

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° : 55/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 : BOUALLAG Asma

KORICHI Fella

Intitulé

**Essai de formulation d'un aliment pour la caille en
incorporant *Azolla pinnata*.**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BAA Abdelhamid	MCA	Université Med. BOUDIAF- M'SILA	Président
Dr. MAHMOUDI Souhila	MCA	Université Med. BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
Dr. HAFFAF Samia	MCA	Université Med. BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année Universitaire : 2021 /2022

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons tout d'abord à remercier le « BON DIEU » le tout puissant de nous avoir accordé le courage, la patience, la volonté et surtout la santé pour réaliser notre travail de recherche.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Madame **MAHMOUDI Souhila**, maître de conférences A au département de sciences agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila. On la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos très vifs remerciements vont à monsieur **BAA Abdelhamid** maître de conférences A au département de sciences agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Nous remercions particulièrement madame **HAFFAF Samia**, maître de conférences A au département de sciences agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier monsieur le doyen de la faculté de sciences, Université Med. Boudiaf de M'sila **Pr. BENSASI T.**, monsieur le chef de département de sciences agronomiques **CHERIEF A.** pour leur soutien inestimable.

Un très grand merci au staff de laboratoires de département de sciences agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila : **Yassine, Hicham, Chahra, Merzaka, Amina, Samiya, Wassila** pour leur disponibilité et leur soutien.

Nos chaleureux remerciements vont à tous mes enseignants de tronc commun SNV et de département de sciences agronomiques.

Dédicaces

Du profond de mon cœur je dédie ce mémoire à tous ceux qui sont chers ...

A mon très chère papa : à L'homme de ma vie (KORICHI MESAOUUD). Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance pour ton dévouement et tes sacrifices, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'épauler.

Je te dédie ce mémoire, puisse tu y trouver le fruit de tes efforts. A ma très chère maman : à ma raison de vivre (KORICHI Saliha). A celle qui m'a tout donné sans attendre le moindre retour, a celle qui m'épaulait quand j'en avais le plus besoin. Tu représentes le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ce modeste travail paraît bien dérisoire pour traduire une reconnaissance infinie envers une mère aussi merveilleuse dont j'ai la fierté d'être la fille. Je t'aime très fort

A mes chers frères et sœurs : ACHRAF et YOUSRA ET BOUCHRA. Merci d'être toujours à mes côtés, par votre amour dévoué et votre tendresse, pour donner du goût et du sens à ma vie. Je prie Dieu, le tout puissant, pour qu'il vous donne bonheur et prospérité.

A L'âme du défunt mon chère cousin : Aymen

A mes cousins et mes cousines

ALAA, ZAKI ET AYOUB, RANIA, HADIL, FADWA, NIHED

A mes tantes, mes oncles

MUSTAPHA, ABDERAHMAN, HALIM ET OSSAMA, HAYET, RATIBA, AKILA, RAZIKA, NADIA, WAHIBA, MIMI, HADJIRA ET HOURIA. A travers mon travail, je vous transmets mes meilleurs sentiments de gratitude. Que Dieu vous donne longue vie pour le maintien de l'union de notre grande famille

A ma binôme BOUALEG ASMA et sa grande famille

A mes très chères copine : MOUNA, WARDA, KARIMA, SABRINA ET IMANE. Après tant d'années passées avec vous, vous n'es plus des amies, mais vous fais partie de ma famille, vous être les amies de mon espoir, vous me rassemble, merci de ne m'avoir jamais laissé tomber, d'avoir être toujours présentes.

Sans oublier mes très chers copains : RABAH ET YACINE, merci pour les moments qu'on a partagé et qu'on partagera. Jamais je ne pourrai vous exprimer l'amour que je vous porte.

Que Dieu vous protège et vous procure joie et bonheur et que notre amitié reste à jamais.

A mes chères amies

LOUJAY ET MAYADA

Je t'aime

FELLA

Dédicaces

Avec un très grand amour et beaucoup de respect, je dédie ce modeste travail, à la femme qui a tellement sacrifié pour moi, et qui mérite toute ma reconnaissance à ma très chère mère « Farida » que dieu la protège.

A l'homme de ma vie mon père «Nourdinne » qui a partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail que Dieu m'aide à lui rendre qui son dû et que Dieu le protège.

A mon grand frère Krimou et le petit Saïd

A mes cousines spécialement Nour et ses filles Djana et Lina

A mon amie intime et mon bras droit Asma elle a partagée avec moi les meilleurs moments de ma vie e aux moments les plus difficiles de ma vie elle était toujours à mes cotées. Aucun mots ne pourrait exprimer ma gratitudes, mon amour et mon respect je remercie le bon Dieu qui a croisé nos chemins et à sa famille.

A toute ma famille maternelle et paternelle la famille BOUALLAG et ATTIA

A ma binôme KORICHI Fella et sa famille

A tous mes amis et mes collègues et à toutes les personnes qui aiment ASMA

Asma

Résumé

L'alimentation distribuée aux cailles est responsable en grande partie de leurs performances zootechniques. L'objectif de cette étude est de formuler des aliments de croissance, de finition et de ponte pour la caille (*Coturnix japonica*) en substituant partiellement le tourteau soja issu de l'importation et qui coûte très cher par la farine d'*Azolla pinnata* produite localement, et avec un prix plus faible.

La première partie de ce travail consiste à un essai de formulation des aliments de croissance, de finition et de ponte de la caille contenant 0, 5 et 10 % d'*Azolla pinnata* en utilisant la méthode des essais et des erreurs via Excel. La deuxième partie est consacrée à la vérification des apports alimentaires réels des formules alimentaires préparées par la détermination de la matière sèche, les cendres totales, les protéines, la cellulose, le calcium et le phosphore.

Les résultats obtenus montrent que, dans l'ensemble, les aliments formulés couvrent les besoins alimentaires de la caille dans ses phases de vie ; principalement en matière d'énergie métabolisable et de protéines. Les résultats des analyses réalisées sont comparables à ceux issus des calculs. La farine d'*Azolla pinnata* est très riche en protéine soit 32 % ce qui la rend un excellent substituant de tourteau de soja dans l'alimentation de la caille.

Mots clés : Cailles, *Azolla pinnata*, formulation, alimentation.

Abstract

The feed distributed to quails is largely responsible for their zootechnical performance. The objective of this study is to formulate growth, finishing and laying feed for quail (*Coturnix japonica*) by partially substituting imported soybean meal, which is very expensive, with locally produced *Azolla pinnata* of lower price.

The first part of this work consists of a trial formulation of quail growth, finishing and laying feeds containing 0, 5 and 10% *Azolla pinnata* using the trial and error method via Excel. The second part is devoted to the verification of the real food intake of the food formulas prepared by determining the dry matter, the total ash, the proteins, the cellulose, the calcium and the phosphorus.

The results obtained show that, on the whole, the formulated feeds cover the nutritional needs of the quail in its life phases; primarily in terms of metabolizable energy and protein. The results of the analyzes carried out are comparable to those resulting from the calculations. *Azolla pinnata* powder is very rich in protein, 32%, which makes it an excellent substitute for soybean meal in quail feed.

Keywords: Quails, *Azolla pinnata*, formulation, feed.

الملخص

العلف الموزع على السمان مسؤول إلى حد كبير عن أدائه في تربية الحيوانات. الهدف من هذه الدراسة هو تكوين علف النمو والتشطيب والبيض للسمان (*Coturnix japonica*) عن طريق الاستعاضة الجزئية عن دقيق فول الصويا المستورد ، وهو مكلف للغاية ، بدقيق *Azolla pinnata* المنتج محليا وبسعر أقل.

يتكون الجزء الأول من هذا العمل من صياغة تجريبية لأعلاف النمو وإنهاء وبيض السمان التي تحتوي على 0 و 5 و 10٪ *Azolla pinnata* باستخدام طريقة التجربة والخطأ عبر Excel الجزء الثاني مخصص للتحقق من المدخول الغذائي الفعلي للصيغ الغذائية المعدة عن طريق تحديد المادة الجافة والرماد الكلي والبروتينات والسليلوز والكالسيوم والفوسفور.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الأعلاف المصنعة تغطي ، بشكل عام ، الاحتياجات الغذائية للسمان في مراحل حياته ؛ في المقام الأول من حيث الطاقة والبروتينات القابلة للتمثيل الغذائي. نتائج التحليلات التي تم إجراؤها قابلة للمقارنة مع تلك الناتجة عن الحسابات. دقيق أزولا بيناتا غني جدا بالبروتين أي 32٪ مما يجعله بديلا ممتازا لوجبة فول الصويا في علف السمان.

