

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

FACULTE : Sciences

DOMAINE : SNV

N°:.....



DEPARTEMENT :

Sciences agronomiques

OPTION : Production et nutrition animale

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

BELKACEM Lina Yassamine

ZERROUGA Fatima Ezahra

Intitulé

Essai de formulation d'un aliment pour poulet de chair en incorporant des ressources alimentaires locales

Le jury est composé de :

Dr. Baa A	MCA	Université Mohamed Boudiaf -Msila	Président
Mme. Bara Y.	MAA	Université Mohamed Boudiaf -Msila	Examinatrice
Dr. Mahmoudi S.	MCA	Université Mohamed Boudiaf -Msila	Promotrice
Dr. Mahmoudi N.	MCB	Université Saâd Dahlab -Blida	Copromotrice

Année universitaire : 2020 /2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la patience pour faire ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promotrice Mme. MAHMOUDI S. MCA au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et notre Copromotrice Mme. MAHMOUDI N. MCB au département de Biotechnologie, Université Saâd Dahlab de Blida qui ont accepté de nous encadrer et qui nous ont toujours guidées dans la réalisation de ce mémoire, pour leur présence, leur patience, leurs précieux conseils et leur grande disponibilité pour l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du jury : Mr. BAA A. MCA au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et Mme. BARA Y. MAA. au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, de nous consacrer du temps et de porter leur jugement expert sur ce modeste travail.

Nous remercions également tous les membres des laboratoires de département des sciences agronomiques pour leur aide et soutien durant la réalisation de ce travail.

Nous remercions chaleureusement nos familles et nos amis (es) pour leurs soutiens et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail dont le grand plaisir à L'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde pour moi, à toi mon père « Mohamed »

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur : maman que j'adore « Latifa »

A mon frères Hichem

A mes sœurs Rania et Maria

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieurs, mes aimables amis, groupe de Solidarité féminine et mes collègues d'étude : en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables qu'avons passés ensemble

A mon binôme ma chère amie ZERROUGA Fatima Ezahra et sa famille.

Merci à tous ceux qui m'ont encouragé et m'ont Apporté leur soutien.

Belkacem lina yassamine

Dédicaces

Avec un très grand amour et beaucoup de respect, je dédie ce modeste travail, à mes chers parents « Abdlatif et Samia » pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, à mon cher marie que dieu m'aide à lui rendre qui son dû et que dieu le protège.

A mes chère sœurs « Marwa et Acil » à mon frère « Othman »,

A mon mari pour son amour et ses encouragements

Je veux remercier ma deuxième famille tous la famille « Azzedine » pour leur encouragement et leur soutien.

Grand merci pour ma binôme ma chère amie « Yassamine » et leur famille.

Merci pour tous d'être toujours là pour moi.

Résumé

La qualité et la quantité des apports alimentaires distribuées aux poulets sont responsables en grande partie de leurs performances zootechniques. L'objectif de cette étude est de formuler des aliments de croissance et de finition pour poulets de chair en incorporant des ressources alimentaires locales (farine de caroube), de vérifier leur capacité à couvrir les besoins alimentaires de la souche Cobb 500 et d'évaluer leur impact sur la microflore digestive de cette souche. Les analyses alimentaires (matière sèche, cendres totales, protéines, matière grasse, cellulose brute, phosphore, potassium et calcium) montrent que, dans l'ensemble, les aliments formulés couvrent les besoins alimentaires de la souche Cobb 500 dans les trois phases de croissance bien qu'un déficit est observé dans les aliments expérimentaux par rapport aux aliments témoins. L'aliment expérimental a un impact positif sur la flore bénéfique de tube digestif du poulet.

Mots clés : poulet de chair, ressources alimentaires locales, farine de caroube, formulation.

ملخص

إن جودة وكمية الغذاء الذي يتم توزيعه على الدجاج مسؤولان إلى حد كبير عن أدائهم في تربية الحيوانات. الهدف من هذه الدراسة هو صياغة علف النمو والتشطيب للدجاج اللحم من خلال دمج مصادر العلف المحلية (دقيق الخروب)، للتحقق من قدرتها على تلبية متطلبات العلف لسلالة Cobb 500 ولتقييم تأثيرها على البكتيريا الهضمية لهذه السلالة. التحليلات الغذائية (المادة الجافة، الرماد الكلي، البروتين، الدهون، الألياف الخام، الفوسفور، البوتاسيوم والكالسيوم) توضح بشكل عام أن العلف المصنوع في جميع مراحل النمو الثلاثة تغطي المتطلبات الغذائية لسلالة. على الرغم من ملاحظة وجود عجز في تركيبة الاعلاف التجريبية مقارنة بالتركيبة الرئيسية المعتمدة. العلف التجريبي له تأثير إيجابي على البكتيريا المفيدة للجهاز الهضمي للدجاج.

الكلمات المفتاحية: دجاج التسمين، مصادر غذائية محلية، دقيق الخروب، تركيبة.

Abstract

The quality and quantity of the food intake distributed to chickens are largely responsible for their zootechnical performance. The objective of this study is to formulate growth and finishing feeds for broilers by incorporating local feed resources (carob flour), to check their ability to meet the feed requirements of the Cobb 500 strain and to assess their impact on the digestive microflora of this strain. Dietary analyses (dry matter, total ash, protein, fat, crude fiber, phosphorus, potassium and calcium) show that, overall, the formulated foods cover the dietary requirements of the Cobb 500 strain in all three growth phases. Although a deficit is observed in, the experimental foods compared to the control foods. The experimental feed has a positive impact on the beneficial flora of the chicken digestive tract.

Key words: broiler chicken, local food resources, carob meal, formulation.

Liste des tableaux

Tableau 1: composition élémentaire de maïs	3
Tableau 2: composition élémentaire (pour 100g de grain à 10 % d'humidité) du sorgho	4
Tableau 3: composition élémentaire de l'orge	6
Tableau 4: composition alimentaire des grains de protéagineux (en % de la matière sèche)	8
Tableau 5: valeur nutritive du tourteau de soja	14
Tableau 6: valeur nutritive du tourteau de colza	14
Tableau 7: apports recommandés pour poussin en démarrage (0-21)	18
Tableau 8: les apports recommandés pour le poulet de chair durant la période de croissance (21-34 jours)	19
Tableau 9: apports recommandés pour poussin en finition (34-56 jours)	20
Tableau 10: besoins nutritionnels recommandés pour la souche Cobb 500	30
Tableau 11: gamme étalon de potassium	36
Tableau 12: Taux des ingrédients utilisés pour la formulation des aliments pour poulet de chair (%)	42
Tableau 13: Taux de la matière sèche dans les aliments du poulet de chair (%)	43
Tableau 14: Taux en cendres totales dans les aliments du poulet de chair (%)	44
Tableau 15: Teneurs en polyphénols et en tanins et activité antioxydant de la farine de caroube .	54

Liste des figures

Figure 1: composition de la graine de soja	11
Figure 2: composition de la graine de colza	12
Figure 3: modalités d'obtention des coproduits agro-industriels	13
Figure 4: Teneurs en protéines dans les aliments de poulet de chair (%)	45
Figure 5: Teneurs en matière grasse dans les aliments de poulet de chair (%)	47
Figure 6: Teneurs en cellulose brute dans les aliments de poulet de chair (%)	48
Figure 7: Teneurs en potassium dans les aliments de poulet de chair (%)	50
Figure 8: Teneurs en calcium dans les aliments de poulet de chair (%)	51
Figure 9: Teneurs en phosphore dans les aliments de poulet de chair (%)	52
Figure 10: Nombre de bactérie lactiques dans les intestins de poulet de chair (UFC/ml)	55
Figure 11: Nombre de coliformes totaux dans les intestins de poulet de chair (UFC/ml)	56

Liste des abréviations

PNA: polysaccharides non amylacée

CB: cellulose brute

CFU: unités formant colonie

CMV: complément minéralo-vitaminique

EM: énergie métabolisable

FAO: Food and agriculture organisation

IC: indice de consommation

INRA: Institut National de Recherches Agronomiques

MAT: Matières Azotées Totales

MG: Matière Grasse

MS: matière sèches

MAT: matière azotée total

Met: méthionine

Cyst: cystine

Kcal: kilocalories

Kg: kilogramme

G: gramme

ml: millilitre

PB: protéine brute

FB: fibre brute

Ca: calcium

K: potassium

P: phosphore

Mcal: mégacalorie

NDF : Neutral Detergent Fiber

ADF: acid detergent fiber

N: Azote

B.H.T: Butyl Hydroxy Toluène

B.H.A: Hydroxyanisole Butylé

IC: Indice de Consommation

MP : matière première

AFOS: Animal Feed Formulation Software

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique

NRC: Nuclear Regulatory Commission

JAOAC: Journal of Association of Official Agricultural Chemists

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

AFNOR: Association française de normalisation

EDTA: Acide éthylène -Diamine- tétra -Acétique

DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumés

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	1
--------------------	---

Partie 01 : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur l'alimentation de poulet de chair

1.1 Ressources alimentaire exploitées dans l'alimentation du poulet de chair	2
1.1.1 Les céréales	2
1.1.1.1 Le maïs	3
1.1.1.2 Le sorgho	4
1.1.1.3 Le blé	5
1.1.1.4 L'orge	5
1.1.1.5 Le triticale.....	6
1.1.2 Les protéagineux et oléagineux	7
1.1.2.1 Le pois	8
1.1.2.2 Le lupin	9
1.1.2.3 La fève et la féverole	10
1.1.2.4 Le soja	11
1.1.2.5 Le colza.....	11
1.1.2.6 Le tournesol	12
1.1.3 Coproduit de l'industrie agro-alimentaire	12
1.1.3.1 Les tourteaux	13
1.1.3.2 Le son de blé	15
1.1.3.3 Les drêches de brasserie	15
1.1.3.4 Les coproduits de maïs	15

1.2 Additifs exploités dans l'alimentation de poulet de chair	16
1.3 Type d'aliment de poulet de chair	17
1.3.1 Aliment simple	17
1.3.2 Aliment composé complet	17
1.3.2.1 Aliment de démarrage	17
1.3.2.2 Aliment de croissance	18
1.3.2.3 Aliment de finition	19

Chapitre 02 : Formulation et fabrication d'aliment pour poulet de chair

2.1 Définition de la formulation	21
2.2 Contraintes de la formulation	21
2.2.1 Contraintes nutritionnelles	22
2.2.2 Contraintes économiques	22
2.2.3 Contraintes technologiques	23
2.2.4 Contraintes environnementales	23
2.3 Méthodes de formulation	24
2.3.1 Méthodes par tâtonnement simple	24
2.3.2 Méthodes de carré de Pearson	24
2.3.3 Méthodes de programme linéaire	25
2.4 Etapes de formulation d'aliment de volaille	26
2.4.1 Connaissance de l'animale et détermination des besoins nutritionnels	26
2.4.2 Détermination des éléments nutritifs Fournis par les matières premières	27
2.4.3 Formulation proprement dite	27
2.5 Fabrication d'aliment pour poulet de chair	27
2.5.1 Réception et stockage de matière première	27
2.5.2 Broyage	27
2.5.3 Prémélange	27
2.5.4 Mélange	28
2.5.5 Granulation	28

Partie 02 : Expérimentation
Chapitre 03 : Matériel et Méthodes

3.1 Formulation des Aliments pour poulet de chair	29
3.1.1 Présentation des matières premières	29
3.1.2 Détermination des besoins de poulet de chair.....	29
3.1.3 Détermination des valeurs alimentaires des matières premières	30
3.1.4 Formulation proprement dite	30
3.2 Détermination de la valeur alimentaire des aliments et de la poudre de caroube	31
3.2.1 Taux d'humidité	31
3.2.2 Cendre totales	31
3.2.3 Protéines brutes	32
3.2.4 Lipides	33
3.2.5 Cellulose	34
3.2.6 Extractif non azote	35
3.2.7 Minéraux (Ca, K, P)	35
3.2.7.1 Potassium par spectrophotométrie de flamme	35
3.2.7.2 Dosage de phosphore	36
3.2.7.3 Dosage complexométrique du calcium	37
3.2.8 Polyphénols	37
3.2.8.1 Extraction des polyphénols	37
3.2.8.2 Rendement d'extraction	38
3.2.8.3 Dosage des polyphénols	38
3.2.8.4 Dosage des Tanins	39
3.2.9 Activité antioxydant des polyphénols	39
3.3 Détermination de l'impact de l'alimentation sur la flore de tube digestif	40
3.3.1 Préparation des échantillons	40
3.3.2 Dénombrement des bactéries lactiques	40
3.3.3 Dénombrement des coliformes totaux	41

Chapitre 4 : Résultats et discussion

4.1 Formulation des aliments pour poulet de chair.....	42
4.2 Analyses alimentaires des aliments du poulet de chair.....	43

4.2.1 Taux en matière sèche.....	43
4.2.2 Taux en cendres totales.....	44
4.2.3 Teneurs en protéines.....	45
4.2.4 Teneurs en matière grasse.....	46
4.2.5 Teneurs cellulose brute.....	48
4.2.6 Teneurs en potassium.....	49
4.2.7 Teneurs en calcium.....	50
4.2.8 Teneurs en phosphore.....	51
4.2.9 Teneurs en polyphénols et en tanins et activité antioxydant de la farine de caroube.....	52
4.3 Analyses microbiologiques des intestins du poulet de chair.....	53
4.3.1 Dénombrement des bactéries lactiques.....	54
4.3.2 Dénombrement des coliformes totaux.....	56
Conclusion.....	57
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction

La filière avicole, en Algérie, est parmi les productions animales celle qui a connu l'essor le plus spectaculaire depuis les années 1980 grâce à l'intervention de l'Etat. Ceci a permis d'améliorer la ration alimentaire du point de vue protéique et de faire vivre actuellement près de deux millions de personnes (Alloui, 2013).

L'aviculture Algérienne a produit 264.081 tonnes de viande de volaille en 2019 soit plus de 200 millions animaux producteurs/abattus et 0,22 % de la production mondiale derrière le Maroc (0,66 %) et devant la Tunisie (0,12 %) (FAO, 2021). La consommation actuelle est de l'ordre de 9 kg/hab./an. Ce faible niveau de consommation s'explique essentiellement par le prix de production élevé du poulet de chair, lié en grande partie au volet alimentaire (environ 70 % du coût total de production du poulet de chair) (Meziane et al., 2013).

La filière chair fonctionne avec le modèle alimentaire américain basé sur les matières alimentaires « maïs-tourteau de soja » qui constitue plus des $\frac{3}{4}$ de la ration destinée au poulet de chair, l'importation de ces 2 matières premières dont le coût sur le marché international est de plus en plus élevé (Meziane et al., 2013). C'est dans ce contexte que nous avons essayé de formuler des aliments pour poulet de chair en incorporant une ressource alimentaire locale, la farine de caroube, pour substituer partiellement le maïs.

La caroube (*Ceratonia siliqua*) est l'une des cultures fruitières les plus importantes dans les pays méditerranéens. Leurs productions et consommations a considérablement augmenté ces dernières années. L'Algérie produit 4600 tonnes. La pulpe est le constituant principal de la gousse de caroube (90 %), mais actuellement seules les graines (10 %) sont utilisées pour l'alimentation animale ou humaine ainsi industriellement pour l'extraction de la gomme de caroube. La pulpe de caroube est reconnue comme une bonne source d'ingrédients bioactifs, tels que des composés phénoliques, dont certains présentent des activités antioxydants (Makris et al., 2004 citée par Bouhrem, 2019).

Notre travail est subdivisé en deux parties, une partie bibliographique et une partie expérimentale.

La première partie comporte deux chapitres : Généralités sur l'alimentation du poulet de chair et Formulation et fabrication d'aliment pour poulet de chair

La deuxième partie inclus : Matériel et méthodes qui décrit l'ensemble des méthodes d'analyses physico-chimiques et microbiologiques et Résultats et discussion qui présente les résultats obtenus ainsi que leur discussion.

Chapitre 1

Généralités sur l'alimentation du poulet de chair

1.1 Ressources alimentaires exploitées dans l'alimentation du poulet de chair

L'alimentation fait le plus souvent appel à des régimes complets et équilibrés obtenus par mélange de matières premières. Chez les volailles, les recommandations alimentaires et la valeur des aliments sont exprimées en énergie métabolisable (EM), de ce fait les volailles règlent leur ingestion de façon à couvrir leurs dépenses énergétiques.

L'alimentation du bétail constitue 50 à 70 % des frais des exploitations. Dans ces conditions, on comprend bien l'importance qui est accordée à l'optimisation des régimes alimentaires au niveau des recherches agronomiques, par les firmes productrices d'aliments de bétail, les agents du développement, et bien sûr par les éleveurs eux-mêmes (Sauvant, 2005 ; Fernandez et Ruiz Matas, 2003).

1.1.1 Les céréales

Les céréales et leurs coproduits représentent la principale matière des aliments composés et, par conséquent, l'aliment principal des monogastriques. Elles constituent un complément énergétique pour les ruminants. Le grain des céréales est un caryopse nu ou vêtu de ses glumelles. Le blé, le maïs, le sorgho, le seigle et le triticales appartiennent au premier groupe, l'orge et l'avoine font partie du second. L'albumen est le constituant principal du grain des céréales. Les grains nus possédant les meilleures valeurs énergétiques, ils ont une proportion faible d'enveloppes et possédant une forte proportion d'albumen (Merck, 2003).

Les céréales constituent la fraction la plus importante dans les aliments des volailles, dont elles peuvent représenter jusqu'à 75 voire 80 %. Riches en amidon, elles représentent une source d'énergie intéressante. Leur teneur en protéine est relativement faible (8 à 12 %) et ne permet de couvrir les besoins des animaux. Les principales céréales utilisées dans l'alimentation des volailles sont le blé, le triticales et le maïs. Les céréales secondaires comme l'orge et l'avoine peuvent également être utilisées mais leur teneur en cellulose élevée et leur faible appétence limitent leur utilisation. Par ailleurs, la plupart des céréales à paille contiennent des polysaccharides non amylacés (PNA), tels les xylanes, araboxylyanes ou β -glucanes, mal tolérés

par les volailles et qui peuvent être à l'origine de dérèglements digestifs (cas de l'orge) (Hervé et al., 2015).

1.1.1.1 Le maïs

Le maïs (*Zea mays*) est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des graminées, à la sous-famille des Panicoidées ; il existe de nombreuses variétés de maïs classées en sept types suivant les caractéristiques des grains.

Le maïs est la céréale de choix pour l'alimentation des volailles. C'est l'ingrédient le plus utilisé dans l'alimentation des monogastriques, il est très apprécié grâce à sa valeur énergétique élevée parmi les céréales qui est de 3370 Kcal d'EM avec un taux d'incorporation de 80 % au max. En effet, le maïs contribue approximativement par 65 % de l'énergie métabolisable et 20 % des protéines (Drogoul et al., 2004, citée par Berradj et al., 2016).

Bon nombre d'auteurs reconnaissent que le maïs contient peu de cellulose (2,7 % de MS) et une proportion relativement élevée de matière grasse (4,8 % de MS). Par contre, le maïs est pauvre en protéines (8 % de la MS) et presque dépourvu du sodium (0,01 % de la MS) et du calcium (0,01 % de la MS) (Larbier et Leclercq., 1992) (Tableau 1).

Selon Beghoul (2015), Le maïs contient des facteurs antinutritionnels qui sont : la phytine ; les inhibiteurs tryptiques et les lectines et la digestion de l'amidon par les volailles n'est pas complète ; puisque l'amidon est un polymère semi-cristallin de D-glucose.

Tableau 1 : Composition élémentaire de maïs (INRA-CIRAD, 2021)

Paramètres	Brut	Sec	Unité
Matière sèche	86,3	100	%
Protéines brutes	7,6	8,8	%
Cellulose brute	2,3	2,6	%
Matières grasses brutes	3,6	4,1	%
Matières minérales	1,2	1,4	%
Amidon	63,8	73,9	%
Sucres totaux	1,7	2	%
Energie brute (kcal)	3840	4450	kcal/kg

1.1.1.2 Le sorgho

Le sorgho commun (*Sorghum bicolor*), est une monocotylédone de la famille des *Poaceae*. C'est une plante herbacée annuelle vivace. Elle est cultivée soit pour ses graines soit comme fourrage.

