinérons. La différence de masse avant et après incinération donne la teneur en NDF.

la valeur de l'NDF est calculée par :

$$\text{NDF (\%)} = \left( \frac{\text{Masse du résidu sec}}{\text{Masse de l'échantillon initial}} \right) \times 100$$

Une fois que nous avons obtenu les pourcentages d'ADF et de NDF, nous pouvons estimer la cellulose, l'hémicellulose et la lignine dans les échantillons. Nous calculons la cellulose en soustrayant la teneur en lignine de celle en ADF. Pour l'hémicellulose, nous soustrayons la teneur en ADF de celle en NDF. La lignine peut être approximée en soustrayant la somme de la cellulose et de l'hémicellulose de la NDF. En résumé, la teneur en cellulose, hémicellulose et lignine dans les échantillons ont été déterminés à l'aide des relations suivantes :

**1. Cellulose :**

La cellulose est calculée en soustrayant la teneur en lignine de celle en ADF.

$$\text{Cellulose (\%)} = \text{ADF (\%)} - \text{Lignine (\%)}$$

## 2. Hémicellulose :

L'hémicellulose est calculée en soustrayant la teneur en ADF de celle en NDF.

$$\text{Hémicellulose (\%)} = \text{NDF (\%)} - \text{ADF (\%)}$$

## 3. Lignine :

La lignine peut être estimée en soustrayant la somme de la cellulose et de l'hémicellulose de la NDF.

$$\text{Lignine (\%)} = \text{NDF (\%)} - \text{Cellulose (\%)} - \text{Hémicellulose (\%)}$$

### 2.2.5 Dosage des sucres totaux avec la Méthode de Dubois

Nous avons utilisé la méthode de Dubois pour quantifier les sucres totaux présents dans nos échantillons. Cette méthode, basée sur une réaction colorimétrique, est largement reconnue pour sa précision dans la détermination des concentrations de sucres simples (monosaccharides) et polysaccharides.

La première étape de cette méthode implique la déshydratation des sucres en présence d'acide sulfurique concentré. Cette réaction est cruciale car elle transforme les sucres en formes furaniques et pyraniques réactives. Ensuite, nous introduisons le réactif de Dubois, composé de phénol et d'acide sulfamique, qui condense avec les sucres déshydratés pour former un complexe chromogène orangé.

Pour calculer la concentration en sucres totaux, nous avons mesuré l'absorbance de la solution colorée à une longueur d'onde de 490 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. Cette absorbance est directement proportionnelle à la quantité de sucres présents dans l'échantillon. Nous avons établi une courbe d'étalonnage (Fig.2.2) préalablement avec des solutions de glucose de concentrations connues, nous permettant ainsi de convertir l'absorbance mesurée en concentration en sucres, exprimée en mg/mL.

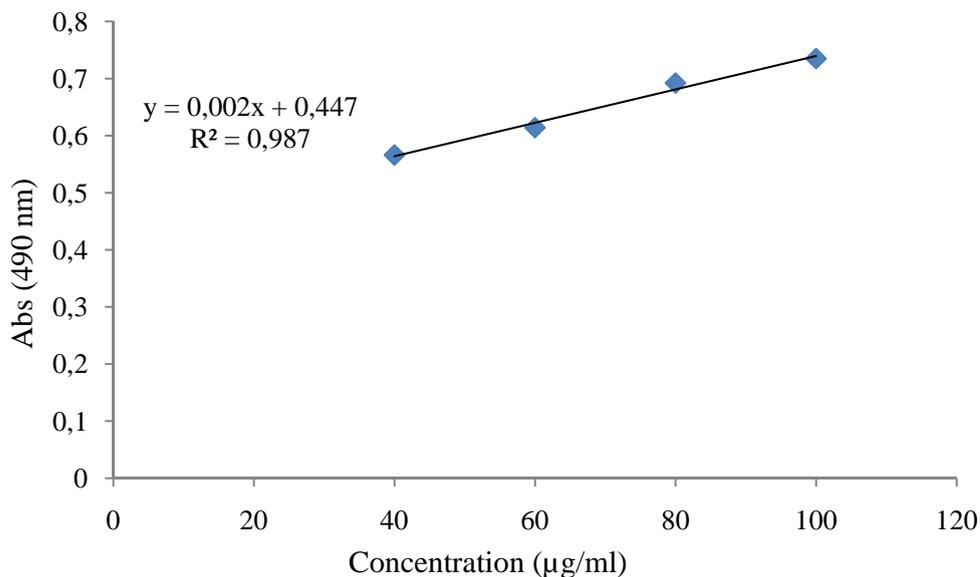


FIGURE 2.2: Courbe d'Étalonnage pour le Dosage des sucres totaux avec la Méthode de Dubois à 490 nm)