الكلمات المفتاحية: *Azolla pinnata* السمان ، التركيبة ، الأعلاف

Liste des tableaux

Tableau 1 : Espèces les plus connues du genre.....	03
Tableau 2 : Les normes de température et d'hygrométrie à respecter pendant l'incubation des œufs de la caille.....	08
Tableau 3 : Normes d'ambiance de la caille reproductrice (0-6 semaines).....	11
Tableau 4 : Valeurs alimentaires de chair de la caille.....	13
Tableau 5 : Comparaison entre la valeur alimentaire des œufs de caille et des œufs de poule.....	14
Tableau 6 : Besoins en protéines, énergie et minéraux du cailleteau chair à l'engraissement en (%) du régime.....	18
Tableau 7 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisées comme source d'énergie dans l'alimentation de la caille.....	19
Tableau 8 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisés comme source de protéines dans l'alimentation de volaille.....	22
Tableau 9 : Formule alimentaire de la caille.....	23
Tableau 10 : La composition chimique d' <i>Azolla pinnata</i> fraîche.....	28
Tableau 11 : Valeur alimentaire des matières premières utilisées pour formuler les régimes alimentaires de la caille.....	31
Tableau 12 : Besoins nutritionnels recommandés pour la caille.....	32
Tableau 13 : Taux des ingrédients utilisés pour la formulation des aliments pour la caille (%).....	42
Tableau 14 : Apports alimentaires des aliments de la caille formulés.....	43
Tableau 15 : Taux de la matière sèche dans les aliments de la caille (%).....	45
Tableau 16 : Taux de cendres totales dans les aliments de la caille (%).....	46

Liste des figures

Figure 1 : Couple de cailles japonaises, la femelle est à gauche et le mâle à droite.....	02
Figure 2 : Modèle de bâtiment d'élevage.....	06
Figure 3 : Elevage de cailles pondeuses dans la cage.....	07
Figure 4 : Des œufs calibrés et fécondés à gauche et des œufs à éliminer pour l'incubation à droite.....	08
Figure 5 : La mise en place à l'intérieur de la poussinière.....	10
Figure 6 : Aliments pour cailles.....	18
Figure 7 : Plan d' <i>Azolla Pinnata</i>	24
Figure 8 : Aspect d' <i>Azolla pinnata</i>	25
Figure 9 : Taxonomie du genre <i>Azolla</i>	26
Figure 10 : La vitesse de croissance d' <i>Azolla pinnata</i>	27
Figure 11 : Taux protéique dans les aliments formulés.....	46
Figure 12 : Taux de cellulose brute dans les aliments formulés.....	47
Figure 13 : Teneurs en calcium dans les aliments formulés (g/kg).....	48
Figure 14 : Courbe d'étalonnage de phosphore (mg/l).....	49
Figure 15 : Teneurs en phosphore dans les aliments formulés (g/kg MS).....	50

Les abréviations

MS : matière sèche

MAT : matière azoté totale

CB : cellulose brute

MG : matière grasse

MM : matière minérale

EM : énergie métabolisable

SEM : l'erreur standard de la moyenne

NDF : fraction des parois cellulaires considérée comme à peu près équivalente à l'hémicellulose, la vraie cellulose et la lignine.

ADF : Fibres Acides Détergentes

INRA : Institut national de la recherche agronomique

Phases T : phases témoin

E : expérimental

Q : quantité

TS : tourteaux de soja

CMV : Complément minéralo-vitaminique

H : humidité

M : Masse en grammes

TC : taux de cendres

N : Normalité

V : Volume

F : Facteur de conversion à appliquer pour obtenir le taux des protéines à partir de l'azote

P : poids

E.D.T.A : l'acide éthylène diamine tétra acétique

CT : croissance témoin

CE5 : croissance expérimental 5 % Azolla

CE10 : croissance expérimental 10 % Azolla

FT : finition témoin

FE5 : finition expérimental 5 % Azolla

FE10 : finition expérimental 10 % Azolla

PT : ponte témoin

PE10 : ponte expérimental 10 % Azolla

PE5 : ponte expérimental 5 % Azolla

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumés

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction..... 01

Partie 01 : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur la caille (*Coturnix japonica*)

1.1 Description et statut phylogénétique	02
1.2 Répartition géographique.....	02
1.3 Elevage de la caille	05
1.3.1 Mode d'élevage.....	05
1.3.1.1 Système de volière.....	05
1.3.1.2 Système de plancher.....	05
1.3.1.3 Système de cage.....	06
1.3.2 Conduite d'élevage.....	07
1.3.2.1 Logement d'élevage.....	09
1.3.2.2 Conditions d'élevage.....	10
1.3.2.3 Incubation et éclosion des œufs.....	10
1.3.2.4 Caille de chair.....	12
1.3.2.5 Caille de ponte.....	12
1.5 Valeur alimentaire de la chair et des œufs de la caille.....	13

Chapitre 2 : Formulation du régime alimentaire de la caille (*Coturnix japonica*)

2.1 Définition de la formulation.....	15
2.2 Méthodes de formulation.....	15
2.2.1 Méthodes traditionnelles.....	15
2.2.2 Méthodes de programme linéaire.....	17
2.3 Etapes de formulation d'aliment de la caille.....	17
2.3.1 Connaissance de l'animale et détermination de ses besoins nutritionnels.....	17
2.3.2 Détermination des éléments nutritifs Fournis par les matières premières.....	19
2.3.2.1 Sources d'énergie.....	19
-Céréales.....	19
-Coproduits de l'industrie agroalimentaire.....	20
2.3.2.2 Sources d'azote.....	21
Légumineuses.....	21
Tourteaux.....	21
2.3.3 Formulation proprement dite.....	22
2.4 Programme alimentaire de la caille.....	22

Chapitre 03 : *Azolla pinnata* dans l'alimentation animale

3.1 Description morphologique.....	24
3.2 Classification.....	25
3.3 Culture d' <i>Azolla pinnata</i>	26
3.4 Valeur alimentaire	27
3.5 Utilisation.....	28
3.5.1 Fertilisation du sol	28

3.5.2 Alimentation de bétail.....	29
3.5.3 Alimentation des volailles.....	29
3.5.4 Alimentation du lapin.....	30

Partie 02 : Expérimentation

Chapitre 04 : Matériel et Méthodes

4.1 Formulation des Aliments pour la caille.....	31
4.1.1 Détermination de la valeur alimentaire des matières premières.....	31
4.1.2 Détermination des besoins de la caille japonaise.....	33
4.1.3 Formulation proprement dite.....	34
4.2 Détermination de la valeur alimentaire des aliments formulés.....	36
4.2.1 Taux d'humidité.....	36
4.2.2 Cendre totales.....	37
4.2.3 Protéines.....	37
4.2.4 Cellulose.....	38
4.2.5 Minéraux (Ca et P).....	40

Chapitre 5 : Résultats et discussion

5.1 Formulation des aliments pour la caille.....	42
5.2 Analyses alimentaires des aliments de la caille.....	44
5.2.1 Taux de matière sèche.....	45
5.2.2 Taux de cendres totales.....	45
5.2.3 Teneurs en protéines.....	46
5.2.4 Teneurs en cellulose brute.....	47
5.2.5 Teneurs en calcium.....	48

5.2.6 Teneurs en phosphore..... 49

Conclusion.....52

Références bibliographiques

Introduction

La filière avicole est apparue au cours de ces dernières années comme une solution attractive pour satisfaire la demande sans cesse croissante en protéines d'origine animale (Kocoun, 2012).

Si l'élevage des cailles se caractérise par une relative simplicité, un besoin de peu d'espace et de faibles moyens financiers ainsi qu'une demande sans cesse croissante, il demeure une activité marginale au regard des potentialités qu'il offre (Mondry, 2016).

La caille est une espèce non conventionnelle qui suscite un grand intérêt à cause des multiples atouts dont elle dispose ; on peut citer entre autres sa résistance aux maladies, le faible coût de production associé à sa petite taille (80 à 300 g), sa forte production d'œufs (250 à 350/femelle/an) ainsi que son cycle de vie relativement court (Djiti Kouatcho et al., 2015).

Les progrès dans la nutrition et l'alimentation, sont responsables en partie des progrès des filières avicoles. Aujourd'hui, la maîtrise des techniques de l'alimentation est le moyen le plus puissant pour baisser les coûts de production et améliorer la qualité des produits ; adaptée aux conditions d'élevage, elle permet de corriger au moins partiellement les effets dépressifs dus à l'environnement. Une alimentation équilibrée fait aussi disparaître un certain nombre de risques pathologiques dû à des carences en protéines, vitamines et minéraux (Kenzi et Wahaj, 2015).

