

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 56/DSA/2022



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : PRODUCTION ET NUTRITION
ANIMALE

**Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique**

**par : FARDJAOUI Nour El-houda
RAKDI Messaouda Lamisse**

Intitulé

Incorporation de la farine de *Ceratonia siliqua*
dans l'alimentation de la caille (*Coturnix japonica*).

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. CHERIEF Abdelkader	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
Mme. MAHMOUDI Souhila	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
Mme. BARA Yamouna	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examinateur

Année Universitaire : 2021 /2022

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce travail.

Nous voudrions dans un premier temps remercier, notre directrice de mémoire Madame **MAHMOUDI Souhila**, MCA au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

Nous adressons nos remerciements à notre jury : Mr. **CHERIEF A.** MAA 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 pour accepter de présider et d'évaluer notre modeste travail.

Aussi nous remercions Toute l'équipe de laboratoire de département des sciences agronomiques pour leur aide et soutien durant la réalisation de ce travail.

Dédicace

Tout d'abord ; je remercie le DIEU tout puissant qui m'a donné la force et le courage de réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce mémoire à mon père '**BELKACEM**' qui nous a quitté voilà 9 ans ; j'espère que mon Dieu a pitié de lui.

A ma mère '**FARDJAOUI FATIHA**' :

Tu m'as donné la vie ; la tendresse ; le courage pour réussir.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage ; je t'offre ce modeste travail pour te remercie pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée.

Aucune dédicace ne serait exprimer mes sentiments ; que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.

A mes frères : **WALID ; AMINE ; DJAOUED "JOUJOU"**.

A mes sœurs : **SARA et ASSALA et ma grande-mère**

A la femme de mon frère **HOUDA** et son fils **IYED 'DADOU'**

Nour Elhouda

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À Ma très chère mère « **Kaltoum Doffi** » : La femme qui a tellement sacrifié pour moi, et qui mérite toute ma reconnaissance que Dieu la protège. Ta prière et ta bénédiction m'a été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

À Mon cher Père : Ce mémoire est dédié à mon père décédé. Puisse-t-il, du monde qu'il est maintenant, apprécier cet humble geste en signe de gratitude de la fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Dieu tout-puissant ait pitié !

A mes aimables frères «**Mohammed, Mamoune, Abdel Kadar**» vous tous mes espoirs et bonheurs.

A ma chère sœur et mon bras droit « **Fatima El Zahra** »

À mes amies « **Safaa, Zainab, Iman...**»

Je vous offre ce simple effort, j'espère et je demande ou mon dieu de m'ouvrir la porte de l'avenir pour réussir.

Lamisse

Résumé

L'objectif de notre étude est de créer des formules alimentaires pour cailles (*Coturnix japonica*) dans les trois phases de croissance (croissance, finition et ponte) en substituant partiellement le maïs par la farine de caroube. Pour chaque phase de croissance de la caille nous avons formulé trois aliments contenant 0, 3 et 6 % de la poudre de caroube en utilisant la méthode des essais et des erreurs via Excel. Les apports alimentaires réels de ces formules ont été déterminés à travers des analyses alimentaires (matière sèche, cendres totales, protéines, cellulose, calcium et phosphore). Les résultats obtenus montrent que la substitution partielle du maïs par la poudre de caroube est accompagnée par la diminution du taux protéique dans les formules alimentaires expérimentales. L'ajout de la farine de caroube dans les aliments a diminué les teneurs en phosphore dans les aliments expérimentaux de croissance et de ponte par rapport aux témoins.

Mots clés : Caille, farine de caroube, formulation.

ملخص

الهدف من دراستنا هو انشاء تركيبات غذائية للسمان (*Coturnix japonica*) في مراحل النمو الثلاث (النمو والتشبيب والتبييض) عن طريق استبدال الذرة بدقيق الخروب جزئياً. لكل مرحلة من مراحل نمو السمان ، قمنا بصياغة ثلاث أعلاف تحتوي على 0 ، 3 و 6% من مسحوق الخروب باستخدام طريقة التجربة والخطأ عبر Excel. تم تحديد المآخذ الغذائية الفعلية لهذه الصيغ من خلال تحليلات الغذاء (المادة الجافة ، والرماد الكلي ، والبروتين ، والسليولوز ، والكالسيوم ، والفوسفور). بينت النتائج المتحصل عليها أن الاستبدال الجزئي للذرة بمسحوق الخروب يرافقه انخفاض في مستوى البروتين في الصيغ الغذائية التجريبية ، كما أن إضافة دقيق الخروب إلى الأطعمة قلل من محتوى الفسفور في الأغذية التجريبية للنمو ووضع البيض مقارنة بالتركيبية الرئيسية المعتمدة.

الكلمات المفتاحية: السمان ، طحين الخروب ، التركيبة

Abstract

The objective of our study is to create feed formulas for quail (*Coturnix japonica*) in the three phases of growth (growth, finishing and laying eggs) by partially substituting corn by carob flour. For each phase of growth of quail we have formulated three feed containing 0, 3 and 6% of carob powder using the trial and error method via Excel. The actual feed intakes of these formulas were determined through feed analyses (dry substance, total ash, protein, cellulose, calcium and phosphorus). The results obtained show that the partial substitution of corn by carob powder is accompanied by a decrease in the protein content in the experimental feed formulas. The addition of carob flour in the feed decreased the phosphorus content in the experimental growth and laying eggs feeds compared to the telltale.

Key words: Quail, carob flour, formulation.

Liste des figures

Figure 1: caille japonaise <i>Coturnix japonica</i> (a) : femelle , (b) : male	3
Figure 2: aire de répartition de la caille japonaise	3
Figure 3: élevage de caille pondeuse dans la cage	6
Figure 4: centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (carte élaborée par de c. siliqua , tandis que les flèches symbolisent la distribution de l'espèce de par le monde.....	23
Figure 5: parties végétatif et reproducteur de caroubier . (A. apport général de l'arbre ; B. écorce ; C. feuille ; D. fleurs mâle et femelle ; E. fruits mûrs ; F. gousses)	25
Figure 6: taux protéique dans les aliments formulés	45
Figure 7: taux de cellulose brute dans les aliments formulés (%)	46
Figure 8: teneurs en calcium dans les aliments formulés (g/kg).....	47
Figure 9: courbe d'étalonnage de phosphore (mg/l)	48
Figure 10: teneurs en phosphore dans les aliments formulés (g/kg MS)	48

Liste des tableaux

Tableau 1: classification taxonomique des cailles dans le règne animale	2
Tableau 2: température et hygrométrie lors de l'incubation et l'éclosion	9
Tableau 3: valeur alimentaire de la chair et d'œuf de la caille.....	11
Tableau 4: besoins en protéines, énergie et minéraux du cailleteau chair a l'engraissement en (%) du régime	15
Tableau 5: valeur alimentaire de quelques matières premières utilisées comme source d'énergie dans l'alimentation de caille	17
Tableau 6: valeur alimentaire de quelques matières premières utilisées comme source protéines dans l'alimentation de volaille.....	19
Tableau 7: classification de caroubier	22
Tableau 8: valeur alimentaire de la farine de caroube destinée a l'alimentation des animaux .	27
Tableau 9: valeur alimentaire des matières premières utilisées pour formuler les régimes alimentaires de la caille	30
Tableau 10: besoin nutritionnels recommandes pour la caille	31
Tableau 11: taux des ingrédients utilisés pour la formulation des aliments pour la caille (%)	40
Tableau 12: apports alimentaires des aliments de la caille formulés	41
Tableau 13 : taux de la matière sèche dans aliments la caille	43
Tableau 14 : taux de cendre totale dans les aliments de la caille (%)	44

Liste des abréviations

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

ITELV : Institut technique des élevages.

INPN : Inventaire Nationale du patrimoine naturel.

INRA : Institut National de Recherches Agronomiques.

FAO: Food and agriculture organization.

CMV : complément minéralo-vitaminique

MS : Matière sèches.

TS : Tourteau de soja.

CT : Cendre Totale

EM : Energie métabolisable.

T : Témoin.

E3 : Expérimental 3 % caroube.

E6 : Expérimental 6 % caroube.

CT : Croissance Témoin.

CE3 : Croissance Expérimental 3 % caroube

CE6 : Croissance Expérimental 6 % caroube

FT : Finition Témoin.

FE3 : Finition Expérimental 3 % caroube

FE6 : Finition Expérimental 6 % caroube

PT : Ponte Témoin.

PE3 : Ponte Expérimental 3 % caroube

PE6 : Ponte Expérimental 6 % caroube

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 la caille (*Coturnix japonica*)

1.1 Classification phylogénique	2
1.2 Description	2
1.3 Répartition géographique	3
1.3 Elevage de la caille	4
1.3.1 Mode d'élevage.....	4
a- Elevage extensif	4
b- Elevage intensif.....	5
1.3.1.1 Système de volière.....	5
1.3.1.2 Système de plancher	5
1.3.1.3 Système de cage	5
1.3.2 Conduite d'élevage.....	6
1.3.2.1 Logement d'élevage	6
1.3.2.2. Conditions d'élevage.....	7
a- La température	7
b- L'éclairage	7
c- L'humidité.....	8
d- La ventilation.....	8
1.3.2.3 Incubation et éclosion des œufs.....	8
a-Incubation.....	8
b- Eclosion.....	9

1.3.2.4 Caille de chair	9
1.3.2.5 Caille de ponte.....	10
1.4 Valeur alimentaire de la chair et des œufs de la caille	10

Chapitre 02 : Formulation du régime alimentaire de la caille (*Coturnix japonica*)

2.1 Définition de la formulation	12
2.2 Méthodes de formulation	12
2.2.1 Méthodes traditionnelles	12
2.2.1.1 Tâtonnement simple	12
2.2.1.2 Carré de Pearson	13
2.2.2 Méthodes de programme linéaire	14
2.3.1 Connaissance de l'animale et détermination de ses besoins nutritionnels	15
2.3.2 Détermination des éléments nutritifs Fournis par les matières premières.....	15
2.3.2.1 Sources d'énergie	16
- Céréales	16
- Coproduits de l'industrie agroalimentaire.....	16
2.3.2.2 Sources d'azote	17
- Graines d'oléagineux et de protéagineux	17
- Tourteaux	18
Tourteau de soja	18
Tourteau de colza.....	18
Tourteau de tournesol	18
2.3.2.3 Additifs	19
2.4.3 Formulation proprement dite	19
2.5 Types d'aliments	19
2.5.1 Aliment de démarrage	20
2.5.2 Aliment de finition.....	20
2.5.3 Aliment de ponte	20

Chapitre 03 : *Ceratonia siliqua* dans l'alimentation animale

3.1 Origine et classification	21
3.2 Distribution géographique	22
3.3 Description morphologique	23

3.3.1 Le port et de feuillage	23
3.3.2 Les fleurs	24
3.3.3 Le fruit	24
3.3.4 Les graines	24
3.4 Exigences pédoclimatiques.....	25
3.5 Usage et intérêt	26
3.5.1 En industries agro-alimentaires et pharmaceutiques	26
3.5.2 En alimentation de bétail	26
3.6 Composition chimique.....	26
3.7 Production de caroube	28

Chapitre 04 : Matériel et Méthodes

4.1 Formulation des aliments pour la caille.....	29
4.1.1 Détermination de la valeur alimentaire des matières premières	29
4.1.2 Détermination des besoins de la caille japonaise.	31
4.1.3 Formulation proprement dite	32
4.2 Détermination de la valeur alimentaire des aliments formulés	35
4.2.1 Taux d'humidité (séchage à 135 °C)	35
4.2.2 Cendre totales	35
4.2.3 Protéines	36
4.2.4 Cellulose	37
4.2.5 Minéraux (Ca et P)	38
4.2.5.1 Dosage complexométrique du calcium.....	38
4.2.5.2 Dosage du phosphore.....	39

Chapitre 5 : Résultats et discussion

5.1 Formulation des aliments pour la caille.....	40
5.2 Analyses alimentaires des aliments de la caille	42
5.2.1 Taux de matière sèche	43
5.2.2 Taux de cendres totales	43
5.2.3 Teneurs en protéines	44
5.2.4 Teneurs en cellulose brute	45
5.2.5 Teneurs en calcium.....	46

5.2.6 Teneurs en phosphore 47

Conclusion 50

Références bibliographiques

Introduction

La caille japonaise (*Coturnix japonica*) est un oiseau de petite taille, aux pattes courtes et au plumage varié, de la famille des phasianidés (comme les faisans et les perdrix) (**Ricarda, 2016**). Elle est aussi une espèce très prolifique mais à cycle de vie courte d'environ deux ans, la caille japonaise est résistante aux maladies (**Mopoundza et al., 2021**).

La caille est une espèce importante pour la production de viande et d'œufs, grâce à sa croissance rapide, sa maturité sexuelle précoce (début de la ponte à 6-8 semaines), son taux de production (180 à 300 œufs par an) et sa courte période d'incubation (**Moula et al., 2014**).

L'élevage de caille « coturniculteur » a connu ces deux dernières décennies un essor considérable, participant à la diversité des produits avicoles (**Berrama, 2011**). Il a acquis une importance économique en tant qu'espèce agricole produisant des œufs et de la viande appréciés pour leur saveur unique (**Vali, 2008**).

En Algérie, l'alimentation de la caille est basée principalement sur le maïs et le tourteau de soja deux matières premières de l'importation et qui coûte très chers. La substitution partielle de ces matières importées par des matières locales s'avère nécessaire.