### 2.2.6 Dosage de l'amidon

Pour déterminer la teneur en amidon dans notre échantillon, nous avons suivi une méthode précise. Tout d'abord, nous avons pris 0,5 g de l'échantillon et l'avons homogénéisé dans de l'éthanol à 80% chauffé pour permettre une extraction efficace des composés solubles. Ensuite, nous avons centrifugé l'échantillon à 4000 tr/min pendant 20 minutes afin de séparer les particules solides et d'obtenir un extrait liquide clair. Le résidu obtenu après centrifugation a été traité avec 5 ml d'eau et 6,5 ml d'acide perchlorique, puis refroidi à 0 °C pendant 20 minutes pour stabiliser la solution. Après cette étape de réfrigération, une nouvelle centrifugation a été réalisée pour éliminer tout précipité et récupérer le surnageant clarifié. Le volume final du surnageant a été ajusté à 50 ml avec de l'eau distillée pour obtenir une solution diluée. Pour l'analyse, nous avons pris 1 ml de cette solution diluée, à laquelle nous avons ajouté 1 ml de solution de phénol à 4% et 5 ml d'acide sulfurique concentré. Après agitation pour assurer un mélange homogène, nous avons mesuré l'absorbance de chaque solution à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Cette méthode nous a permis d'obtenir des résultats précis sur la concentration en amidon dans notre échantillon, en suivant des procédures rigoureuses pour assurer l'exactitude des mesures effectuées.

## **2.3 Traitements pour la détoxification du tourteau de ricin**

Dans cette étude sur la détoxification du tourteau de ricin, trois méthodes distinctes ont été employées pour traiter les échantillons, visant à réduire la toxicité du ricin.

### **2.3.1 Traitement par ébullition**

La farine de ricin, pesant 90 g chacun, ont été immergés dans 900 ml d'eau et portés à ébullition à 100 °C pendant deux durées différentes : 30 minutes et 60 minutes. Après la cuisson, l'eau de cuisson a été évacuée et les échantillons ont été filtrés à travers un tissu en mousseline pour éliminer les particules solides. Ensuite, les échantillons ont été séchés à l'air et stockés à 4 °C en vue d'une évaluation approfondie ultérieure.

### **2.3.2 Traitement à la chaux**

Les échantillons de farine de ricin, également de 90 g chacun, ont été mélangés avec des solutions d'hydroxyde de calcium (chaux) dans un rapport de 3 g pour 250 ml d'eau distillée. Ces mélanges ont été laissés à reposer toute une nuit, soit environ 8 heures. Les échantillons traités à la chaux ont ensuite été séchés au soleil.

### **2.3.3 Traitement au chlorure de sodium**

Pour ce traitement, du chlorure de sodium (sel de table) a été utilisé. Les échantillons de farine de ricin, encore une fois de 90 g chacun, ont été mélangés avec une solution de chlorure de sodium dans un rapport de 3 g pour 250 ml d'eau. Ces échantillons ont été laissés à reposer toute une nuit, puis séchés au soleil.

Ces méthodes ont été choisies pour leurs effets supposés sur la réduction de la toxicité du ricin, chaque méthode impliquant des processus spécifiques visant à dégrader ou à neutraliser les composants toxiques présents dans le tourteau de ricin. Les échantillons traités ont été préparés avec pour permettre une analyse comparative afin d'évaluer l'efficacité de chaque méthode de détoxification sur la croissance des poussins de poulet de chair.

## **2.4 Utilisation de la farine de ricin dans l'alimentation des volaille**

Après avoir obtenu les farines à partir des trois méthodes de traitement du tourteau de ricin, nous avons évalué leur utilisation dans l'alimentation des poussins de volaille pendant une semaine afin d'étudier leur comportement et de suivre leur croissance.

### **1. Alimentation des poussins :**

Les poussins de volaille ont été répartis en groupes et alimentés avec des régimes contenant chacun une des farines traitées. Chaque groupe a reçu une alimentation exclusive à base de farine de farine de ricin traitée par l'une des méthodes étudiées. Ceci a été fait afin d'observer les effets de chaque traitement sur la santé, le comportement et la croissance des poussins.