En Algérie, la filière avicole fonctionne avec le modèle alimentaire américain basé sur les matières alimentaires « maïs-tourteau de soja » qui constitue plus de $\frac{3}{4}$ de la ration destinée au volaille (Meziane et al., 2013). L'importation de ces deux matières premières dont le coût sur le marché international est de plus en plus élevé impact négativement sur cette filière.

C'est dans ce contexte que nous avons essayé de formuler des aliments pour la caille (*Coturnix japonica*) en remplaçant partiellement le tourteau de soja par la farine d'*Azolla pinnata* produite localement et avec un faible coût.

Azolla pinnata est une petite fougère aquatique flottante originaire du sud-est asiatique et d'Afrique de l'Est. Elle contient de très grandes quantités de protéines, d'acides aminés, de vitamines et de minéraux, ce qui la rend un excellent aliment pour les animaux (Van Hove, 1989 ; Dahouda et al., 2009).

Notre travail est subdivisé en deux parties, une partie bibliographique et une partie expérimentale basée sur la formulation des aliments de la caille à base d'*Azolla pinnata* par la méthode des essais et des erreurs et vérification de leurs apports alimentaires par des analyses alimentaires.

Chapitre 1

Généralités sur la caille (*Coturnix japonica*)

1.1 Description et statut phylogénétique

La caille japonaise est un petit oiseau terrestre mesurant environ 17 cm de long. À l'éclosion, les cailleteaux pèsent entre 6 et 8 g et sont recouverts d'un duvet marron clair (Baer et al., 2015). Trois à quatre semaines après l'éclosion, un dimorphisme sexuel apparaît au niveau du plumage (Desmedt, 2019).

Globalement, la caille est brune foncée avec de marbrures chamois sur le dessus et bruns plus clairs en dessous. Elle a une bande blanchâtre au-dessus de l'œil sur le côté de la tête. Les pattes sont de couleur gris orangé à gris rosé, tout comme le bec (Hoffmann, 1988). Contrairement aux mâles, les femelles sont généralement (mais pas toujours) dépourvues de la coloration rousse sur la poitrine et des mouchetures ou marques noires sur la gorge (Johnsgard 1988) (Figure 1).



Figure 1 : Couple de cailles japonaises, la femelle est à gauche et le mâle à droite (Le Bot, 2014).

Il existe des variations dans la couleur du plumage. Certains oiseaux sont blanchâtres à chamois avec des marbrures refus à châtaignes sur le dessus. D'autres ont un aspect brun très foncé avec peu ou pas de marbrures (Hoffmann 1988). La taille des ailes des mâles et des femelles est similaire, allant de 92 à 101 mm. Les mâles et les femelles ont des queues de taille similaire, d'une longueur de 35 à 49 mm (Johnsgard 1988).

Le groupe des Galliformes est composé de 300 espèces, la famille des Phasianidés regroupant à elle seule plus de 180 espèces dont les perdrix, les faisans, les paons ou encore les poules. Au sein de cette famille, la caille japonaise appartient au genre *Coturnix*, qui regroupe sept espèces et plus de 12 sous espèces (Le Bot, 2014 ; Shanaway, 1994). Les espèces et sous espèces les plus connues du genre *Coturnix* sont mentionnées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Espèces les plus connues du genre (World Pheasant Association and IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, 2009 ; Shanaway, 1994).

Noms communs	Noms scientifiques
La caille Arabe	<i>Coturnix c. arabica</i>
La caille Africaine	<i>Coturnix c. africana</i>
La caille des blés	<i>Coturnix coturnix</i>
La caille japonaise	<i>Coturnix japonica</i>
La caille nattée	<i>Coturnix coromandelica</i>
La caille arlequin	<i>Coturnix delegorguei</i>
La caille tasmane	<i>Coturnix ypsilophora</i>
La caille bleue	<i>Coturnix adansonii</i>
La caille peinte ou caille roi,	<i>Coturnix chinensis</i>

Ce n'est qu'en 1990 que les chercheurs aboutissaient à la classification réelle de la caille japonaise qui est devenue une espèce autonome dont le nom scientifique actuel est (*Coturnix japonica*) (Crawford, 1990) et qui appartient à (Ornithologie - AVES – Oiseaux, 2021 ; INPN, 2022) :

Règne : Animalia

Classe : Aves

Sous-Classe : Neornithes

Ordre : Galliformes

Sous-Ordre : Phasiani

Super-Famille : Phasianoidea

Famille : Phasianidae

Genre : *Coturnix*

Espèce : *Coturnix c. japonica*

1.2 Répartition géographique

La caille japonaise est originaire de l'est de l'Asie. En général, elle habite des parties de la Russie (Johnsgard 1988) et de l'Asie orientale, y compris le Japon, la Corée et la Chine (Hoffmann 1988). Elle niche principalement au sud-est de la Russie, au nord de la Mongolie et de la Chine, ainsi qu'au Japon, et hiverne dans le sud de la Chine, jusqu'au nord du Laos. L'espèce est également présente à Hawaï et en Italie où elle a été introduite par l'homme au XX^{ème} siècle. Néanmoins, son aire de répartition est difficile à estimer et il n'existe pas d'estimation fiable de la population (Desmedt, 2019).

1.3 Production de la caille

1.3.1 Dans le monde

La production de cailles est divisée en production de la viande et production des œufs. Les principaux producteurs de viande dans le monde sont l'Espagne, la France, la Chine et les États-Unis. Les leaders de la production des œufs de cailles sont la Chine, le Japon, le Brésil et la France. Dans l'Amérique latine, le Brésil est en tête de la production, suivi par le Venezuela, le Pérou, la Colombie et la Bolivie (Bertechini, 2012).

Plus de 140 millions de cailles sont élevées chaque année en Europe, majoritairement de façon extrêmement intensive. L'Italie, la France et le Portugal sont dans le top 4 des pays producteurs de cailles. Souvent vu comme un mets délicat, la caille est un luxe cruel (CIWF, 2016).

1.3.2 En Algérie

L'élevage de caille ou coturniculteur a connu ces dernières années un essor considérable, participant à la diversité des produits avicoles. En effet, la production des œufs et la production des viandes de caille sont des spéculations indissociables. L'œuf est l'unité biologique fondamentale de l'existence des poussins qui seront destinés au remplacement du cheptel reproducteur ou à l'élevage de la caille chair. Il est à noter, qu'en Algérie, très peu d'études ont été menées sur les œufs de caille japonaise (Ben Youcef et Rebiha, 2018).

1.3 Elevage de la caille

Du point de vue économique, la caille est élevée pour sa chair et ses œufs qui sont très appréciés pour leur goût et leur haute valeur nutritive. De plus, ses œufs auraient de nombreuses vertus thérapeutiques. La production de la caille pour les œufs est très répandue en Asie tandis qu'en Europe, elle est beaucoup plus élevée pour sa chair (Djitie Kouatcho et al., 2015).

1.3.1 Mode d'élevage

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 poules et aux coqs 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 quotidien est stimulé par la lumière naturelle qui sera soutenue par l'éclairage artificiel si nécessaire et l'agressivité diminue significativement, et devient rare chez les cailles japonaises élevées dans les volières (Bensalah, 2016).

1.3.1.2 Système de plancher

Les cailles de chair standard sont élevées au sol, en bâtiments, selon le même système que les poulets de chair (à la différence près qu'elles sont placées sur copeaux plutôt que sur paille) (Figure 2). La densité moyenne dans les bâtiments d'élevage est de 95 cailles par m², l'abattage à lieu à 35 jours (Association L214, 2019).

Les bâtiments peuvent avoir des façades ouvertes ou fermées. Les sols doivent être de préférence inclinés et fabriqués à base de ciment pour permettre un bon drainage et une maintenance de l'hygiène. Le système de plancher et par comparaison au système de cage avait

des effets positifs sur les paramètres de production et de reproduction de la caille japonaise (Bensalah, 2016).



Figure 2 : Modèle de bâtiment d'élevage (ITELV, 2018).

1.3.1.3 Système en batterie

La caille s'adapte très bien à l'élevage en batterie (Figure 3). Ce mode d'élevage présente les avantages suivants

- Forte concentration d'Animaux au (m^2) et possibilité d'utiliser plusieurs niveaux.
- Gestion technique du troupeau plus facile.

Les batteries sont constituées de sections de cages à 4 ou 5 niveaux. Les cages ont généralement de 1 à 1,5 m de longueur, 0,5 à 0,75 m de profondeur et 0,18 à 0,2 m de hauteur. Le plancher est fait d'un treillis métallique présentant une inclinaison de 3 % et dispose d'un système (Roll awy) pour permettre la descente des œufs et facilite la collecte (ITPE, 1988).



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

1.3.2 Conduite d'élevage

1.3.2.1 Reproduction

Les cailles destinées à la reproduction sont à maturité sexuelle vers l'âge de 6 à 7 semaines. Les mâles seront placés avec les femelles, non-consanguines, à raison d'un mâle pour trois à quatre femelles. Il s'agit d'un bon rapport pour leur fécondité (Anonyme 1).