Le sorgho a une forte teneur en amidon (70 % MS), une proportion non négligeable en matière grasse (environ 3,3 % MS) et est légèrement plus riche en protéines que le maïs (11,4 % MS) (FAO, 1990) (Tableau 2).

Tableau 2 : Composition élémentaire (pour 100 g de grain à 10 % d'humidité) du sorgho (Favier, 1988).

Paramètres	Valeurs	Unité
Protéine	11	(g)
Lipides	3,2	(g)
Glucides disponibles	59,3	(g)
Fibre diététique	14,5	(mg)
Calcium	26	(mg)
Fer	330	(mg)
Phosphore	10,6	(mg)
Thiamine (Vit. B1)	0,34	(mg)
Riboflavine (Vit. B2)	0,15	(mg)

L'inconvénient de sorgho est la présence des substances antinutritionnelles que les tanins. Les protéines, les acides aminés (surtout la méthionine et la choline) servent de donneur du groupe méthyl aux tanins. Ces derniers sont hydrolysés en acide gallique et excrétés partiellement sous forme de 4-O méthylgallate. Ce caractère antinutritionnel entraîne certaines conséquences chez les volailles :

- le retard de croissance chez les poussins alimentés avec du sorgho à forte teneur en tanins.
- le changement du goût de la viande.

- des anomalies des pattes caractérisées par une courbure avec élargissement des jarrets (Kocoun, 2012).

L'indice de consommation des poulets standards en croissance et finition avec une incorporation de 30 et 40 % de sorgho dans l'alimentation de type industriel est significativement amélioré lorsque le sorgho est broyé finement mais ce résultat va à l'encontre des valeurs énergétiques mesurées, ou la tendance est à une valeur supérieure pour le sorgho broyé grossièrement (Vilariño et al., 2011).

1.1.1.3 Le blé

Le blé est une monocotylédone de la famille des *Poaceae* appartenant au genre *Triticum*. Les deux espèces de blé les plus cultivées au monde sont le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) qui représente plus de 90 % de la production mondiale et le blé dur (*Triticum durum Desf.*), qui constitue 5 % de celle-ci et qui est traditionnellement cultivé dans le bassin méditerranéen (Ghennai et al., 2017).

Le blé est une céréale appétente, hautement digestible, faible en fibre (2,9 %) et surtout riche en amidon rapidement fermentescible. Sur une base de matière sèche, la valeur énergétique de cette céréale (exprimée en énergie métabolisable, [EM] de (3,15 Mcal/kg)) est généralement similaire à celle du maïs et supérieure à l'énergie retrouvée dans les autres céréales, telles que l'avoine et l'orge. Le blé contient également plus de protéines que la plupart des céréales utilisées couramment en production animale et présente le meilleur équilibre en acides aminés essentiels (Johanne, 2007). Les teneurs en acides aminés du blé sont de 3,1 ; 4,2 ; 3,2 et 1,3 g/kg respectivement pour la lysine, méthionine + cystéine, thréonine et tryptophane. (Larbier et Leclercq, 1992).

Les principaux facteurs antinutritionnels du blé sont des mycotoxines qui prennent de l'ampleur en cas de mauvaises conditions de stockage des graines après récolte, ils sont responsables de croissance limitées ; des arthrites sensibilisent les volailles aux pathologies (Beghoul, 2015).

1.1.1.4 L'orge

L'orge (*Hordeum vulgare L.*) est une plante annuelle herbacée ; monocotylédone appartenant à la famille des Poacées (*Graminées*). C'est la deuxième céréale secondaire après le Sorgho. L'utilisation de l'orge par la volaille dépend de ses caractéristiques physico-chimiques, de sa valeur nutritive et des effets des substances antinutritionnels qu'elle peut contenir.

D'après (Djamel, 2016), l'orge est une matière première caractérisée par (Tableau 3) :

- une valeur énergétique moyenne (2800 kcal/kg brut)
- un taux de matières grasses inférieur à celui du maïs et une teneur en protéines plus élevée.
- un profil en acides aminés satisfaisant les besoins des volailles.
- des niveaux en lysine et en méthionine + cystine représentant respectivement 3,6 % et 3,9 % des protéines.
- il a un taux de fibres plus élevé que celui du maïs.

Les principaux facteurs antinutritionnels des orges sont les bêtaglucanes : polysides solubles non amylicés, constitués de chaînes de glucoses liés en α 1-4 (70 % des liaisons) et β 1-3 (30 % des liaisons) (Benabdeljelil, 1999).

Les aliments de volaille ayant des taux d'incorporation d'orge élevés (supérieurs à 15- 25 %) donnent parfois lieu à une réduction des performances pondérales et à la production de fientes visqueuses entraînant une humidification accrue des litières (Benabdeljelil, 1999).

Tableau 3 : Composition élémentaire de l'orge (INRA-CIRAD, 2021).

Paramètre	Brut	Sec	Unité
Matière sèche	87,2	100	%
Protéines brutes	9,9	11,3	%
Cellulose brute	4,7	5,4	%
Matières grasses brutes	1,6	1,9	%
Matières minérales	2,2	2,5	%
Parois végétales	15,3	17,5	%
Amidon	52,3	59,9	%
Amidon, méthode enzymatique	50,7	58,2	%
Energie brute (kcal)	3820	4380	kcal/kg

1.1.1.5 Le triticale

Le triticale est une plante annuelle de la famille des *Poacées* (graminées). C'est un hybride artificiel (amphiploïde) entre le blé et le seigle dont la culture s'est développée depuis les années 1960. Il est cultivé surtout comme céréale fourragère. Le nom Triticale combine les noms latins de genre du blé et du seigle, *Triticum* et *Secale* (Vilariño et al., 2005).

C'est un concentré énergétique pour les ruminants et les monogastriques. Sa valeur énergétique est comparable à celle du blé et supérieure à celle des orges et du seigle ; contrairement à ce dernier, le triticale est bien accepté par les bêtes et ne contient pas d'inhibiteurs de croissance pour les animaux. Enfin, il présente une teneur exceptionnelle, supérieure de 25 % à celle du blé, en lysine (Audfray, 2012).

D'autres critères nutritionnels du triticale sont à surveiller ; la viscosité parfois élevée de cette céréale peut réduire l'énergie disponible (une caractéristique plus préjudiciable en volailles). « Certaines variétés de triticale ont une viscosité aussi basse que celle d'un blé. Le choix de la variété doit donc être adapté au débouché » (Djamel, 2016).

Pour les volailles, la limite d'incorporation est liée essentiellement au risque de viscosité affiché par certaines variétés. Plus concrètement, le triticale peut être incorporé dans l'alimentation à hauteur de 40-55 % en croissance, finition et retrait (Charles et al., 2004).

1.1.2 Protéagineux et oléagineux

Les graines d'oléagineux et de protéagineux sont des matières premières dites « mixtes » qui apportent à la fois de l'énergie et des protéines (Hervé et al., 2015).

Les protéagineux (pois, féverole, lupin) sont des graines de légumineuses qui se caractérisent par leur grande richesse en protéines : entre 20 et 30 % en moyenne, en fonction du type de graine. Ces dernières sont bien pourvues en lysine et déficitaires en acides aminés soufrés, faisant de ces graines de bons compléments aux céréales (pauvres en lysine et riches en acides aminés soufrés) (Anonyme 1) (Tableau 4).

Les protéagineux présentent ainsi des valeurs nutritionnelles intermédiaires entre celles d'une céréale et du tourteau de soja. Dans ces conditions, leurs niveaux d'incorporation dans les aliments sont potentiellement d'autant plus élevés que les besoins des animaux en protéines et acides aminés sont faibles. Il est plus facile par exemple d'incorporer des protéagineux dans des aliments destinés au poulet sous Label Rouge, moins exigeant en protéines que le dindonneau en démarrage (Bouvarel et al., 2014).

Les graines oléagineuses sont caractérisées par leur grande richesse en huile. En effet, les graines de soja, lin, colza et tournesol contiennent respectivement en moyenne 18, 33, 42 et 44 % de matières grasses. Cette richesse en énergie est associée à des teneurs relativement importantes en protéines d'où leur appellation d'oléo-protéagineux (Anonyme 2).

Tableau 4 : Composition alimentaire des graines de protéagineux (en % de la matière sèche) (INRA-AFZ, 2004).

Paramètres	Pois	Fèverole à fleur blanche	Fèverole à fleur colorée	Lupin blanc
Matière sèche (%)	86,4	86,1	86,5	88,6
Protéine	23,9	31,1	29,4	38,5
Cellulose brute	6,0	8,7	9,1	12,8
NDF	13,9	15,9	16,1	21,3
ADF	6,9	10,6	10,6	15,5
Matière grasse	1,2	1,3	1,5	9,5
Amidon	51,6	43,3	44,2	0,0
Lysine (% MAT)	7,3	6,4	6,5	4,9
Méthionine (% MAT)	1,0	0,2	0,7	0,8
Met+Cyst (% MAT)	2,3	2,0	2,0	1,6
Thréonine (% MAT)	3,8	3,6	3,3	3,7
Tryptophane(% MAT)	0,9	0,8	0,45	0,7

1.1.2.1 Le pois

Le Pois cultivé (*Pisum sativum L.*) est une plante annuelle de la famille des Fabacées, cultivée pour ses graines pour la consommation humaine (comme légumes) ou utilisée comme aliment du bétail (le pois fourrager).

Le pois est caractérisé par un faible taux de MG (1,1 %) hautement insaturé (49 % d'acide linoléique et 11 % de linoléique). La fraction d'hydrocarbure représente 70 % du poids total incluant un haut contenu en amidon, des proportions significatives de sucres solubles (6 %), oligosaccharides et de NDF (14%) (Fedna, 2003 cité par zitari, 2008).

Le pois est carencé en certains acides aminés, et notamment en méthionine et en cystine (également appelés acides aminés soufrés). Cette carence devra donc être comblée par d'autres matières premières riches en protéines. Le pois protéagineux est préférentiellement utilisé dans

l'alimentation des volailles. Le pois fourrager peut aussi être utilisé mais à des taux d'incorporations plus limités (surtout chez les jeunes animaux) à cause de sa richesse en tannins. Une granulation de l'aliment permet de valoriser au mieux l'utilisation de pois dans l'alimentation des volailles (Hervé et al., 2015).

L'utilisation du pois dans l'alimentation du poulet de chair ne pose pas de problème particulier dans la mesure où est compensée sa légère déficience en acides aminés soufrés. Sa faible teneur en tryptophane peut être négligée lorsque le taux azoté de la ration est suffisamment élevé pour obtenir une efficacité alimentaire maximum (Lacassagne, 1988).

L'existence de composés antinutritionnels, tanins, alcaloïdes, facteurs antitrypsiques et glucosides parfois évoquée n'entraîne pas de risque d'apparition de troubles sanitaires ou de limitation de l'ingestion et des performances, ces composés ne sont présents qu'à l'état de traces notamment dans les nouvelles variétés (Hourez, 2002).

1.1.2.2 Le lupin

Le genre *Lupinus*, de la famille des *Papilionacées*, présente une large diversité génétique répartie en 2 groupes géographiques. Les espèces de l'Ancien Monde, au nombre de 12, sont pour la plupart annuelles et très différentes morphologiquement. Les autres espèces (plusieurs centaines), essentiellement pérennes, se répartissent sur le continent américain depuis l'Alaska (Émile et al., 1991).

La graine de lupin blanc se caractérise, en effet, par une bonne valeur énergétique et une valeur azotée élevée (38,2 % de matières azotées totales dans la matière sèche) mais déséquilibrée en raison de la forte dégradabilité des matières azotées (Émile et al., 1991).

Le lupin, du fait de sa richesse en protéines, est celui dont l'emploi se trouve le plus nettement limité par sa faible teneur en lysine. Les lupins peuvent être utilisés dans l'alimentation du poulet de chair (la digestibilité de la protéine est très bonne), lorsque sont corrigées ses déficiences en lysine, acides aminés soufrés, tryptophane et acide folique (Hervé et al., 2015).

Les graines de lupins contiennent outre des alcaloïdes, diverses molécules pouvant avoir des effets antinutritionnels. Ce sont notamment l'acide érucique, des isoflavones, des phytates, des tannins, des saponines, des inhibiteurs de protéase, des lectines et des oligosaccharides de la famille de la raffinose (Kirsten, 2008).

Quoi qu'il en soit, la limite de tolérance du lupin doux chez le poulet de chair est grande. Chez l'animal en croissance, l'introduction de lupin jaune doit être modulée en fonction de l'âge et varie de 10 % à une semaine, à 30 %. Quatre semaines. Sur une même période d'étude, le lupin blanc (*Kalina*) pourrait être incorporé à plus de 30 % (Uzu, 1989).

1.1.2.3 La fève et la féverole

La féverole (*Vicia faba var. equina ou minor*) est, en réalité, une sous-espèce de la fève (*Vicia faba*) qui se caractérise par une taille plus petite des graines (Anonyme 3).

☞ La fève

Deux sous-espèces de fèves sont couramment cultivées. *Vicia faba var. major* (fèves) produit de grosses graines (650-850 g / 1000 graines), principalement pour la consommation humaine, bien que les fèves puissent être destinées à nourrir le bétail en cas de surproduction (Hannachi-Rabia et al., 2017).

L'analyse de sa composition chimique révèle 50 à 60 % de son contenu en carbohydrates qui est totalement constitué par l'amidon, mais la proportion de lipides est relativement faible aux environ de 1 à 2,5 % (Larralde Et Martinez, 1991).

La présence de facteurs antinutritionnels à savoir, les lectines, les tanins et les antiprotéases provoquent des effets défavorables sur le métabolisme et l'utilisation nutritionnelle de cette légumineuse en alimentation (Larralde Et Martinez, 1991 cité par Zitari, 2008).

L'incorporation de la fève à des niveaux de 20 et 40 % dans la ration n'a pas eu d'effet significatif sur les ingérés alimentaires et les indices de consommation durant la phase de finition de même que durant toute la durée du cycle (Mebirouk et al., 2019).

☞ La féverole

La féverole est une plante annuelle de l'espèce *Vicia faba* de la famille des *Fabaceae*. Il existe plusieurs types de féveroles, classés selon deux critères principaux : la présence ou non de tannins (féveroles à fleurs colorées ou blanches), et la présence ou non de vicine et convicine (facteurs antinutritionnels affectant principalement les volailles) (Anonyme 4).

Les graines de féverole sont relativement riches en énergie avec une valeur voisine de celle des céréales. Elles sont également riches en protéines avec une teneur inférieur de près de 50 % à celles du tourteau de soja. Ces protéines sont riches en lysine,

mais assez pauvres en acides aminés soufrés et tryptophanes (Okandza, 2017). La teneur en amidon de la féverole est 43 % et le taux de cellulose brute est 8,07 % (Boudouma, 1990).

L'incorporation de la féverole à 15 % dans l'aliment démarrage (1-28 j) doit être réalisée préférentiellement avec une féverole sans tanins. Par contre, il semble que les variétés avec tanins puissent être incorporées à 20 % dans l'aliment croissance et finition (29-83 j) sans conséquence significative sur les performances de croissance des poulets biologiques à 83 jours (Brévault et al., 2003).

1.1.2.4 Le soja

La graine entière de soja est, par sa richesse en protéines, en huile et acides gras essentiels, constitue une matière première qui pourrait être utilisée dans l'alimentation des volailles après élimination des facteurs antitrypsiques thermolabiles qui réduisent la disponibilité des protéines et acides aminés (Lessire et al., 1988) (Figure 1).

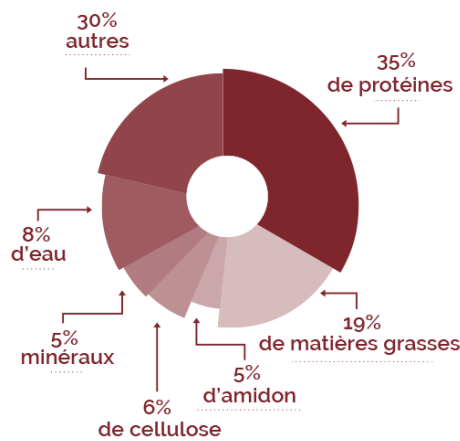


Figure 1 : Composition de la graine de soja (Anonyme 5).

1.1.2.5 Le colza

La production de graine de colza atteint depuis quelques années des tonnages élevés au sein de la communauté européenne et plus particulièrement en France, elle est très riche en matières grasses, sa teneur en énergie métabolisable est donc très élevée : en moyenne 4 460 kcal/kg MS (Leclercq et al., 1989).

La graine de colza peut être utilisée comme matière première en aviculture dans la mesure où elle subit un traitement : le premier problème est d'ordre technologique. La graine non broyée ou non traitée thermiquement est mal utilisée par l'animal. Les conditions de broyage doivent être soigneusement étudiées. Si l'aliment doit être granulé, il semble que le

broyage soit moins nécessaire. Il est possible d'incorporer jusqu'à 10 % de graine de colza dans les aliments destinés aux volailles (Leclercq et al., 1989) (Figure 2).

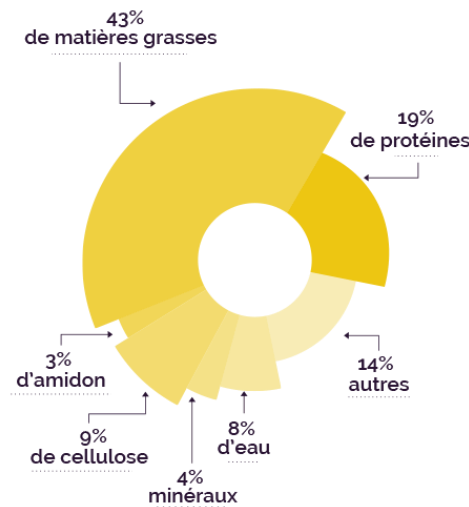


Figure 2 : Composition graine de Colza (Anonyme 5)

1.1.2.6 Le tournesol

La graine de tournesol a une forte valeur énergétique et est largement supérieure au tourteau de tournesol partiellement décortiqué, le tournesol est une des graines les plus riches en matière grasse (45 % de MG) par contre la valeur azotée des graines de tournesol est faible en comparaison de celle des autres graines oléagineuses et du tourteau de tournesol (Odiène et al., 2016)

Elle ne renferme aucun facteur antinutritionnel. Par contre, à cause de sa teneur en cellulose, 2 à 3 fois plus élevée que celle des autres grains d'oléagineux, son incorporation est limitée (Peyronnet et al., 2012).

1.1.3 Coproduits de l'industrie agro-alimentaire

Les coproduits de l'agriculture et de l'agro-industrie représentent des gisements importants de ressources pour l'alimentation animale. Cependant, les process technologiques qui les génèrent peuvent induire une variabilité importante de composition chimique et de valeur alimentaire qu'il convient de déterminer précisément par l'intermédiaire de modèles de prédiction qui tiennent parfois compte de la famille botanique. Leur valorisation optimale dans les régimes des animaux passe par la détermination objective de leur intérêt économique selon les différents systèmes de production et la mise en œuvre de précautions normales de conservation et d'emploi (Patrick et al., 2018).

L'introduction des coproduits agroindustriels, qui ne sont pas directement valorisables par l'Homme, dans les rations des animaux permet d'améliorer l'efficacité nette des systèmes de production, sur le plan protéique et énergétique. En effet, le calcul de ce nouveau critère ne prend en compte que la part des aliments consommés par les animaux qui auraient pu être utilisée en alimentation humaine. Ainsi, la valorisation des coproduits en alimentation animale est un facteur de réduction de la compétition entre alimentation animale et humaine (Patrick et al., 2018) (Figure 3).