### **2. Observation du comportement :**

Pendant la période d'alimentation d'une semaine, les poussins ont été observés pour évaluer leur comportement général, y compris leur activité, et tout signe de stress ou de malaise. Des observations régulières ont été effectuées pour détecter toute réaction inhabituelle ou effet indésirable potentiellement lié à l'alimentation.

### **3. Suivi de la croissance :**

La croissance des poussins a été mesurée en termes de poids corporel et de développement physique. Des pesées régulières ont été effectuées pour enregistrer les gains de poids et évaluer la croissance relative des différents groupes alimentaires. Les mesures de croissance ont été comparées entre les groupes pour déterminer l'efficacité des traitements sur la promotion de la croissance chez les poussins.

À la fin de la période d'alimentation d'une semaine, les données recueillies sur le comportement et la croissance ont été analysées pour évaluer les effets des différentes farines de farine de ricin traitées. Les résultats ont été interprétés afin de déterminer quelle méthode de traitement pourrait offrir les meilleurs résultats en termes de compatibilité alimentaire, de croissance saine et de bien-être général des poussins de volaille.

Troisième partie

Résultats et Discussion

## Chapitre 3

# Résultats et Discussion

### 3.1 Teneur en nutriments dans la farine de ricin non traité

La composition de la farine de ricin obtenue après extraction d'huile est récapitulée dans le tableau 3.1

TABLE 3.1: Teneur en nutriments dans la farine de ricin non traité

Eléments	Valeur (%)
Teneur en eau (%)	3.3
Teneur en protéine (%)	27.1
Teneur hule residuelle (%)	1.3
Sucres totaux (%)	15.6
Amidon (%)	27
Cendres totales (%)	10.2
Cellulose (%)	2
Hemicellulose (%)	0.7
Lignine (%)	0.43

La farine obtenue présente des caractéristiques nutritionnelles qui influencent directement son potentiel d'utilisation comme aliment pour les volailles.

#### 1. Teneur en protéines (27.1%) :

La haute teneur en protéines de la farine de ricin en fait une source attractive pour l'alimentation des volailles. Les protéines sont essentielles pour la croissance musculaire, la santé générale des volailles. Cependant, il est important de noter que la digestibilité des protéines de la farine de ricin peut varier en fonction du

traitement appliqué, ce qui pourrait affecter leur efficacité nutritionnelle pour les animaux.

**2. Teneur en matière grasse résiduelle (1.3%) :**

La faible teneur en matière grasse résiduelle est bénéfique car elle évite un apport excessif en calories tout en fournissant des acides gras essentiels nécessaires au métabolisme et à la santé de la peau des volailles. Cependant, les méthodes de traitement doivent garantir une réduction efficace de la toxicité potentielle des graisses résiduelles dans cette farine.

**3. Teneur en sucres totaux (15.6%) et amidon (27%) :**

Les sucres totaux et l'amidon sont des sources importantes d'énergie pour les volailles, soutenant leur activité métabolique et leur croissance. Cependant, une concentration élevée en sucres peut poser des défis, notamment en ce qui concerne l'impact sur la glycémie des oiseaux et la gestion de l'énergie dans leur alimentation.

**4. Teneur en cendres totales (10.2%) :**

Les cendres totales représentent les minéraux essentiels pour la santé des os et le bon fonctionnement physiologique des volailles. Cependant, une concentration élevée en cendres peut également indiquer une présence accrue de contaminants minéraux ou de résidus de traitement, nécessitant une analyse approfondie pour garantir la sécurité alimentaire des oiseaux.

**5. Fibres (cellulose, hemicellulose, lignine) :**

Les fibres présentes dans la farine de tourteau de ricin, comme la cellulose, la hemicellulose et la lignine, sont bénéfiques pour la santé digestive des volailles en favorisant le transit intestinal et en améliorant l'absorption des nutriments. Cependant, une quantité excessive de fibres peut également limiter la digestibilité globale de l'aliment, ce qui doit être pris en compte dans la formulation des rations alimentaires.

Bien que la farine de ricin présente des avantages nutritionnels significatifs pour les volailles, notamment en termes de protéines, d'énergie et de minéraux, des considérations critiques doivent être prises en compte concernant la gestion des sucres, des graisses résiduelles et des fibres, ainsi que la garantie de la sécurité alimentaire à travers les méthodes de traitement. Une approche équilibrée et une surveillance continue sont essentielles pour

maximiser l'efficacité nutritionnelle et assurer la santé optimale des volailles alimentées avec cette farine.