1.3.2.2 Incubation et éclosion

Selon Shanaway (1994) en moyenne, à partir de 100 œufs à couver introduits dans l'incubateur, entre 80 et 95 cailleaux peuvent être attendus. Le taux d'éclosion dépend principalement de l'âge des reproducteurs et des conditions de stockage des œufs à couver. Les œufs n'éclosent pas pour trois raisons :

- Parce qu'ils sont infertiles et n'ont jamais contenus des spermatozoïdes vivants ;
- Parce que le spermatozoïde est mort entre le temps de ponte et le temps d'incubation ;
- Parce que le spermatozoïde ne s'est pas développé correctement ou est mort entre le temps d'incubation et d'éclosion.

Les œufs à couver doivent être collectés fréquemment et mis dans un endroit frais à une température de 14 ± 3 °C avec une humidité relative de 70 ± 10 %. Dans des conditions de stockage optimales, le taux d'éclosion des œufs de caille commence à diminuer après quatre jours, en

moyenne de 2 % par jour. 12 jours de stockage en pré-incubation n'affecte en rien le taux d'éclosion des œufs à couver de la caille japonaise (Bensalah, 2016). L'incubation des œufs de cailles se fait artificiellement. Elle dure en moyenne 16 à 19 jours (Mondry, 2016). L'incubation artificielle est bien maîtrisée pour les œufs plus de 10 g. Le tri des œufs avant la mise en incubation permet d'éliminer ceux présentant les défauts suivants : coquille fêlée ou cassée ; coquille fine et molle et ni trop décolorés, ni trop foncés (ITELV, 2018) (Figure 4).



Figure 4 : Des œufs calibrés et fécondés à gauche et des œufs à éliminer pour l'incubation à droite (ITELV, 2018)

Les normes de température et d'hygrométrie à respecter pendant l'incubation des œufs de la caille sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les normes de température et d'hygrométrie à respecter pendant l'incubation des œufs de la caille (ITPE, 1988)

	Température (°C)	Humidité (%)
Incubation	37.5 - 38	50 à 60
Eclosion	38 - 38.5	70 à 80

Les œufs sont positionnés à plat ou la pointe vers le bas et ne sont pas retournés les trois premiers jours. Du 2^{ème} au 14^{ème} jour, retourner régulièrement les œufs au moins 2 à 3 fois par 24 heures pour éviter que l'embryon n'adhère à la coquille. Oublier de tourner les œufs même une seule journée peut provoquer de graves pertes. Les trois premiers jours, ne pas ouvrir l'incubateur pour éviter tout changement de température, car c'est à ce moment-là que les œufs sont les plus fragiles (Mondry, 2016).

L'éclosion a lieu entre le 16^{ème} et le 18^{ème} jour pour 85 à 90 % des œufs fécondés, ce qui correspond à 75-80 % des œufs mis en incubation. Il est préférable de ne pas ouvrir d'incubateur-éclosion à partir du 15^{ème} jour jusqu'à ce que tous les cailleteaux aient éclos, car à chaque ouverture

de porte, l'humidité baisse considérablement. Les cailleaux pèsent 5 à 6 g. Ils doivent demeurer dans l'incubateur écloison jusqu'à 24 heures après leur éclosion pour être parfaitement secs. Ils n'ont pas besoin d'aliment pendant cette journée (Mondry, 2016).

1.3.2.3 Logement d'élevage

L'avantage d'un élevage de cailles, c'est qu'il ne demande pas beaucoup de place contrairement à l'élevage d'oies ou même de poules. Les cailles peuvent vivre dans un espace assez limité. Ce dernier doit être clos et couvert car elles peuvent s'échapper en volant. Une cage convient très bien aux cailles. S'il y a espace, pouvant également construire une volière (Anonyme 2).

Pour assurer un bon suivi et déroulement de l'élevage, l'éleveur doit disposer de 03 salles différentes à savoir :

Un 1^{er} espace pour la reproduction, un 2^{ème} pour l'engraissement et enfin une salle d'incubation toute en respectant les règles d'hygiène (ITELV, 2018).

La caille peut être élevée à même le sol dans un logement amélioré (d'au moins 2 m de hauteur comportant une bonne ventilation et une porte large et solide pour faciliter le nettoyage mais éviter les vols), construit en banco ou en ciment et couvert de paille ou de tôle selon les moyens de l'éleveur et la disponibilité des matériaux. Elles peuvent être élevées avec ou sans litière (5 à 10 cm de copeaux de bois, tourbe ou sciure) (Mondry, 2016).

Un logement d'une taille de 2 m x 1 m x 2 m peut contenir 160 sujets pour le démarrage jusqu'à 4 semaines ou 80 sujets adultes (de préférence en divisant le bâtiment en deux). Néanmoins, pour permettre un élevage conforme à l'espèce, il est préférable de réduire ces quantités de moitié (Mondry, 2016).

Vu son poids faible 10 g environ à l'éclosion, le poussin cailleaux doit être manipulé avec beaucoup de soins et le placer dans une poussinière (ITELV, 2018) (Figure 5).



Figure 5 : La mise en place à l'intérieur de la poussinière (ITELV, 2018)

1.3.2.4 Conditions d'élevage

1.3.2.4.1 Humidité

L'humidité est importante pour cet animal originaire de climats tropicaux qui craint la sécheresse ou l'excès d'humidité (Bourgogne-Franche-Comté, 2019). Un taux d'humidité de 70% est nécessaire.

1.3.2.4.2 Ventilation

Proportionnellement à leur taille, les cailles sont de très gros consommateurs d'oxygène. Elles réclament donc plus que tout autre, un apport important et constant d'air frais. De plus, l'élevage d'animaux en concentration implique des dégagements gazeux qui, si on les laisse s'accumuler, handicapent la production. Il est donc important de renouveler régulièrement l'air pour les éliminer (Tableau 3) (Bourgogne-Franche-Comté, 2019).

1.3.2.4.3 Lumière

Il est important de savoir que les cailles ont besoin de plus de 12 heures de luminosité par jour, et même 15 heures pour produire des œufs. Afin de leur apporter un surplus de lumière, notamment pendant l'hiver, pensez à installer quelques lampes ou à accrocher des ampoules autour de leur cage (Anonyme 2).

1.3.2.4.4 Température

Les cailles sont des animaux qui craignent tout particulièrement le froid ; il est donc primordial de pouvoir conserver une température minimale et homogène dans les bâtiments. On estime que la température ne doit en aucun cas descendre en dessous de 18 °C dans les locaux

d'élevage. Selon l'âge des cailles, la température ne sera pas la même (Tableau 3) (Bourgogne-Franche-Comté, 2019).

Si élevez des cailles pour leurs œufs, les femelles ont besoin d'une température supérieure à 15 °C pour pondre dans les meilleures conditions. Si les conditions de vie des cailles sont bonnes, ces dernières peuvent pondre chacune entre 200 et 300 œufs par an (Anonyme 2).

Tableau 3 : Normes d'ambiance de la caille reproductrice (0-6 semaines) (ITELV, 2018).

Age en semaine (0-3)		
Eclairage	Température °C	Ventilation
<p>*1^{er} au 5^{ème} j (24 h de lumière à raison de 4 Watts/m²).</p> <p>*Au-delà du 5^{ème} j (14 à 15 h de lumière à raison de 0,5 à 1 Watt/m²).</p>	<p>* 1-3 j 38- 40 °C</p> <p>* à 7j 35 °C</p> <p>* à 14j 30 °C</p> <p>* à 21j 25 °C</p>	6 m ³ /h/Kg de poids vif minimum
Age en semaine (4-6)		
Eclairage	Température °C	Ventilation
<p>*Au delà du 5^{ème} j (14 à 15 h de lumière à raison de 0,5 à 1 Watt/m²).</p>	<p>* à 35 j 20 °C</p>	6 m ³ /h/Kg de poids vif minimum

1.3.2.5 Maladies

Seules quelques maladies telles que le choléra aviaire, les entérites et les mycotoxicoses peuvent affecter la caille qui se produisent principalement en raison de problèmes de gestion (Bertechini, 2012).

Il est conseillé d'administrer des médicaments antiparasitaires tous les 2-3 mois. Surtout au cours des trois premières semaines. Il est prudent de nettoyer et désinfecter les abreuvoirs et les mangeoires chaque semaine pour éviter les maladies. La coccidiose et l'entérite peuvent infecter les cailles. La coccidiose se traduit par des diarrhées blanches et sanguinolentes et souvent une forte mortalité des cailleteaux. Elle peut être traitée avec de la terramycine ou du chloramphénicol. L'entérite se manifeste par des diarrhées hémorragiques. Les cailles mangent peu ou pas et la maladie entraîne une très grande mortalité. Il faut bien désinfecter les cages, traiter toutes les autres cailles avec de la streptomycine et donner du calcium (Mondry, 2016).