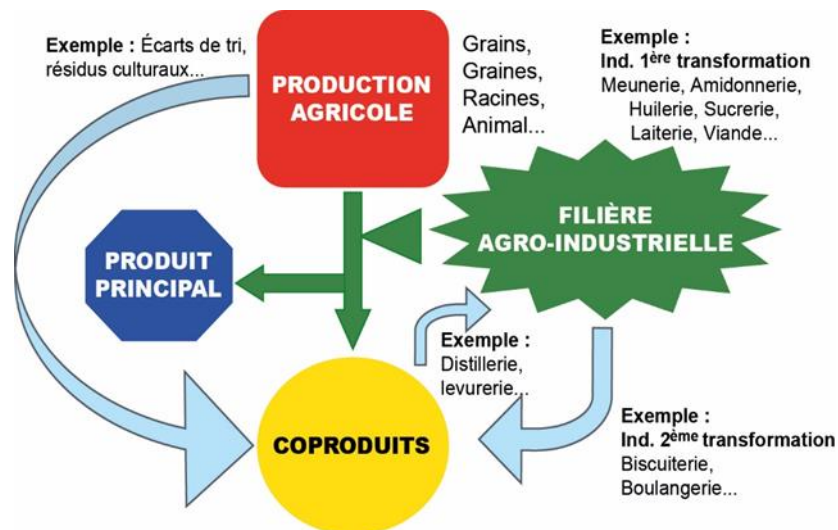


Figure 3 : Modalités d'obtention des coproduits agro-industriels.

1.1.3.1 Les tourteaux

Les tourteaux sont les résidus solides obtenus après extraction de l'huile des graines ou des fruits oléagineux. Ce sont les coproduits (sous-produits) de la trituration, c'est-à-dire l'industrie de fabrication de l'huile. Les tourteaux constituent la 2^{ème} classe d'aliments la plus importante après les céréales. En effet ils représentent la principale source de protéines en alimentation aviaire (Ouarest, 2008).

☞ Le tourteau de soja

Le tourteau de soja est riche en matière azotée totale et surtout en lysine. Les problèmes d'utilisation du tourteau de soja ont été résolus et il est très bien utilisé par les animaux (Franck, 1980).

C'est une matière première pauvre en matières grasses. Le tourteau de soja est la principale matière protéique utilisée en alimentation des volailles comme source de protéines/d'acides aminés (taux protéique de l'ordre de 30 à 50 %) (Tableau 5). Il renferme une grande quantité de protéines, de glucides, de lipides, de vitamines A et B,

de phosphore, de potassium, de calcium, de magnésium, de zinc et de fer (Lazaro et al., 2003 citée par Beghoul, 2015).

Tableau 5 : Valeur nutritive du tourteau de soja (Martin Rosset, 2012 ; Zitari 2008 citée par Beghoul, 2015).

Matière sèche (%)	Protéine brute (%)	Cellulose brute (%)	Calcium (g/Kg)	Phosphore (g/Kg)	Energie métabolisable (Kcal/Kg)
88,09	51,52	6,25	0,34	0,73	2992

☞ Le tourteau de colza

Le tourteau de colza est moins riche en protéines que le tourteau de soja (et moins énergétique due à une concentration plus élevée en cellulose), ce qui le rend moins bien adapté à l'alimentation des volailles qui sont des animaux à croissance rapide. Le tourteau de colza est particulièrement riche en phosphore et bien pourvu en calcium. Il permet ainsi de limiter les apports externes en minéraux (Valbiom, 2005).

Tableau 6 : Valeur nutritive du tourteau de colza (Beghoul, 2015).

Matière sèche (%)	Protéine brute (%)	Cellulose brute (%)	Calcium (g/Kg)	Phosphore (g/Kg)	Energie brute (Kcal/Kg)
88,7	33,7	12,4	8,30	11,40	4090

☞ Le tourteau de tournesol

Le tourteau de tournesol est un coproduit d'extraction de l'huile à partir des graines de tournesol. Il est le 4^{ème} tourteau le plus utilisé dans le monde après les tourteaux de soja, de colza et de coton. Il est fréquemment utilisé en alimentation animale pour sa teneur en protéines. Un avantage important des tourteaux de tournesol est l'absence de facteurs antinutritionnels contrairement aux autres tourteaux majeurs. Par rapport à un tourteau de tournesol semi-décortiqué, le tourteau de tournesol décortiqué riche en protéines contient donc moins de parois et davantage de MAT (Leclerc, 2017).

Le tourteau de tournesol est tout de même utilisé dans les rations à basse énergie, par exemple pour les pondeuses et certaines volailles de chair à croissance limitée. Les taux d'incorporation sont de l'ordre de 5 % (Cetiom, 2003).

1.1.3.2 Le son de blé

Ce coproduit est obtenu au cours des opérations de transformation du blé en farine blanche destinée à l'alimentation humaine. Le son est particulièrement constitué du tégument externe du grain qui renferme des glucides pariétaux peu digestible pour la volaille. En outre, il est pauvre en amidon. Son utilisation en alimentation des volailles est limitée en raison de sa valeur énergétique faible due une mauvaise digestibilité de l'amidon et des polysides pariétaux (Larbier et Leclercq, 1992).

Par contre, Piccioni, (1965), citée par Ngom, (2004), a recommandé un taux d'incorporation de 10 à 15 % dans l'aliment destiné aux poussins et de 20 à 25 % dans l'aliment destiné aux poulettes. Le son de blé est relativement riche en protéines (14 à 19 %) avec un profil d'acides aminés mal équilibré. C'est le coproduit céréalier le plus riche en phosphore disponible (1,5 %). Les remoulages renferment moins de fibres et plus d'amidon. Leur valeur énergétique est comprise entre 2400 et 3125 kcal / kg MS. Comme le son, les remoulages sont très peu utilisés en alimentation avicole (Ngom, 2004).

1.1.3.3 Les drêches de brasserie

Coproduit végétal issu de la fabrication de la bière, les drêches de brasseries représentent une part significative des volumes en sortie de process. Riches en éléments nutritifs, les drêches de brasserie empruntent dans la plupart des cas la voie de l'alimentation animale, le compostage ou la méthanisation (Anonyme 6).

1.1.3.5 La mélasse

La mélasse est le sucre non cristallisé obtenu après la cuisson du jus de canne lors de la fabrication du sucre dans les usines. La mélasse contient environ 25 % d'eau. C'est un aliment hautement énergétique contenant du saccharose non cristallisé (30 % de la matière sèche), des sucres réducteurs (25 % de la matière sèche) et d'autres substances glucidiques. La mélasse est particulièrement pauvre en azote : 25 g de N par kilo de mélasse brut. La teneur en fibre de la mélasse étant négligeable (Harry et al., 2008 ; Cannebis, 2008).

1.1.3.6 Les coproduits du maïs

Les coproduits comme les glutens de maïs issu de la séparation des fractions protéiques du maïs lors de la production d'amidon, sont des produits à haute teneur en protéines, pratiquement aussi digestibles que celles du soja, mais avec un profil d'acides aminés déséquilibré (Bouvarel et al., 2014).

Les germes de maïs sont des coproduits issus du process de l'amidonnerie humide. Les germes de maïs sont composés de (% MS) : 17,5 % de protéines, 52 % de matière grasse (avec hydrolyse), 10 % d'amidon, 5,7 % de cellulose brute et 23,5 % de parois insolubles dans l'eau. La teneur en énergie brute est de 7000 kcal/kg MS. L'incorporation de germes de maïs à un taux de 5, 10 ou 15 % n'altère pas les performances des poulets par rapport à un aliment témoin, que ce soit la consommation ou le gain de poids et donc l'indice de consommation. Cela suggère une bonne valeur biologique des germes de maïs (Anonyme 7).

1.2 Additifs exploités dans l'alimentation du poulet de chair

Les additifs utilisés en alimentation animale peuvent être définis comme des substances chimiques pures d'origine naturelle ou synthétique, des préparations enzymatiques ou des micro-organismes qui sont ajoutés intentionnellement aux aliments en faible quantité pour modifier ou améliorer leurs propriétés technologiques, ou augmenter leur efficacité zootechnique (Blain, 2002) :

Prébiotiques : les prébiotiques sont des substances pouvant stimuler la croissance de micro-organismes bénéfiques, au détriment de ceux qui sont considérés comme nocifs. Les oligosaccharides représentent le principal groupe de ces produits (Arbor Acres, 2018).

Probiotiques : introduisent des micro-organismes vivants dans l'appareil digestif dans le but d'aider à établir une microflore stable et bénéfique. L'objectif est d'apporter à l'intestin des micro-organismes à l'effet positif, non pathogène, qui empêcheront alors sa colonisation par exclusion compétitive de microorganismes pathogènes (Arbor Acres, 2018).

Les conservateurs : sont des substances qui assurent la conservation des aliments en les protégeant des altérations microbiologiques qui peuvent entraîner notamment le développement de toxines. Principalement composés d'acides organiques ou de sels d'acides organiques, ils opèrent une action antibactérienne (salmonelles) et antifongique dans l'alimentation de toutes les espèces animales. Ils servent donc non seulement à assurer la sécurité sanitaire mais aussi à garantir la stabilité organoleptique des aliments (Aimene, 2015).

Antioxydants : sont des molécules qui aident à protéger et à préserver la qualité nutritionnelle des aliments contre les réactions d'oxydation qui accélèrent le vieillissement et le rancissement des produits renfermant des matières grasses ; notamment les acides gras insaturés et les vitamines (Exemple : B.H.T ; B.H.A ; Gallate de Propyle et Ethoxyquine) (Aimene, 2015).

1.3 Types d'aliments de poulet de chair

1.3.1 Aliments simples

Les aliments simples sont les différents produits d'origine végétale ou animale, à l'état naturel, frais ou conservés, et les dérivés de leur transformation industrielle, ainsi que les substances organiques ou inorganiques, comprenant ou non des additifs, qui sont destinés tels quels à l'alimentation animale (Fédéral Suisse, 2005).

Un aliment simple ou matière première est un aliment à l'état naturel, ou alors un aliment qui n'a subi que de simples opérations de pré transformation. La particularité d'un aliment simple est qu'il ne contient que quelques éléments nutritifs (énergie, protéines, vitamines,...) en qualité et en quantité insuffisantes pour satisfaire à lui seul les besoins de l'animal (FAO., 2018).

1.3.2 Aliments composés complets

Un aliment composé est constitué de plusieurs ingrédients d'origine végétale ou animale dans leur état naturel, frais ou conservés, ou de produits dérivés de leur transformation industrielle, ou encore de substances organiques ou inorganiques, contenant ou non des additifs, destiné à une alimentation orale sous la forme d'un aliment complet (Anonyme 8).

Aliment complet est adapté d'un point de vue nutritionnel, et formulé grâce à une formule spécifique, destiné à être distribué comme ration unique et capable maintenir en vie et/ou de promouvoir la production sans addition d'une quelconque autre substance supplémentaire, à l'exception de l'eau (FAO, 2013)

1.3.2.1 Aliment de démarrage

La phase démarrage correspond aux 28 premiers jours du poulet, pendant lesquels il consommera environ 30 à 35 g d'aliment par jour soit 1 kg sur la période de démarrage. En pratique, cette phase est très délicate, notamment parce qu'il est difficile d'apporter les acides aminés soufrés (méthionine et cystine) en suffisance dans la ration. Il faudra veiller, en particulier chez le poulet « démarrage », à apporter ces nutriments limitants tout en évitant d'apporter en excès des protéines afin de respecter rigoureusement les exigences nutritionnelles et les équilibres entre les différents acides aminés (Tableau 7). En conséquence, en conditions difficiles (hiver rigoureux, sécheresse prolongée) et avec des poulets peu explorateurs, il faudra prévoir des compléments, notamment en vitamines A et D3 (Hervé et al., 2015).

Le poulet présente une croissance plus rapide et un meilleur indice de consommation lorsqu'il reçoit pendant la phase de démarrage un aliment présenté en miettes et ensuite en granulés. Cette amélioration de performances sous l'effet de la granulation s'atténue cependant à mesure que la teneur énergétique des aliments s'élève ; elle n'est guère perceptible au-delà de 3200Kcal EM/kg, (Larbier et al., 1991).

Tableaux 7 : Apports recommandés pour poussin en démarrage (0-21 jours) (Anonyme 9 citée par Ouarest, 2008).

	Unités	Valeurs
Energie métabolisables (E.M)	Kcal /Kg	2850-2900
Protéines Brutes	%	21,5-22,5
Lysine	%	1,20/1,03
Methionine	%	0,54/0,48
Méthionine + Cystine	%	0,95/0,84
Thréonine	%	0,82/0,70
Tryptophane	%	0,24/0,22
Calcium	%	1,00-1,05
Phosphore total	%	0,67
Phosphore disponible	%	0,42-0,48
Sodium	%	0,16-0,18
Chlore	%	0,15-0,20

1.3.2.2 Aliment de croissance

L'aliment de croissance généralement s'administre durant les 14- 16 jours, après celui du démarrage. La transition de l'aliment du démarrage à celui de croissance implique un changement de texture : de miettes ou mini-granulés à granulés entiers. Dépendant de la taille du granulé du produit, il s'avère nécessaire que la première formulation de l'aliment, soit donnée en forme de miettes ou minigranulés. Durant ce temps-là, la croissance du poulet se fait

d'une façon dynamique ; donc, la consommation de l'aliment doit être adéquate. Aussi, pour obtenir des résultats optimums de la consommation de l'aliment (Tableau 8), croissance et conversion alimentaire, il faut fournir aux oiseaux une formulation correcte d'aliment, surtout en énergie et acides aminés (Aviagen, 2010). Durant cette période d'élevage l'aliment démarrage sera remplacé par une ration moins riche en protéine (Buldgen et al., 1996).

Tableaux 8 : les apports recommandés pour le poulet de chair durant la période de croissance (21-43 jrs) (Anonyme 9 citée par Ouarest, 2008).

	Unités	Valeurs
Energie métabolisables (E.M)	Kcal /Kg	2950-3000
Protéines Brutes	%	18,5/19,5
Lysine	%	0,10/0,94
Methionine	%	0,50-0,44
Méthionine + Cystine	%	0,85 /0,74
Thréonine	%	0,76/0,64
Tryptophane	%	0,22 0,20
Calcium	%	0,90-1,00
Phosphore total	%	0,66
Phosphore disponible	%	0,41-0,42
Sodium	%	0,16-0,18
Chlore	%	0,15-0,20

1.3.2.3 Aliment de finition

L'aliment de croissance sera remplacé durant cette période, par un aliment finition moins concentré en protéine et plus riche en énergie toute en respectant l'équilibre énergétique/protéique (Tableau 9). Il est a noté que toute déficience nutritionnelle en un ou plusieurs acides aminés durant les deux premières phases d'élevages se traduit par une diminution du rendement en filet à la fin de cette période car des travaux récents semblent

montrer que les rendements filet sont optimisés lorsque les besoins permettant d'obtenir un I.C. minimum sont optimisés durant les deux premières phases d'élevages (Leclercq et Beaumont, 2000 citée par Ouarest, 2008).

Tableaux 9 : Apports recommandés pour poussin en finition (43-56 jours) (Anonyme 9 citée par Ouarest, 2008).

	Unités	Valeurs
Energie métabolisables (E.M)	Kcal /Kg	3000-3050
Protéines Brutes	%	17-18
Lysine	%	1,00/0,85
Methionine	%	0,45 -0,39
Méthionine + Cystine	%	0,80 /0,68
Thréonine	%	0,77/0,65
Tryptophane	%	0,20- 0,22
Calcium	%	0,80-1,00
Phosphore total	%	0,60
Phosphore disponible	%	0,38-0,35
Sodium	%	0,16-0,18
Chlore	%	0,15-0,20

Chapitre 2

Formulation et fabrication d'aliment pour poulet de chair

2.1 Définition de la formulation

La formulation des aliments consiste à combiner plusieurs matières premières et compléments afin de satisfaire les besoins des animaux tout en garantissant le prix le plus faible par kg d'aliment fabriqué. Les besoins de base sont l'énergie (énergie métabolisable), les protéines, le calcium le phosphore disponible et les acides aminés essentiels, souvent pour ces derniers, on ne tient compte que de la lysine et de la méthionine qui sont les plus limitants (Buldgen et al., 1996 citée par Ouarest, 2008).

Des étapes incluant la détermination de la quantité de nutriments que chaque ingrédient rendra disponible pour le métabolisme animal, le niveau de nutriments nécessaire pour que l'animal atteigne le niveau de production souhaité et la méthode de formulation de ces aliments, doivent être utilisés pour atteindre les objectifs (Brah et al., 2015).

2.2 Contraintes de la formulation

Classiquement, le formulateur cherche à minimiser le prix de l'aliment composé en tenant compte d'un certain nombre de contraintes : contraintes sur les caractéristiques nutritionnelles de l'aliment permettant de couvrir les besoins de l'animal (fonction de la performance zootechnique recherchée) et contraintes sur l'incorporation de matières premières (selon leurs propriétés [présence de facteurs antinutritionnels, aspect de l'aliment...] et leur disponibilité). La composition de l'aliment en matières premières dépend alors de leur prix et de leurs caractéristiques nutritionnelles (apports en énergie, protéines et acides aminés notamment) (Dusart et al., 2016).

Le cahier des charges défini par les formulateurs est composé de contraintes de plusieurs types. Elles peuvent porter sur le taux d'incorporation d'un de ses composants. Par exemple, un produit doit posséder au moins 10 % de blé. Un deuxième type de contraintes joue sur les caractéristiques nutritionnelles. Par exemple, les apports en glucide doivent être d'au moins 25 %, mais ne doivent pas aller au-delà de 40 %. Ce type de contrainte peut aussi concerner des

caractéristiques physiques du produit fini comme le taux d'humidité qui doit être compris entre deux bornes. Un troisième type de contrainte est le rapport de caractéristiques. Dans certains cas, le rapport entre deux nutriments (sodium et magnésium par exemple) est borné entre deux valeurs (Manuel, 2006).

2.2.1 Contraintes nutritionnelles

Les quantités de nutriments dans les divers ingrédients doivent satisfaire les besoins visés exprimé très souvent en concentration du principe dans l'aliment. Ce besoin peut être soit un maximum soit un minimum à respecter. Il arrive très souvent dans la formulation des aliments que l'on détermine certains seuils d'incorporation que ne doivent pas dépasser certaines matières pour des raisons de divers ordres. Ces limitations peuvent être dues à des effets de synergie macromoléculaires connus ou par son apport néfaste en certains éléments (Malumba, 1999).

En plus de la composition chimique et des valeurs nutritives des ingrédients, des connaissances sur le seuil d'incorporation de chaque ingrédient et les facteurs de variation de la valeur nutritive sont déterminants pour la réussite de la formulation d'aliment. Les limites maximale et minimale de chaque ingrédient doivent être connues afin d'éviter la toxicité, le déséquilibre alimentaire, les interférences avec d'autres éléments nutritifs, la sous consommation liée à l'inappétence ou même la pollution de l'environnement après excrétion par l'urine et les fientes (Moughan et al., 2000).

2.2.2 Contraintes économiques

La pratique de formulation ne se résume pas uniquement au calcul d'une recette alimentaire. L'importance de l'enjeu économique des choix d'alimentation fait que l'exercice de formulation va bien au-delà de la dimension technique. C'est la tentative de concilier ces deux exigences qui, très souvent, transforme la pratique de formulation en démarche d'optimisation (Lapierre, 2005).

Un problème de formulation consiste à chercher les taux d'incorporation des matières premières à inclure dans un aliment donné sous contraintes nutritionnelles et de taux d'incorporation des matières premières en minimisant une fonction « objectif » qui traditionnellement correspond au coût de l'aliment. Cette dernière est calculée comme la somme des coûts de matières premières incorporées multipliés par leurs taux d'incorporation respectifs (Wilfart et al., 2018).