C'est pour cela que nous avons essayé de formuler des régimes alimentaires pour la caille en substituant partiellement le maïs par la farine de caroube (*Ceratonia siliqua*).

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 (**Bouhrem, 2019**).

Le caroubier possède à un intérêt socio-économique et écologique considérable. La grande valeur de la caroube est connue grâce aux gousses et aux graines utilisées traditionnellement comme médicament contre les diarrhées et certaines maladies gastriques ainsi que pour la production de farine pour la préparation des gâteaux et l'alimentation animale (**Berrougui, 2007**).

Notre travail est subdivisé en deux parties, une partie bibliographique et une partie expérimentale consacrée à la formulation des aliments composés de la caille contenant de la farine de caroube par la méthode des essais et des erreurs et à la vérification de leurs apports alimentaires par des analyses alimentaires.

Chapitre 1

Généralités sur la caille (*Coturnix japonica*)

1.1 Classification phylogénique

La caille japonaise appartient à l'ordre des Galliformes et à la famille des Phasianidés, dont son nom scientifique *Coturnix japonica* (Linné, 1758) (**Tableau 1**). La caille du japon appartient au genre *Coturnix*. Elle a été longtemps considérée comme une sous-espèce de la caille des blés *Coturnix Coturnix* (**Westmore, 1952 in Bouchellah, 2017**).

Tableau 1 : Classification taxonomique des cailles dans le règne animal (**Crawford, 1990 in Amiar, 2017**)

Règne	Animal
Embranchement	Vertébrés
Classe	Aves (les oiseaux)
Ordre	Galliformes
Sous-ordre	Gallinacés
Famille	Phasianidés
Genre	<i>Coturnix</i>
Espèce	<i>Coturnix japonica</i>

1.2 Description

La caille japonaise est un petit oiseau terrestre, pesant entre six et sept grammes à l'éclosion, les adultes atteignant 150 grammes en moyenne (**Océane Le Bot, 2014**).

Trois à quatre semaines après l'éclosion, un dimorphisme sexuel apparaît au niveau du plumage (**Figure 1**).

Les femelles présentent un plastron beige tacheté de noir, tandis que les mâles arborent un plastron uni de couleur rousse. Le dimorphisme s'observe également au niveau de la corpulence, la femelle étant légèrement plus lourde que le mâle (en milieu naturel : 100 g et 90 g, pour les femelles et les mâles respectivement (Cheng *et al*, 2010 ; Baer *et al*, 2015 in Desmedt, 2019).

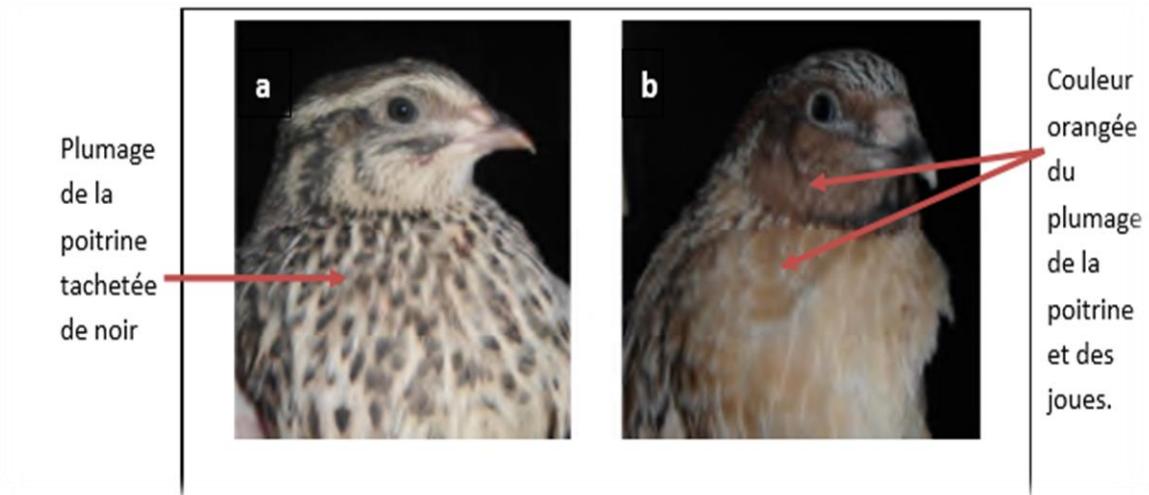


Figure 1 : Caille japonaise *Coturnix japonica* (a) : femelle, (b) : mâle (Huss *et al*, 2008)

1.3 Répartition géographique

La répartition de la caille japonaise s'étend sur une grande partie de l'Asie et de la Russie, cette espèce étant également présente aux Etats-Unis (Hawaï) et en Italie (Figure 2), suite à l'introduction d'individus domestiqués (Océane Le Bot, 2014).



Figure 2 : Aire de répartition de la caille Japonaise, d'après l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature)

1.3 Elevage de la caille

L'élevage de caille a récemment gagné une importance dans le monde entier, non seulement en tant qu'animal de laboratoire, mais aussi en tant que source de nourriture. Ainsi que pour la recherche biomédicale, mais aussi parce qu'elle est économiquement utilisée pour la production de viande et des œufs (**Bertechini, 2012**). Par rapport à l'élevage de volailles, c'est l'animal qui nécessite la plus petite surface d'élevage. La viande de caille est excellente, avec un faible taux de graisse, et elle peut être élevée avec d'autres volailles sans avoir besoin d'être vaccinée ou traitée (**Priti et al., 2014**).

Les recherches indiquent que le regroupement d'un seul mâle avec deux ou trois femelles donne généralement une fertilité élevée. Lorsque les cailles sont élevées en colonie, un mâle pour trois femelles est suffisant et réduit les combats entre mâles. Les accouplements en couple dans des cages individuelles donnent également une bonne fertilité. La fertilité diminue nettement chez les oiseaux plus âgés. Évitez d'accoupler des individus étroitement apparentés, car la consanguinité augmente l'incidence des anomalies et peut réduire considérablement les performances de reproduction. C'est pourquoi il est souhaitable d'inscrire le numéro des poules sur les œufs, de les incuber en groupe et de marquer définitivement les poussins à l'éclosion (**Randall et Bolla, 2006**).

L'élevage de cailles est intéressant car il offre de nombreux avantages. Les cailles sont connues pour leur croissance rapide, leur maturité sexuelle à un jeune âge, leur production élevée d'œufs et leur tolérance aux maladies. Son cycle court de vie et sa petite taille en font un animal nécessitant peu d'entretien en termes de nourriture et d'espace. Les cailles sont élevées pour leur chair et leurs œufs. Ces produits sont riches en nutriments et délicieux pour les clients (**Djinandji et al., 2022**).

1.3.1 Mode d'élevage

a- Elevage extensif

L'élevage extensif des cailles est pratiqué pour la consommation familiale de la viande et de l'œuf. Il se fait dans les cours familiales avec un matériel d'élevage moins adapté. Les cailles sont en nombre restreint. Il se fait dans des cages ou au sol (**N' zue, 2015**).

b- Elevage intensif

L'élevage intensif est celui qui procure une multitude de cailles et d'œufs destinés à la commercialisation. Le matériel d'élevage est adéquat. Nous avons des bâtiments de reproduction, d'engraissement et d'incubation. Ce mode est le plus souvent pratiqué en batterie (N' zue, 2016).

1.3.1.1 Système de volière

Les éleveurs de cailles exotiques et ornementales, utilisent souvent des systèmes de volière, qui sont basés sur le concept qui permet aux males et aux femelles d'exprimer confortablement leur comportement personnel et social particulier (saut, vol...etc.), assurant ainsi non seulement les fonctions biologiques des oiseaux, mais aussi leur bien-être. Le rythme et l'agressivité diminue significativement, et devient rare chez les cailles japonaises élevées dans les volières (Shanaway, 1994 ; Schmid et Wechsler, 1997 in Bensalah, 2016).

1.3.1.2 Système de plancher

L'espace global du sol requis est déterminé par le nombre d'oiseaux à garder. Une caille a besoin d'environ 200 centimètres carrés d'espace. En conséquence, toute la surface au sol nécessaire est prévue et construite en fonction du système de logement choisi. Le sol peut être fait de treillis métallique ou de litière dense. Cependant, les considérations suivantes doivent être faites :

- ✓ Le sol doit toujours être sec et propre.
- ✓ IL doit être simple à nettoyer.
- ✓ La surface au sol et l'espace au-dessus doivent avoir une ventilation et une aération adéquates.

Les oiseaux des systèmes intensifs passent toute leur vie au sol. Par conséquent, le sol doit être maintenu aussi propre et sec que possible (Chand, 2004).

1.3.1.3 Système de cage

Parce qu'elle prend moins de place, cette option est fréquemment utilisée dans les zones urbaines ou périurbaines. Les cages à plusieurs étages sont courantes (**Figure 3**). Cette stratégie n'est cependant pas recommandée car elle empêche une bonne ventilation de la cage et provoque du stress. De ce fait, il est souhaitable de ménager un espace entre les cages pour permettre une plus grande circulation d'air et limiter le nombre d'étages à trois. Les cages doivent être bien ventilées et installées dans des structures pour fournir une protection contre le soleil, la pluie et

le vent aux cailles. Des cages en bois blanc et en treillis métallique ou simplement des cages en treillis métallique sont disponibles. Si du bois est utilisé, fixez les planches de manière à pouvoir les remplacer individuellement si elles se détériorent (**Mondry, 2016**).



Figure 3 : Elevage de cailles pondeuses dans la cage (**Association L214, 2019**).

1.3.2 Conduite d'élevage

Les deux premières semaines de l'existence d'un poussin sont cruciales pour sa survie, et la petite taille d'éclosion des poussins de caille les rend plus vulnérables. La capacité de la mariée à ajuster son environnement est influencé par ses systèmes neurologique et endocrinien. Les stimuli stressants, tels que les températures extrêmes, le surpeuplement, une mauvaise alimentation, les blessures et les agents pathogènes, entraînent souvent une croissance altérée des poussins, une résistance aux maladies et la mort (**Shanaway, 1994**).

1.3.2.1 Logement d'élevage

Le système de logement à utiliser dépend du type et de la taille de l'élevage de cailles. Un système commercial sera sans aucun doute plus intensif qu'un système dans lequel les oiseaux sont principalement élevés comme passe-temps (**Shanaway, 1994**).

La caille ne nécessite pas un bâtiment spécifique, un local bien isolé et disposant de fenêtres est suffisant. Des séparations sont nécessaires pour assurer les 3 fonctions de l'élevage à savoir :

Salle d'engraissement,

Salle de reproduction,

Salle d'incubation et d'éclosion (**ITPE, 1988**)

1.3.2.2. Conditions d'élevage

a- La température

Les volailles sont homéothermes et peuvent régler leur chaleur dans des conditions externes. La caille peut tolérer de fortes températures jusqu'à 27 °C au-delà, elle provoque malaise. Son confort est situé entre 18 °C et 27 °C alors que le cailleteau a besoin d'une température comprise entre 25 °C et 30 °C avec un minimum de 23 °C (**ITAVI, 1985**). Son influence sur la reproduction, la ponte, la production et la consommation, la classe parmi les facteurs limitant d'un élevage quelconque. Une température inférieure à 15 °C peut provoquer une mue artificielle, son degré et sa persistance dépendent de la durée de la chute. Les mues puisent les réserves contenues dans le corps de l'oiseau, d'où ralentissent et parfois arrêt total de la ponte (**Oriol, 1987 in Amiar, 2017**).

b- L'éclairage

Pendant les deux premières semaines, les poussins doivent être gardés dans un environnement sombre avec une lumière constante (**Shanaway, 1994 ; Bensalah, 2016**).

Un système d'éclairage dans le bâtiment d'élevage est nécessaire pour que les oiseaux puissent se nourrir et se reproduire.

Si le bâtiment est transparent, il peut être naturel ou manufacturé, mais dans une ambiance morose, il est tout simplement artificiel. L'éclairage peut être réalisé à l'aide de lampes ou de néons, avec une minuterie pour contrôler la durée de l'éclairage (**Ayache, 2001 in Amiar, 2017**).

c- L'humidité

L'humidité est importante aussi pour le bien-être des poussins de caille. En fait, elle affecte le rythme de développement des plumes, ainsi que l'incidence des maladies respiratoires. Un faible taux d'humidité est souvent associé à une croissance défectueuse de plumes et une mauvaise couverture par le plumage ; tandis que l'humidité élevée affecte les capacités de respiration, en particulier lorsqu'elle est associée à une température élevée (**Shanaway, 1994**).

d- La ventilation

Les cailles utilisent une quantité considérable d'oxygène par rapport à leur taille. Ils ont, plus que quiconque, besoin d'un apport d'air frais important et régulier. D'autre part, l'élevage concentré d'animaux entraîne des émissions de gaz qui, si on les laisse s'accumuler, entravent la production ; par conséquent, l'air doit être continuellement renouvelé pour éradiquer ces émissions. Nous utiliserons la méthode de ventilation la plus courante, la ventilation dynamique (**Lucotte, 1975 in Ben Youcef et Rebiha, 2018**).

1.3.2.3 Incubation et éclosion des œufs

a-Incubation

Les œufs ramassés dans les cages des reproducteurs sont féconds à environ 80 %. La caille domestique a perdu l'instinct de couvrir, et il faudra donc y remédier l'incubation artificielle. L'incubation dure de 16 à 17 jours à une température qu'il faut maintenir à 37,5 °C. les 14 premiers jours (**Tableau 2**), la rotation des œufs, au moins deux fois dans la journée (**Ferland, 2014**).