1.3.2.4 Caille de chair

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

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).

La femelle peut pondre jusqu'à 300 œufs dans leur première année de vie, Au-delà, la production tend à diminuer pour atteindre environ 150-175 œufs/an. L'œuf de caille est de forme ovoïde, son poids varie de 9 à 12 g pour une longueur de l'ordre de 3 cm. La couleur et la forme des taches de la coquille sont variables d'une femelle à une autre. La couleur varie entre le brun foncé, bleu, vert et blanc alors que les taches sont d'une grandeur et de formes différentes, de couleur noire ou marron. La composition de l'œuf de caille est la suivante : 47,4% d'albumen, 31,9% de jaune et 20,7 % de coquille et membranes. Le blanc, translucide, est composé d'eau et de protéines. Le jaune contient aussi des protéines et un peu de lipides (Priti et Satish, 2014 citée par Ben Youcef et Rebiha, 2018).

En période de ponte les cailles peuvent être élevées sur sol ou dans des cages. Sur sol 4 femelles peuvent être élevées sur un espace de 225 cm², tandis qu'en cages cinq oiseaux peuvent être gardés sur une surface de 180 cm². Pour l'élevage sur sol, une litière de bonne qualité, comme les enveloppes de riz ou des coques d'arachides est étendue à 5 -10 cm de profondeur sur le plancher. 1,6 cm de mangeoires et 0,8 cm d'abreuvoirs sont nécessaires par oiseau. Pour les cages, la maille du grillage du plancher de la cage doit être de 1,25 x 1,25 cm ; tandis que les côtés et le

dessus peuvent être 7,5 x 2,5 cm de mailles. Les Mangeoires et les abreuvoirs sont installés à l'extérieur de la cage (Prabakaran, 2003 ; Randall et Bolla, 2008 citées par Bensalah, 2016).

La hauteur de la cage est ajustée à 20 cm. Les cages peuvent être disposées l'un sur l'autre avec un écart de 10 cm entre les deux, pour être compatibles avec les plateaux de collecte des fientes qui doivent être nettoyés chaque jour. Le plancher de la cage doit donner une pente de 1/16 pour assurer que les œufs vont rouler vers le bas à l'avant, ce qui rend la collecte des œufs plus facile (Prabakaran, 2003 citée par Bensalah, 2016).

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

1.5.1 Valeur alimentaire de la chair 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. La caille est également une excellente source de fer héminique, 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. D'un point de vue micronutriments, la caille est une excellente source de zinc, de sélénium, de phosphore et de vitamines du groupe B. Autant d'éléments essentiels au fonctionnement optimal de l'organisme (Zubiria, 2021).

Tableau 4 : Valeurs alimentaires de chair de la caille

Nutriments	Caille cuite 100g
Calories	227
Lipides	14 g
- Saturées	4,0 g
-Monoinsaturés	4,9 g
-Polyinsaturés	3,5 g
Cholestérol	86 mg
Protéines	25 g
Glucides	00
Fibres	0,9 g
Fer	4,4 mg
Zinc	3,1 mg
Sélénium	22 µg
Phosphore	279 mg

1. 5. 2 Valeur alimentaire et thérapeutique des œufs des cailles

En comparant la valeur nutritive d'œufs de poules pondeuses et de cailles, il semble qu'il y ait une similitude dans la composition du jaune et la teneur en cholestérol. D'une part, un pourcentage du jaune supérieur dans les œufs de caille entraîne une quantité plus élevée de ce nutriment par 100 g d'œuf comestible. D'autre part, les œufs de poule ont des niveaux plus élevés d'acide linoléique, avec des quantités similaires d'acide linoléique alors que les œufs de caille ont plus que le double de l'acide docosahexaénoïque (DHA) que les œufs des poules pondeuses. Le rapport d'acides gras n-6/n-3 dans le jaune est plus élevé pour les œufs de caille et presque le ratio idéal pour la santé humaine (Bertechini, 2012).

Comme remède, les œufs de caille sont réputés efficaces pour le traitement des carences en vitamines et minéraux, de l'asthme, du diabète, la faiblesse sexuelle et les allergies surtout au pollen ou aux acariens de la poussière de maison. Ils accélèrent la régénération du foie. Dans ce contexte, il est souvent conseillé de consommer les œufs lorsqu'ils sont crus (Mondry, 2016).

Les Chinois utilisent des œufs de caille pour aider à traiter la tuberculose. Les œufs de caille peuvent aider à prévenir les affections de reins, calculs du foie ou de la vésicule biliaire et retirer ces types de calculs. Les œufs de caille très riches en antioxydants (Tunsaringkarn et al., 2012).

Tableau 5 : Comparaison entre la valeur alimentaire des œufs de caille et des œufs de poule (Ali et Abd El-Aziz, 2019).

Echantillon	Humidité %	Protéines %	Lipides %	Cendres %	Carbohydrates %	Energie Kcal/100g	Cholestérol mg/g
Œuf de caille	72,9	12,99	11,4	1,07	1,64	161,12	12,26
Œuf de poule	74,86	11,91	10,63	0,93	1,67	149,99	12,48

Chapitre 2

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

2.1 Définition de la formulation

La formulation peut être définie comme l'ensemble des connaissances et des opérations mises en œuvre lors du mélange, de l'association ou de la mise en forme d'ingrédients d'origine naturelle ou synthétique, souvent incompatibles entre eux, de façon à obtenir un produit commercial caractérisé par sa fonction d'usage (Aubry et Schorsch, 1999).

C'est une activité industrielle consistant à fabriquer des produits homogènes, stables et possédants des propriétés spécifiques, en mélangeant différentes matières premières (Anonyme 3).

2.2 Méthode de formulation

2.2.1 Méthodes traditionnelles

La méthode traditionnelle de formulation d'aliments a été décrite par Bertsimas et Tsitsiklis (1997). Dans cette méthode, le coût du mélange, un aliment complet dans ce contexte, est minimisé en satisfaisant toutes les contraintes nutritionnelles imposées.

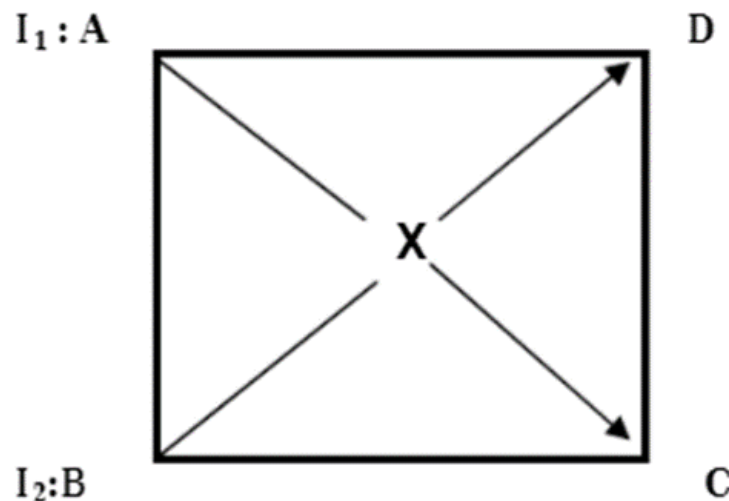
2.2.1.1 Tâtonnement simple

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 consistant à minimiser (grâce à des logiciels informatiques) une fonction des coûts. L'inclusion éventuelle d'un ingrédient s'effectue en fonction de son prix relatif. C'est la méthode utilisée habituellement pour formuler les rations et aliments des animaux. Plusieurs logiciels de programmation linéaire sont utilisés pour la formulation des aliments pour animaux tels que l'outil « solver » du programme Excel, AFOS, FeedAccess... (Fernandez et Ruiz, 2003 ; Larbier et Leclercq, 1992, Mahmoudi, 2021 citées par Belkacem et Zrouga, 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 cailles sont faciles à nourrir car elles mangent pratiquement de tout. On peut leur donner des céréales, de l'herbe, des fans de radis, des fruits ou des légumes, ce qui est plus caractéristique du comportement alimentaire de la caille japonaise.

L'aliment pour caille (Figure 6) doit être de la meilleure qualité et répondre à toutes les exigences. Peu importe dans quelles conditions l'aliment a été préparé, il doit respecter toutes les normes, c'est-à-dire être équilibré, digestible et riche en calories (Evans, 2021).



Figure 6 : Aliments pour cailles (Evans, 2021)

L'alimentation des cailles représente 70 % du coût de l'élevage des cailles. Elle est constituée principalement de céréales comme les maïs et les sorghos. La caille a besoin d'un aliment riche en protéine, calcaire (Mondry, 2016).