Plusieurs contextes de formulation peuvent être considérés, à la fois pour la formulation à moindre coûts et pour la formulation multi-objectif. Ces contextes peuvent être définis par différents niveaux de disponibilité des matières premières (MP), différents niveaux de prix et différents scénarios d'approvisionnement des MP (distances entre les sites de production et l'usine de fabrication d'aliments), En effet, sur un territoire donné la disponibilité d'une matière première peut contraindre son utilisation (Wilfart et al., 2018).

2.2.3 Contraintes technologiques

Avant d'être consommés et transformés par les animaux, les aliments doivent pouvoir être fabriqués dans de bonnes conditions et leurs présentations doivent être satisfaisantes. Lorsque l'aliment est par exemple aggloméré, l'objectif est d'obtenir un granulé dont la durabilité soit bonne. Ainsi selon le cas, le formulateur peut être conduit à imposer certaines matières premières "liantes" comme la graisse ou l'huile de palme pour favoriser la tenue du granulé (Bisimwa, 1998 citée par Malumba, 1999).

2.2.4 Contraintes environnementales

La préoccupation environnementale a fait émerger cette question comme une dimension majeure du problème de formulation. La problématique de maîtrise des rejets a des répercussions directes sur les pratiques de formulation. Elle conduit à utiliser des systèmes d'appréciation de la qualité des matières premières qui traduisent mieux leur assimilation par les animaux. Elle conduit aussi au développement de technologies (traitements physico-chimiques ou biologiques) qui améliorent l'utilisation digestive des nutriments. Elle a poussé les formulateurs à resserrer le jeu des contraintes de façon à limiter les risques de gaspillage nutritionnel synonyme de pollution (Lapierre, 2005).

La production animale engendre des impacts environnementaux pour la production des matières premières, avec la consommation de ressources naturelles, l'émission d'ammoniac et de gaz à effet de serre et une mobilisation de surface : 40 % des terres arables sont destinées à produire les aliments du bétail dans le monde (Espagnol et al., 2018). 50 % à 85 % de l'impact changement climatique lié à la production de poulet de chair sont estimés imputables à la production des matières premières pour son alimentation (Dusart, 2016).

2.3 Méthodes de formulations

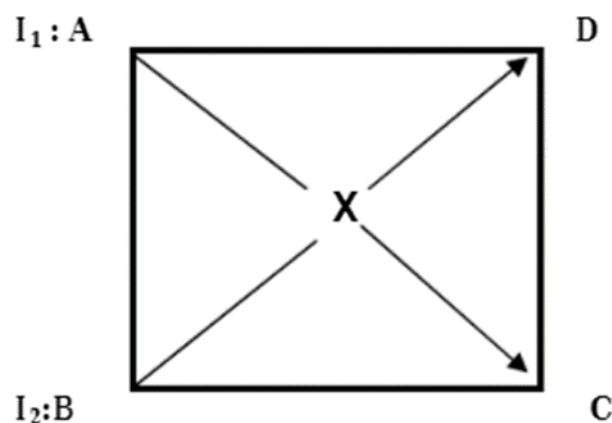
2.3.1 Méthodes par tâtonnement simple

D'une manière générale, dans ces méthodes, on formule d'abord l'aliment en prenant en compte un élément nutritif et on vérifie ensuite si les quantités des autres éléments sont satisfaisantes. On peut, par exemple, commencer par équilibrer les protéines et voir ensuite si le niveau énergétique est satisfaisant. Au cas échéant, on fait de nouveaux apports, pour ajuster les éléments déficitaires et atténuer les apports excessifs (Malumba, 1999).

2.3.2 Méthodes de carré de Pearson

Pour obtenir un pourcentage fixe d'une substance nutritive dans un mélange final ne contenant que deux ingrédients, on peut appliquer le système appelé carré de Pearson. Si l'on veut, par exemple, élaborer un régime pour poules pondeuses qui contient 16 % de protéines à partir de deux ingrédients, le maïs et la farine de graines de soja, en supposant qu'ils contiennent 9 et 36 % de protéines, on obtient le résultat souhaité comme suit :

On reporte au centre du carré le niveau en protéines du régime complet et, dans les deux coins gauches, on inscrit le pourcentage du contenu protéinique de chacun des aliments ; pour calculer la proportion nécessaire de chaque aliment, on soustrait, en suivant les diagonales du carré, la plus petite valeur de la plus grande, comme illustré ci-dessous. La proportion de chaque ingrédient nécessaire à l'élaboration d'un régime comprenant 16 % de protéines apparaît du côté droit du carré (Maisonneuve et Larose, 1992).



En X la solution désirée : le besoin nutritionnel à satisfaire

En A et B les teneurs en nutriment des deux sources d'ingrédients I₁ et I₂ pour satisfaire le besoin nutritionnel X ;

C représente la différence entre A et X sans tenir compte de signe ; c'est la part de l'ingrédient I2 dans le mélange ;

D représente la différence entre B et X sans tenir compte de signe ; c'est la part de l'ingrédient I1 dans le mélange.

La proportion (%) d'ingrédient I1 contenant le nutriment A s'obtient par :

$$I_1 = (|D| / |C+D|) \times 100$$

La proportion (%) d'ingrédient I2 contenant le nutriment B s'obtient par :

$$I_2 = (|C| / |C+D|) \times 100$$

(Brah et al., 2015).

2.3.3 Méthodes de programmation linéaire

La programmation linéaire consistant à minimiser (grâce à des logiciels informatiques) une fonction des coûts. L'inclusion éventuelle d'un ingrédient s'effectue en fonction de son prix relatif. C'est la méthode utilisée habituellement pour formuler les rations et aliments des animaux.

Si l'on dispose d'un ensemble de n matière premières, $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$, il s'agit de déterminer leurs taux d'incorporation, $X_1, X_2, \dots, X_i, X_n$, de façon à respecter certaines contraintes :

- ∞ D'ordre nutritionnelle : il s'agit soit de teneur en nutriments (ex : teneur en protéines), soit de limites d'incorporation d'ingrédients dues à la toxicité ou à l'inappétence.
- ∞ D'ordre technologique : on peut limiter l'introduction de certaines matières premières, ou au contraire à en imposer un minimum, de façon à assurer, par exemple, la solidité des granulés ou la conservation des mélanges.
- ∞ D'ordre commercial : on peut limiter les taux d'incorporation de produits peu abondants sur le marché ou ceux pour lesquels on ne dispose pas de moyens de stockage suffisants.

Ces contraintes sont de la forme :

$$\sum_{i=1}^{i=n} a_{ij} \cdot x_i \geq A_j \text{ pour la caractéristiques } j \text{ fixée}$$

a_{ij} , appelé coefficient technique, représente la quantité de nutriment j présente dans l'ingrédient i ; A_j le besoin est exprimé en concentration dans l'aliment.

Les contraintes d'incorporation sont de la forme :

$$X_i \geq L_i \text{ ou } X_i \leq L_i$$

L_i étant la limite d'incorporation de la matière première i .

On doit minimiser le prix C du mélange ; si $C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n$ sont les prix des matières premières par unité de poids, on doit satisfaire à la relation :

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} C_i X_i$$

Enfin, on a par définition :

$$0 < X_i < 100 \text{ et } \sum_{i=1}^{i=n} X_i = 100$$

Il existe des logiciels capables de résoudre ce type de problème ; la plupart ne cherchent qu'à minimiser le prix du Kg d'aliment, d'autres le prix de la calorie.

Plusieurs logiciels de programmation linéaire sont utilisés pour la formulation des aliments pour animaux tels que l'outil « solver » du programme Excel, AFOS, FeedAccess... (Fernandez et Ruiz, 2003 ; Larbier et Leclercq, 1992, Mahmoudi, 2021).

2.4 Etapes de formulation d'aliment de volaille

2.4.1 Connaissance de l'animal et détermination des besoins nutritionnels

Les besoins nutritionnels sont influencés par la génétique, le sexe, le poids vif, le stade physiologique, l'appétit et les facteurs environnementaux (température, densité...). Les besoins nutritionnels peuvent être définis comme étant la quantité de nutriments nécessaires pour optimiser un facteur de production, tel que la vitesse de croissance ou la conversion alimentaire, la formation du muscle ou de l'œuf, le dépôt de graisse ou des éléments nutritifs dans les organes (Brah et al., 2015).

Pour la réussite de la formulation, la détermination des besoins en plusieurs éléments nutritifs essentiels est donc primordiale. Au nombre de ces éléments, il y a l'énergie métabolisable, les protéines brutes, les acides aminés, le calcium et le phosphore. Traditionnellement, les besoins nutritionnels des animaux sont publiés sous forme de tables (INRA, 2004 ; publications scientifiques ou des bases de données comme Feedbase) (Brah et al., 2015).

1.4.2 Détermination des éléments nutritifs fournis par les matières premières

La disponibilité des matières premières tient place importante dans cette étape. Les valeurs nutritives de chaque aliment dépendent de la variété, de leurs origines, de ses itinéraires cultureux (fertilisation, récolte) et du traitement après récolte. Raison pour laquelle il est recommandé d'analyser et de contrôler les matières premières pour évaluer la quantité de la protéine brute, acides aminés, des minéraux, des vitamines et d'énergie.

Pour le besoin de formulation d'aliment, la réalisation d'une base de données sur la composition chimique, les caractéristique physiques et la digestibilité des ingrédients utilisables en alimentation des animaux est nécessaire. Il existe des bases de données (tables) des compositions chimiques des ingrédients pour aliment volailles (INRA, NRC, Feedbase) qui sont mises à jour continuellement (Brah et al., 2015).

1.4.3 Formulation proprement dite

La formulation d'aliment pour volaille consiste à rassembler plusieurs matières premières disponibles, quantifier leur taux d'incorporation et les mettre ensemble pour former un mélange uniforme en vue de satisfaire tous les besoins nutritionnels de la volaille en accord avec les objectifs de production (Brah et al., 2019).

2.5 Fabrication d'aliments pour poulet de chair

Les aliments composés sont fabriqués dans les usines à partir de diverses matières premières. La préparation des aliments est réalisée en plusieurs étapes (Buldgen et al., 1996 citée par Tabti, 2014) :

2.5.1 Réception et stockage des matières premières :

2.5.2 Broyage

Les céréales et les tourteaux doivent être broyés en particules grossières de 0,5 à 1,5 mm avant d'être mélangés par des broyeurs (à marteaux) et il a pour but principal de réduire la taille des particules des aliments pour en accroître la surface d'accès aux enzymes digestives, mais aussi pour en favoriser un mélange homogène et une agglomération satisfaisante.

2.5.3 Prémélange

Cette étape consiste à mélanger toute les matières premières avec une partie des céréales moulues en faibles quantités, de manières a mieux les répartir dans le mélange final.

2.5.4 Mélange

Le prémélange est incorporé progressivement au reste des matières premières à l'aide d'un mélangeur.

2.5.5 Granulation

L'agglomération implique un traitement thermique de conditionnement. Elle contribue à un meilleur état sanitaire, à une plus grande disponibilité de certains constituants alimentaires (amidon) et à une densification de l'aliment plus facile à transporter et à ingérer sans tri par l'animal. La granulation par pressage avec incorporation de vapeur et adjuvants (liants) conduit à la présentation de l'aliment sous forme de granulés et enfin, refroidissement avant conditionnement éventuel et stockage de l'aliment composé. Pour certains types d'animaux (jeunes volailles, pondeuses....), les aliments composés sont présentés en miettes avec une étape supplémentaire de concassage du granulé (Aimene, 2015).

Chapitre 3

Matériel et méthodes

3.1 Formulation des aliments pour poulet de chair

3.1.1 Présentation des matières premières

En Algérie, le modèle alimentaire dans la filière poulet de chair est basé principalement sur le couple maïs comme source d'énergie et tourteau de soja comme source de protéine. Ces matières premières sont entièrement importées et rend la filière totalement dépendante à l'étranger. C'est pour cela que nous avons essayé, dans ce travail, de formuler des aliments pour poulet de chair en substituant partiellement le maïs par la farine de caroube.

La farine de caroube est une très bonne source d'énergie grâce à sa richesse en sucres. Elle est utilisée dans l'alimentation humaine, dans l'industrie agro-alimentaire et dans l'alimentation des animaux.

Les matières premières utilisées dans notre travail sont : le maïs, le tourteau de soja, le son de blé, la farine de caroube, CNV, calcaire et phosphate bicalcique. Ces matières ont été achetées auprès d'un vendeur d'aliment de bétail dans la Wilaya de Boumerdès.

3.1.2 Détermination des besoins de poulet de chair

Dans notre travail, nous avons essayé de formuler des aliments de démarrage, croissance et finition qui satisfassent les besoins nutritionnels de poulet de chair de la souche Cobb 500. Les besoins alimentaires de cette souche dans les trois phases de croissance sont représentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Besoins nutritionnels recommandés pour la souche Cobb 500

Recommandations Nutritionnelles	Démarrage	Croissance	Finition
Quantité d'aliment/animal g	250	1000	/
Période d'alimentation/jours	0 - 10	11 - 22	23 - Fin
Protéine %	21,00	19,00	18,00 - 17,00
Energie Métabolisable Kcal/kg	2988	3083	3176
Calcium %	1,00	0,96	0,90
Phosphore Disponible %	0,50	0,48	0,45

3.1.3 Détermination des valeurs alimentaires des matières premières

Les valeurs des tables de l'INRA. CIRAD. AFZ de la valeur alimentaire des aliments pour animaux consultées sur le site <https://feedtables.com/fr> sont utilisées pour calculer les formules alimentaires.

3.1.4 Formulation proprement dite

La méthode choisie pour la formulation est la méthode des essais et des erreurs décrite précédemment dans le chapitre 2.

Les aliments suivants ont été formulés :

- Aliment de démarrage contenant du maïs, de tourteau de soja, son de blé, CMV pour démarrage, calcaire, phosphate bicalcique.
- Aliment de croissance :
 - ✓ Contrôle : contenant du maïs, de tourteau de soja, son de blé, CMV pour démarrage, calcaire, phosphate bicalcique.
 - ✓ Expérimentale : contenant du maïs, de tourteau de soja, son de blé, CMV pour démarrage, calcaire, phosphate bicalcique et 3 % de la farine de caroube.
- Aliment de finition :
 - ✓ Contrôle : contenant du maïs, de tourteau de soja, son de blé, CMV pour démarrage, calcaire, phosphate bicalcique.
 - ✓ Expérimentale : contenant du maïs, de tourteau de soja, son de blé, CMV pour démarrage, calcaire, phosphate bicalcique et 7 % de la farine de caroube.

3.2 Détermination de la valeur alimentaire des aliments et de la poudre de caroube

3.2.1 Taux d'humidité (séchage à 135 °C) (JAOAC. 930. 15. 2005)

Régler l'étuve à 135±2 °C et peser 2 g d'échantillon dans un creuset à couvercle préalablement séché et refroidi dans le dessiccateur. Enlever le couvercle et placer le creuset et le couvercle dans l'étuve et sécher l'échantillon pendant 2 heures. Placer le couvercle sur le creuset et transférer au dessiccateur pour se refroidir. Peser et calculer les pertes en eau comme suit :

$$H (\%) = 100 - \left(\frac{M1 - M0}{M} \times 100 \right)$$

Où :

M1 : Masse en grammes, du creuset et du résidu après dessiccation et refroidissement.

M0 : Masse en grammes, du creuset vide.

M : Masse de la prise d'essai en gramme.

3.2.2 Cendres totales

Incinérer une prise d'essai de 2 g dans un four de calcination à 600 °C pendant 2 heures jusqu'à combustion totale de la matière organique et obtention d'une coloration blanchâtre. Refroidir le creuset dans le dessiccateur pendant une heure et le peser. La teneur en cendres exprimée en pourcentage massique de l'échantillon rapportée à la matière telle qu'elle est donnée par la relation suivante :

$$TC \% = \frac{m2 - m0}{m1 - m0} \times 100$$

Où :

TC : taux de cendres (%).

m 0 : masse du creuset vide (g).

m 1 : masse du creuset et de la prise d'essai (g).

m 2 : masse du creuset et du résidu (g).

3.2.3 Protéines brutes

La méthode de KJELDAHL est utilisée pour quantifier les protéines contenues dans un produit à partir de dosage de l'azote total. Cette méthode est basée sur la minéralisation par l'acide sulfurique H_2SO_4 d'une prise d'essai, en présence de catalyseurs ($CuSO_4$), suivie d'une distillation de l'ammoniac libéré, dans un excès d'acide borique H_3BO_3 . La teneur en azote de l'échantillon sera déterminée par titrimétrie de l'ammoniac par l'acide chlorhydrique HCl à 0,5 N. Cette méthode passe par trois étapes :

a-Minéralisation

- Dans des matras de KJELDAHL, introduire environ 1 g de la prise d'essai, 15 g de sulfate de potassium anhydre K_2SO_4 et 0.04 g de sulfate de cuivre $CuSO_4$ et 1 g d'oxyde d'aluminium ;
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique pure H_2SO_4 ;
- Effectuer un essai à blanc, en utilisant 1 g de saccharose comme prise d'essai ;
- Placer les matras dans le minéralisateur pendant 3 h à 350 °C jusqu'à obtention d'une solution verdâtre limpide.

b-Distillation et dosage de l'ammoniac

- Après refroidissement des minéralisates, ajouter avec précaution 250 ml d'eau distillée dans chaque matras ;
- La neutralisation est réalisée avec 50 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium $NaOH$ à 45 %
- Placer les matras au distillateur et l'allonge qui termine le dispositif dans une fiole conique contenant 80 ml d'acide borique H_3BO_3 à 2 % et 3 à 4 gouttes de l'indicateur coloré (1 g rouge de méthyle dans 100 ml méthanol pure) ;
- Après distillation (7 min, volume de distillat ≥ 150 ml), tirer le distillat avec l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique à 0,5 N.

c- Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en pourcentage du poids de protéines par rapport au poids total de la prise d'essai selon la formule suivante :

$$N\% = [(N \text{ acide}) (ml \text{ acide}) - (ml \text{ bk}) (NaOH) - (ml \text{ NaOH})] [1400,67] / mg \text{ prise d'essai}$$

Où : P% : La teneur en protéine, exprimée en pourcentage ;

N : Normalité de l'acide chlorhydrique, qui est de l'ordre de 0,5 N ;

V0 : Volume, en ml, de la solution d'acide chlorhydrique, utilisé pour l'essai à blanc ;

V1 : Volume, en ml, de la solution d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage ;

m : masse en mg de la prise d'essai ;

F : Facteur de conversion à appliquer pour obtenir le taux des protéines à partir de l'azote total, qui est de l'ordre de 6,25.

3.2.4 Lipides (AOAC 2003)

La méthode Soxhlet est la méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse dans les aliments pour animaux. L'aliment solide est pesé et placé dans une capsule de cellulose. L'échantillon est extrait en continu par de l'éther éthylique ou l'éther de pétrole à ébullition (35° C et 40 à 60° C) qui dissout graduellement la matière grasse. Le solvant contenant la matière grasse retourne dans le ballon par déversements successifs causés par un effet de siphon dans le coude latéral. Comme seul le solvant peut s'évaporer de nouveau, la matière grasse s'accumule dans le ballon jusqu'à ce que l'extraction soit complète. Une fois l'extraction terminée, l'éther est évaporé, généralement sur un évaporateur rotatif, et la matière grasse est pesée.

Dans un ballon parfaitement lavé, séché à l'étuve est taré (P1). Avant l'extraction proprement dite, une prise (P) d'environ 2 g de l'échantillon pulvérisé est placée dans une cartouche en cellulose. La cartouche est bouchée par un papier filtre. Ensuite, environ 150 ml d'éther de pétrole sont introduits par l'extracteur dans le ballon. Ce dernier est surmonté d'un réfrigérant et le tout est placé sur une calotte chauffante. Après 10 heures d'extraction, le solvant contenu dans le ballon est évaporé par un évaporateur rotatif. Le ballon contenant la matière grasse extraite est ensuite placé à l'étuve et pesé (P2) (Malumba Kamba, 2000).