Tous les œufs doivent être automatiquement retournés d'un angle d'au moins 90° 4 à 6 fois par 24 heures dans l'incubateur. Au début de l'incubation, le retournement est particulièrement important. Son absence pendant les trois à quatre premiers jours provoque des embryons déformés et d'autres anomalies mineures (**Woodard et al, 1973 ; Ernst, 1978**). Les œufs ne doivent pas être tournés après 14 jours d'incubation ; au lieu de cela, ils sont mirés pour déterminer s'ils sont viables et pour surveiller la croissance et le développement des embryons (**Shanaway, 1994**). Après chaque utilisation, les incubateurs doivent être nettoyés et désinfectés (**Ernst, 1978 ; Bensalah, 2016**).

b- Ecllosion

Les œufs sont transférés dans des plateaux d'éclosion dans la chambre d'éclosion d'une machine d'installation et d'éclosion ou dans des éclosoirs séparés. Pour les œufs de *Coturnix*, cela se fait au jour 14 ou 15. À l'éclosion, le poussin prend le sac vitellin dans son corps et l'utilise. C'est la présence de ce sac vitellin qui permet de transporter les poussins pendant plusieurs jours sans avoir besoin de nourriture ni d'eau (**Shanaway, 1994**).

Tableau 2 : Température et hygrométrie lors de l'incubation et l'éclosion (**ITELV, 2018**).

Phases	Température (°C)	Humidité (%)
Incubation	37.5 – 38	50 à 60
Ecllosion	38 – 38,5	70 à 80

1.3.2.4 Caille de chair

Les poussins de caille japonais sont achetés comme poussins d'un jour, élevés jusqu'à l'âge de cinq semaines, puis vendus pour la viande. Des dispositions de couvaision sont établies à l'avance dans une chambre bien nettoyée et désinfectée afin de recevoir les poussins le jour prévu (**Parabakan, 2003**).

Si la caille n'a pas été sélectionnée génétiquement pour augmenter sa vitesse de croissance et sa prise du poids, l'adulte mal de la caille peut peser entre 100–140 g, alors que la femelle est légèrement plus lourde 120–160 g (**Randall et Bolla, 2008**).

Des souches de caille spéciales pour la production de viande ont été développées par élevage sélectif. Particulièrement aux Etats Unis, en France, au Japon et en Espagne. Les oiseaux sont généralement sélectionnés pour leur croissance rapide et leur conversion alimentaire élevée. Le principe qui régit l'élevage de la caille de chair est celui du 'tout-plein / tout vide', dans lequel seuls les oiseaux du même âge sont conservés sur le même site. Le système à un seul étage est idéal à cette fin. Les oiseaux peuvent être mis dès le premier jour soit sur le sol ou dans des cages en batterie (**Bensalah, 2016**).

1.3.2.5 Caille de ponte

Au cours de sa première année de vie, la femelle peut pondre jusqu'à 300 œufs. Après cela, la production chute à environ 150 à 175 œufs par an. L'œuf de caille a une forme ovale et pèse entre 9 et 12 grammes pour une longueur d'environ 3 cm. Les marques de la coquille varient en couleur et en forme d'une femelle à l'autre. Les taches sont de tailles et de formes diverses, noires ou brunes, et varient en teinte du brun foncé au bleu au vert au blanc (**Priti et Satish, 2014**).

La production de gonadotrophines par l'hypophyse est nécessaire à la formation des follicules ovariens (lobe antérieur). Chez les *Coturnix*, le temps entre la libération de gonadotrophines et l'ovulation est généralement de 4 à 6 heures, comparable à celui des poulets. Chaque ovulation a lieu entre 24 et 27 heures après la précédente. Une séquence d'œufs est une collection d'œufs pondus sur des jours consécutifs, tandis que les jours de repos sont des jours où aucun œuf n'est pondu (**Shanaway, 1994 ; Woodard et al., 1973 in Bensalah, 2016**).

1.4 Valeur alimentaire de la chair et des œufs de la caille

Avec 25% de protéines, la caille fait partie des volailles bénéficiant d'un excellent profil nutritionnel. Les protéines de qualité contenues dans la chair de la caille contribuent à l'entretien et au développement de la masse musculaire (**Tableau 3**). La caille est également une excellente source de fer hémique, facilement assimilable par l'organisme. Dans le cadre d'une alimentation variée et équilibrée, la caille favorise donc l'oxygénation des cellules et permet de lutter contre l'anémie. De plus, la caille contient relativement peu d'acides gras saturés, un bon point pour favoriser la santé du système cardiovasculaire (**Zubiria, 2021**).

Voici la composition d'un œuf de caille : l'albumine est de 47,4 %, le jaune de 31,9 %, tandis que la coquille et les membranes sont de 20,7 %. L'eau et les protéines constituent la substance blanche et transparente. Les protéines et les lipides se trouvent également dans le jaune (**Priti et Satish, 2014**).

Tableau 3 : Valeur alimentaire de la chair et des œufs de la caille (Zubiria, 2021).

Nutriments	Chair de caille (100 g)	Œufs de caille (10 g)
Calories	277	14
Lipides	14 g	1 g
Cholestérol	86 mg	76 mg
Protéines	25 g	1.2 g
Glucides	0 g	0.04 g
Fibres	0.9 g	0 g
Fer	4.4 mg	0.3 mg
Zinc	3.1 mg	0.13 g
Sélénium	22 µg	3 µg
Phosphore	279 mg	20 mg

Chapitre 2

Formulation du régime alimentaire de la caille (*Coturnix japonica*)

2.1 Définition de la formulation

La formulation d'aliment consiste à rassembler plusieurs matières premières disponibles, quantifier leur taux d'incorporation et les mettre ensemble pour former un mélange uniforme (Almasad et al., 2011).

Un produit formulé est obtenu par association et mélange de diverses matières premières d'origine synthétique ou naturelle parmi lesquelles on distingue généralement les matières actives qui remplissent la fonction principale recherchée et les auxiliaires de formulation qui assurent les fonctions secondaires, facilitent la préparation ou la mise en œuvre du produit commercial, ou prolongent sa durée de vie (Aubry et Schorsch, 1999).

2.2 Méthodes de formulation

2.2.1 Méthodes traditionnelles

Dans cette méthode, le coût du mélange, un aliment complet dans ce contexte, est minimisé en satisfaisant toutes les contraintes nutritionnelles imposées. Pour cette méthode les quantités de nutriments des ingrédients et des aliments sont exprimées par rapport à une quantité d'aliment (Letourneau Montminy et al., 2005).

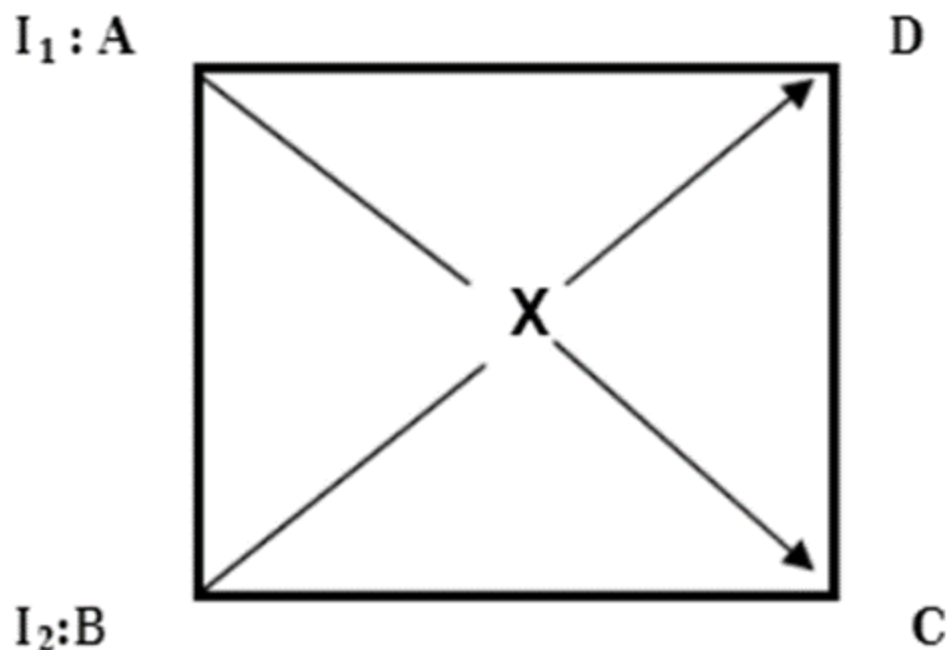
2.2.1.1 Tâtonnement simple

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).

2.2.1.2 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**). Selon **Brah et al. (2015)** :



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 :

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

2.2.2 Méthodes de programme linéaire

La programmation linéaire est une méthode statistique pour choisir, répartir et évaluer des ressources limitées et plusieurs contraintes afin d'obtenir une fonction algébrique linéaire. Elle détermine la façon d'avoir un résultat sous la forme d'un système d'équation mathématique (Olorunfemi, 2007).

La programmation linéaire fournit une méthode de formulation efficace des aliments. Elle permet de minimiser le coût de l'aliment en trouvant un équilibre entre le pourcentage, la valeur nutritive et les contraintes de l'ingrédient utilisé pour la formulation (Al-Deseit, 2009).

Ces contraintes sont de la forme :

$$\sum a_{ij}.x_i \geq A_j \text{ pour la caractéristique } j \text{ fixée}$$

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 :

$$C = \sum C_i X_i$$

Enfin, on a par définition :

$$0 < X_i < 100 \text{ et } \Sigma = 100$$

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 « solveur » du programme Excel, AFOS, FeedAccess... (Fernandez et Ruiz, 2003 ; Larbier et Leclercq, 1992 ; Mahmoudi, 2021 ; in Belkacem, 2021).

2.3 Etapes de formulation d'aliment de la caille

2.3.1 Connaissance de l'animale et détermination de ses besoins nutritionnels

Les constituants nécessaires pour préparer l'aliment de la caille japonaise sont les mêmes que pour le poulet ; mais les besoins de la caille japonaise en protéines et en acides aminés sont plus importants, en raison de leur croissance rapide. En outre et à cause de leur petite taille, la granulométrie doit être plus fine jusqu'à l'âge de deux semaines (Prabakaran, 2003). Le tableau suivant présente les besoins alimentaires de la caille.

Tableau 4 : Besoins en protéines, énergie et minéraux du cailleveau chair à l'engraissement en (%) du régime (ITELV, 2018).

d'élevage	aliment	Teneur de l'aliment en Kcal EM/Kg d'aliment	Teneur en protéines (%)	Lys	Méth	Ca	P total	P disponible	Zinc en ppm
Démarrage (0 à 3 semaines)	Farineux ou en miettes	2800	25	1.30	0.39	0.85	0.65	0.42	60
		3000	28	1.39	0.42	0.90	0.70	0.45	60
Finition (4 sem. à l'abattage)	Petits granulés	2600	20	1.15	0.34	0.85	0.60	0.37	60

2.3.2 Détermination des éléments nutritifs Fournis par les matières premières

2.3.2.1 Sources d'énergie

- Céréales

Les céréales et leurs coproduits sont le composant le plus courant des aliments transformés et, par conséquent, la principale source de nutrition des monogastriques (**Tableau 5**). Elles fournissent aux animaux un apport énergétique. La céréale est un caryopse sans glumelle. Le premier groupe comprend le sarrasin, le maïs, le sorgho, le seigle et le triticale, tandis que le second comprend l'orge et l'avoine. Le principal composant des céréales est l'albumen. Les fruits à coque présentent les valeurs énergétiques les plus élevées, un faible rapport enveloppe et une teneur élevée en albumine (**Merck, 2003**).

Les céréales constituent la fraction la plus importante dans des 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 triticale 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 (**Hervé juin et al., 2015**).

- Coproduits de l'industrie agroalimentaire

Les coproduits, que les réglementations européenne et française distinguent clairement de la catégorie « déchets », sont des matières premières de l'alimentation animale à part entière et doivent en respecter la réglementation. La disponibilité de ces coproduits peut fortement varier dans le temps avec une saisonnalité marquée pour certaines filières, ou dans l'espace selon la répartition des usines agroalimentaires sur le territoire et la superposition avec les zones d'élevage (**INRA, 2019**).

L'incorporation de coproduits agro-industriels, qui ne sont pas directement valorisables par l'homme, dans les régimes alimentaires des animaux améliore l'efficacité des systèmes de production tant sur le plan nutritionnel que sur le plan énergétique. En effet, le nouveau critère ne prend en compte que la part de l'alimentation animale qui pourrait être utilisée dans l'alimentation humaine. Par conséquent, la valorisation des coproduits dans l'alimentation animale est un facteur de réduction de la concurrence entre l'alimentation animale et humaine (**Patrick et al., 2018**).

Le son de blé est un coproduit 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 polyosides pariétaux (**Larbier et Leclercq, 1992**).

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 citée par Belkaceme et Zerrouga, 2021**).

Tableau 5 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisés comme source d'énergie dans l'alimentation de la caille (**INRA CIRAD, 2020**).