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 6 : Besoins en protéines, énergie et minéraux du cailleteau 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
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

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

2.3.2.1 Sources d'énergie

- **Céréales** : Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal. Elles sont surtout intéressantes pour leur apport énergétique, sous forme de sucres lents (Tableau 7). Elles sont aussi une source de vitamines et de fibres alimentaires. Leurs protéines manquent de certains acides aminés essentiels, comme la lysine ou le tryptophane (Karakas, 2011).

Tableau 7 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisés comme source d'énergie dans l'alimentation de la caille (INRA CIRAD, 2020).

Aliments	MS %	MAT %	CB %	MGr %	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
Maïs	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.

- **Maïs** : Le maïs est une plante tropicale annuelle de la famille des graminées. Il est cultivé comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère. C'est la céréale la plus cultivée dans le monde, le maïs est riche en nutriments et en antioxydants essentiels pour protéger l'organisme (Konig, 2017). Le maïs est très riche en amidon (70 % environ) comme toutes les céréales. Le maïs

contient une dose non négligeable de protéines mais elles sont carencées en deux acides aminés essentiels. Le maïs contient aussi des lipides (dans l'embryon ou germe) à l'origine de l'huile de maïs (Olivier, 2011). Bon nombre d'auteurs reconnaissent que le maïs contient peu de cellulose (2,7 % de MS) et une proportion relativement élevée de matière grasse (4,8 % de MS). Par contre, le maïs est pauvre en protéines (8 % de la MS) et presque dépourvu du sodium (0,01 % de la MS) et du calcium (0,01 % de la MS) (Larbier et Leclercq., 1992)

- **Blé :** Le blé, comme les autres céréales, est une source principale de glucides (fournisseur d'énergie) principalement de l'amidon, un sucre complexe, dit sucre lent. Le blé fournit cependant peu de protéines et encore moins de lipides. (AMICO, 1999). Le grain de blé se compose principalement d'amidon, présent exclusivement dans l'albumen amylicé et qui représente environ 70 % de la matière sèche totale. Il comprend également 10 à 15 % de protéines et 8 à 10 % de pentosanes (hémicelluloses).
- **Orge :** L'orge est, à côté du blé, du maïs et du riz, l'une des céréales les plus importantes dans le monde, étant classé au quatrième rang des céréales pour la production des grains avec 38% maïs, 29% blé, 20% riz et 6% d'orge (Saulnier, 2012).

- **Coproduits de l'industrie agroalimentaire :** l'Ordonnance 2010-1579 du 17 décembre 2010 précise qu'un coproduit est une substance ou produit résultant d'un processus de production qui n'est ni un produit, ni un résidu, ni un déchet, dont la valorisation économique est totale et qui dispose d'un marché adossé à une cotation. Des agents économiques spécialisés, différents des producteurs, interviennent fréquemment pour assurer sa distribution (Anonyme 4).

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

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 Zrouga, 2021).

2.3.2.2 Sources d'azote

-Légumineuses : Les légumineuses, aussi appelés légumes secs, sont des plantes dont le fruit est une gousse. Elles appartiennent à la famille des Fabacées, dans laquelle on retrouve le haricot, le lupin, le pois, la lentille, l'arachide, la luzerne, le trèfle, le soja, la cacahuète, le mimosa ou l'acacia. C'est une famille très diversifiée, qui comprend environ 765 genres et 19.500 espèces. Les légumineuses sont tous riches en protéines, en fibres ou encore en minéraux (Chabalier, 2020).

-Tourteaux : Les tourteaux sont les coproduits solides obtenus après extraction de l'huile des graines des oléagineux. Sous-produits de la trituration, industrie de fabrication de l'huile, ils représentent généralement de 50 à 75 % de la masse des graines (Tableau 8).

Les tourteaux sont utilisés en alimentation animale. Ils constituent la 2^{ème} classe d'aliments la plus importante après les céréales. Principale source de protéines en alimentation animale, ils contiennent également de la cellulose, qui n'est digestible que par les ruminants (Anonyme 5).

- **Tourteau de soja :** il s'agit du coproduit de l'extraction de l'huile des graines oléagineuses du soja. C'est une matière première pauvre en matières grasses. 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). Le tourteau de soja est la principale matière protéique utilisée en alimentation des volailles comme source de protéines/d'acides aminés (taux protéique de l'ordre de 30 à 50 %).
- **Tourteaux de colza et de tournesol :** les tourteaux de colza, et de tournesol présentent des équilibres nutritionnels moins propices que le tourteau de soja : taux protéique plus bas et profil en acides aminés plus ou moins équilibré, valeur énergétique plus faible et pour le colza uniquement, présence éventuelle de facteurs antinutritionnels (Bouvarel et al., 2014 citée par Bouras et Ben Saifia, 2020).

Tableau 8 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisés comme source de protéines dans l'alimentation de volaille (INRA CIRAD, 2020).

Aliment	MS %	MAT %	CB %	MGr %	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, MGr : matière grasse, MM : matière minérale, EB : énergie brute.

2.3.3 Formulation proprement dite

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

2.4 Programme alimentaire de la caille

Le programme alimentaire des futurs reproducteurs est le même que celui destiné à l'élevage de caille de chair (Engraissement). Le passage à l'Aliment «Ponte» se fait à partir de la 6^{ème} semaine. La consommation quotidienne de cet oiseau est d'environ 35 g. Lorsque son poids est de 200 à 250 g on doit assurer que la pondeuse consomme au moins 4,5 g de protéines par jour pour les besoins de production de l'œuf (ITAFV, 1988).

Le tableau 9 représente la quantité en pourcentage (%) des matières nécessaires pour l'alimentation de la caille.

Tableau 9 : Formule alimentaire de la caille (Guillaume, 1970).

Ingrédients	Blé	Maïs	Tourteau de soja (44%)	Farine d'herbe déshydratée	Poudre d'os	Calcaire broyé	Phosphate bicalcique
Quantité en %	30,0	37,0	20,0	2,0	2,0	7,0	1,0

Chapitre 3

Azolla pinnata dans l'alimentation animale

3.1 Description morphologique

Azolla est une fougère aquatique, flottant à la surface des eaux calmes, tempérées ou tropicales, dans les cressonnières, les rizières, les étangs et dans les canaux d'irrigation (Figure 7). Elle abrite une cyanobactérie du genre *Anabaena* qui a la propriété de fixer l'azote, c'est-à-dire de transformer l'azote moléculaire de l'atmosphère en azote fixé assimilable par la plante. Dans des conditions idéales, il croît de manière exponentielle, doublant sa biomasse tous les trois jours (Reynaud et Franche, 1985 ; Raelina, 1995 ; Chander et al., 2017).



Figure 7 : Plan d'*Azolla Pinnata* (Missouri Botanical Garden, 2010).

Cette fougère est formée d'une tige ou Rhizome, de feuilles et de racines (Figure 8). La plante d'*Azolla* est appelée fronde. Elle est constituée d'un rhizome principale, d'une longueur excédant rarement 3 ou 4 cm, qui porte des ramifications secondaires qui peuvent à leur tour produire des rhizomes de troisièmes ordre et ceux-ci de quatrième ordre. Cette architecture conféré à la plante une formes plus ou moins triangulaire ou circulaire selon les espèces (Van Hove 1989 ; Raelina, 1995).

Chaque feuille est constituée de deux parties appelées lobes. L'un d'eux est disposé au-dessus de la tige, plus épais et chlorophyllien, il contient une cavité interne, abritant une population de cyanobactéries (algue bleue) appelées *Anabaena azollae* (Van Hove, 1989 ; Amroune, 2020). Pour les racines sont adventives de 1 à 3 cm de long, couvertes de poils absorbants disposés en touffes, possédant une longue coiffe, se trouvent sous les rameaux secondaires (Reynaud et Franche, 1985).



Figure 8 : Aspect d'*Azolla pinnata* (Anonyme 6)

3.2 Classification

Le genre *Azolla* appartient à la division des Ptéridophytes, ordre des Salviniales, famille des Azollaceae (Reynaud et Franche, 1985). La taxonomie du genre *Azolla* est représentée dans la figure 9.

Il existe au moins huit espèces d'*Azolla* dans le monde ; *Azolla caroliniana*, *Azolla circinata*, *Azolla japonica*, *Azolla mexicana*, *Azolla microphylla*, *Azolla nilotica*, *Azolla pinnata* et *Azolla rubra* (Amroune, 2020).