La teneur en matière grasse est calculée selon la formule suivante :

$$MG\% = \frac{P1-P2}{P} \times 100$$

Où :

P1 : poids du ballon vide (g)

P2 : poids du ballon plus la matière grasse extraite (g)

P : poids de la prise d'essai

3.2.5 Cellulose (AFNOR, 1993)

Développée au début du 19^{ème} siècle, de nombreuses estimations de la teneur en cellulose brute des produits agricoles sont toujours calculées sur le principe de la méthode de Weende. Ce calcul, même si différentes méthodes de mesure existent, reste la meilleure estimation de la quantité de parois végétales.

- Peser 1g d'échantillon et l'introduire dans un ballon de 250 ml ;
- Ajouter 150 ml d'acide sulfurique à 1,25 % (12,5 g H₂SO₄ dans 1000 ml eau distillée) ;
- Ajouter 3 à 5 gouttes d'agent antimoussant (n-octanol) ;
- Faire bouillir pendant 30 min à partir de début de l'ébullition (en utilisant un réfrigérant) ;
- Laisser refroidir et centrifuger l'extrait jusqu'à clarification (3000 tours/10 min), puis éliminer le solvant en conservant la plus grande quantité possible de produit (résidu) dans le ballon.
- Laver trois fois avec 30 ml d'eau distillée chaude,
- Éliminer chaque fois l'eau avec la centrifugation,
- Ajouter 150 ml d'hydroxyde de sodium à 1,25 % (12.5 g NaOH dans 1000 ml eau distillée) ;
- Ajouter 3 à 5 gouttes d'agent antimoussant (n-octanol) ;
- Faire bouillir pendant 30 min à partir de début de l'ébullition (en utilisant un réfrigérant) ;
- Laisser refroidir et centrifuger l'extrait jusqu'à clarification (3000 tours/10 min), puis éliminer le solvant en conservant la plus grande quantité possible de produit (résidu) dans le ballon ;
- Laver trois fois avec 30 ml d'eau distillée chaude ;
- Éliminer chaque fois l'eau avec la centrifugation ;
- Mettre le résidu dans un creuset préalablement séché et pesé vide ;
- Passer le creuset à l'étuve à 150 °C jusqu'à poids constant ;
- Effectuer les pesées après refroidissement au dessiccateur ;
- Incinerer dans le four à moufle à 550 °C durant 3 heures et peser à nouveau après refroidissement au dessiccateur ;

-Calculer la teneur en fibres brutes par la formule suivante :

$$\text{Teneur en FB \% MS} = (A-B) \cdot 100 / C \cdot \text{MS}$$

Où :

- A : poids du creuset + résidu après séchage (g)
- B : poids du creuset + résidu après incinération (g)
- C : poids de l'échantillon de départ (g)

3.2.6 Extractif non azoté (ENA)

L'ENA contient, en grande partie, les hydrates de carbone simples ou complexes, qui sont porteurs d'une fraction non négligeable de l'énergie métabolisable de l'aliment. Sa teneur a été déterminée par différence, suivant la formule :

$$\text{Hydrates de carbones \%} = \text{MS} - (\text{PB} + \text{MG} + \text{FB} + \text{CB} :)$$

Où :

MS : matière sèche (%)

PB : protéines brutes (%)

MG : matière grasse (%)

FB : fibres brutes (%)

CB : cendres brutes (%)

3.2.7 Minéraux (Ca, K et P)

3.2.7.1 Potassium par spectrophotométrie de flamme

☞ Minéralisation de l'échantillon

- Mettez 3 g de l'échantillon dans un creuset ;
- Introduire le creuset dans le four de calcination (550 °C) pendant 5 h jusqu'à l'obtention des cendres blanchâtres ;
- Ajouter 10 ml de HNO₃ à 20 % dans chaque creuset ;
- Chauffer 5 min par plaque chauffante à 100 °C ;
- Filtrer par papier filtre et compléter avec l'eau distillée jusqu'à 100 ml ;
- Conserver la solution minérale jusqu'à l'utilisation.

☞ Préparation de la gamme d'étalonnage de potassium

- Préparer une solution mère de potassium (1,5 g/l), mettre 0,286 g de KCl pur dans une fiole de 100 ml et compléter à 100 ml avec l'eau distillée.
- A partir de la solution mère de potassium, préparer une gamme de six solutions filles comme il est indiqué dans le tableau 11.

Tableau 11 : Gamme étalon de potassium

Solution mère (µl)	1	2	3	4	5	6
Eau distillée (ml)	Quantité suffisante pour 100 ml					
Concentration massique (mg/l)	15	30	45	60	75	90

3.2.7.2 Dosage du phosphore

La teneur en phosphore a été déterminée en utilisant la méthode phospho-vanado-molybdique décrite par Youshida et al. (1976).

Dans un tube à essai, 1 g d'échantillon a été mélangé avec 10 ml de mélange d'acides (750 ml de HNO_3 + 150 ml de H_2SO_4 + 300 ml d' HClO_4 à 60 %) et laissé 2 heures en prédigestion sous hotte puis chauffé par flamme de gaz (très faible) jusqu'à l'obtention d'une solution limpide. La solution limpide a été diluée dans une fiole de 50 ml par l'eau distillée puis filtrée par papier filtre N° 1. Dans un tube à essai, 1 ml d'extrait a été mélangé avec 2 ml de HNO_3 (2 N) et diluer à 8 ml par l'eau distillée.

1 ml de la solution molybdate vanadate (mélange à volume égale d'une solution de 25 mg d'ammonium molybdate $[(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ dans 500 ml d'eau distillée et 1,25 g de vanadate d'ammonium (NH_4VO_3) dans 500 ml d'acide nitrique HNO_3 à 1 N) (fraîchement préparée) a été ajouté au mélange précédant et le volume a été complété à 10 ml par eau distillé. Le mélange a été agité puis incubé 20 min à l'obscurité et l'absorbance a été mesurée à 420 nm.

Une gamme d'étalonnage de 2,5 à 12,5 ppm a été préparée à partir d'une solution mère de phosphore (dissoudre 0,110 g de potassium phosphate monobasique (KH_2PO_4) dans l'eau distillée à 1 L. C'est la solution 25 ppm de phosphore). La teneur en phosphore (mg/100 g MF) a été déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage du phosphore.

3.2.7.3 Dosage complexométrique du calcium

☞ Principe

- Détermination du calcium par complexation par l'acide éthylène diamine tétraacétique (E.D.T.A.) en présence de murexide comme indicateur.

☞ Réactifs

- Solution de murexide à 0,075 % dans l'éthylène-glycol.
- Solution tampon pH 10 (dissoudre 6 g de chlorure d'ammonium dans 50 ml d'ammoniaque. Compléter à 100 ml avec de l'ammoniaque).
- Solution aqueuse d'E.D.T.A. à 0,01 N.
- Ammoniaque concentrée.

☞ Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai.
- Ajouter de l'eau de façon à avoir une dizaine de ml de solution.
- Amener la solution à pH 12 par de l'ammoniaque.
- Ajouter 1 ml de la solution de murexide.
- Titrer par de l'E.D.T.A. 0,01 N jusqu'à virage de la murexide (orange à violet)

☞ Calculs

- 1 ml d'E.D.T.A. 0,01 N correspond à 0,400 mg de calcium.

3.2.8 Polyphénols

3.2.8.1 Extraction des polyphénols

La macération est une opération qui consiste à laisser la poudre du matériel végétal en contact prolongé avec un solvant pour en extraire les principes actifs. C'est une extraction qui se fait à température ambiante (Lagnika, 2005).

- Dans une fiole, introduire 20 g d'échantillon ;
- Ajouter 100 ml du solvant (méthanol à 70 % v/v) ;
- Laisser le mélange en contacte durant 24 h à température ambiante (avec agitation occasionnelle) ;
- Filtrer le mélange par un tissu puis un filtrer sur papier whatman N° 1 ;

- Evaporer le solvant sous vide à 40 °C en utilisant le rotavapeur (Buchi) jusqu'à l'obtention d'un résidu sec ;
- Conserver le résidu à 4 °C jusqu'à utilisation.

3.2.8.2 Rendement d'extraction

Le rendement d'extraction est calculé par la formule suivante :

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

Où :

R : le rendement en % ;

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

MR_{éch} : la masse de l'échantillon avant extraction en mg.

3.2.8.3 Dosage des polyphénols

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu décrite par Fu et al. (2011) citée par Mahmoudi et al. (2018). Cette méthode a été décrite dès 1965 par Singleton et Rossi. Le réactif Folin-Ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W₈O₂₃) et de molybdène (Mo₈O₂₃) (Boizot et Charpentier, 2006).

Une prise d'essai de 200 µl de chaque extrait à analyser a été mélangée successivement avec 1000 µl du réactif Folin-Ciocalteu (10 % v/v) et 800 µl d'une solution de bicarbonate de sodium (Na₂CO₃) à 7,5 % (p/v) (pour favoriser un milieu alcalin et déclencher la réaction d'oxydoréduction).

Le mélange a été agité puis incubé à l'obscurité au bain Marie à 40 °C pendant dix minutes. Les absorbances ont été lues à 760 nm avec un spectrophotomètre UV-Visible (Schimadzu-UV-2401PC, UV-Vis Japon) contre un blanc préparé par la même manière précédente en remplaçant l'extrait par 200 µl d'eau distillée.

Une gamme d'étalonnage de six concentrations d'acide gallique allant de 10 à 100 µg/ml (p/v) a été préparée pour calculer la concentration des polyphénols dans chaque extrait. La concentration en composés phénoliques totaux est exprimée en milligramme équivalent acide gallique par gramme de matière fraîche.

3.2.8.4 Dosage des Tanins

Les tanins condensés ont été déterminés par la méthode spectrophotométrique de vanilline en milieu acide décrite par Ba et al. (2010) citée par Mahmoudi (2018).

Le réactif de vanilline a été préparé en mélangeant à volume égal : l'HCl à 8 % (v/v) dans le méthanol et la vanilline dans le méthanol à 4 % (p/v). Le mélange est maintenu à 30 °C avant le dosage. Une prise d'essai de 200 µl de chaque extrait à analyser a été mélangée avec 1000 µl du réactif de vanilline. Le mélange a été agité puis incubé à l'obscurité pendant vingt minutes à température ambiante. L'absorbance a été lue à 500 nm avec un spectrophotomètre UV-Visible (Schimadzu-UV-2401PC, UV-Vis japon) contre un blanc préparé par la même manière précédente en remplaçant l'extrait par le méthanol.

La concentration en tanins condensés est exprimée en microgramme équivalent catéchol par gramme de matière fraîche en se référant à la courbe d'étalonnage de catéchol (huit concentrations allant de 0 à 0,9 g / ml p/v).

3.2.9 Activité antioxydante des polyphénols

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée in vitro par la méthode de DPPH. (2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl) rapportée par Koh et al. (2012) citée par Mahmoudi (2018).

La méthode du DPPH[•] est basée sur la réduction d'une solution alcoolique de l'espèce radicalaire stable DPPH[•] en présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène (AH), qui aboutit à la formation d'une forme non-radicalaire, le DPPH-H ce qui entraîne un virage de la couleur violacée du DPPH au jaune.

Brièvement, une prise d'essai de 2,7 ml d'une solution fraîche de DPPH[•] (6×10^{-5} mol/l dans le méthanol) a été ajoutée à 0,3 ml de chaque extrait à différentes concentrations (1 à 80 mg/ml).

Le mélange a été agité fortement, incubé 30 min à l'obscurité et l'absorbance a été lue à 517 nm avec spectrophotomètre UV-Visible (Schimadzu-UV-2401PC, UV-Vis) contre un blanc composé du méthanol et un contrôle constitué de 2,7 ml du DPPH[•] et 0,3 ml du méthanol.

L'activité antioxydante a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$A \text{ antiox (\%)} = 100 \times (A_0 - AS) / A_0$$

Où :

A antiox : activité antioxydante (%).

A0 : densité optique du contrôle (nm).

As : densité optique de l'échantillon (nm).

Les IC50 des extraits de la pulpe et de la pelure de différentes variétés des figes et de standard ont été estimés à partir de l'équation de la courbe de tendance de chacun (IC50 de l'échantillon correspond à la concentration permettant 50 % d'inhibition du DPPH.).

3.3 Détermination de l'impact de l'alimentation sur la flore de tube digestif

Un élevage de 200 poussins chair d'un jour de la souche Cobb 500 a été lancé dans la région de Boumerdès. Les poussins ont été divisés au hasard en deux groupes avec 4 sous lots pour chaque groupe :

- Un groupe témoin recevant un aliment standard à base du maïs, tourteau de soja, son de blé, CMV, phosphate bicalcique et calcaire dans les trois phases de croissance.
- Un groupe expérimental, recevant un aliment standard dans la phase de démarrage, un aliment contenant 4 % de la farine de caroube dans la phase de croissance et un aliment à 6 % de caroube dans la phase de finition pour la substitution partielle du maïs.

A la fin de l'expérimentation (45 jours), deux poulets à partir de chaque sous lot ont été abattus.

3.3.1 Préparation des échantillons

Vingt-cinq grammes de masse intestinale ont été introduits aseptiquement dans un sachet stérile de type « Stomacher 400 » contenant au préalable 225 ml de TSE (Tryptone Sel Eau). Le tout est homogénéisé à l'aide d'un appareil Stomacher® pendant 8 min. Après homogénéisation, on obtient à la fin une solution mère (10^{-1}) à partir de laquelle est réalisée une série de dilutions décimales (10^{-2} , 10^{-3} , ... 10^{-8}) dans des tubes contenant 9 ml de TSE. Ces dilutions serviront à la recherche de la flore lactique et les Entérobactéries. Le dénombrement de la flore lactique et des entérobactéries a été réalisé selon les méthodes décrites par Benamirouche (2012).

3.3.2 Dénombrement des bactéries lactiques

Un volume de 0,1 ml de chaque dilution est aseptiquement déposé dans une boîte de Pétri puis 15 mL de milieu MRS sont coulés, homogénéisés parfaitement et se laissé solidifier sur une surface froide. Après 48 heures d'incubation à 37 °C en anaérobiose, les boîtes

contenant un nombre de colonies caractéristiques compris entre 30 et 300, sont retenues pour le dénombrement des bactéries lactiques. Le dénombrement est réalisé selon la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{1,1 \times d} \times V$$

Où :

N : concentration en cellules viables (UFC/ml) ;

Σc : somme des colonies comptées sur les deux boîtes successives ;

d : taux de dilution correspondant à la première dilution ;

V : volume de la suspensionensemencée (ml).

Dénombrement des Streptocoques lactiques

Ces germes sont recherchés sur milieu M17 par ensemencement en surface (0,1 mL par boîte) et incubation à 37 °C pendant 48 heures (Guiraud, 2003). Les dilutions utilisées sont : 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7}

3.3.3 Dénombrement des coliformes totaux

Un ml de chaque dilution est déposé aseptiquement dans une boîte de Pétri stérile, puis environ 15 ml de milieu de culture gélosé VRBL en surfusion (40 à 45 °C) sont additionnés. Homogénéiser les boîtes ainsiensemencées par de lents mouvements de rotation horizontale. Après solidification de la gélose les boîtes sont incubées à l'étuve à une température de 37 °C pendant 24 h.

Après la période d'incubation, les colonies qui apparaissent dans les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies par boîte sont comptées par observation à l'œil nu ou sous la loupe. Le dénombrement est réalisé selon la formule (1) présenté précédemment.

Chapitre 4

Résultats et discussion

4.1 Formulation des aliments pour poulet de chair

En utilisant la méthode des essais et erreurs via Excel, nous avons calculé les formules alimentaires pour les aliments de démarrage, de croissance témoin, de croissance expérimentale, de finition témoin et de finition expérimentale pour alimenter le poulet de chair de la souche Cobb 500 (Tableau 12).

Tableau 12 : Taux des ingrédients utilisés pour la formulation des aliments pour poulet de chair (%)

Phases de croissance	Maïs	TS	Son de blé	Farine de caroube	Calcaire	Phosphate bicalcique	CMV	Somme
Démarrage	62,1	28,7	6	0	0	2,2	1	100
Croissance témoin	66,3	24	6,5	0	0,7	1,5	1	100
Croissance expérimentale	63,3	24	6,5	3	0,7	1,5	1	100
Finition témoin	69,4	19,5	8	0	0,6	1,5	1	100
Finition expérimentale	64	19,5	6,5	7	0,5	1,5	1	100

Les poussins des lots témoin et expérimentaux sont alimentés par un aliment de démarrage constitué de maïs comme une principale source d'énergie, de tourteau de soja très riche en matière azoté, le son de blé, le phosphate bicalcique et le CMV démarrage.

Dans la phase de croissance, le maïs est substitué partiellement par la farine de caroube pour le lot expérimental. Dans cette phase nous avons incorporé 3 % de farine de caroube dans l'aliment composé.

Alors que dans la phase de finition un taux de 7 % de la farine de caroube a été incorporé dans l'aliment de poulet de chair.

4.2 Analyses alimentaires des aliments du poulet de chair

4.2.1 Taux en matière sèche

D'après les résultats obtenus de la matière sèche en pourcentage dans le tableau 13, l'aliment de démarrage a le taux le plus élevé (89,45 %) ; en revanche le taux le plus faible est enregistré dans la farine de caroube (87,43 %).

Tableau 13 : Taux de la matière sèche dans les aliments du poulet de chair (%)

Aliments	Farine caroube	Aliment Démarrage	Aliment Croissance témoin	Aliment Croissance expérimental	Aliment Finition témoin	Aliment Finition expérimental
MS %	87,43	89,45	88,62	88,33	88,12	87,67
	±0,12	±0,07	±0,06	±0,34	±0,22	±0,09

Les résultats représentent la moyenne de trois répétitions ± SEM

Le pourcentage de la matière sèche des aliments de croissance témoin et croissance expérimental sont similaires avec une petite variation entre les pourcentages des aliments finition témoin et finition expérimental.

Le taux de la matière sèche de la farine de caroube déterminé par Bouhrem, (2019) est inférieur à nos résultats et cela peut être dû aux conditions de séchage des gousses de caroube et à la variété exploitée.

Ndiagne (1996) a cité que la matière sèche dans les aliments de la phase de démarrage et de la phase de finition sont 91,7 et 93,7 % respectivement. Dans une autre étude, Boussekra et Bouhedou (2020) ont trouvé un taux de matière sèche de 90,66 % dans les aliments de démarrage et de croissance et 90,37 % dans l'aliment de la phase de finition. Les résultats de ces auteurs sont supérieurs aux nôtres ce qui est peut-être dû au type des aliments utilisés dans les différents échantillons.

Boussekra et Bouhedou (2020) ont mentionné que les normes admises pour les aliments destinés à la consommation de poulet de chair et de (> 86 %), ce qui est en concordance avec nos résultats.

La mesure de la teneur en eau permet de prévoir et d'éviter les détériorations, donc plus cette valeur est basse, mieux l'aliment se conserve bien.

La teneur de matière sèche dans la farine de caroube mentionnée dans le tableau d'INRA est un peu inférieure à notre résultat (85,2 %).

4.2.2 Taux en cendres totales

La teneur en cendres est un indicateur de l'apport nutritionnel en minéraux que contient l'échantillon à analyser. Les résultats des teneurs en cendres totales obtenus sont mentionnés dans le tableau 14.

L'aliment finition témoin et l'aliment finition expérimental ont des pourcentages de cendres totales identiques (4,9 %). Il est remarquable que le taux de cendres totales dans l'aliment de croissance expérimental soit inférieur à celui de l'aliment de croissance témoin (4,88 % contre 5,45 %).