Aliments	MS %	MAT %	CB %	MG %	MM %	Lignine %	Amidon %	Sucres %	EB MJ/kg
Avoine	87.6	9.4	11.5	4.7	2.5	2.3	36.8	1.3	17
Blé dur	87.8	14.4	2.7	1.8	1.9	1.1	55.8	2.8	16.2
Blé tendre	86.9	11	2.4	1.4	1.5	1	60	2.6	15.8
Mais	86.3	7.6	2.3	3.6	1.2	0.5	63.8	1.7	16.1
Orge	87.2	9.9	4.7	1.6	2.2	1.1	52.3	2.2	16
Seigle	86.7	8.5	2	1.2	1.8	0.9	53.7	3.1	15.6
Sorgho	87.8	9.3	2.4	2.9	1.9	1	64.6	1.1	16.5
Triticale	86.8	10	2.5	1.2	1.8	1	58.8	3	15.7

MS : matière sèche, MAT : matière azoté totale, CB : cellulose brute, MG : matière grasse, MM : matière minérale, EB : énergie brute.

2.3.2.2 Sources d'azote

- Graines d'oléagineux et de protéagineux

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) (**Belkacem et Zerrouga, 2021**).

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 (**Belkacem et Zerrouga, 2021**).

- Tourteaux

Les tourteaux sont les résidus solides obtenus après extraction de l'huile des graines ou des fruits oléagineux. Ce sont les coproduits de la trituration, c'est-à-dire l'industrie de fabrication de l'huile. Les tourteaux constituent la 2ème classe d'aliments la plus importante après les céréales (**Tableau 6**). En effet ils représentent la principale source de protéines en alimentation aviaire (**Ouarest, 2008**)

○ **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 ; in Beghoul, 2015**).

○ **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**).

○ **Tourteau de tournesol**

Le tourteau de tournesol est le coproduit d'extraction de l'huile à partir des graines de tournesol. C'est le quatrième tourteau d'oléagineux après les tourteaux de soja, colza et coton et l'une des matières premières classiques utilisées en alimentation animale dans de nombreux pays. De nombreux types de tourteaux de tournesol sont disponibles sur le marché, allant de produits très fibreux jusqu'à des « farines » de haute qualité nutritionnelle. S'il contient moins de protéines et beaucoup plus de fibres que le tourteau de soja, le tourteau de tournesol est un aliment bien valorisé en ruminants et en lapins et sous certaines conditions en volaille (**Benoit, 2016**).

Tableau 6 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisés comme source de protéines dans l'alimentation de volaille (INRA CIRAD, 2020).

Aliment	MS %	MAT %	CB %	MG%	MM %	Lignine %	Amidon %	Sucres %	EB MJ/kg
Tourteau de colza (canola), huile < 5 %	90.4	37	11.5	3.2	7	7.4	6.8	9.5	17.8
Tourteau de coprah, huile < 5 %	90.5	21.1	12.3	3.2	6.4	5.7	0.3	10	17
Tourteau de coton, cellulose brute < 15 %	92.2	42	9.6	9.4	6.7	4.9	2.9	4.6	20.2
Tourteau de soja, huile < 5%, 48% protéine + huile	88	46.2	6	1.5	6.2	0.6	5	8.1	17.3
Tourteau de tournesol, huile < 5%, décortiqué	90.4	36.6	17.8	1.2	6.5	6.7	3.5	6.7	17.5

MS : matière sèche, MAT : matière azoté totale, CB : cellulose brute, MG : matière grasse, MM : matière minérale, EB : énergie brute.

2.3.2.3 Additifs

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 (prébiotiques, probiotiques, conservateurs, antioxydants, CMV...) (Blain, 2002 in Belkacem et Zerrouga, 2021).

2.4.3 Formulation proprement dite

L'aliment pour volaille est un assemblage d'ingrédients. Pour obtenir un aliment peu coûteux, rentable et bien équilibré, il faut estimer la valeur nutritionnelle de chaque matière première et faire la distinction entre les aliments disponibles localement ou qu'il faut importer. Les efforts doivent se concentrer sur le maïs, disponible partout et à prix accessible (Alain Huart et al., 2004).

2.5 Types d'aliments

Les cailles sont faciles à nourrir car elles mangent pratiquement de tout. On peut leur donner des céréales, de l'herbe, des fanes de radis, des fruits ou des légumes. Elles peuvent aussi manger des insectes et leurs larves qu'elles trouvent dans leur volière. Pour des caille d'élevage, vous devrez cependant compléter cette nourriture avec des apports en protéines pour couvrir leurs besoins (Binette et Jardin, 2008).

2.5.1 Aliment de démarrage

Donnez aux poussins de cailles un régime de départ peu après l'éclosion. Continuez à leur donner ce régime jusqu'à ce qu'ils aient six ou huit semaines. Le régime de démarrage contient la plus grande quantité de protéines que l'oiseau reçoit au cours de sa vie. Au fur et à mesure que les poussins vieillissent, leurs besoins pour la plupart des nutriments diminuent, y compris les protéines alimentaires. Mais ils ont besoin de plus d'énergie (**Tom et al., 2005**).

Les cailleaux de la naissance jusqu'à 4 semaines d'âge ont besoin de 23 % de protéine brut. L'aliment de démarrage se présente sous forme de miettes tamisées et finement granulées (~0-2mm), donc il est facile à consommer par les cailleaux dès les tout premiers jours de leur vie. Les cailleaux connaissent sur les premiers jours et premières semaines de leur vie une très forte croissance osseuse, avec le développement des organes vitaux, des muscles et des premières plumes (**OQUALIM-RCNA**).

2.5.2 Aliment de finition

L'aliment de croissance est souvent aussi appelé aliment de "finition". Cet aliment est conçu pour favoriser un taux de croissance sain sans produire de graisse excessive dans les cailles. L'alimentation de cailles avec un aliment de croissance aidera à développer la masse osseuse pour soutenir les muscles. L'aliment de croissance sera remplacé durant cette période, par un aliment finition moins concentré en protéine et plus riche en énergie tout en respectant l'équilibre énergétique/protéique (**Leclercq et Beaumont, 2000 in Ouarest, 2008**).

2.5.3 Aliment de ponte

Les cailles élevées pour leurs œufs et leur reproduction auront besoin d'une ration de reproduction de 18-20 % de protéines, qui devra être introduite progressivement avant que les oiseaux ne commencent à pondre vers l'âge de 10 semaines (**Lawrence, 2009**).

En général, une caille adulte ne mange pas plus de 20 à 30 grammes de nourriture par jour. Les cailles commencent à pondre des œufs plus tôt que les autres volailles, et certaines races de pondeuses peuvent pondre jusqu'à 300 œufs par an. Mais il faut veiller à une alimentation correcte pour atteindre cette production. En tant que gibier à plumes, les cailles ont besoin de plus de protéines dans leur alimentation. Une bonne alimentation pour les cailles permet non seulement de maintenir la productivité des oiseaux, mais aussi de prévenir divers types de problèmes de santé (**RF Staff, 2021**).

Chapitre 3

Ceratonia siliqua dans l'alimentation animale

3.1 Origine et classification

Le nom scientifique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) vient du grec keras, le nom commun vient de l'hébreu kharuv, dont sont dérivés l'arabe kharrub et plus tard algarrobo ou garrofero en espagnol, carrubo en italien, caroubier en français, Karubenbaum en allemand. Les bijoutiers utilisaient ses graines uniformes comme unité de poids (200 mg), le carat (**Batlle et Tous, 1997**).

Soln **Kaderi et al. (2014)**, le caroubier *Ceratonia siliqua* L. est originaire du Moyen-Orient, il se caractérise par une importance écologique, industrielle et ornementale. Cette fabacée est connue par ses vertus médicinales et thérapeutiques, très intéressantes vu les activités pharmacologiques des composés phytochimiques présents dans les extraits biologiques de la plante.

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des Leguminosae (syn. *Fabaceae*) de l'ordre des Rosales. Il s'agit de l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs, qui comprend 650 genres et plus de 18 000 espèces et dont la morphologie et l'écologie sont extrêmement variables. Le caroubier est généralement placé dans la tribu des Cassieae de la sous-famille des *Caesalpinioideae* (**Tableau 7**), cependant, plusieurs auteurs doutent de la position de *Ceratonia* dans les Cassieae (**Batlle et Tous, 1997**).

Tableau 7 : Classification de caroubier Selon l'INPN (**Inventaire Nationale du patrimoine naturel**)

Règne	Plantae
Sous-règne	Viridaeplantae
Classe	Equisetopsida
Clade	Spermatophyta
Sous-classe	Magnoliidae
Super-Ordre	Rosanae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Sous-Famille	Caesalpinioideae
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L. 1753

3.2 Distribution géographique

Le caroubier est étendu, à l'état sauvage, en Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Sud de Jordanie, Egypte, Arabie, Tunisie et Libye avant d'atteindre l'Ouest de la méditerranéen. Il a été disséminé par les grecs en Grèce et en Italie et par les arabes le long de la côte Nord de l'Afrique, au Sud et à l'Est de l'Espagne (**Figure 4**). Dès lors, il a été diffusé au Sud du Portugal et au Sud-est de France (**Hillcoat et al., 1980**).

Il fut aussi introduit avec succès par les Espagnols et les Anglais dans d'autres pays à climat entre autres méditerranéen notamment, aux États-Unis (Arizona, Sud de la Californie), au Mexique, en Australie et en Afrique du Sud (**Estrada et al., 2006 in Bouhrem, 2019**).

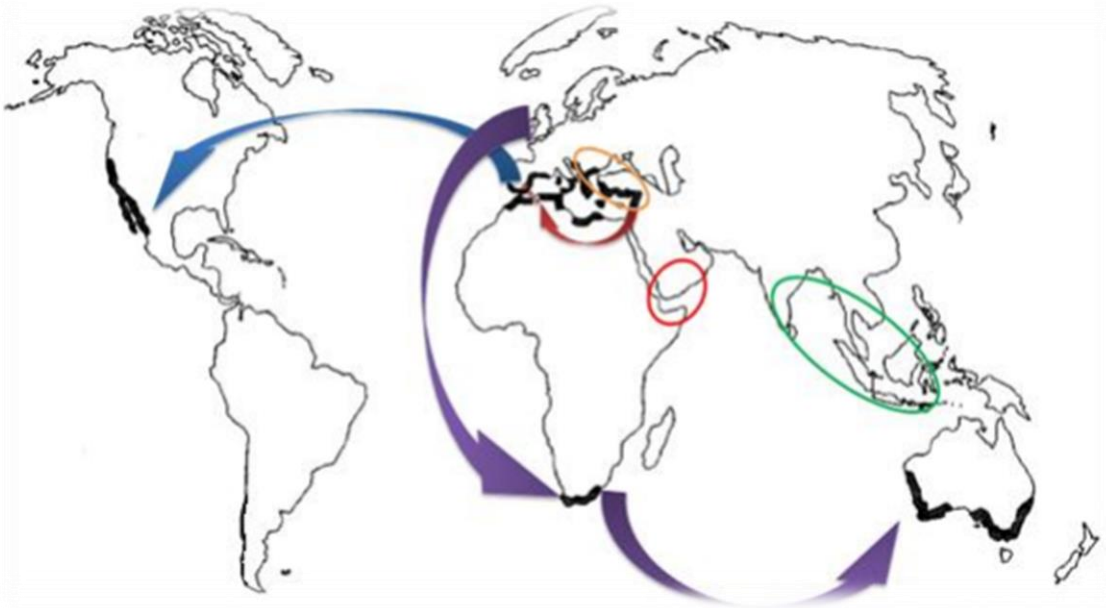


Figure 4 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (carte élaborée par l'auteur ; les cercles représentent les différentes hypothèses qu'existent sur le centre d'origine de *C. siliqua*, tandis que les flèches symbolisent la distribution de l'espèce de par le monde)

(Mahdad, 2013).

3.3 Description morphologique

Le caroubier est un arbuste ou un arbre sclérophylle à feuilles persistantes avec une grande couronne semi-sphérique et un tronc robuste avec une écorce brune rugueuse et des membres robustes qui peut atteindre 10 mètres de haut voire 15 à 20 m en orient et enregistrer une circonférence au niveau de la base du tronc de 2 à 3 m (**Figure 5**). C'est un arbre xérophile avec une longévité considérable (jusqu'à 200 ans) (**Battle et Tous, 1997 ; Ait Chitt et al., 2007**).

3.3.1 Le port et le feuillage

Les feuilles sont longues de 10-20 cm, alternées, pennées, et possèdent ou non une foliole terminale (**Figure 4**). Les folioles mesurent de 3 à 7 cm de long, sont vert foncé et lustrées sur le dessus, vert pâle en dessous et finement veinées avec des bords ondulés et de minuscules stipules. L'épiderme supérieur des feuilles sclérophylles est extrêmement épais et monocouche (**Battle et Tous, 1997**). Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne sauf en juillet chaque deux ans, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en avril et mai (**Ait Chitt et al., 2007**).

3.3.2 Les fleurs

Les fleurs très petites, constituées d'un calice pourpre sans corolle, sont réunies en grappes axillaires cylindriques. Elles apparaissent d'août à octobre (**Ghédiram et Goetz, 2019**).

Les fleurs femelles sont constituées d'un pistil court et recourbé avec un petit ovaire (5 à 7 mm) bi-carpelle. Les stigmates sont bilobés et couverts par des papilles. A la base, le disque nectarifère est entouré de 5 à 6 sépales rudimentaires (**Figure 4**). Par contre, la corolle est absente et les fleurs mâles portent 5 étamines (**Aafi, 1996 in Tabet, 2014**).