### 3.2 Evolution de la teneur en protéine et en fibre après traitement

La teneur en protéines et en fibres de la farine de ricin obtenue après traitements est récapitulée dans le tableau 3.2

TABLE 3.2: Teneur en protéines et en fibres dans la farine de tourteau de ricin après traitement (P(%) : teneur en proteine, F(%)teneur en fibre

Traitement	P(%) Avant	P(%) Après	F (%) Avant	F (%) Après
par ébullition	27	25.8	2.0	1.6
à la chaux	27	26.5	2.0	2.2
au NaCl	27	24.9	2.0	1.8

Une analyse approfondie des résultats obtenus pour la teneur en protéines et en fibres dans la farine de ricin après les différents traitements, nous mène au constatation suivantes :

#### 1. Traitement par ébullition :

- Protéines : La teneur en protéines diminue légèrement de 27% avant traitement à 25.8% après traitement par ébullition. Cette diminution peut être attribuée à la dénaturation des protéines sous l'effet de la chaleur prolongée à 100°C. La coagulation et la dégradation des structures protéiques peuvent réduire leur disponibilité nutritionnelle pour les volailles.
- Fibres : La teneur en fibres diminue également, passant de 2.0% avant traitement à 1.6% après traitement. Les fibres solubles et insolubles peuvent être affectées par la chaleur, entraînant une réduction de leur capacité à soutenir la santé digestive des volailles.

## **2. Traitement à la chaux :**

- Protéines : Ce traitement semble mieux préserver la teneur en protéines, avec une légère baisse de 27% à 26.5%. L'hydroxyde de calcium peut stabiliser les protéines en modifiant le pH et en facilitant leur rétention dans la matrice du tourteau de ricin. Cela pourrait maintenir une meilleure qualité nutritionnelle pour les volailles.
- Fibres : Contrairement à l'ébullition, le traitement à la chaux montre une légère augmentation de la teneur en fibres, passant de 2.0% à 2.2%. Les fibres insolubles peuvent être mieux préservées, contribuant ainsi à la régulation digestive des volailles.

## **3. Traitement au chlorure de sodium :**

- Protéines : Ce traitement conduit à une réduction plus significative de la teneur en protéines, passant de 27% à 24.9%. Le chlorure de sodium peut avoir un effet dénaturant sur les protéines en modifiant leur structure et leur solubilité, ce qui diminue leur valeur nutritionnelle.
- Fibres : La teneur en fibres diminue également à 1.8%, indiquant une possible dégradation des fibres sous l'effet de ce traitement. Cela pourrait compromettre la capacité des fibres à soutenir une digestion saine chez les volailles.

Le traitement à la chaux semble être le plus efficace pour préserver la teneur en protéines, suivie du traitement par ébullition, tandis que le traitement au chlorure de sodium montre une plus grande dégradation des protéines. Les protéines étant essentielles pour la croissance et le développement des volailles, leur préservation est cruciale pour maintenir la qualité nutritionnelle des aliments.

D'autre part, tous les traitements ont conduit à une diminution de la teneur en fibres, bien que le traitement à la chaux montre une tendance à préserver mieux les fibres insolubles par rapport aux autres méthodes. Les fibres sont importantes pour la santé intestinale des volailles, influençant la digestibilité des aliments et la régulation du transit intestinal.

Le choix du traitement doit être évalué non seulement en fonction de ses effets sur la teneur en nutriments, mais aussi en considérant sa faisabilité pratique et ses implications sur la sécurité alimentaire. Les méthodes qui préservent mieux les protéines et les fibres tout en minimisant les effets indésirables sur la digestibilité et la santé des volailles sont préférables.

L'analyse des variations de la teneur en protéines et en fibres après les différents traitements du tourteau de ricin montre des résultats variés qui doivent être soigneusement évalués pour optimiser l'alimentation des volailles en termes de qualité nutritionnelle et de performance digestive.

### 3.3 Observations du comportement et de la croissance des poussins nourris avec des farines de tourteau de ricin traitées

Les résultats de étude des poussins nourris avec les différentes farines de ricin traitées sont récapitulées dans le tableau ??.

TABLE 3.3: Résultats observés de l'observation du comportement et de la croissance des poussins

Variable mesurée	Résultats observés
Observation du comportement	Comportement normal, activité normale, aucun signe de stress détecté
Suivi de la croissance (poids corporel)	Augmentation régulière du poids corporel dans tous les groupes
Suivi de la croissance (développement physique)	Développement physique proportionnel à l'âge des poussins
Comparaison entre les groupes	Meilleure croissance et développement dans les groupes traités par ébullition et à la chaux

1. **Observation du comportement** : La majorité des poussins ont montré un comportement normal, mais il y a eu une observation de léthargie (Engourdissement) persistante dans un poussin du groupe traité au chlorure de sodium.
2. **Suivi de la croissance (poids corporel)** : La croissance du poids corporel était régulière dans la plupart des groupes, mais deux poussins dans le groupe traité par ébullition ont montré une stagnation du poids initial.