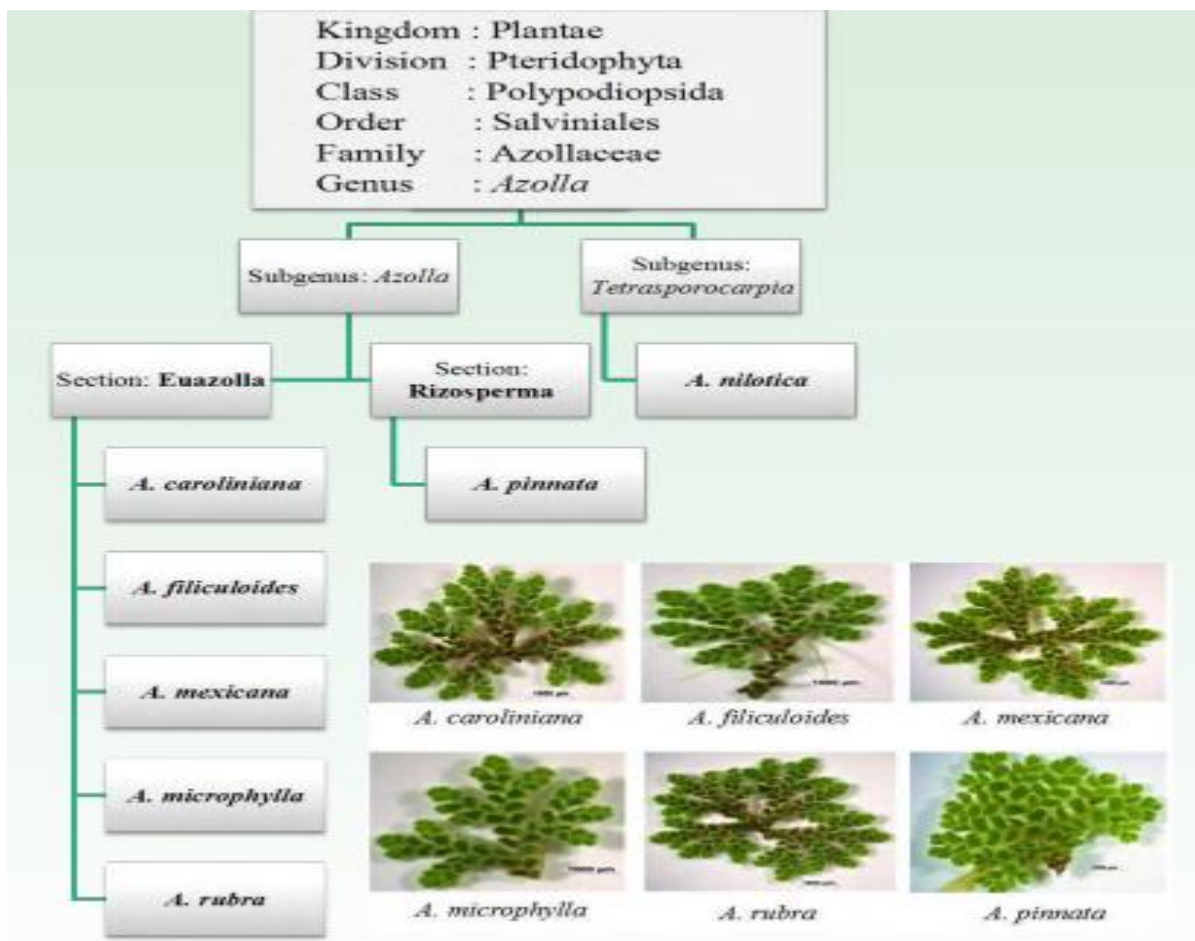


Figure 9 : Taxonomie du genre *Azolla* (NRRI, 2019).

3.3 Culture d'*Azolla pinnata*

L'*Azolla pinnata* a la particularité de vivre en symbiose avec une micro-algue qui fixe pour elle l'Azote contenue dans l'air. Cette association lui permet de croître rapidement (Figure 10) et elle peut devenir très vite envahissante. Elle peut former une couche végétale de deux centimètres dans l'aquarium et donc ne plus laisser passer de lumière. Il faut donc bien contenir sa propagation en les prélevant régulièrement comme par exemple à chaque changement d'eau. Cette plante flottante aquatique aime les eaux calmes. Il ne faut pas la placer dans des bacs où il y a du courant de surface. L'*Azolla Pinnata* se propage d'elle-même et très rapidement grâce à ses rejets qu'elle fabrique (Anonyme 7). Ensuite il faut prendre la température entre 18° et 25° et le pH 3,5 à 10, mais l'optimum est de 4,5 à 7. Un pH trop acide ou alcalin a un effet néfaste sur cette fougère (Amroune, 2020).



Figure 10 : La vitesse de croissance d'*Azolla pinnata* (Anonyme 8)

3.4 Valeur alimentaire

La valeur calculée de l'énergie métabolisable d'*Azolla* séché est de 1807 kcal/kg. Sa teneur en protéines est de 27,5 % en moyenne mais elle est plus riche en parois végétales 47,3 % en moyenne (Shamna, 2013 ; Hédji et al., 2014). L'*Azolla* séché contient également 2,25 % de calcium et 0,40 % de phosphore (Alalade et al., 2006). L'*Azolla* contient en moyenne 5 g lysine/100 g protéines et a un profil en acides aminés relativement bien équilibré (Leterme et al., 2009 ; Amroune, 2020). La valeur alimentaire d'*Azolla pinnata* est représentée dans le tableau 10.

Tableau 10 : La composition chimique d'*Azolla pinnata* fraîche (Feedipedia, 2013).

Analyses	Unit	Moyenne	SD	Min	Max	Nb
Matière sèche	% as fed	6.7	1.3	5.1	8.7	8
Protéines brutes	% MS	20.6	3.5	13.9	28.1	15
Fibres brutes	% MS	15	3.5	11.3	22.8	9
NDF *	% MS	43.8	5.9	35.4	52.3	6
ADF **	% MS	31.8	6.4	24	38.9	5
Lignine	% MS	11.4	1.7	9.3	13.5	5
Extrait d'éther	% MS	3.8	1.3	1.9	5.1	9
Cendres	% MS	15.9	3.5	9.8	21.6	12
Amidon (polarimétrie)	% MS	4.1		2.7	5.5	2
Minéraux	Unit	Moyenne	SD	Min	Max	Nb
Calcium	g/kg MS	11	4.1	5.8	17	8
Phosphore	g/kg MS	6.1	5.5	0.3	15.5	11
Potassium	g/kg MS	17.4	3.7	10.9	22.5	7
Sodium	g/kg MS	9	4.3	2.8	12.5	4
Magnésium	g/kg MS	5	0.8	3.9	6.1	5
Manganèse	mg/kg MS	762	438	208	1429	5
Acides aminés	Unit	Moyenne	SD	Min	Max	Nb
Lysine	% protéine	4.7	1.1	3.5	6.5	5
Méthionine	% protéine	1.4	0.3	1.2	1.9	5
Energie digestible	MJ/kg MS	10.4	/	/	/	1

SD: standard deviation ; Min: valeur minimale ; Max: valeur maximale ; Nb: nombre d'échantillons analysés. *NDF : fraction des parois cellulaires considérée comme à peu près équivalente à l'hémicellulose, la vraie cellulose et la lignine. ** ADF : Fibres Acides Détergentes, fraction des parois cellulaires selon Van Soest, considérée comme à peu près équivalente à la vraie cellulose et à la lignine.

3.5 Utilisations

L'*Azolla* peut être utilisé pour plusieurs choses :

3.5.1 Fertilisation du sol

L'*Azolla* est une fougère aquatique capable de fixer l'azote non lié (N₂) directement de l'atmosphère grâce à son algue bleue endosymbiotique *Anabaena azollae*. L'*Azolla* est utilisée depuis des siècles comme engrais vert dans les rizières (Van Hove, 1989 ; Fiogbo et Micha, 2004). Cette fougère participe à la diminution des pertes d'eau par évaporation et elle a un effet herbicide dû au tapis qui empêche les plantules de mauvaises herbes de croître. Elle réduit la prolifération des moustiques et améliore la texture du sol (Rahagarison, 2005).

3.5.2 Alimentation de bétail

Des investigations ont été entreprises pour explorer le potentiel nutritif d'*Azolla pinnata* comme aliment équilibré pour le bétail. Un essai de deux mois à la ferme a été mené sur des bovins, des chèvres et des poules. Les résultats montrent qu'il y a eu une augmentation appréciable de la production laitière (10-15 %), de la viande en poids (8-10 %) et de la capacité de ponte (10-15 %) chez les animaux laitiers, les chèvres et les poules respectivement. Sur la base des recherches et observations actuelles, *Azolla pinnata* est recommandée comme supplément protéique non conventionnel potentiel pour le bétail pendant la période de disette (Kumar et Chander, 2017).