Tableau 14 : Taux en cendres totales dans les aliments du poulet de chair (%)

Aliments	Farine Caroube	Aliment Démarrage	Aliment Croissance témoin	Aliment Croissance expérimental	Aliment Finition témoin	Aliment Finition expérimental
CT %	2,92	5,20	5,45	4,88	4,90	4,90
	±0,19	±0,10	±0,15	±0,02	±0,17	±0,23

Les résultats représentent la moyenne de trois répétitions ± SEM

La farine de caroube a enregistré la plus faible quantité de cendres totales soit 2,92 %. Ce résultat est proche à celui obtenu par Kamal et al. (2013) et aussi de tableau d'INRA Cirad (2004) environ 3%. Les teneurs en cendres totales dans la farine de caroube diffèrent en fonction de la provenance géographique des échantillons, notamment les conditions climatiques et les caractères édaphiques des sols.

Les taux de cendre total, (9,84 %) pour l'aliment de démarrage, (11,48 %) de croissance et (9,16 %) de finition, déterminés par Abour et al. (2013) sont supérieurs à nos résultats. Cette différence peut être expliquée par les quantités de calcaire, phosphate bicalcique et CMV ajoutées aux aliments.

4.2.3 Teneurs en protéines

Des résultats de la figure 4 représentant les teneurs en protéines dans la farine de caroube et les aliments de poulet de chair, il apparaît que l'aliment de démarrage contient la teneur la plus élevée en protéine à savoir 21,89 %.

Ces résultats montrent que l'aliment de démarrage couvre les besoins en protéines (21 %) des poussins Cobb 500.

La teneur en protéines dans les aliments de croissance témoin et expérimentale sont identiques (19,70 %) ce qui signifie que ces aliments couvrent les besoins protéiques des poules dans la phase de croissance (19 %).

La teneur en protéines de l'aliment de finition témoin est satisfaisante alors que celle de l'aliment de finition expérimentale est légèrement déficitaire. Ce qui est peut être expliqué par la substitution partielle du maïs par la farine de caroube qui est moins riche en protéines.

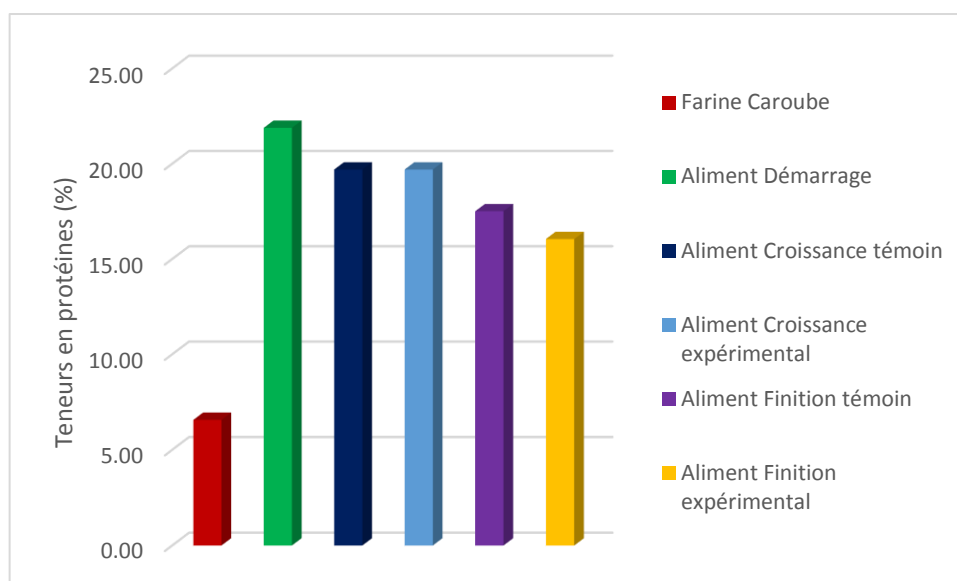


Figure 4 : Teneurs en protéines dans les aliments de poulet de chair (%).

La synthèse des protéines tissulaires animales nécessite la présence de nombreux acides aminés. Certains ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme ou le sont en quantités insuffisantes pour satisfaire les besoins nutritionnels des animaux : ce sont les acides aminés essentiels. Ils doivent être apportés dans l'alimentation en quantité nécessaire pour permettre à l'animal d'extérioriser ses potentialités génétiques et de réaliser les meilleures performances zootechniques par une synthèse protéique maximale (Ndiagne, 1996).

La quantité de protéine dans notre farine de caroube paraît légèrement supérieure à la quantité enregistrée par Ali et al. (1999) soit 5,54 % et même à celles de Nadezhda et al. (2017) à savoir 5,90 % et de tableau de l'INRA CIRAD (2004) à savoir 4,3 %.

Cette différence peut être due aux facteurs pédoclimatiques, de variété du caroubier, de taux de séchage des gousses de caroube et au stade de leur maturation.

4.2.4 Teneurs en matière grasse

L'incorporation de matières grasses dans les aliments destinés aux animaux permet d'élever la concentration énergétique du régime et d'apporter des acides gras, dont certains ne sont pas synthétisés par l'organisme ; ce sont les acides gras essentiels. L'adjonction de matières grasses est couramment effectuée dans les aliments pour volailles.

Les matières grasses ont des propriétés lubrifiantes recherchées sur le plan technique pour la fabrication des aliments composés. Elles permettent notamment de réduire le coût énergétique et l'usure du matériel et améliorent leur palatabilité (Drogoul et al., 2004).

La graisse possède un effet extra calorique qui réduit la vitesse du transit digestif de la ration, en améliorant ainsi l'absorption du reste des nutriments. De ce fait, l'apport d'énergie nette des rations avec un contenu de 5 % de matières grasses est supérieur à ce que l'on pourrait prévoir par la simple activité du contenu énergétique des ingrédients (Fernandez et Ruiz Matas, 2003 cité par Zitari, 2008).

D'après les résultats de la figure ci-dessous, l'aliment de finition témoin et le plus riche en matière grasse (9,06 %) suivi par l'aliment de finition expérimental (7,12 %). D'autre part on a eu des faibles teneurs en matière grasse dans l'aliment de démarrage, autant que l'aliment de croissance témoin et croissance expérimental.

La farine de caroube est l'aliment le plus pauvre en matière grasse à savoir 1,82 %.

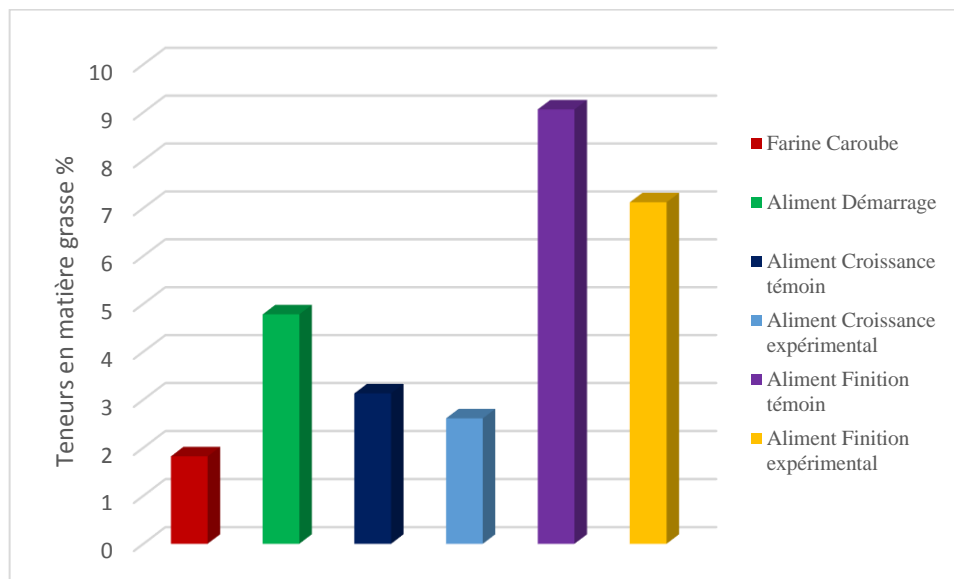


Figure 5 : Teneurs en matière grasse dans les aliments de poulet de chair (%)

La teneur de la matière grasse de la farine de caroube enregistrée dans notre étude est inférieure à celle trouvée par Bouhrem (2019). Cet auteur a comparé la teneur en matière grasse de la poudre de la pulpe de caroube avec celle de la graine et il a constaté que la graine comporte plus de matière grasse que la pulpe puisque la graine est l'organe de stockage de ce nutriment.

Le taux de la matière grasse de la farine de caroube évoqué dans la table de l'INRA CIRAD (2004) est inférieur à notre soit 0,6 à 0,7 %.

A l'exception des aliments de croissances témoin et expérimental, les teneurs en matière grasse dans l'aliment de démarrage et les aliments de finition témoin et expérimental s'accordent à celles de (Hubbard breeders).

En comparaison avec les données de cahier technique de (Poulet de Chair en AB), nous constatons que nos aliments couvrent les besoins en MG pour les aliments de démarrage et de croissances mais le taux de MG dans l'aliment de finition dépasse ces normes.

4.2.5 Teneurs cellulose brute

La détermination de la teneur en fibres est d'une importance particulière dans l'alimentation animale. La proportion de fibres a un grand impact sur l'assimilation des aliments et la santé animale. La cellulose est un polysaccharide constitué de longues chaînes non ramifiées de β 1,4-glucopyranose. La cellulose est difficilement hydrolysable par la cellulase lorsqu'elle est associée à la lignine. En effet, le niveau de cellulose dans une ration va d'une part tendre à abaisser la quantité d'énergie métabolisable et d'autre part va jouer sur la digestibilité de l'aliment ainsi que sur sa vitesse de transit dans le tube digestif (Thierry, 2005).

Les résultats des teneurs en cellulose brute illustrés dans la figure 6 révèlent que la farine de caroube présente une faible teneur en cellulose brute estimée à 3,78 %. Cette valeur est la plus élevée par rapport aux autres aliments composés.

L'aliment de finition expérimentale enregistre la teneur en cellulose brute la plus élevée par rapport aux aliments formulés ; ce qui est peut-être dû à l'ajout de la farine de caroube. Les aliments de croissance témoin et expérimental présentent des teneurs en cellulose brute très proches.

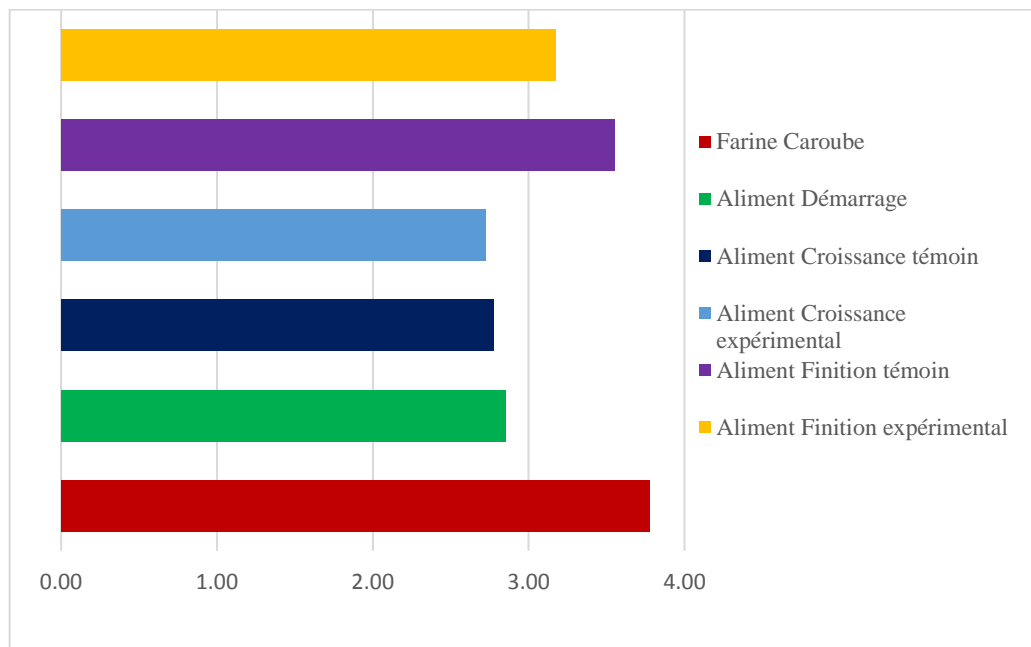


Figure 6 : Teneurs en cellulose brute dans les aliments de poulet de chair (%)

Les tables de l'INRA CIRAD, (2021) révèle que la farine de caroube contient 8,7 % de cellulose brute. Cette valeur est largement supérieure à la nôtre. Cette différence peut être expliquée par la différence de la variété de caroube ou la méthode d'analyse.

Selon Anselme, (1987) le pourcentage de cellulose brute recommandé dans l'alimentation de poulet de chair ne doit pas dépasser 5 %.

La cellulose brute qui a été analysée par la méthode de Weende renferme aussi la lignine, l'hémicellulose et des substances pectiques. Ces constituants pariétaux ne présentent aucun intérêt nutritionnel pour la volaille et leur présence élevée dans les aliments limite leur utilisation digestive. La cellulose est caractérisée par sa capacité d'adsorption qui, si elle est intéressante pour diminuer la cholestérolémie en agissant sur les acides biliaires, est un frein à l'utilisation des autres nutriments (Bron, 1993 citée par Ndiagne, 1996).

Nos aliments de démarrage, croissance et finition contiennent des teneurs en cellulose brute moins que le seuil précité par Anselme, (1987).

4.2.6 Teneurs en potassium

Les carcasses de volaille contiennent un taux plus élevé de potassium en comparaison avec les autres animaux, ce qui pourrait signifier des besoins plus grands (Salajan et al., 1981).

L'observation des résultats des teneurs en potassium dans la farine de caroube et dans les aliments formulés indiqués dans la figure 7 révèle que l'aliment de démarrage est le plus riche en potassium alors que l'aliment de finition expérimental et le plus pauvre en potassium ce qui est peut-être dû à l'incorporation de la farine de caroube dans l'aliment. La farine de caroube enregistre aussi une très faible teneur en potassium par rapport aux aliments formulés

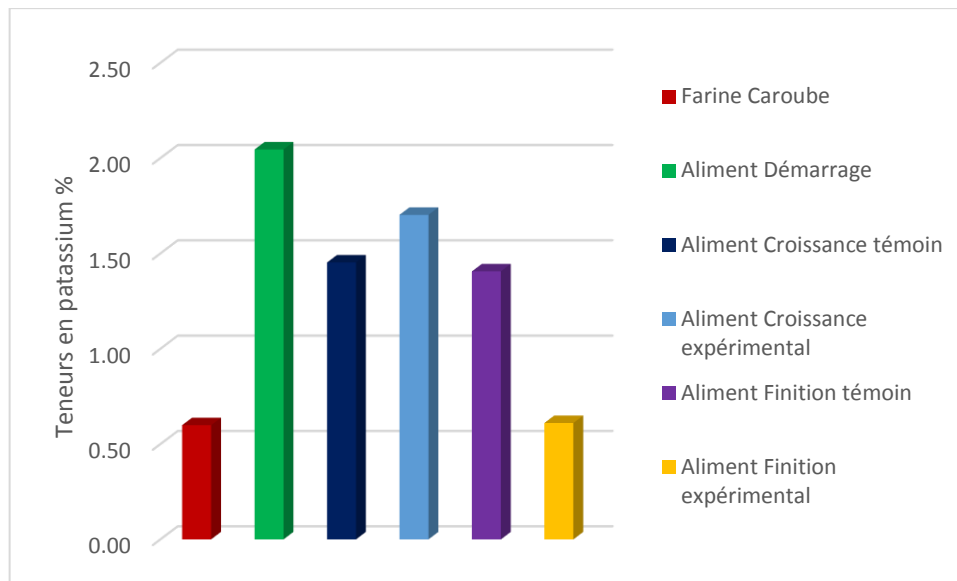


Figure 7 : Teneurs en potassium dans les aliments de poulet de chair (%).

Kamal et al. (2013) ont enregistré une teneur en potassium (0,86 %) dans la farine de caroube supérieure à la nôtre (0,60 %). Cette variation est peut-être causée par les facteurs pédoclimatiques, la variété ou la méthode d'analyse utilisée pour le dosage de potassium.

Les aliments de démarrage sont très riches en potassium par rapport à la teneur établie dans les documents techniques Hubbard (0,85-0,95 %) ainsi que les aliments de croissance expérimental et témoin contiennent des teneurs en potassium supérieures à celles de document susmentionné (0,80-0,90 %).

Salajan et al. (1981) a évoqué que le niveau optimal de potassium pour le poulet de chair est, en général, dans la période d'âge allant 30^{ème} jours jusqu'à l'abattage et de (0,88 %). Les teneurs en potassium élevées enregistrées dans nos aliments formulés sont, probablement, en relation avec la composition de complexe minéralo-vitaminique ajouté aux aliments.

Pour la teneur en potassium dans la farine de caroube, notre résultat est inclus dans l'intervalle mentionné dans le tableau d'INRA CIRAD (2004) à savoir 8,2 à 9,7 %.

4.2.7 Teneurs en calcium

En ce qui concerne les teneurs en calcium mentionnée dans la figure 8, nous constatons que les taux balancent entre 0,92 à 1,1 % pour les aliments formulés dont l'aliment de finition expérimentale exprime la teneur la plus élevée. La farine de caroube contient une teneur en calcium légèrement inférieure à celles des aliments formulés.

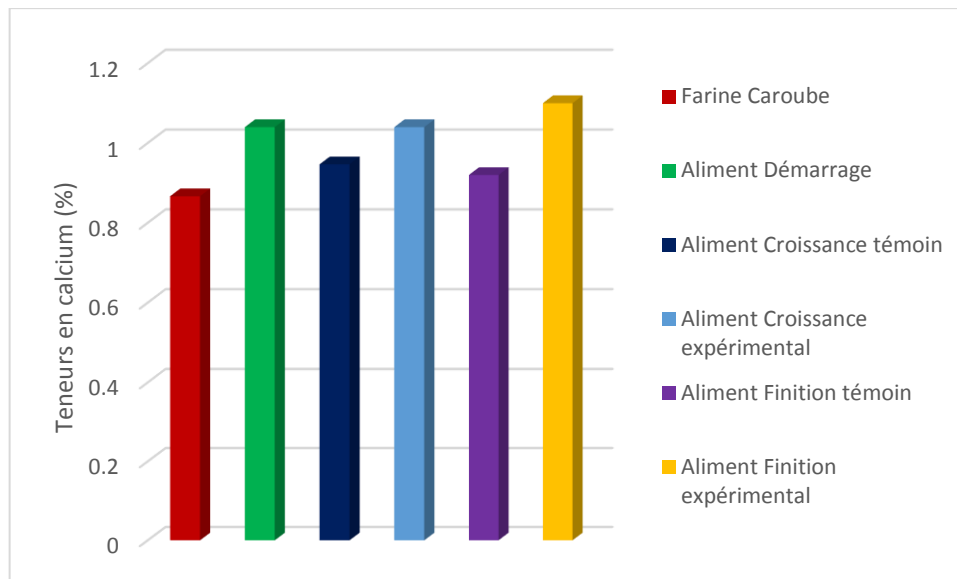


Figure 8 : Teneurs en calcium dans les aliments de poulet de chair (%)

Le calcium est le minéral le plus abondant dans l'organisme des volailles et se trouve pour 99 % dans le squelette il est important pour la minéralisation osseuse. Un déficit modéré en calcium n'affecte que les volailles en bas âge, tandis qu'un apport insuffisant en phosphore va se traduire par une anorexie, une baisse de la croissance, des troubles locomoteurs graves et même de la mortalité (Maxime, 2014).

Les taux de calcium illustrés dans la figure ci-dessus sont en adéquation avec les normes du guide d'élevage de Cobb 500, (2015) pour l'aliment de démarrage, les aliments de croissance expérimental et témoin mais légèrement supérieurs pour les aliments de finition témoin et expérimental.

Nos résultats s'accordent avec ceux d'Ouarest (2008) pour les aliments formulés. La teneur en calcium de la farine de caroube trouvée dans notre travail est incluse dans l'intervalle mentionné dans la table de l'INRA-CIRAD (2004) pour la même matière première (0,12-1,03 %).