3. **Suivi de la croissance (développement physique) :** Le développement physique était typiquement proportionnel à l'âge, cependant, un poussin dans le groupe témoin a présenté un développement anormal des plumes.
4. **Comparaison entre les groupes :** Globalement, les groupes traités par ébullition et à la chaux ont montré de meilleurs résultats, mais il y a eu une légère diarrhée observée chez un poussin du groupe traité à la chaux.

L'absence de mortalité observée parmi les poussins tout au long de l'étude est un point important à souligner. Cela indique que les traitements appliqués sur les farines de ricin n'ont pas induit de conditions nocives menant à la mortalité des animaux. Cette absence de décès peut être interprétée comme un indicateur positif de la sécurité des aliments produits à partir de ces traitements, du moins en termes de toxicité aiguë.

Cependant, les observations à court terme sur la croissance, le développement physique et le comportement sont des indicateurs initiaux importants, mais des études prolongées sont nécessaires pour évaluer pleinement l'impact à long terme des régimes alimentaires modifiés sur la santé et la productivité des animaux d'élevage.

# Conclusion

Cette étude a exploré les effets de différents traitements physiques et chimiques du tourteau de ricin ainsi que leur impact sur la croissance des poussins de chair. Trois méthodes de traitement ont été évaluées : l'ébullition, le traitement à la chaux et le traitement au chlorure de sodium. Les résultats ont été analysés à travers plusieurs paramètres incluant la teneur en nutriments des farines de tourteau de ricin traitées et les observations sur la croissance et le comportement des poussins.

Les analyses chimiques des farines traitées ont révélé des variations significatives dans la composition nutritionnelle, avec une conservation plus efficace des protéines et une réduction des fibres indésirables dans les échantillons traités par ébullition et à la chaux. Ces traitements ont montré des avantages potentiels pour améliorer la digestibilité et l'absorption des nutriments chez les poussins, comme en témoigne la meilleure croissance observée dans ces groupes.

L'observation du comportement des poussins a montré une activité normale dans la plupart des groupes, bien que des cas isolés de léthargie et de diarrhée légère aient été notés dans les groupes traités au chlorure de sodium et à la chaux, respectivement.

L'absence de mortalité parmi les poussins tout au long de l'étude souligne la relative sécurité des aliments produits à partir de ricin. Cependant, des précautions doivent être

prises pour optimiser les procédés de détoxification afin de minimiser les effets secondaires potentiels sur la santé des animaux.

En conclusion, cette étude met en évidence l'importance du choix et de l'optimisation des méthodes de traitement pour garantir la sécurité des aliments des animaux produits à partir de ricin. Des recherches futures devraient se concentrer sur la compréhension approfondie des mécanismes de détoxification et sur l'évaluation à long terme des impacts sur la santé et la productivité des animaux d'élevage.

# Bibliographie

- [1] J. J. G. García, Bartolomé-Zavala, M. T. Del Mar, J. M. Barceló-Muñoz, S. Fernández, M. A. Negro-Carrasco, M. J. Carmona-Bueno, J. M. Vega-Chicote, G. Muñoz-Roma, R. Palacios-Peláez, Cabezudo-Artero, and J. Martínez-Quesada. Pollinosis to *Ricinus communis* (castor bean) : an aerobiological, clinical and immunochemical study. *Clinical and Experimental Allergy*, 29 :1265–1275, 1999.
- [2] R. Prat, M. Michèle, and V. Vonarx. *Les Fruits : Le Ricin : une capsule déhiscente*. Biologie et multimédia, 2005.
- [3] Ricin. <https://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/ricin.htm>. Consulté le 10 juillet 2024.
- [4] Zouhair Ghrabi. *A Guide to Medicinal Plants in North Africa*. IUCN Center of Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain, 2005.
- [5] F. Lorenzo and M. R. Lynch. The enemy within : ricin and plant cells. *Experimental Botany*, 49(326) :1473–1480, 1998.
- [6] K. Kadambi and S. N. Dabral. The silviculture of \**ricinus communis*\* l. *Indian Forester*, 8(1) :53–58, 1955.
- [7] R. Prat, M. Michèle, and V. Vonarx. *Les Fruits : Le Ricin : une capsule déhiscente*. Biologie et multimédia, 2005.
- [8] E. L. Little, R. O. Woodbury, and F. H. Wadsworth. *Trees of Puerto Rico and the Virgin Islands*. Number 449 in Agriculture Handbook. Washington, DC, 1974. 2.