3.3.3 Le fruit

Le fruit est une gousse indéhiscent, allongée, comprimée, droite ou incurvée, épaissie au niveau des sutures, de 10-30 cm de long, 1,5-3,5 cm de large et environ 1 cm d'épaisseur, avec un sommet émoussé ou subaigu (**Batlle et Tous, 1997**).

3.3.4 Les graines

Les graines de caroube sont brunes, de forme ovoïde aplatie, biconvexes et très dures. Elles sont séparées les unes des autres par des cloisons pulpeuses. La taille et le poids de ces graines étant très réguliers, soit 0,20 g, elles ont servi d'unité de mesure dans l'Antiquité. Leur nom est à l'origine du carat (emprunté à l'arabe qirât), qui représentait le poids d'une graine de caroube, dans le commerce des pierres précieuses (**Ghédiram et Goetz, 2019**).

Les graines de caroube sont constituées de trois éléments : les téguments, la radicule et l'endosperme. Les téguments sont une enveloppe résistante de couleur brune (**Dakia et al., 2007**).

Au centre de la graine se trouve une radicule (ou embryon). Elle représente entre 23 à 25 % du poids sec de la graine. L'endosperme se trouve entre les téguments et la radicule. Il représente 42 à 46 % du poids de la graine (**Melgarejo et Salazar, 2003 in Bessibes et Boudjerda, 2017**).



Figure 5 : Appareils végétatif et reproducteur de caroubier. (A. Port général de l'arbre ; B. Écorce ; C. Feuille ; D. Fleurs mâle et femelle ; E. Fruits matures « gousse » ; F. Graines) (Kaderi et al., 2014).

3.4 Exigences pédoclimatiques

Le caroubier est une espèce typique de la flore méditerranéenne, bien définie dans l'étage humide, subhumide et semi-aride. La sécheresse cyclique a révélé que le caroubier résiste mieux au manque d'eau que le chêne vert, le thuya et l'oléastre qui lui sont associés. C'est une essence, très plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm/an). Il joue un rôle important dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion et dans la lutte contre la désertification (Bouhrem, 2019).

Les zones propices à la culture du caroubier doivent être caractérisées par un climat méditerranéen subtropical, avec des hivers doux, des printemps suaves à chauds et des étés chauds à très chauds et secs (Batlle et Tous, 1997). Les arbres adultes ne nécessitent pas de froid hivernal, car ils peuvent être endommagés lorsque les températures chutent en deçà de -2°C ou -4°C selon les variétés. Le caroubier ne peut supporter des températures hivernales inférieures à -7°C ; il est considéré comme une des espèces méditerranéennes les plus vulnérables aux dommages causés par les basses températures (Batlle et Tous, 1997, Albanell, 1990 in Mahdad, 2012).

3.5 Usages et intérêts

Le caroubier est une essence agro-sylvo-pastorale offrant de nombreux avantages et intérêts socio-économiques et écologiques. Il est cultivé depuis longtemps, surtout pour ses fruits comestible et sucrés qui sont riches en calcium, phosphore, potassium, magnésium, et pectine (**Benmahiole et al, 2011 in Bouras et Bensaifia, 2020**).

La gomme de caroube a plusieurs applications techniques dans différent domaines (agroalimentaire, pharmaceutique, pétrochimie, ...) comme produits anti-cœliaques, émulsions, épaississant, dans la teinture, allumettes et pesticides, adjuvant de floculation pour augmenter la stabilité et liant d'eau pour les explosifs (**Battle et Tous, 1997**).

3.5.1 En industries agro-alimentaires et pharmaceutiques

La farine du fruit, est employée dans les industries agro-alimentaires et pharmaceutiques, principalement contre les troubles gastro-intestinaux (diarrhée). Nous signalons aussi que la pulpe est préconisée contre la tuberculose pulmonaire. On tire de la caroube un produit essentiel : la gomme. Extraite de l'endosperme de la graine, elle est largement utilisée en agro-alimentaire (sauce, mayonnaise, etc.), en imprimerie, dans les industries textile et cosmétique (**Benmahioul et al., 2011**).

La farine, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est employée surtout en agro-alimentaire (**Sbay et Abourouh, 2006**) ; dans la préparation de jus sucrés, du chocolat, de biscuits et comme remplaçant de cacao (**Berrougui, 2007**). En Egypte, on extrait des fruits un sirop qui est employé pour confire les fruits ; les Arabes fabriquent avec la pulpe une boisson alcoolisée et les Kabyles fabriquent à partir du fruit un plat appelé Tomina (**Bonnier, 1990 in Gaouar, 2010**).

3.5.2 En alimentation de bétail

Le fruit du caroubier ou la caroube, se compose d'une pulpe enveloppant des graines régulières. En effet la pulpe sucrée de la caroube est employée depuis longtemps comme nourriture de bétail à côté d'autres aliments comme la farine d'orge (**Kaderi et al, 2014**).

3.6 Composition chimique

La pulpe et les graines sont les deux principaux constituants de la gousse du caroubier et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend en général, du cultivar, de l'origine et parfois de la période de récolte (**Kaderi et al, 2014**).

Les recherches scientifiques ont démontré que cette plante est riche en sucres (40-60 %) en particulier, saccharose (27-40 %), fructose (3-8 %) et glucose (3-5 %) qui sont considérés comme étant les sucres majeurs qui contribuent à la saveur des fruits (Shaw, 1988 in Arab, 2013). La composition chimique de la farine de caroube est représentée dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Valeur alimentaire de la farine de caroube destinée à l'alimentation des animaux (INRA CIRAD, 2020).

Paramètre	Brut	Sec	Unité
Matière sèche	85.2	100	%
Protéines brutes	4.3	5	%
Cellulose brute	8.7	10.3	%
Matières grasses brutes	0.6	0.7	%
Matières minérales	3	3.5	%
Cendres insolubles	0.01	0.01	%
Amidon	1.4	1.6	%
Sucres totaux	38.7	45.4	%
Energie brute (kcal)	3570	4190	kcal/kg
Calcium	4.3	5.1	g/kg
Phosphore	0.8	0.9	g/kg
Phosphore phytique	0.6	0.7	g/kg
Magnésium	0.6	0.7	g/kg
Potassium	8.2	9.7	g/kg
Sodium	0.27	0.31	g/kg
Manganèse	10	11	mg/kg
Zinc	7	8	mg/kg
Fer	14	17	mg/kg
Méthionine	0.9	1	g/kg

3.7 Production de caroube

Selon les statistiques de la **FAO (2020) in Bouras et Bensaïfia (2020)**, la production mondiale totale de la caroube est estimée à 144.960 tonnes en 2018 soit une augmentation de 6,18 par rapport à l'année 2017. La superficie récoltée est de 42.866 ha avec un rendement annuel de 33.817 hg/ha pour l'année 2018.

En Algérie, le caroubier occupe une superficie de 789 ha produisant 2.880 tonnes avec un rendement de 36.507 hg/ha pour l'année 2018. L'Algérie a enregistré une diminution de 40,35 % par rapport à l'année précédente (**FAO, 2020 in Bouras et Bensaïfia, 2020**).

Chapitre 4

Matériel et méthodes

4.1 Formulation des aliments pour la caille

La méthode choisie pour la formulation est la méthode des essais et des erreurs décrite précédemment dans la partie bibliographique le chapitre 2 (tâtonnement simple).

Pour faire nos calculs des formules alimentaires de la caille nous avons procédé à la conception d'une application d'ajustement de la ration en utilisant l'Excel. Différentes étapes ont été suivies afin de construire notre application :

4.1.1 Détermination de la valeur alimentaire des matières premières

Les matières premières utilisées pour la formulation des régimes alimentaires de la caille de trois phases (croissance, finition et ponte) sont maïs comme source d'énergie et tourteau de soja comme source de protéine, la farine de caroube pour la substitution partielle de maïs le son de blé, CMV, phosphate bicalcique et calcaire. Ces matières premières ont été fournies par l'ONAB de M'sila (Office National d'Aliment de Bétail). Les valeurs alimentaires des matières premières utilisées sont celles des tables de l'INRA. CIRAD. AFZ consultées sur le site <https://feedtables.com/fr> (**Tableau 9**).

Tableau 9 : Valeur alimentaire des matières premières utilisées pour formuler les régimes alimentaires de la caille (INRA. CIRAD. AFZ, 2020).

Matières	EM (kcal/kg)	Protéines %	Lipides %	Cellulose brute %	Ca (g/kg)	P disp (g/kg)	Lysine (g/kg)	Méth (g/kg)
Maïs	3461,4	8,8	4,1	2,6	0,5	0,7	2,7	1,9
Tourteau de soja	2530	48,5	1,9	7,2	3,9	1,6	30,8	7,1
Son de blé	1820	17,6	3,8	10,5	1,4	2,7	7	2,6
Farine de caroube	1902	6	0,7	6,7	5,1	0,2	1,8	1
Calcaire	0	0	0	0	351	0	0	0
Phosphate bicalcique	0	0	0	0	245	137	0	0
CMV croissance	0	0	0	0	190	80	20	45
CMV finition	0	0	0	0	190	80	20	45
CMV ponte	0	0	0	0	190	80	20	45

Sur une feuille Excel nous avons rempli la base de données de la valeur alimentaire des matières premières, en remplissant un tableau (Tableau 9) contenant 9 colonnes, une pour les matières premières, la deuxième pour l'énergie métabolisable (Kcal/Kg), la troisième colonne pour les protéines brutes (g/kg), la 4ème pour lipides (%), la 5ème pour la cellulose (%), la 6ème pour Ca (%), la 7ème pour le phosphore brute (%), la 8ème pour la lysine (%) et la 9ème pour la méthionine (%).

formule caille Azolla caroube finale (1) -

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3	matières	EM (kcal/kg)	protéines %	lipides %	Cellulose bru	Ca (g/kg)	phosphore d	lysine (g/kg)	méthionine (g)
4	maïs	3461,4	8,8	4,1	2,6	0,5	0,7	2,7	1,9
5	tourteau de s 2530	48,5	1,9	7,2	3,9	1,6	30,8	7,1	
6	son de blé 1820	17,6	3,8	10,5	1,4	2,7	7	2,6	
7	farine de car 1902	6	0,7	6,7	5,1	0,2	1,8	1	
8	calcair 0	0	0	0	351	0	0	0	
9	phosphate bi 0	0	0	0	245	137	0	0	
10	CMV croiss: 0	0	0	0	190	80	20	45	
11	CMV finitior 0	0	0	0	190	80	20	45	
12	CMV ponte 0	0	0	0	190	80	20	45	
13									
14									

4.1.2 Détermination des besoins de la caille japonaise

La deuxième étape consiste à l'introduction, sur la même feuille d'Excel précédente, d'une base de données des besoins alimentaires de la caille pour comparer à chaque fois nos calculs des apports alimentaires avec les besoins de ces oiseaux et faire l'ajustement nécessaire (**Tableau 10**).

Tableau 10 : Besoins nutritionnels recommandés pour la caille (**Bensalah, 2016**)

Phases	EM (kcal /kg)	Protéine s %	MG %	Cellulose %	Ca (g/kg)	P dispo (g/kg)	Lysine (g/kg)	Méthionine (g/kg)
Croissance	2800	23	1	0	8	3	13	5
Finition	2800	20	0	0	25	3.5	10	4.5
Ponte	2700	19	0	0	25	3.5	10	4.5

formule caille Azolla caroube finale (1) -

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3	matières	EM (kcal/kg	protéines %	lipides %	Cellulose bru	Ca (g/kg)	phosphore d	lysine (g/kg)	méthionine (g
4	maïs	3461,4	8,8	4,1	2,6	0,5	0,7	2,7	1,9
5	tourteau de s	2530	48,5	1,9	7,2	3,9	1,6	30,8	7,1
6	son de blé	1820	17,6	3,8	10,5	1,4	2,7	7	2,6
7	farine de car	1902	6	0,7	6,7	5,1	0,2	1,8	1
8	calcair	0	0	0	0	351	0	0	0
9	phosphate bi	0	0	0	0	245	137	0	0
10	CMV croiss:	0	0	0	0	190	80	20	45
11	CMV finitior	0	0	0	0	190	80	20	45
12	CMV ponte	0	0	0	0	190	80	20	45
13									
14									
15									
16		EM kcal/kg	protéines	MG	cellulose	ca	p dispo	lysine	méthionine
17	croissance	2800	23	1	0	8	3	13	5
18	finition	2800	20	0	0	25	3,5	10	4,5
19	ponte	2700	19	0	0	25	3,5	10	4,5
20									
21									
22									
23									

4.1.3 Formulation proprement dite

Dans cette étape nous avons inséré, sur la même feuille d'Excel précédente, un tableau des taux d'incorporation de chaque matière première dans la formule alimentaire (la somme doit égale 100). Les formules alimentaires calculées sont les suivantes :

1. Phase de croissance :

- Témoin comportant 0 % de la poudre de caroube
- Expérimentale comportant 3 % de la poudre de caroube
- Expérimentale comportant 6 % de la poudre de caroube

2. Phase de finition :

- Témoin comportant 0 % de la poudre de caroube
- Expérimentale comportant 3 % de la poudre de caroube
- Expérimentale comportant 6 % de la poudre de caroube

3. Ponte

- Témoin comportant 0 % de la poudre de caroube
- Expérimentale comportant 3 % de la poudre de caroube
- Expérimentale comportant 6 % de la poudre de caroube

Nous avons programmé les différentes équations mathématiques (flèche rouge) afin de calculer chaque fois l'énergie métabolisable... (Flèche verte) de (X) g de matières premières incorporées dans la ration (flèche noire). Les résultats des calculs des apports alimentaires fournis par la formule alimentaire s'affiche dans le tableau en jaune. Ci-dessous un exemple du maïs

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

matières	EM (kcal/kg)	protéines %
maïs	3461,4	8,8
tourteau de s 2530	48,5	
son de blé	1820	17,6
farine de car	1902	6
calcair	0	0
phosphate bi	0	0
CMV crois	0	0
CMV finior	0	0
CMV ponte	0	0

phases	maïs	TS	S	farine de car	calcaire	phosphate bi	CMV	la somme
croissance T	51,2	33,8		0	1	1	1	100
croissance E	48,2	34,8	11	3	1	1	1	100
croissance E	47,5	34,8	9,2	6	0,5	1	1	100

phases	EM (kcal/kg)	protéines %
croissance T	1772,2	23,0
croissance E	2806,0	23,2
croissance E	2806,2	23,0

4.2 Détermination de la valeur alimentaire des aliments formulés

4.2.1 Taux d'humidité (séchage à 135 °C)

Régler l'étuve à 135 ± 2 °C et peser 0,5 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 :

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

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

4.2.2 Cendre totales

Incinérer une prise d'essai de 0,5 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 rapporté 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).