4.2.8 Teneurs en phosphore

À propos des résultats tracés dans la figure 9, la plus grande teneur en phosphore est dans l'aliment de croissance expérimental suivie par l'aliment de croissance témoin et l'aliment de démarrage puis les aliments de finition témoin et expérimental respectivement. La farine de caroube enregistre une teneur en phosphore très faible par rapport aux aliments formulés.

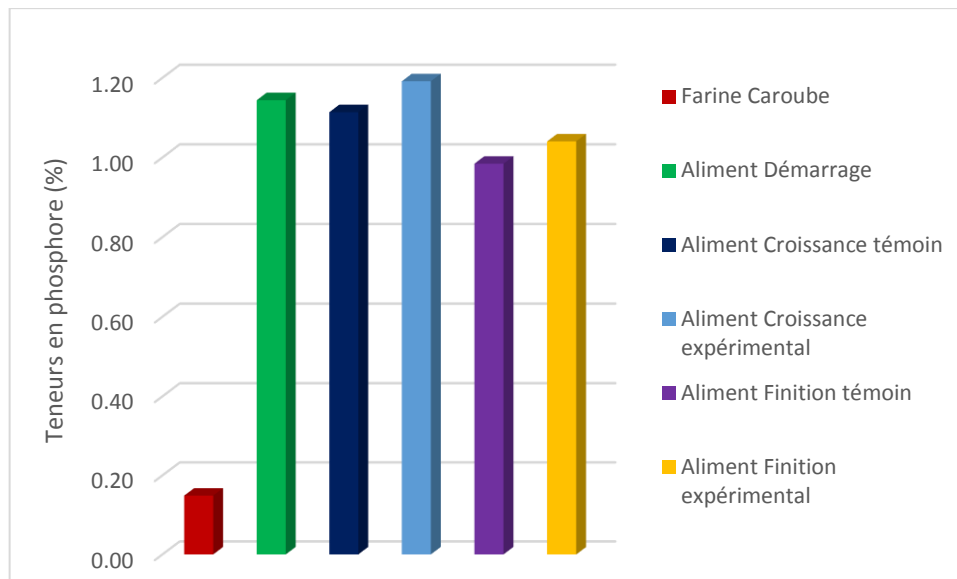


Figure 9 : Teneurs en phosphore dans les aliments de poulet de chair (%)

Nos résultats de phosphore total illustrés dans la figure 9 sont supérieurs aux recommandations du guide d'élevage de Cobb 500 (2015) puisque les teneurs de ces derniers concernent seulement le phosphore disponible au poulet de chair.

En ce qui concerne la teneur en phosphore dans la farine de caroube, elle est supérieure à celles évoquées dans la table de l'INRA-CIRAD (2004) à savoir un intervalle allant de 0,04 à 0,13 %.

Selon Serge et Ciewe, (2006), les recommandations pour le phosphore disponible chez le poulet de chair sont de 0,40 à 0,50 %.

Le phosphore alimentaire peut être d'origine végétale ou d'origine minérale. Dans les végétaux, 45 à 85 % du phosphore est stocké sous forme phytique (Tran et Skiba, 2005). Une des difficultés rencontrées dans la recherche sur les besoins en phosphore est l'utilisation de plusieurs paramètres comme le phosphore disponible (P disp) et le phosphore digestible (P dig). La conversion de l'un à l'autre est compliquée. Le phosphore digestible est une valeur mesurée, obtenue par différence entre le phosphore ingéré et le phosphore excrété alors que le phosphore disponible est exprimé relativement à un phosphate de référence considéré comme 100 % disponible. Le phosphate de référence peut être le phosphate monosodique (MSP), le phosphate monocalcique (MCP) ou le phosphate bicalcique (DCP) (Maxime, 2014).

Le besoin en phosphore des poulets de chair correspond à l'apport de phosphore permettant de maximiser les performances zootechniques et la minéralisation osseuse le phosphore est présent dans les os, les membranes cellulaires et 80 % dans le squelette (Narcy et al., 2009).

Une carence phosphorée provoque une perte d'appétit influant sur les performances et les fonctions de reproduction des animaux ainsi qu'une détérioration de la minéralisation osseuse conduisant à des troubles locomoteurs et des risques de fractures.

4.10 Teneurs en polyphénols et en tanins et activité antioxydante de la farine de caroube

Les composés phénoliques ou les polyphénols (PP) constituent une famille de molécules très largement répandues dans le règne végétal. Ce qui signifie qu'ils n'exercent pas de fonctions directes au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, comme la croissance, ou la reproduction (Fleuriet, 1982 ; Yusuf, 2006 citées par Bendjamaa et Krabsi, 2018).

Ces molécules sont généralement conjuguées aux sucres et aux acides organiques. Les phénols sont surtout des antiseptiques et des antalgiques (Wichtl et Anton, 2003), les acides phénoliques comme l'acide rosmarinique sont fortement antioxydant et anti-inflammatoire et peuvent avoir des propriétés antivirales (Nowitez et Bottet, 2000 citée par Dahli, 2019).

Les tanins sont des molécules fortement hydroxylées et peuvent former des complexes insolubles lorsqu'ils sont associés aux glucides, aux protéines et aux enzymes digestives, réduisant ainsi la digestibilité des aliments. Ils peuvent être liés à la cellulose et aux nombreux éléments minéraux. On distingue : les tanins hydrolysables et condensés (François, 2010).

Les antioxydants constituent une famille de substances susceptibles de neutraliser les radicaux libres et prévenir ainsi la survenue des maladies associées au stress oxydant. Parmi les antioxydants naturels les plus connus, nous pouvons citer l'α-tocophérol (vitamine E), l'acide ascorbique (vitamine C) et les composés phénoliques (Kulawik et al., 2013).

Le tableau 15 présente les teneurs en polyphénols totaux et en tanins de la poudre de caroube ainsi que son activité antioxydante.

Tableau 15 : Teneurs en polyphénols et en tanins et activité antioxydante de la farine de caroube

Paramètres	Polyphénols mg/g	Tanins mg/g	IC50 mg/ml
Farine de caroube	29,37±1,21	1,44±0,05	6,82±0,16

Les résultats représentent la moyenne de trois répétitions ± SEM

IC50 : concentration de l'extrait qui inhibe 50 % du DPPH

La teneur en polyphénols dans la farine de caroube enregistrée dans notre étude est inférieure à celle enregistrée par Nadezhda et al. (2017) soit 8,11 % et par Salih et Jilel (2020) à savoir 11,3 %. En revanche, notre résultat est incluse dans l'intervalle (2,50 à 6,45 %) citée par Dallali et al. (2018).

Ces variations seront probablement dues à de nombreux facteurs notamment les facteurs climatiques et environnementaux (température, altitude, ensoleillement et précipitation), la zone géographique, la sécheresse et les maladies, la période de collecte des échantillons et le stade de développement de la plante ainsi que la variété étudiée.

Notre résultat de tanins est largement inférieur aux résultats d'Ali et al. (1999) qui ont enregistré une teneur de 3,15 %. Cette différence est due aux variétés de caroubier, les méthodes d'analyse ou bien la provenance géographique.

4.11 Analyses microbiologiques des intestins du poulet de chair

Chez le poulet, les sites principaux d'activité bactérienne sont le jabot, les caeca et, dans une moindre mesure, l'intestin grêle (Gabriel et al., 2005).

4.11.1 Dénombrement des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des bactéries à Gram-positif qui regroupent 12 genres bactériens, dans le tube digestif de poulet on trouve surtout les lactobacillus, streptococcus, lactococcus.... Ces bactéries peuvent avoir des formes de bâtonnet ou de coque, sont immobiles et ne sporulent pas elles ont également un métabolisme aérobie facultatif et ne produisent pas de catalase. Les bactéries lactiques ont en commun la capacité de fermenter les sucres en acide lactique (Behira, 2012). Parmi les grandes fonctions du microbiote et sa capacité à convertir

une grande variété des substrats (incluant glucide, protéine et lipides) en substance nutritive (Ben Abdallah, 2010).

La présence des bactéries lactiques à une importance bénéfique pour la santé gastro-intestinale, en raison de sa structure rugueuse donc Peut améliorer la digestibilité et la performance des nutriments.

Un système intestinal sain chez les poulets de chair est important pour assurer une croissance optimale et une mortalité plus faible pourrait améliorer les performances et avoir un effet positif sur la digestibilité des nutriments.

En ce qui concerne le nombre total de bactérie lactiques dans les intestins de poulet de chair mentionnée dans la figure 10, on remarque qu'il y a plus de bactéries lactiques dans les intestins des poules issues du lot expérimental que dans ceux des poules issues du lot témoin.

Le nombre de streptocoques dans les intestins des poules du lot témoin est largement supérieur à celui des poules du lot expérimental. En revanche, nous avons enregistré un nombre beaucoup plus supérieur de lactobacilles dans les intestins des poules du lot expérimental que dans ceux des poules du lot témoin.

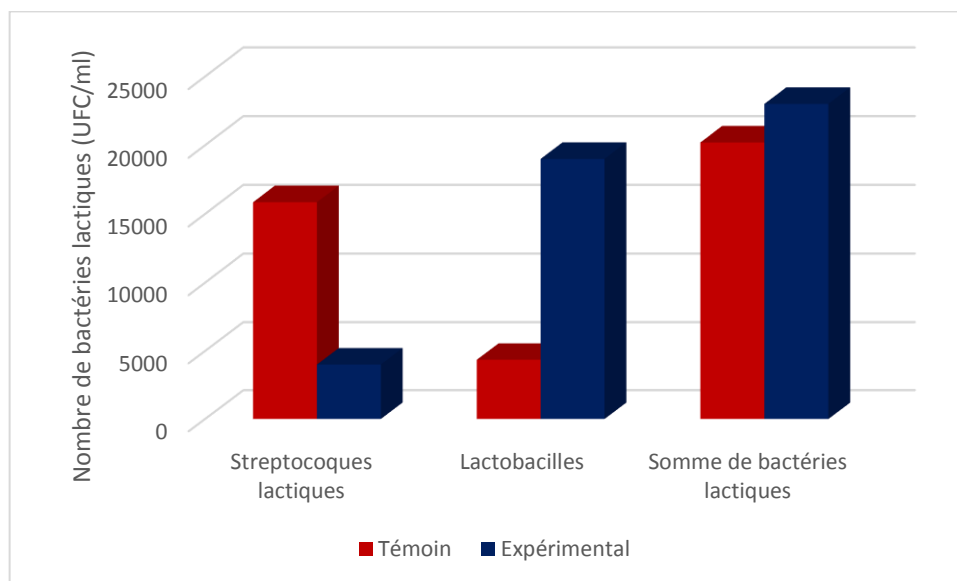


Figure 10 : Nombre de bactérie lactiques dans les intestins de poulet de chair (UFC/ml)

Les nombres des streptocoques et des lactobacilles enregistrés dans notre étude sont inférieurs à ceux évoqués par Gabriel et al. (2005) dans les différents segments de l'intestin et de caeca de poulet de chair (4 à 6,7 \log_{10} UFC/g et 8 à 8,7 \log_{10} UFC/g de streptocoques et de lactobacilles respectivement).

Les bactéries produisent des vitamines B, K et E et différentes substances antimicrobiennes. Certaines bactéries, comme les lactobacilles, produisent des substances antimicrobiennes appelées bactériocines qui ont un large spectre d'activité. Ainsi la réutérine secrétée par *L. reuteri* est efficace contre les salmonelles, les coliformes et les campylobacters (Gabriel et al., 2005).

4.11.2 Dénombrement des coliformes totaux

Les coliformes s'agissent d'un groupe de bactéries regroupant une série de caractéristiques en commun. Ils appartiennent tous à la famille des Enterobacteriaceae et font généralement partie de la flore bactérienne normale du tube digestif de certains animaux.

Le groupe des coliformes totaux comprend des bactéries aérobies ou anaérobies facultatives, Gram négatives, asporulées, en forme de bâtonnets, motiles ou non, oxydase négatives et qui réduisent les nitrates en nitrites en conditions anaérobies. Ces bactéries ont un métabolisme de type respiratoire et fermentaire. Ce qui les caractérise c'est leur capacité de fermenter préférentiellement le lactose pour produire de l'acide et du CO₂ (Geneviève et al., 2019).

Des résultats de la figure 11 représentant le nombre de coliformes totaux dans les intestins de poulet de chair, il apparaît que le nombre des coliformes totaux dans les intestins des poules du lot témoin est plus supérieur que celui des intestins des poules du lot expérimental.

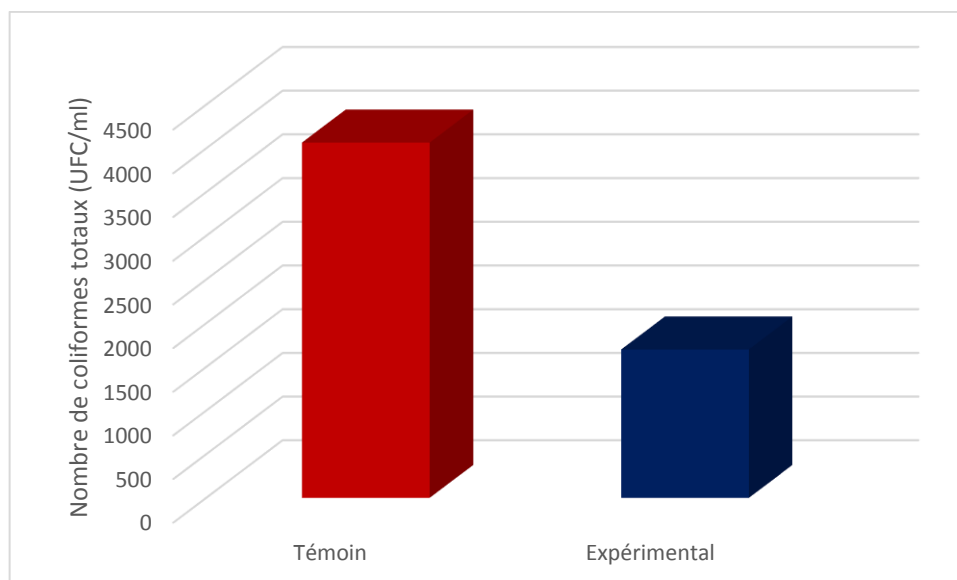


Figure 11 : Nombre de coliformes totaux dans les intestins de poulet de chair (UFC/ml)

Nos résultats de coliformes totaux dans les intestins du poulet témoin et expérimental sont en concordance avec ceux évoqués par Gabriel et al. (2003) à savoir 2 à 5,6 log₁₀ UFC/g.

Conclusion

L'étude réalisée avait pour objectif la formulation des aliments qui couvrent les besoins de poulet de chair en incorporant une ressource alimentaire locale qui est la farine de la pulpe de caroube ainsi que la détermination de l'impact de cette alimentation sur la flore digestive du poulet.

Dans la première partie de ce travail, nous avons entrepris un essai de calcul des formules alimentaires qui couvrent les besoins alimentaires du poulet de chair de souche Cobb 500 dans les trois phases de croissances puis nous avons déterminé la valeur alimentaire de ces aliments et de la farine de caroube. Dans la deuxième partie, nous avons déterminé l'impact des aliments formulés sur la microflore digestive du poulet.

Nos résultats montrent que, la farine de caroube comporte des faibles teneurs en matière grasse 1,82 %, en cellulose brute 3,78 % et en protéines 6,75%. Cette farine est une source de minéraux telle que le phosphore 0,15 %, le potassium 0,60 % et le calcium 0,58 %. En effet, la farine de la caroube est riche en polyphénol totaux 29,37 mg/g avec une activité antioxydante importante soit 6,82 mg/ml.

En comparant la valeur alimentaire des aliments formulés avec les recommandations de la Cobb 500 nous constatons que dans l'ensemble, les aliments formulés couvrent les besoins alimentaires de cette souche dans les trois phases de croissance bien qu'un déficit est observé dans les aliments expérimentaux par rapport aux aliments témoins.

L'aliment expérimental a un impact positif sur les bactéries lactiques bénéfiques de tube digestif du poulet.

Références bibliographiques

1. About H., Boutrab S Et Khanouf A. 2013. Analyse Physico-Chimique De L'alimentation De Poulet De Chair. Ingenieur d'Etat En Biologie. Microbiologie Et Science Alimentaire. Université De Jijel. 43p
2. Aïmene H. 2015. Caractéristiques Des Additifs Alimentaires Utilisés En Alimentation Animale En Algérie (Régions De L'Est). Mémoire De Master. Nutrition Animale Et Produits Animaux. 46p.
3. Ali K., Yousif H.M. Et Alghzawi. Processing And Characterization Of Carob Powder. Food Chemistry. 69 (2000). 283-287p
4. Alloui N. 2013. Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie. LRESPA, Service des Sciences Avicoles, Département Vétérinaire, Université Hadj Lakhdar de Batna, Algérie.
5. Anonyme 1. <https://www.terresunivie.fr/produitsdebouches/alimentation-animale/proteagineux>
6. Anonyme 2. <https://www.terresunivie.fr/produitsdebouches/alimentation-animale/graines-oleagineuses>
7. Anonyme 3. <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2224-feverole.html>
8. Anonyme 4. <https://www.terresunivie.fr/produitsdebouches/alimentation-animale/proteagineux>
9. Anonyme 5. <https://www.terresunivie.fr/produitsdebouches/alimentation-animale/graines-oleagineuses>
10. Anonyme 06. <https://www.hse-optimisation.fr/single-post/dreches-de-brasseries-coproduct-aux-utilisations-multiples>
11. Anonyme 07. <https://www.semencesdefrance.com/dossier/les-germes-de-mais-des-coproducts-qui-peuvent-etre-valorises/>
12. Anonyme 08. <https://www.aquaportail.com/definition-6983-aliment-complet.html>
13. Anonyme 09. (www.hubbardbreeders.com).
14. Arbor Acres. 2018. Guide D'élevage Du Poulet De Chair. Aviagen. États-Unis. 161p.
15. Audfray J., Audoin A., Calvarc., Coïsmann – Molica M., Conan S., Delarue S., Dupont A., Joly A., Lacocquerie M., Lannuzel P., Nézet B., Pailler I. et Perche S. Le Triticale En Agriculture Biologique. Roger Des Chambres D'agriculture De Bretagne. 2012. 4 p.
16. Ba K., Tine E., Destain J., Cisse N. And Thonart P. Étude Comparative Des Composés Phénoliques, Du Pouvoir Antioxydant De Différentes Variétés De Sorgho Sénégalais Et Des Enzymes Amylolytiques De Leur Malt, Biotechnol. Agron. Soc. Environ. V. 14, (2010), 131-139 p.
17. Beghoul S. 2015. Effets De L'utilisation Des Céréales Et Des Protéagineux Autres Que Le Maïs Et Le Soja Dans L'alimentation Du Poulet De Chair. Thèse De Doctorat. Pathologies Aviaires Et Aviculture. Université Des Frères Mentouri. 177p.
18. Behira B. 2012. Contribution A L'étude Des Espèces De Lactobacilles A Caractère Probiotique Isolée De La Poulet Domestique (*Gallus Gallus Domesticus*) De L'Ouest Algérien. Thèse De Doctorat. Université d'Oran. 93p