- [9] P. C. Van Welzen. Revisions and phylogenies of malesian euphorbiaceae : Subtribe lasiococcinae (homonoia, lasiococca, spathiostemon) and clonostylis, ricinus, and wetria. *Blumea*, 43 :131–164, 2001.
- [10] P. Rousset. *Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales*. Cirad, Brésil, 2008.
- [11] I. A. Nweke, C. N. Mbah, E. U. Oweremadu, N. Dambaba, E. C. Orji, A. I. Ekesiobi, and E. L. C. Nnabuife. Soil ph, available p of an ultisol and castor performance as influenced by contrasting tillage methods and wood ash. *African Journal of Agricultural Research*, 12(8) :606–616, 2017.
- [12] Luciano S. Severino, Dick L. Auld, Mário Baldanzi, Maria José Cândido, Guo Chen, William Crosby, ..., and V. B. Rughavendra. A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*, 104(4) :853–880, 2012.
- [13] B. K. Rana, U. P. Singh, and V. Taneja. Antifungal activity and kinetics of inhibition by essential oil isolated from leaves of aegle marmelos. *Journal of Ethnopharmacology*, 57(1) :29–34, 1997.
- [14] R. K. Sahu, A. Roy, and S. Dewanjee. Evaluation of the hepatoprotective activity of ricinus communis l. (euphorbiaceae) in paracetamol-induced liver damage in rats. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 11(3) :379–385, 2012.
- [15] S. A. Chime, P. F. Builders, A. A. Attama, and G. C. Onunkwo. Sustained release diclofenac potassium-impregnated ricinus communis-based oil matrix system. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5(4) :305–310, 2012.
- [16] F. Alam, S. Us, M. A. Alam, and R. Ashraf. Systematic review on natural antioxidant, anti-diabetic and anti-cancer potential of ricinus communis l. (castor oil plant). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 68(9) :1104–1118, 2016.
- [17] D. S. Ogunniyi. Castor oil : a vital industrial raw material. *Bioresource Technology*, 97(9) :1086–1091, 2006.
- [18] M. S. Rani and A. Sridevi. Castor oil : Review of uses, side effects, and new developments. *Lipid Insights*, 7 :1–4, 2014.
- [19] Le ricin : une culture multifonctionnelle pour l’agriculture durable. *Revue Internationale d’Agroécologie*, 2020.

- [20] Évaluation des impacts environnementaux de la production de ricin. *Études Environnementales*, 2019.
- [21] Utilisation du ricin comme ressource renouvelable en agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 2018.
- [22] Castor bean meal for cattle finishing : 1<sup>o</sup> Nutritional parameters. *Livestock Science*, 135(2) :153–167, 2011.
- [23] JG Robb, RC Laben, HG Walker, and V Herring. Castor meal in dairy rations. *Journal of Dairy Science*, 57 :443–450, 1974.
- [24] AC Mottola, AP Hendrickson, DE O’Connell, Rhode, Palter, and GO Kohler. Title of the article. *Journal Name*, 57 :443–450, 1968.
- [25] A. K. Yadav and A. K. Puniya. Detoxification of castor cake using chemical treatments and its evaluation as livestock feed. *Agricultural Research Communication Centre*, 2010.
- [26] H. L. S. Tandon. *Fertilizers in Indian Agriculture—From 20th to 21st Century*. Fertiliser Development and Consultation Organisation, 2004.
- [27] R. K. Devappa, H. P. S. Makkar, and K. Becker. Potential of castor bean (*Ricinus communis* L.) meal as a feed ingredient for livestock and poultry. *Livestock Science*, 2010.
- [28] R. Narayan. *Bioplastics Technology and Applications*. John Wiley & Sons, 2009.
- [29] J. A. Adedeji, D. F. Apata, O. A. Aderinola, T. A. Rafiu, and S. R. Amao. Performance and haematological/serum characteristics of rabbits fed boiled castor seed cake based diet. *World Journal of Zoology*, 1 :91–93, 2006.
- [30] A. A. Annongu and J. K. Joseph. Proximate analysis of castor seeds and cake. *Journal of Applied Science and Environmental Management*, 12 :39–41, 2008.
- [31] J. B. Jr Matos, A. N. Dias, C. F. D. Bueno, P. A. Rodrigues, Á. L. C. Veloso, and D. E. D. Faria Filho. Metabolizable energy and nutrient digestibility of detoxified castor meal and castor cake for poultry. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40 :2439–2442, 2011.