4.2.3 Protéines

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 H₂SO₄ d'une prise d'essai, en présence de catalyseurs (CuSO₄), suivie d'une distillation de l'ammoniac libéré, dans un excès d'acide borique H₃BO₃. La teneur en azote de l'échantillon sera déterminée par titrimétrie de l'ammoniac par l'acide chlorhydrique HCl à 0,5N. 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 K₂SO₄ et 0.04 g de sulfate de cuivre CuSO₄ et 1 g d'oxyde d'aluminium ;
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique pure H₂SO₄ ;
- 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 minéralisâtes, 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 H₃BO₃ 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 ≥150ml), 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 :

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

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.

4.2.4 Cellulose

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 anti moussant (n-octane)

- 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 anti moussant (n-octane)

- 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 -Incinérer dans le four à moufle à 550 °C durant 3 heures et peser à nouveau après
- Calculer la teneur en fibres brutes par la formule suivante :

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

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)

4.2.5 Minéraux (Ca et P)

4.2.5.1 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.

4.2.5.2 Dosage du phosphore

La teneur en phosphore a été déterminée en utilisant la méthode phospho-vanadomolybdique 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 HNO₃ + 150 ml de H₂SO₄ + 300 ml d'HClO₄ 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 HNO₃ à (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 [(NH₄)₆MO₇O₂₄H₂O] dans 500 ml d'eau distillée et 1,25 g de Vanadate d'ammonium (NH₄ VO₃) dans 500 ml d'acide nitrique HNO₃ 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 (KH₂PO₄) 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.

Chapitre 5

Résultats et discussion

5.1 Formulation des aliments pour la caille

Dans le but de formuler des rations équilibrées pour la caille, nous avons essayé de faire une conception d'une application d'ajustement de la ration en utilisant l'Excel.

En utilisant la méthode des essais et erreurs via Excel, nous avons calculé les formules alimentaires témoins et expérimentales de croissance, de finition et de ponte pour alimenter la caille (**Tableau 11**).

Tableau 11 : Taux des ingrédients utilisés pour la formulation des aliments pour la caille (%)

Phases	Maïs	TS	Son de blé	Farine de caroube	Calcaire	Phosphate bicalcique	CMV	Somme
Croissance T	51.2	33.8	12	0	1	1	1	100
Croissance E3	48.2	34.8	11	3	1	1	1	100
Croissance E6	47.5	34.8	9.2	6	0.5	1	1	100
Finition T	56.5	28	11	0	2	1.5	1	100
Finition E3	54	28	10.5	3	2	1.5	1	100
Finition E6	53	28.5	8	6	2	1.5	1	100
Ponte T	54	24	16.5	0	2.5	1.5	1.5	100
Ponte E3	51.5	24.7	15.3	3	2.5	1.5	1.5	100
Ponte E6	49.3	25.2	14	6	2.5	1.5	1.5	100

T : Témoin, E3 : Expérimental 3 % caroube, E6 : Expérimental 6 % caroube.

Pour chaque phase de croissance de la caille, nous avons calculé une formule témoin qui comporte du maïs comme source d'énergie, de tourteau de soja comme source d'azote, du son de blé, de CMV, du calcaire et de phosphate bicalcique. Cette formule est la formule standard utilisée pour l'alimentation de volaille en Algérie.

Des formules expérimentales ont été préparées pour chaque phase en substituant partiellement le maïs par 3 et 6 % de la poudre de caroube (*Ceratonia siliqua* L.).

Les apports alimentaires en matière d'énergie métabolisable, protéines, lipides, cellulose, calcium, phosphore, lysine et méthionine ont été calculés pour chaque formule alimentaire (**Tableau 12**).

Le tableau ci-dessous représente les valeurs nutritives calculées des différents régimes alimentaires. Tous les régimes ont été formulés pour répondre aux besoins nutritionnels établis pour la caille au cours des différentes périodes de son élevage : Croissance, finition et ponte.

Tableau 12 : Apports alimentaires des aliments de la caille formulés

Phases	EM (kcal/kg)	Protéines %	Lipides %	Cellulose brute %	Ca (g/kg)	P disponible (g/kg)	Lysine (g/kg)	Méthionine (g/kg)
Croissance T	2845.8	23.0	3.2	5.0	9.6	3.4	12.8	4.1
Croissance E3	2806.1	23.2	3.1	5.1	9.8	3.4	13.0	4.2
Croissance E6	2806.2	23.0	3.0	5.1	8.1	3.3	13.0	4.1
Finition T	2864.3	20.5	3.3	4.6	14.1	4.0	11.1	3.8
Finition E3	2825.7	20.4	3.2	4.7	14.3	4.0	11.1	3.8
Finition E6	2815.3	20.3	3.1	4.7	14.4	3.9	11.1	3.7
Ponte T	2776.7	19.3	3.3	4.9	16.7	4.5	10.3	3.8
Ponte E3	2743.1	19.4	3.2	4.9	16.9	4.4	10.4	3.8
Ponte E 6	2713.0	19.4	3.1	5.0	17.0	4.4	10.5	3.8

EM : Energie Métabolisable, Ca : Calcium, P : Phosphore, T : Témoin, E3 : Expérimental 3 % caroube, E6 : Expérimental 6 % caroube.

Les résultats du tableau 12 montrent que les besoins alimentaires de la caille en énergie métabolisable (2800 Kcal/kg pour la croissance et la finition et 2700 Kcal/kg pour la ponte) et en protéines (23, 20 et 19 % respectivement pour la croissance, la finition et la ponte) sont satisfaits.

Pour les besoins en protéines dans les trois phases de croissance nous constatons une convergence entre nos résultats et ceux enregistrés par **(Bensalah, 2016)** (entre 19 % et 23 %).

L'apport en cellulose brute de toutes les formules alimentaires ne dépasse pas 5 %, ce qui est en concordance avec le pourcentage de cellulose brute recommandé dans l'alimentation de volaille qui ne doit pas dépasser 5 % **(Anselme, 1987)**.

Nous avons enregistré un déficit en calcium dans les formules alimentaires de ponte (16,7, 16,9 et 17 g/kg respectivement pour les formules : témoin E3 et E6). Le besoin en calcium de la caille dans la phase de croissance est de 25 g/kg **(Bensalah, 2016)**.

Toutes les formules alimentaires sont équilibrées en lysine mais légèrement déficitaires en méthionine.

De nombreux acides aminés sont nécessaires à la création des protéines des tissus animaux. Les acides aminés essentiels sont ceux qui ne peuvent pas être générés par l'organisme ou qui sont produits en quantités insuffisantes pour répondre aux besoins alimentaires des animaux. Les acides aminés sont vitaux. Ils doivent être inclus dans l'alimentation en quantité suffisante pour permettre à l'animal d'exprimer son potentiel génétique et obtenir les meilleurs résultats zootechniques par une synthèse protéique maximale **(Ndiagne, 1996)**.

La substitution partielle de maïs par la poudre de caroube n'a pas affecté les apports alimentaires des formules expérimentales en matière d'énergie métabolisable et de protéines.

5.2 Analyses alimentaires des aliments de la caille

Afin de vérifier l'apport nutritionnel réel des formules alimentaires préparées en utilisant la méthode de formulation des essais et des erreurs nous avons fait des analyses alimentaires des aliments préparés.

5.2.1 Taux de matière sèche

Les taux de matière sèche dans les aliments formulés sont entre 88,03 et 88,77 % pour les aliments de croissance, entre 86,9 et 88,34 % pour les aliments de finition et entre 87,41 et 87,71 % pour les aliments de ponte (**Tableau 13**).

Tableau 13 : Taux de la matière sèche dans les aliments de la caille (%)

Aliment	CT	CE3	CE6	FT	FE3	FE6	PT	PE3	PE6
MS %	88.03	88.49	88.77	88.34	86.90	87.97	87.41	87.71	87.54
	±0.27	±0.02	±0.02	±0.45	±1.40	±0.29	±0.23	±0.27	±0.26

Les résultats représentent la moyenne de trois répétitions \pm SEM. MS % : Taux de la matière sèche. CT : Croissance Témoin. CE3 : Croissance Expérimental 3% caroube. CE6 : Croissance Expérimental 6% caroube. FT : Finition Témoin. FE3 : Finition Expérimental 3% caroube. FE6 : Finition Expérimental 6% caroube. PT : Ponte Témoin. PE3 : Ponte Expérimental 3% caroube. PE6 : Ponte Expérimental 6% caroube.

L'ajout de la farine de caroube n'a pas affecté le taux de matière sèche dans les formules alimentaires de croissance et de ponte alors qu'on observe une diminution dans le taux de matière sèche des formules alimentaires expérimentales de finition par rapport au témoin.

Nos résultats de matière sèche sont comparables à ceux de **Belkacem et Zerrouga (2021)**, qui ont trouvé des taux de matière sèche de 87,67 à 88,62 % pour les aliments de croissance et de finition.

5.2.2 Taux de cendres totales

Les teneurs en cendres totales dans les formules alimentaires sont entre 4,13 et 6,63 % dont l'aliment expérimental de croissance contenant 3 % de la poudre de caroube enregistre la teneur la plus faible et l'aliment de ponte contenant 3 % de caroube enregistre la teneur la plus élevée (**Tableau 14**).

Il est observé que les taux de cendres totales dans les aliments de finition et de ponte sont plus élevés que ceux des aliments de croissance.

Tableau 14 : Taux de cendres totales dans les aliments de la caille (%)

Aliments	CT	CE3	CE6	FT	FE3	FE6	PT	PE3	PE6
CT %	4.70	4.13	4.45	5.01	6.20	6.05	6.23	6.63	5.13
	±0.10	±0.11	±0.03	±0.68	±0.43	±0.17	±0.04	±0.16	±0.81

Les résultats représentent la moyenne de trois répétitions \pm SEM. CT % : Taux de cendres totales. CT : Croissance Témoin. CE3 : Croissance Expérimental 3% caroube. CE6 : Croissance Expérimental 6% caroube. FT : Finition Témoin. FE3 : Finition Expérimental 3% caroube. FE6 : Finition Expérimental 6% caroube. PT : Ponte Témoin. PE3 : Ponte Expérimental 3% caroube. PE6 : Ponte Expérimental 6% caroube.

Les taux de cendres totales des aliments de croissance enregistré dans notre travail sont proches à ceux trouvés par **Boussekra et Bouhedou (2020)** soit 4,44 % et 4,30 %. En revanche, les taux de cendres totales des aliments de finition enregistrés par ces auteurs (4,69 % et 3,75 %) sont inférieurs à nos résultats. Cette différence peut être expliquée par les quantités de calcaire, phosphate bicalcique et CMV ajoutées aux aliments.

5.2.3 Teneurs en protéines

Des résultats de la figure 6 représentant les teneurs en protéines dans les aliments de la caille, il apparait que les teneurs en protéines dans les aliments témoins de croissance, de finition et de ponte sont semblables à celles calculées précédemment par la méthode des essais et des erreurs (**Tableau 12**). Ces teneurs couvrent les besoins de la caille en protéines.