19. Ben Abdallah N. 2010. Isolement Et Caractérisation De Bactérie A Fort Potentiel Probiotique A Partir Du Tractus Gastrointestinal De Volaille. Thèse Pour L'obtention Du Grade De Maître Es Sciences. Université Laval Québec. 89p
20. Benabdeljelil K. Valorisation Des Orges En Aviculture. Transfert De Technologie En Agricultur. 55.1(999). 4p.
21. Benamirouche K. 2012. Étude De L'effet Du Probiotique *Pediococcus Acidilactici* (Ma18/5m) Seul Et En Association Avec Un Extrait De La Plante *Yucca Schidigera* (*Yuquina Xo*) En Elevage De Poulet De Chair. Mémoire De Magister En Nutrition Et Transformation Des Aliments. Université Saad Dahlab-Blida. 188p.
22. Bendjamaa I. Et Krabsi M.E.A. 2019. Contribution A L'étude De L'activité Antioxydante, Antimicrobienne Et Anti-Enzymatique Des Extraits Foliaires De L'espèce : *Eucalyptus Globulus Labill*. Memoire De Master. Université Des Frères Mentouri Constantine. 61p.
23. Berradj N. et et Boucher C. 2016. Utilisation Des Co-Produits Oléagineux dans L'alimentation Cunicole : Formulation A Partir Des Résultats de Recherches. Mémoire De Master. Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 67p
24. Blain J.C. 2002. Introduction A La Nutrition Des Animaux Domestiques. EM Inter : Edition Medicals International. Edition Tec Et Doc. Pp 32(4)-35(2)- 97(3)- 99(3). 424p.
25. Bludgen A et Collaborateurs, 1996. Aviculture semi industrielle en climat subtropical, guide pratique, les presses agronomiques de Gembloux : 45-46, 47-48 p.
26. Boizot N. Et Charpentier J.P. Méthode Rapide D'évaluation Du Contenu En Composés Phénoliques Des Organes D'un Arbre Forestier, Le Cahier Des Techniques De l'Inra, (Numéro Spécial). (2006). 79-82 p.
27. Boudouma D. 2008. Valorisation du son de blé dans l'alimentation des volailles. Thèse de doctorat. Sciences Agronomiques. ENSA. 172p
28. Bouharem I. 2013. Le Caroubier : Valorisation Et Utilisation Industrielle. Mémoire De Master. Biotechnologie Alimentaire. Université D'Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. 50p.
29. Bouharem I. 2019. Le caroubier : Valorisation et utilisation industrielle. Thèse de Master. Biotechnologie Alimentaire. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem. 93p.
30. Boussekra K. Et Bouhedou Y. 2020. Analyses Physico-Chimiques De L'aliment De Poulet De Chair : Conformité Aux Normes. Mémoire De Master. Université De Bejaïa. 50 p.
31. Boulanouar T. 2020. Production et consommation de la viande blanche : L'Algérie loin des normes. <http://www.elmoudjahid.com/fr/actualites/147007>.
32. Bouvarel I., Lessire M., Narcya., Duval E., Grasteau S., Quinsac A., Peyronnet C., Tran G Et Heuze V. Des Sources De Protéines Locales Pour L'alimentation Des Volailles : Quelles Voies De Progrès ? Ocl - Oilseeds And Fats, Crops And Lipid. 2014. 21 (4).1-6.
33. Brah N., Houndonougbo F. M., Issa S. Et Chrysostomen C. A. A. M. Tableur Ouest Africain De Formulation d'Aliments De Volailles (TOAFA –Volaille). Int. J. Biol. Chem. Sci. 2019. 13 (3) : 1308-1320 p.
34. Brévault N., Mansuy., Crépon K., Bouvarel I., Lessire M, Et Rouillère H. Utilisation De Differentes Varietes De Feverole Pour L'alimentation Du Poulet Biologique. Cinquièmes Journées De La Recherche Avicole, Tours, 26 Et 27 Mars 2003. 4p.
35. Centre Technique Interprofessionnel Des Oléagineux Métropolitains (France). Cetiom. 2005. 36p.

36. Charles B. Et Vilariño M. Les Atouts Du Triticale en Alimentation Animale Perspectives Agricoles. 306. (2004). 19p.
37. Cobb 500. 2015. Guide Performances Et Recommandations Nutritionnelles. France. 10 p.
38. Dahli K. 2019. Action Combinée D'un Herbicide Et De La Salinité Sur L'augmentation Du Gombo. Thèse De Doctorat. Université d'Oran. 87 p.
39. Djamel B. Valorisation De L'orge Et Des Triticales En Alimentation de Volaille. Collection Brochures Agronomiques. 2016 .16 p.
40. Dusart L., Gaudré D., Laisse-Redoux S., Garcia-Launay Fet Morin L. 2016. ECOALIM – Protocole De Formulation Des Aliments Du Bétail Avec Prise En Compte De Critères Environnementaux. INRA. 46p.
41. Émile JC., C Huyghe Et Huguet L. Utilisation Du Lupin Blanc Doux Pour L'alimentation Des Ruminants : Résultats Et Perspectives. Ann Zootech. 1991. 40. 31. 44 p.
42. FAO Manuel. 2013. Bonnes Pratiques Pour L'industrie De L'alimentation Animale. FAO Et IFIF. 120 p.
43. FAO. 1990. Manuels Sur Le Contrôle De La Qualité Des Produits Alimentaires. Training In Mycotoxins Analysis. F.A.O Rome. 148p.
44. FAO. 2018. Technique D'alimentation Des Lapins. Centre Cunicole De Recherche Et d'Informations (CECURI) De l'Université d'Abomey-Calavi Organisation Des Nations Unies Pour l'Alimentation Et l'Agriculture (FAO).8p.
45. FAO. 2021. <http://www.fao.org/faostat/fr/>
46. Favier JC. Valeur Nutritive Et Comportement Des Céréales Au Cours De Leurs Transformations. 1989. 286-297p
47. Fédéral Suisse. Ordonnance Sur La Production Et La Mise En Circulation Des Aliments Pour Animaux (Ordonnance Sur Les Aliments Pour Animaux). Le Conseil Fédéral Suisse. 2005. 15p.
48. Fernandez E.V Et Ruiz Matas J.J. 2003. Technicien En Elevage. Tome1. Ed : CULTURAL, S.A. Espagne. 242p.
49. François Nsemi Muanda. 2010. Identification De Polyphénols, Evaluation De Leur Activité Antioxydante Et Etude De Leurs Propriétés Biologiques. Thèse De Doctorat. Ecole Doctorale SESAMES. 160p.
50. Fu L., Xu B.T., Xu X.R., Gan R.Y., Zhang Y., Xia E.Q. And Li H.B. Antioxidant Capacities And Total Phenolic Contents Of 62 Fruits, Food Chemistry. 129. (2011). 345-350 p.
51. Geneviève C., Mapa F., Goulet-Grondin., Maude Michaud D. Et Julie Samson. 2019. Lignes Directrices Et Normes Pour L'interprétation Des Résultats Analytiques En Microbiologie Alimentaire. 4eme Edition. Bibliothèque Nationale Du Québec. Canada. 57p.
52. Ghennai A., Zérafa C. et Benlaribi M. Étude De La Diversité Génétique De Quelques Variétés De Blé Tendre (*Triticum Aestivum L.*) Et De Blé Dur (*Triticum Durum Desf.*) Selon La Base Des Caractères De L'u.P.O.V. Journal Of Applied Biosciences. 113. (2017). 11246-11256.
53. Hannachi-Rabia R., Kadi Sa., Bannelier C., Berchiche M. Et Gidenne T. La Graine De Fève Sèche (*Vicia Faba Major L*) En Alimentation Cunicole : Effets Sur Les Performances De Croissance Et D'abattage. Livestock Research For Rural Development. 29 (3). (2017). 10p.

54. Harry A Et Gary G. 2008. Guide D'utilisation De La Canne A Sucre Et De Ses Coproduits En Alimentation Animale .Cannebis. Europe. 78p.
55. Hervé J., Mathilde B., Léonie D., Fabrice M., Sophie P., Christel N., Anne U., Julie C., Célia B., Antoine R. 2015. Alimentation Des Volailles En Agriculture Biologique. La France. 68p.
56. Hourez P. Utilisations Des Protéagineux Dans L'alimentation Des Bovins Viande. Chambre Régionale D'agriculture De Midi-Pyrénées. 2002. 10 P.
57. <https://Feedtables.Com/Fr>
58. Hubbard Breeders. 2005. Guide D'élevage Poulet De Chair. États-Unis. 64p
59. Hubbard. 2007. Poulet De Chair Manuel d'Élevage Croissance Rapide. 12p.
60. Kirsten P. Et Jørn G., Alkaloids In Edible Lupin Seeds - A Toxicological Review And Recommandations. Copenhague, Temanord - Nordic Council Of Ministers. 2008. 71p.
61. Kocoun K. 2012. Effets du sorgho grain entier et broyé en alimentation séquentielle et mélangée chez le poulet de chair au Sénégal. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 109p.
62. Koh P.H., Mokhtar R.A. And Iqbal M., Antioxidant Potential Of *Cymbopogon Citrates* Extract: Alleviation Of Carbon Tetrachloride-Induced Hepatic Oxidative Stress And Toxicity, Human And Experimental Toxicology, V. 31, N° 1, (2012), 81-91.
63. Lacassagn L. Alimentation Des Volailles : Substituts Au Tourteau De Soja. 1988. Inra Prod. Anim., 1 (1), 47-57.
64. Lapiere O. Système Des Acteurs Et Stratégie De Formulation. OCL. 12 (3). 2005. 217-223.
65. Larbier M Et Leclercq B. 1992. Nutrition Et Alimentation Des Volailles. Ed : INRA. Paris. 355p.
66. Leclerc M. 2017. Tout Savoir Sur Les Tourteaux De Tournesol. Institut De l'Élevage. France. 32-33p
67. Leclercq B., Lessire M., Guy G., Hallouis J M Et Conan L. Utilisation De La Graine De Colza En Aviculture. Revue Bibliographique Et Résultats De Deux Essai. Inra Prod Anim. 2 (2). (1989). 129-136p.
68. Lessire M., Leclercq B Et Conan L. Variabilité De La Valeur Energétique De La Graine De Soja Traitée Pour Les Volailles. Revue Bibliographique Et Résultats De Trois Essai. Inra Prod Anim. 1 (4). (1988). 265-270p.
69. M. Kamal E. Youssef, Moshera M. El-Manfaloty, Hend M. Ali. Assessment Of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition And Phenolic Compounds Of Carob (*Ceratonia Siliqua* L.). Food And Public Health. 3(6). (2013). 304-308 p.
70. Mahmoudi S. 2018. Etude Phyto-Chimique Et Caractérisation Techno-Biologique De Quelques Variétés De Figues Algériennes (*Ficus Carica* L.). Thèse De Doctorat En Sciences Agronomiques. Université Saad Dahlab De Blida. 185p.
71. Mahmoudi S. Polycopié Formulation Et Technologie De Fabrication Des Aliments. Licence Production Animale. Université De M'sila. 42p.
72. Mahmoudi S., Khali M., Benkhaled A., Boucetta I., Dahmani Y., Attallah Z. And Belbraouet S. Fresh Figs (*Ficus Carica* L.): Pomological Characteristics, Nutritional Value, And Phytochemical Properties. Eur. J. Hortic. Sci. 83(2). (2018). 104–113p.

73. Maisonneuve Et Larose.1992. [Http://Www.Nzdl.Org/Cgi-Bin/Library?E=D-00000-00---Off-0unesco--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-En-50---20-About---00-0-1-00-0--4---0-0-11-10-0utfzz-800&A=D&Cl=CL2.1&D=HASH58a992c05750659cd1d008.7.9](http://Www.Nzdl.Org/Cgi-Bin/Library?E=D-00000-00---Off-0unesco--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-En-50---20-About---00-0-1-00-0--4---0-0-11-10-0utfzz-800&A=D&Cl=CL2.1&D=HASH58a992c05750659cd1d008.7.9)
74. Malumba Kamba P. 1999. Une Approche Programmatique Dans La Formulation Des Aliments Complets Pour Volaille. Mémoire d'Ingénieur Agronome. Agronomie Générale. Université De Kinshasa. 72p
75. Manuel Gestion. 2010. Guide D'élevage Du Poulet De Chair. Aviagen. États-Unis. 110 P
76. Manuel R. 2006. Une Approche Exacte De Résolution De Problèmes De Pooling Appliquée A La Fabrication D'aliments. THÈSE Doctorat. UNIVERSITÉ DE GRENOBLE. 99 P.
77. Maxime L. Forme D'apport Du Phosphore, Performances Et Minéralisation Osseuse Chez Le Poulet De Chair. Sciences Agricoles. 2014. Ffdumas-01083882f
78. Mebirouk-Boudechiche L., Makhlouf M., Chaker-Houd K Et Boukhris R. Effet De Différents Niveaux D'incorporation De La Fève Dans Les Rations Alimentaires Sur Les Performances Zootechniques Et Rendement En Carcasse Des Poulets De Chair. Arch. Zootec. 68 (261). (2019). 60-65p.
79. Merck, 2003. In : Le Manuel Vétérinaire Merck 2eme Edition Française Edition : Susan E Aiello B. S, D.V. MELS 1983-2013
80. Meziane F.Z., Longo-Hammouda F.H., Boudouma D. et Kaci A. Quelles alternatives au couple « tourteau de soja - maïs » de l'aliment poulet de chair en Algérie ? (2013). Colloque international sur : l'école nationale supérieure agronomique : 50 ans de formation et de recherche.
81. Nadezhda P., Ivanka P., Ivan I., Rumen M., Raina H., Manol O., Et Vania N. Nutritional And Antioxidant Potential Of Carob (*Ceratonia Siliqua*) Flour And Evaluation Of Functional Properties Of Its Polysaccharide Fraction. /J. Pharm. Sci. & Res. 9(10). (2017). 2189-2195p.
82. Narcy A., Létourneau-Montminy M.P., Magnin M., Nys Y And Jondreville C., 2009. Voies Nutritionnelles D'économie De Phosphore Chez Le Poulet., Journées De La Recherche Avicole 8: 102-109.
83. Ndiagne N. 1996. Etude de la qualité nutritionnelle des aliments de volaille vendus au Sénégal et de l'effet de : leur supplémentation en lysine, en méthionine 1 et en lipides sur les performances zootechniques du poulet de chair. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop – Dakar. 81p
84. Ngom S. 2004. Ébauche d'un référentiel sur la composition chimique et valeur nutritive des matières premières utilisables en alimentation des volailles au Sénégal. Doctorat de troisième cycle de chimie et biochimie des produits naturels. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
85. Odienne C., Jacquaroud M et Rouillé B. Les Graines De Tournesol Dans La Ration Des Ruminants. Collections Fiche Technique. Institut De L'élevage. 2016. 1-3p
86. Okandza Y., Mopoundza P., Dimi Ngatse S., Halbouche M Et Akouango P. Influence De La Substitution Graduelle De Tourteau De Soja Par La Féverole Sur La Croissance Et La Conformation De La Carcasse Chez Les Poulets De Chair. Journal Of Applied Biosciences. 110. (2017). 10714-10720 P.

87. Ouarest A. 2008. Le Soja Dans L'alimentation Du Poulet De Chair Aspects Qualitatif Et Quantitatif. Mémoire De Magister En Aviculture Et Pathologie Aviaire. Université Mentouri De Constantine. 98p
88. Patrick C., Benoît R., Daniel S Et Bénédicte R. Les Coproduits De L'industrie Agro-Alimentaire : Des Ressources Alimentaires De Qualité A Ne Pas Néglige. Inra Prod. Anim. 31 (3). (2018). 201-220.
89. Peyronnet C., Pressenda F., Quinsac A Et Carree P. Impact Du Decorticage Du Tournesol Sur La Valeur Nutritionnelle Et L'interet Economique Des Tourteaux En Fabrication D'aliments Composés. Ocl - Oilseeds And Fats, Crops And Lipid. 19 (6). (2012). 341-346.
90. Prolea Citiom. 2003. Le Tourteaux de Tournesol : de protéines de qualités et fibres. France. 4p.
91. Salajan G., Popa O., Ludmila M. Et Dankanits V. Le Potassium Administré Comme Supplément Et Biostimulateur Dans L'alimentation De La Volaille I. Influence Du Potassium Sur Le Développement Des Poulets De Chair. Ann. Zootech. 30(1). (1981). 87-95
92. Salhi G et Jilal A : Utilisation alimentaire de la pulpe de caroube : Formulation et test consommateur. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 8(2). (2020). 249-252.
93. Sauvant D. 2005. Principes Généraux De L'alimentation Animale. Institut National Agronomique Paris-Grignon. Département Des Sciences Animales. 147p.
94. Tabti A. 2014. Le Soja Dans L'alimentation De Poulet De Chair. Mémoire Master. Amélioration De La Production Végétal. Université Abou-Bakr-Belkaid. 65p.
95. Thierry D. 2005. Contribution A L'étude De La Qualité -Nutritionnelle Des Aliments Et Matières Premières Utilises En Aviculture Dans La Zone Péri-Urbaine De Dakar. Mémoire De Diplôme D'études Approfondies. Université Cheikh Anta Diop – Dakar. 30 P
96. Uzu G. Utilisation Du Lupin (*Lupinus Albus* L.) Chez Le Poulet De Chair Pendant La Période De Finition. Ann Zootech. 31 (4). (1982). 471- 480p.
97. Valbiom. 2005. La Qualité Nutritive Du Tourteau De Colza. Belgique. 5p
98. Vilariño M., Metayer J-P. Et Skiba F. 2011. Effet De La Finesse De Mouture Du Sorgho Grain Sur Sa Valeur Nutritionnelle Chez Les Volailles. Neuvièmes Journées De La Recherche Avicole, Tours, 29 Et 30 Mars 2011.
99. Vilariño M., Skiba F., Metayer J-P., Et Gaüzere J.M. Valeur Nutritionnelle Du Triticale En Comparaison Au Blé Et Performances De Croissance En Conditions D'élevage Chez Le Poulet De Chair. Sixièmes Journées De La Recherche Avicole, St Malo, 30 Et 31 mars 2005.
100. Wilfart A., Dusart L., Méda B., Gac A., Espagnol S., Morin L., Dronne Y Et Garcia-Launay F. Réduire Les Impacts Environnementaux Des Aliments Pour Les Animaux D'élevage. INRA Prod. Anim. 31(3). (2018). 289-306.
101. Youshida S., Forno D., Cock J. And Gomez K. Laboratory Manual For Physiological Studies Of Rice. The International Rice Research Institute. Philippines. (1976), 82p.
102. Zitari S. 2008. Etude Des Valeurs Nutritives De Certaines Ressources Alimentaires Locales Utilisées Dans L'alimentation Des Animaux. Mémoire De Master. Université De Sousse.

Annexe 1

Tableaux : Appareils et réactifs utilisés

Les appareils	La marque
1. La haute	Kotterman
2. L'étuve	NUVE MEMMERT
3. L'agitateur magnétique	STUART
4. Bain marie	MEMMEERT
5. Balance de précision	O.HAUS KERN (ABJ)
6. Four a moufle	CARBOLITE
7. Rota vapeur	BÜCHL
8. Appareil de Kjeldahl	BEHROTEST
9. Appareil de Soxhlet	HEATING MANTLE
10. Spectrophotomètre UV-visible	SHIMADZU
11. Spectrophotomètre de flamme	JENWAY
12. Dessiccateur	/
13. Vortex	FISHER SCIENTIFIC
14. Incubateur	NNUVE
15. Centrifugeuse	NF 400 NNUVE

Les réactifs	La marque
1. Ether de pétrole	1. SIGMA-ALDRICH
2. Acide sulfurique	2. HONEYWELL
3. Hydroxyde de sodium	3. SIGMA-ALDRICH
4. chloride de sodium	4. VWR CHEMICALS
5. Acide nitrique	5. PANRAC
6. Acide borique	6. SIGMA-ALDRICH
7. Méthanol	7. BIOCHEM CHEMOPHARMA
8. Ethanol	8. VWR CHEMICALS
9. Chloride d'ammonium	9. BIOCHEM CHEMOPHARMA
10. Chloride de calcium	10. VWR CHEMICALS
11. E.D.T.A	11. BIOCHEM CHEMOPHARMA
12. AMMONIAQUE	12. P R S
13. Méthylène bleu	13. BIOCHEM CHEMOPHARMA
14. Molybdate vanadate	
15. Ammonium molybdate	
16. Folin-cioclteu	
17. Bicarbonate de sodium	
18. Acide gallique	
19. Vanilline	
20. DPPH	
21. TSE	
22. MRS	
23. M17	
24. VRBL	
25. DESOXYCHOLATE	