- [32] T. O. Akande, A. A. Odunsi, A. O. Akinwumi, D. O. Okunlola, M. D. Shittu, and O. C. Afolabi. Carcass yield and histopathological changes in meat type chickens fed raw and processed castor bean (*ricinus communis* linn.) cake. *International Journal of Agricultural Sciences*, 2 :136–142, 2012.
- [33] I. M. Vasconcelos, E. A. Siebra, A. A. B. Maia, R. A. Moreira, A. F. Neto, G. J. A. Campelo, and J. T. A. Oliveira. Composition, toxic and antinutritional factors of newly developed cultivars of brazilian soybean (*glycine max*). *Journal of Science and Food Agriculture*, 75 :419–426, 1997.
- [34] T. O. Akande, A. A. Odunsi, and O. S. Adedeji. Toxicity and nutritive assessment of castor (*ricinus communis*) oil and processed cake in rat diet. *Asian Journal of Animal Science*, 5 :330–339, 2011.
- [35] S. J. M. Gowda, P. Radika, N. Y. Kadoo, L. B. Mhase, and V. S. Gupta. Molecular mapping of wilt resistance genes in chickpea. *Molecular Breeding*, 24 :177–183, 2009.
- [36] A. O. Ani and A. U. Okorie. Response of broiler finishers to diets containing graded levels of processed castor oil bean (*ricinus communis* l) meal. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 9 :157–164, 2009.
- [37] A. O. Oso, W. A. Olayemi, A. M. Bamgbose, and O. F. Fowoyo. Utilization of fermented castor oil seed (*ricinus communis*, l) meal in diets for cockerel chicks. *Archivos de Zootecnia*, 60 :75–82, 2011.
- [38] E. E. Nsa, S. N. Ukachukwu, M. A. Isika, and P. O. Ozung. Effect of boiling and soaking durations on the proximate composition, ricin and mineral contents of undecorticated castor oil seeds (*Ricinus communis*). *International Journal of Plant Animal Environmental Science*, 1 :244–252, 2011.
- [39] T. O. Akande, A. A. Odunsi, O. S. Olabode, and T. K. Ojediran. Physical and nutrient characterisation of raw and processed castor (*ricinus communis* l.) seeds in nigeria. *World Journal of Agricultural Science*, 8 :89–95, 2012.
- [40] W. P. Bozza, W. H. Tolleson, L. A. Rivera Rosado, and B. Zhang. Ricin detection : tracking active toxin. *Biotechnology Advances*, 33 :117–123, 2015.
- [41] L. S. Severino, D. L. Auld, M. Baldanzi, M. J. D. Cândido, G. Chen, W. Crosby, D. Tan, X. He, P. Lakshamma, C. Lavanya, O. L. T. Machado, T. Mielke, T. D.

- Miller, J. B. Morris, S. A. Morse, A. A. Navas, D. J. Soares, V. Sofiatti, M. L. Wang, M. D. Zanotto, and H. A. Zieler. A review of the challenges for increased production of castor. *Journal of Agronomy*, 104 :853–880, 2012.
- [42] L. M. Roberts, F. I. Lamb, D. J. Pappin, and J. M. Lord. The primary sequence of *Ricinus communis* agglutinin. comparison with ricin. *Journal of Biological Chemistry*, 260 :15682–15686, 1985.
- [43] N. N. Brandt, A. Y. Chikishev, A. I. Sotnikov, Y. A. Savochkina, I. I. Agapov, A. G. Tonevitskii, and M. P. Kirpichnikov. Conformational difference between ricin and ricin agglutinin in solution and crystal. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 376 :26–28, 2001.
- [44] D. M. Schieltz, L. G. McWilliams, Z. Kuklenyik, S. M. Prezioso, A. J. Carter, Y. M. Williamson, S. C. McGrath, S. A. Morse, and J. R. Barr. Quantification of ricin, rca and comparison of enzymatic activity in 18 *Ricinus communis* cultivars by isotope dilution mass spectrometry. *Toxicon*, 95 :72–83, 2015.
- [45] S. D. Pinkerton, R. D. Rolfe, D. L. Auld, V. Ghetie, and B. F. Lauterbach. Selection of castor with divergent concentrations of ricin and *Ricinus communis* agglutinin. *Crop Science*, 39 :353–357, 1999.
- [46] T. O. Akande, A. A. Odunsi, A. O. Akinwumi, D. O. Okunlola, M. D. Shittu, and O. C. Afolabi. Carcass yield and histopathological changes in meat type chickens fed raw and processed castor bean (*Ricinus communis* linn.) cake. *International Journal of Agricultural Sciences*, 2 :136–142, 2012.
- [47] A. I. Siddiqi and S. O. Freedman. Identification of chlorogenic acid in castor bean and oranges. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 41 :947–952, 1963.
- [48] N. Deus-de Oliveira, S. P. Felix, C. Carrielo-Gama, K. V. Fernandes, R. A. DaMatta, and O. L. Machado. Identification of critical amino acids in the ige epitopes of Ric c 1 and Ric c 3 and the application of glutamic acid as an ige blocker. *PLoS ONE*, 6 :e21455, 2011.
- [49] T. O. Akande, A. A. Odunsi, O. S. Olabode, and T. K. Ojediran. Physical and nutrient characterisation of raw and processed castor (*Ricinus communis* l.) seeds in nigeria. *World Journal of Agricultural Science*, 8 :89–95, 2012.