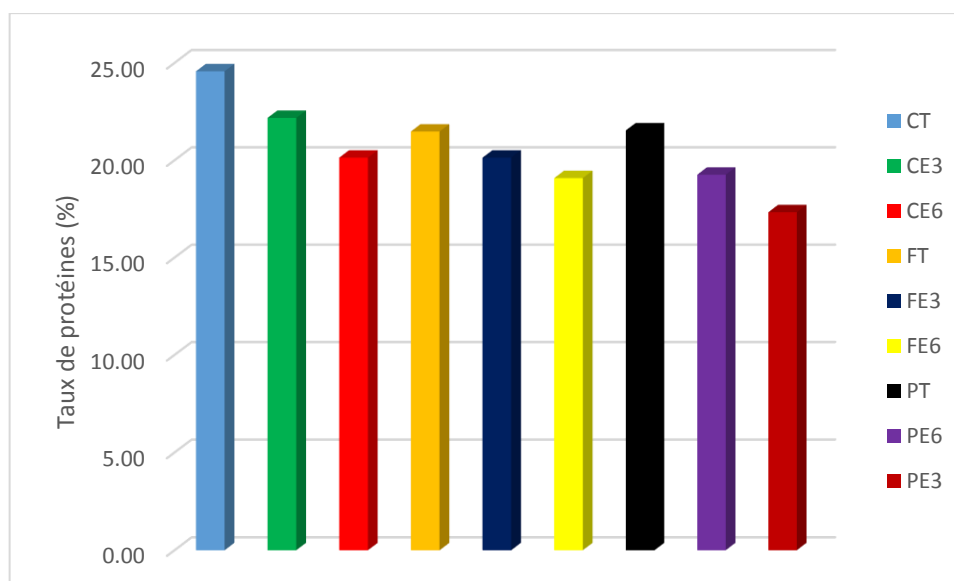


Figure 6 : Taux protéique dans les aliments formulés. CT : Croissance Témoin. CE3 : Croissance Expérimental 3% caroube. CE6 : Croissance Expérimental 6% caroube. FT : Finition Témoin. FE3 : Finition Expérimental 3% caroube. FE6 : Finition Expérimental 6% caroube. PT : Ponte Témoin. PE3 : Ponte Expérimental 3% caroube. PE6 : Ponte Expérimental 6% caroube.

Nous observons que la substitution partielle du maïs par la poudre de caroube est accompagnée par la diminution du taux protéique dans les formules alimentaires expérimentale. Les taux protéiques dans les aliments CE6, FE6 et PE6 sont inférieurs à ceux calculés précédemment (**Tableau 12**) et ne couvrent pas les besoins protéiques de la caille. Cette différence peut être expliquée par les taux protéiques théoriques élevés des tables de l'INRA (**INRA CIRAD, 2020**) par rapport aux valeurs réelles.

5.2.4 Teneurs en cellulose brute

La cellulose brute est utilisée pour estimer la qualité des productions origine agricole sur le principe qu'il agit de la fraction non digestible (**Möller, 2014**).

Les résultats des teneurs en cellulose brute illustrés dans la figure 7 révèlent que les aliments de croissance témoin et expérimentale enregistrent des teneurs en cellulose brute très proches et plus élevées par rapport aux autres aliments composés.

L'aliment expérimental de ponte enregistre la teneur en cellulose brute la plus faible (4%) par rapport aux aliments formulés.

Selon **Anselme, (1987)** le pourcentage de cellulose brute recommandé dans l'alimentation des volailles ne doit pas dépasser 5 % ; ce qui est en concordance avec nos résultats à l'exception des aliments de croissances (**Figure 7**).

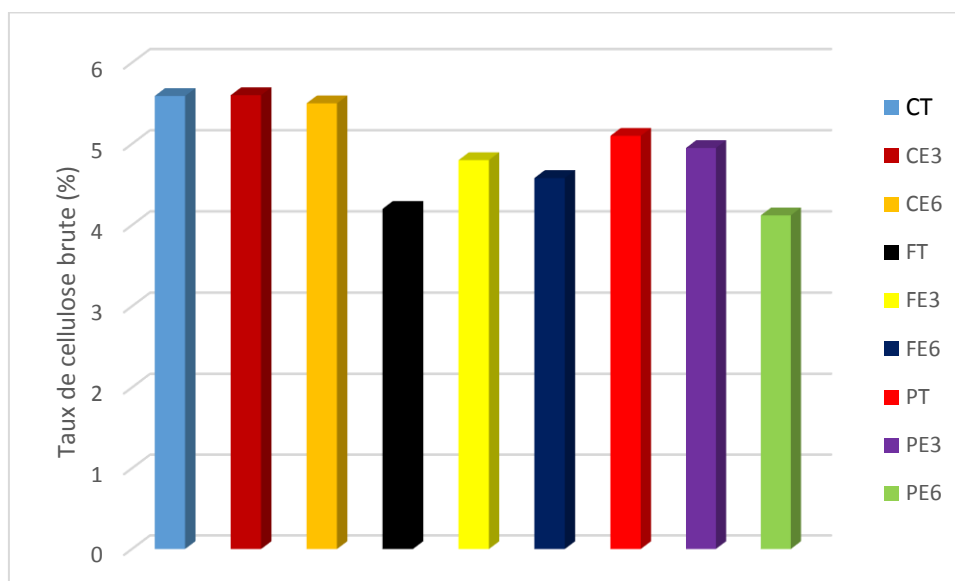


Figure 7 : Taux de cellulose brute dans les aliments formulés (%).CT : Croissance Témoin. CE3 : Croissance Expérimental 3% caroube. CE6 : Croissance Expérimental 6% caroube. FT : Finition Témoin. FE3 : Finition Expérimental 3% caroube. FE6 : Finition Expérimental 6% caroube. PT : Ponte Témoin. PE3 : Ponte Expérimental 3% caroube. PE6 : Ponte Expérimental 6% caroube.

5.2.5 Teneurs en calcium

Des teneurs en calcium mentionnée dans la figure 8, nous constatons que les teneurs en calcium dans les aliments de croissance sont inférieures que celles de aliments de finition et de ponte. L'aliment témoin de ponte exprime la teneur la plus élevée par contre l'aliment expérimental de croissance exprime la teneur la plus faible.

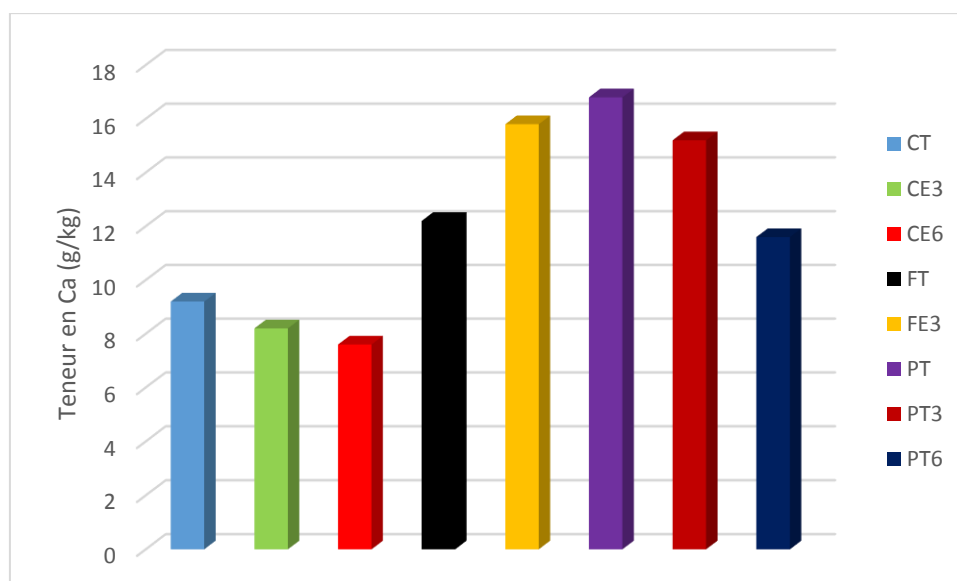


Figure 8 : Teneurs en Ca dans les aliments formulés (g/kg). CT : Croissance Témoin. CE3 : Croissance Expérimental 3% caroube. CE6 : Croissance Expérimental 6% caroube. FT : Finition Témoin. FE3 : Finition Expérimental 3% caroube. FE6 : Finition Expérimental 6% caroube. PT : Ponte Témoin. PE3 : Ponte Expérimental 3% caroube. PE6 : Ponte Expérimental 6% caroube.

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 ; Belkacem et Zerrouga, 2021).

5.2.6 Teneurs en phosphore

La courbe d'étalonnage du phosphate de potassium qui est une droite d'équation $y = 0,0293x + 0,237$ a été utilisée pour calculer les teneurs en phosphore dans les aliments formulés (Figure 9).

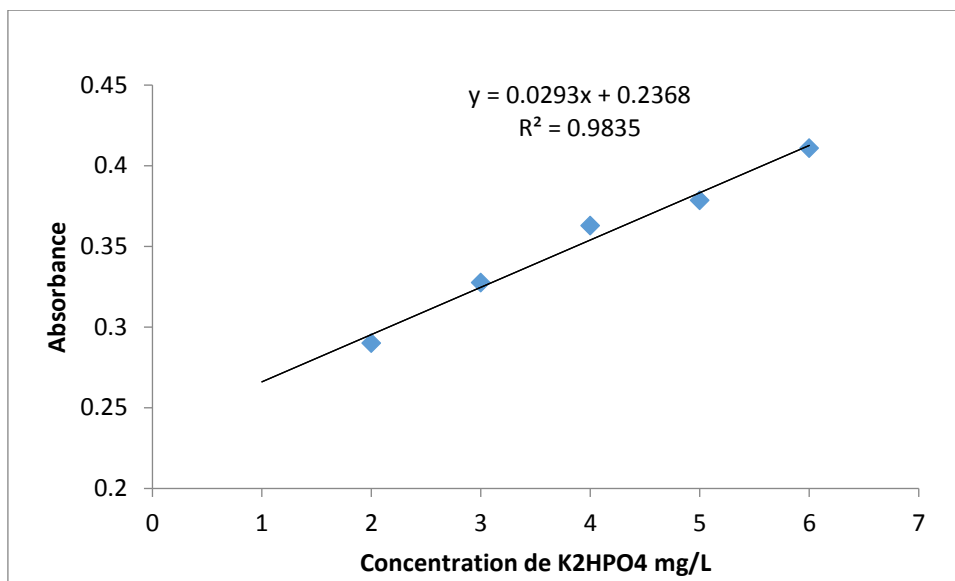


Figure 9 : Courbe d'étalonnage de phosphore (mg/l)

Les résultats tracés dans la figure 10 révèlent que la plus grande teneur en phosphore est dans l'aliment expérimental de finition à 6 % de caroube suivi par l'aliment témoin de ponte.

L'ajout de la farine de caroube dans les aliments a diminué les teneurs en phosphore dans les aliments expérimentaux de croissance et de ponte par rapport aux témoins (**Figure 10**).

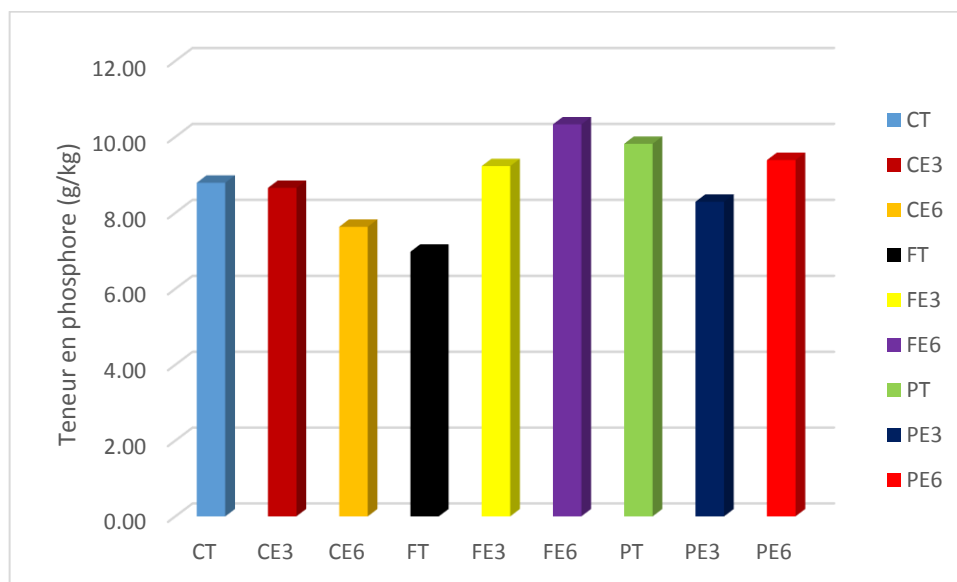


Figure 10 : Teneurs en phosphore dans les aliments formulés (g/kg MS). CT : Croissance Témoin. CE3 : Croissance Expérimental 3% caroube. CE6 : Croissance Expérimental 6% caroube. FT : Finition Témoin. FE3 : Finition Expérimental 3% caroube. FE6 : Finition Expérimental 6% caroube. PT : Ponte Témoin. PE3 : Ponte Expérimental 3% caroube. PE6 : Ponte Expérimental 6% caroube.

L'excès alimentaires en phosphore doit être évité car ces excès peuvent nuire à l'absorption intestinale des autres éléments minéraux. Le phosphore qui provient de produits végétaux (autrement dit, phytates) ne doit pas y dépendre pour satisfaire les exigences en phosphore pour deux raisons : il n'est pas facilement disponible dans sa forme naturelle pour l'oiseau, et il peut être lié au calcium, zinc, fer, ou au manganèse de manière à le rendre indisponible (**Shimelis et al., 2013**).

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 (**Belkacem et Zerrouga, 2021**).

Conclusion

L'étude réalisée avait pour objectif la formulation des aliments qui couvrent les besoins alimentaires de la caille en substituant partiellement le maïs par une ressource alimentaire locale qui est la farine de caroube.

Dans notre travail, nous avons fait des essais de formulation des régimes alimentaires équilibrés pour l'alimentation de la caille en utilisant la méthode des essais et des erreurs via Excel. Des régimes alimentaires de croissance, de finition et de ponte contenant 0, 3 et 6 % de la farine de caroube ont été préparés. Après la formulation et la préparation des régimes alimentaires, nous avons fait des analyses alimentaires pour vérifier les apports nutritionnels de ces aliments.

En comparant les apports nutritionnels calculés des aliments formulés avec les besoins recommandés de la caille, nous constatons que dans l'ensemble, les aliments formulés couvrent les besoins alimentaires de cette espèce dans les trois phases de croissance, principalement, pour l'énergie métabolisable et les protéines.

Nous observons que la substitution partielle du maïs par la poudre de caroube est accompagnée par la diminution du taux protéique dans les formules alimentaires expérimentale. Les taux protéiques dans les aliments CE6, FE6 et PE6 sont inférieurs à ceux calculés par la méthode des essais et des erreurs.

Il est recommandé d'évaluer l'impact de la substitution partielle du maïs par la poudre de caroube sur les performances de production de la caille.

Références bibliographiques

1. **Ait Chitt M., Belmir H. et Lazrak A. (2007)** : Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA MAPM/DERD*. 153. 1-4.
2. **Al-Deseit B. (2009)**: Least-cost broiler ration formulation using linear programming technique. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(7), 1274-1278.
3. **Almasad M., Altahat E., AL-Sharafat A. (2011)**: Applying Linear Programming Technique to Formulate Least Cost Balanced Ration for White Eggs Layers in Jordan. *International Journal of Empirical Research*, 1(1): 112-120. DOI: 10.5897/AJAR
4. **Amiar W. (2017)** : Etude de l'effet de l'utilisation d'un aliment type caille sur les performances de la reproduction de la caille japonaise *Coturnix japonica*. Mémoire de master. Université Abdelhamid ibn badis Mostaganem.
5. **Arab N. (2013)** : Effet des composés phénoliques de la caroube sur les paramètres du stress oxydatif chez des rates soumises à un régime hypergras. Mémoire de master. Biologie. Université Abou Bakkr Belkaid. Tlemcen. 75p.
6. **Association L214. (2019)**: CAILLES. Enquête dans un élevage de cailles pondeuses de la Drôme.
7. **Aubri J.M. et Schorsch G. (1999)** : Présentation générale. Formulation. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/principes-de-formulation-42489210/formulation-j2110/>
8. **Avigon A. (2009)** : Besoins nutritionnels et apports alimentaires de l'adulte. *Évaluation de l'état nutritionnel. Dénutrition-Faculté de Médecine Montpellier-Nîmes-2e cycle-MIA-Nutrition*.
9. **Battle I. (1997)**: Carob tree: *Ceratonia siliqua L.*-Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Bioversity International. Vol. 17.
10. **Beghoul S. et Bensegueni A. (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. Université des Frères Mentouri (Constantine 1)
11. **Benoit R. (2016)** : Le savoir et l'expertise du réseau agricole et agroalimentaire. Agri réseau.

12. **Belkacem Y. Zerrouga RZ. (2021)** : Essai de formulation d'un aliment pour poulet de chair en incorporant des ressources alimentaires locales. Mémoire de master. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
13. **Bensalah A. (2016)** : Effets de quelques formules alimentaires sur les performances zootechniques et le profil Biochimique de la caille japonaise. Mémoire de Magistère en sciences vétérinaire. Département de Productions Animales, Université des Frères Mentouri Constantine.
14. **BenYoucef S. et Rebiha M. (2018)** : Situation d'élevage de caille en régions sahariennes (Ghardaïa et de Ouargla). Essai d'un cas pratique. Mémoire de master. Parcours et Elevage en Zones Arides. Université Kasdi Merbah Ouargla.
15. **Berrougui H. (2007)** : Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales. Maghreb Canada Express 5, n 9.
16. **Bertechini A. G. (2012)**: The quail production. In *XXIV World's Poultry Congress. Salvador: Anais... Salvador, Bahia.*
17. **Berrama Z., Mefti H., Kaidi R. et Souames S. (2011)**. Caractérisation zootechnique et paramètres génétiques des performances de croissance de la caille japonaise *Coturnix japonica* élevée en Algérie. *Complément*, 905 (1), 1.
18. **Bessibes S., Boudjerda S. et Ayad R. E. (2017)** : Impact de deux procédés de transformation sur la qualité du caroubier de la wilaya de Jijel. Thèse de doctorat. Université de Jijel.
19. **Binette et Jardin (2019)** : Comment élever des cailles ? Conseil d'élevage. Journal le monde.
20. **Bonnier G. (1990)** : La grande flore en couleurs (tome 3), pp.309-310.
21. **Bouchellah E. et Youcef L. (2017)** : Cycle, M. D. F. Marquages Chromosomiques de la Caille japonaise *Coturnix japonica* : Coloration Conventionnelle et Bandes GTG Mémoire de master. Génétique Appliquée. Université Abderrahmane Mire-Bejaia.
22. **Bouharem I. (2019)** : Le caroubier : Valorisation et utilisation industrielle. Mémoire de Master. Biotechnologie Alimentaire. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
23. **Bourdeaux C. et Roinsard A. (2015)** : Alimentation des volailles en agriculture biologique. P19. P26

24. **Brah N., Houndonougbo M. F. et Issa S. (2015):** Etapes et méthodes de formulation d'aliment de volaille: Une synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 9 (6). 2924-2931.
25. **Castelli P. (2020) :** Les compléments alimentaires: les risques d'une surconsommation.
26. **Chandy K. T (2004):** Quailhousing. Booklet No. 309 Animal Husbandry- Quail: QLS – 3, Agricultural & Environmental Education.
27. **Chapoutot P., Rouille B., Sauvant D. et Renaud B. (2018) :** Les coproduits de l'industrie agro-alimentaire: des ressources alimentaires de qualité à ne pas négliger. *INRA Productions Animales*. 31(3). 201-220.
28. **Dakia P.A., Wathelet B. et Paquot M. (2007):** Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ. *Food Chemistry*. 102(4). 1368-1374.
29. **Desmedt L. (2019) :** Influences maternelles sur le développement vocal de la caille japonaise (*Coturnix c. japonica*). Thèse de doctorat. Université Rennes 1.
30. **Djinandji M.G., Ernest Z.N.G., Brahima K. et Koffi K.** Effets de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* sur la croissance, la ponte et la qualité des œufs de la caille *Coturnix japonica* en élevage en Côte d'Ivoire.
31. **Dulzarche C.** Légumineuse qu'est-ce que c'est ? Futura santé.
32. **FAOSTAT. (2019):** The Statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (www.fao.org).
33. **Ferland C. (2014) :** Chargée de projets à l'édition, *CRAAQ*, Cailles : un petit élevage à la portée de tous (Anonyme | <https://n9.cl/0nzxx>).
34. **Fernandez E.V et Ruiz Matas J.J. (2003):** Technicien En Elevage. Tome1. Ed : CULTURAL S.A. Espagne. 242p.
35. **Ghédira K. et Goetz P. (2019) :** Caroubier : *Ceratonia siliqua* (L.)(Fabaceae).
36. **Gaouar N. (2011).** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. Mémoire de Magister. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen. Algérie.
37. **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. France. 68p.

38. **Ermias A., Shimelis H., Mark L. et Fentahun M. (2013):** Aluminium toxicity tolerance in cereals: Mechanisms, genetic control and breeding methods. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (9), 711-722.
39. **Hillcoat D., Lewis G. et Verdcourt B. (1980):** A new species of *Ceratonia* (Leguminosae-Caesalpinioideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew Bulletin*. 261-271.
40. **Huart A. (2004) :** Les ingrédients quicomposent l'aliment volaille. *ECOCONGO*.
41. **Huss D., Poynter G. et Lansford R. (2008) :** Japanese quail (*Coturnix japonica*) as a laboratory animal model. *Lab animal*, 37 (11), 513-519.
42. **INRA CIRAD. (2020) :** <https://feedtables.com/fr>.
43. **ITELV. (2018) :** Guide d'élevage de la Caille. Document établi par le Département Monogastrique. 11p
44. **ITPE. (1988) :** Institut Technique Des Petits Elevages. Guide Elevage Caille Et Pigeon.
45. **Kaderi M., Ben Hamouda G., Zaeir H., Hanana M., et Hamrouni L. (2015):** Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Ceratonia siliqua* (L.). *Phytothérapie*, 13(2), 144-147.
46. **Lawrence C. (2019):** feeding quail. Poultry keeper.
47. **Le Bot O. (2014) :** Influences maternelles prénatales chez les oiseaux nidifuges: facteurs de variation et effets sur le développement comportemental des jeunes. Thèse de doctorat. Rennes 1.
48. **Leclercq B. et Beaumont. 2000.** Etude par simulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines, Station de recherche avicole de l'INRA, Nouzilly (France), INRA production animal, 13, 47-59, 2000. p48
49. **Mahdad M. Y. (2013) :** Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie. Thèse de doctorat. Université de Tlemcen-Abou BekrBelkaid.
50. **Mahmoudi S. 2018 :** Etude Phyto-Chimique Et Caractérisation Techno-Biologique De Quelques Variétés De Figes Algériennes (*Ficus Carica* L.). Thèse De Doctorat En Sciences Agronomiques. Université Saad Dahlab De Blida. 185p.
51. **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-](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-8

00&A=D&Cl=CL2.1&D=HASH58a992c05750659cd1d008.7.9

52. **Malumba K. P. (1999).** Une Approche Programmatique Dans La Formulation Des Aliments Complete Pour Volaille. Mémoire d'Ingénieur Agronome. Agronome Générale. Université De Kinshasa. 72p
53. **Merck (2003) :** Le Manuel Vétérinaire Merck 2eme Edition Française Edition : Susan E Aiello B. S, D.V. MELS 1983-2013.
54. **Moller J. (2014) :** Comparaison des méthodes de dosage des fibres sur produits agricoles. Consulté le, 8(08), 2019.
55. **Mondry R. (2016) :** L'élevage des cailles en zone tropicale. CTA. page 10-12
56. **Montminy M., Boucher C., Pomar C., Dubeau F. et Dussault J. (2005) :** Impact de la méthode de formulation et du nombre de phases d'alimentation sur le coût d'alimentation et les rejets d'azote et de phosphore chez le porc charcutier. *JOURNEES DE LA RECHERCHE PORCINE EN FRANCE*, 37, 25.
57. **Montminy M., Boucher C., Pomar C., Dubeau F. et Dussault J. (2005) :** Impact de la méthode de formulation et du nombre de phases d'alimentation sur le coût d'alimentation et les rejets d'azote et de phosphore chez le porc charcutier. *JOURNEES DE LA RECHERCHE PORCINE EN FRANCE*, 37, 25.
58. **Paul M., Raïssa E., Parisse A., et Serge L. (2021) :** Effet de l'incorporation de la drêche séchée dans l'aliment de la ferme Colette de Kintélé (Brazzaville, République du Congo) sur les performances de croissance des cailles domestiques (*Coturnix Coturnix japonica*) en phase de finition. *Journal of Applied Biosciences*, 161, 16576-16586.
59. **Moula N., Philippe F. X., Ait Kaki A., Touazi L., Antoine-Moussiaux N. et Leroy P. (2014) :** Ponte et qualité d'œufs de cailles élevées en conditions semi intensives dans l'Est Algérien. *Archivos de zootecnia*, 63(244), 693-696.
60. **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.
61. **N'zue K. (2015) :** Reproduction des cailles en élevage dans la zone périurbaine d'Abidjan. Mémoire de master. Biologie et productions animales. République de Côte d'Ivoire. Page 6.

62. **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.
63. **Patrick C., Benoît R., Daniel S. et Bénédicte R. (2018) :** Les Coproduits De L'industrie Agroalimentaire : Des Ressources Alimentaires De Qualité A Ne Pas Négliger. INRA Prod. Anim. 31 (3). 201-220.
64. **Prabakaran R. (2003):** Good practices in planning and management of integrated commercial poultry production in South Asia.
65. **Priti M. et Satish S. (2014):** Quail farming. *Life Sciences*, 2(2) ,190-193.
66. **Randall M. and Bolla G. (2008):** Raising Japanese quail. *Primefacts*, 602, 1-5.
67. **Saidi R., Lamarti A., et Badoc A. (2007) :** Micropropagation du caroubier (*Ceratonia siliqua*) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 146, 113-129.
68. **Sakande S. (1993) :** Contribution à l'étude de l'influence des apports en protéines alimentaires sur les performances de croissance et le rendement carcasse de la pintade commune (*Numidameleagris*) et du poulet de chair (*Gallus domesticus*). Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar-Sénégal.
69. **Sbay H. et Abouhouh M. (2006) :** Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier, Centre de recherche Forestière Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Rabat, pp.1-9.
70. **Shanawany MM. (1994):** Quail production systems: a review. Livre. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
71. **Tabet F. (2014) :** Activité antimicrobienne des extraits phénoliques de caroube *Ceratonia siliqua* (L). Thèse de doctorat. Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis.
72. **Thierry D. (2005) :** Contribution A L'étude De La Qualité -Nutritionnelle Des Aliments Et Matières Premières Utilisées En Aviculture Dans La Zone Péri-Urbaine De Dakar. Mémoire De Diplôme D'études Approfondies. Université Cheikh Anta Diop – Dakar. 30 P.
73. **Valbiom. (2005) :** La Qualité Nutritive Du Tourteau De Colza. Belgique. 5p.
74. **Vali N. (2008).** The Japanese quail: A review. *International Journal of Poultry Science*.
75. **Zubiria L. (2015) :** *Diététicienne Nutritionniste*, Passeport Santé Aliments Caille (Anonyme 2 <https://n9.cl/4wxwk>).