- [50] Ü. Bornemann. Die tödliche dosis des semen rizini bei pferden. *Deutsche Tierarzt Woch*, 30 :123–127, 2010.
- [51] J. A. Adedeji, D. F. Apata, O. A. Aderinola, T. A. Rafiu, and S. R. Amao. Performance and haematological/serum characteristics of rabbits fed boiled castor seed cake based diet. *World Journal of Zoology*, 1 :91–93, 2006.
- [52] J. O. A. Okoye, C. A. Nunwonye, A. U. Okorie, and F. O. I. Anugwa. Pathological effects of feeding roasted castor bean (*ricinus communis*) meal to chicks. *Avian Pathology*, 16 :283–290, 1987.
- [53] N. P. Purushotham, G. V. Raghavan, M. S. Rao, M. R. Reddy, and M. Mahender. Studies on the pathology of experimental feeding of castor bean meal (*ricinus communis*) in sheep. *Indian Veterinary Journal*, 62 :116–118, 1985.
- [54] T. O. Babalola, D. F. Apata, and J. O. Atteh. Effect of  $\beta$ -xylanase supplementation of boiled castor seed meal based diets on the performance, nutrient absorbability and some blood constituents of pullet chicks. *Journal of Tropical Science*, 46 :216–223, 2006.
- [55] Z. Zhang, O. A. Triplett, K. T. Nguyen, W. B. Melchior, K. Taylor, L. S. Jackson, and W. H. Tolleson. Thermal inactivation reaction rates for ricin are influenced by ph and carbohydrates. *Food Chemistry Toxicology*, 58 :116–123, 2013.
- [56] L. S. Jackson, W. H. Tolleson, and S. J. Chirtel. Thermal inactivation of ricin using infant formula as a food matrix. *Agriculture and Food Chemistry*, 54 :7300–7304, 2006.
- [57] S. Anandan, G. K. Anil Kumar, J. Ghosh, and K. S. Ramachandra. Effect of different physical and chemical treatments on detoxification of ricin in castor cake. *Animal Feed Science and Technology*, 120 :159–168, 2005.
- [58] V. Ghandi, K. Cherian, and M. Mulky. Detoxification of castor seed meal by interaction with sal seed meal. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71 :827–831, 1994.

- [59] C. Parkouda, D. S. Nielsen, P. Azokpota, L. I. Ouoba, W. K. Amoa-Awua, L. Thorsen, J. D. Hounhouigan, J. S. Jensen, K. Tano-Debrah, B. Diawara, and M. Jakobsen. The microbiology of alkaline-fermentation of indigenous seeds used as food condiments in africa and asia. *Critical Reviews in Microbiology*, 35 :139–156, 2009.
- [60] D. F. Apata, A. B. Bamisile, S. S. Oyebamiji, and A. M. Bangbose. Response of young pigs to dietary levels of detoxified castor seed cake. In *26th Annual Conference of Nigerian Society of Animal Production Book of Proceedings*, pages 275–277, 1999.
- [61] S. O. Okamoto, I. Koga, T. Goto, M. Aramaki, C. Fanatsu, and T. Takahashi. Evaluation of castor seed residue as cattle fodder : Detoxification and availability as poultry feed. *Nippan Kakin Gakkaishi*, 2(1) :65–2914, 1970.