3.5.3 Alimentation des volailles

Plusieurs chercheurs ont étudié l'effet de l'incorporation de la farine d'*Azolla* dans l'alimentation de poulet sur les performances de croissances (Ouedraogo et al., 2021 ; Alalade et Iyayi, 2006 ; Basak et al., 2002).

Ouedraogo et al. (2021) ont montré que la substitution partielle du soja torréfiée par la farine d'*Azolla pinnata* n'a pas d'effet significatif sur l'évolution pondérale et les gains moyens quotidiens des poulets. Leurs résultats corroborent celui d'Alalade et Iyayi (2006) au Nigéria qui avaient montré que la farine d'*A. pinnata* peut être incorporée jusqu'à 10 % dans la ration alimentaire des poussins sans affecter négativement la croissance de ces derniers. A partir de la sixième semaine d'âge Basak et al. (2002) ont trouvé que les poulets de chair nourris avec une ration incorporant 5 % d'*A. pinnata* en substitution au sésame avaient des poids corporels significativement améliorés par rapport au témoin (0% d'*A. pinnata*).

Les volailles consomment très bien l'*Azolla*. Le taux d'incorporation d'*Azolla* dans la ration varie suivant l'espèce. Pour les poules l'*Azolla* peut remplacer jusqu'à 25 % des rations alimentaires commerciales et on peut l'apporter à l'état frais à raison de 100 à 300 g/j suivant l'âge des poules (Raoelina, 1995). En outre il a été montré que les poulets recevant une alimentation classique supplémentée avec 5 % de plus d'*Azolla* avaient une croissance plus rapide que ceux qui ont ingéré l'aliment commercial seul. Ainsi la conversion alimentaire des animaux et l'efficacité énergétique ont été considérablement améliorées (Rajesh, 2020).

Pour les cailles l'inclusion d'*Azolla* dans le régime alimentaire permet d'économiser dans la production (Dhumal et al., 2009) mais très peu d'études ont été menées sur l'évaluation de ses effets sur la carcasse. Dans leur travail de recherche Varadharajan et al. (2019) ont montré que l'incorporation *Azolla* jusqu'à 6 % dans l'alimentation de la caille n'a aucun effet néfaste sur les performances de croissance et les caractéristiques de carcasse.

Shamna et al. (2013) ont constaté que le taux optimum d'incorporation d'*Azolla pinnata* dans l'alimentation de la caille est de 5 % et qu'au-delà de ce taux il y a une dépression dans les performances de croissance de ces oiseaux.

3.5.4 Alimentation du lapin

Dans leur étude sur l'effet de l'incorporation d'*Azolla* dans l'alimentation de lapins sur leurs performances de croissance et les caractéristiques de leur viande, Abdelatty et al., (2021) ont montré qu'*Azolla* sèche pourrait être inclus dans un régime alimentaire de lapin en croissance, jusqu'à 10 %, tandis que des doses plus élevées altèrent négativement les performances de production, la qualité de la viande et l'efficacité alimentaire des lapins en croissance.

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 le maïs comme source d'énergie, le tourteau de soja comme source d'azote, la poudre d'*Azolla pinnata* pour la substitution partielle de tourteau de soja, le son de blé, CMV, phosphate bicalciques 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 11).

Tableau 11 : Valeur alimentaire des matières premières utilisées pour formuler les régimes alimentaires de la caille (INRA. CIRAD. AFZ, 2020).

Matière	EM (kcal/kg)	Protéine %	Lipides %	Cellulose brute %	Ca (g/kg)	Phosphore (g/kg)	lysine (g/kg)	Méthionine (g/kg)
Maïs	3461.4	8.8	4.1	2.6	0.5	0.7	2.7	1.9
T. 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
<i>A. pinnata</i>	1807	25.46	2.66	14.8	12.5	4	5.6	1.5
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 11) 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 (%).

matières	EM (kcal/kg)	protéines %	lipides %	Cellulose brut	Ca (g/kg)	phosphore	lysine (g/kg)	méthionine (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
azolla	1807	25.46	2.66	14.8	12.5	4	5.6	1.5
calcair	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	15
CMV finition	0	0	0	0	190	80	20	45
CMV ponte	0	0	0	0	190	80	20	45

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 12)

Tableau 12 : 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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3	matières	EM (kcal/kg)	protéines %	lipides %	Cellulose brut	Ca (g/kg)	phosphore d	lysine (g/kg)	méthionine (g/kg)	
4	maïs	3461.4	8.8	4.1	2.6	0.5	0.7	2.7	1.9	
5	tourteau de soja	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	azolla	1807	25.46	2.66	14.8	12.5	4	5.6	1.5	
8	calcair	0	0	0	0	351	0	0	0	
9	phosphate bicalcique	0	0	0	0	245	137	0	0	
10	CMV croissance	0	0	0	0	190	80	20	45	
11	CMV finition	0	0	0	0	190	80	20	45	
12	CMV ponte	0	0	0	0	190	80	20	45	
13										
14		EM kcal/kg	protéines	MG	cellulose	ca	p dispo	lysine	méthionine	
15	croissance	2800	23	1	0	8	3	13	5	
16	finition	2800	20	0	0	25	3.5	10	4.5	
17	ponte	2700	19	0	0	25	3.5	10	4.5	

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 être égale 100). Les formules alimentaires calculées sont les suivantes :

1. Phase de croissance :
 - Témoin comportant 0 % de la poudre d'*Azolla pinnata*
 - Expérimentale comportant 5 % d'*Azolla pinnata*
 - Expérimentale comportant 10 % d'*Azolla pinnata*
2. Phase de croissance :
 - Témoin comportant 0 % de la poudre d'*Azolla pinnata*
 - Expérimentale comportant 5 % d'*Azolla pinnata*
 - Expérimentale comportant 10 % d'*Azolla pinnata*
3. Ponte
 - Témoin comportant 0 % de la poudre d'*Azolla pinnata*
 - Expérimentale comportant 5 % d'*Azolla pinnata*
 - Expérimentale comportant 10 % d'*Azolla pinnata*

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.

matières	EM (kcal/kg)	protéines %	phases	maïs	TS	Son	Azolla	calcaire	phosphate bi	CMV	la somme	
maïs	3461.4	8.8	croissance T	51.2	33.8	12	0	1	1	1	100	
tourteau de soja	2530	48.5	croissance E5	50	32	10.6	5	0.7	0.7	1	100	
son de blé	1820	17.6	croissance E10	50	30.5	7	10	0.5	0.6	1.4	100	
azolla	1807	25.46	Tableau 4 : Apports alimentaires calculés									
calcair	0	0	phases	EM (kcal/kg)	protéines %							
phosphate bicalciq	0	0	croissance T	1772.2	23.0							
CMV croissance	0	0	croissance E5	2823.6	23.1							
CMV finition	0	0	croissance E10	2810.5	23.0							
CMV ponté	0	0										
Tableau 2 : Besoins de la caille												
	EM kcal/kg	protéines										
croissance	2800	23										

Ci-après un exemple de calcul de la formule alimentaire témoin de croissance de la caille qui comporte le maïs 51,2 %, le tourteau de soja 33,8 %, le son de blé 12 %, le phosphate bicalcique 1 %, le calcaire 1 % et CMV 1%. Nous avons commencé par l'insertion des taux d'incorporation des matières premières dans la ligne de croissance T. Les résultats des apports alimentaires s'affichent dans le tableau jaune et si nous voulons ajuster la ration il suffit de modifier le pourcentage d'incorporation des matières premières.

Le calcul mathématique pour estimer les apports alimentaires d'aliment composé dans le phase de croissance témoin est le suivant : $((EM \text{ de maïs} * \text{Quantité de maïs}) + (EM \text{ de TS} * \text{Quantité de TS}) + (EM \text{ du son de blé} * \text{Quantité de son de blé})) / 100$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	matières	EM (kcal/kg	protéines %	lipides %	Cellulose	Ca (g/kg)	phosphor	lysine (g/kg)	méthionine	phases	mais	TS	Son	Azolla	calcaire	phosphat	CMV	la somme
2	mais	3461.4	8.8	4.1	2.6	0.5	0.7	2.7	1.9	croissance T	51.2	33.8	12	0	1	1	1	100
3	tourteau de s	2530	48.5	1.9	7.2	3.9	1.6	30.8	7.1									
4	son de blé	1820	17.6	3.8	10.5	1.4	2.7	7	2.6	phases	EM (kcal/kg)	protéines %	lipides %	Cellulose	Ca (g/kg)	phosphor	lysine (g)	méthionine (g/kg)
5	azolla	1807	25.46	2.66	14.8	12.5	4	5.6	1.5	croissance T	2845.8	23.0	3.2	5.0	9.6	3.4	12.8	4.1
6	calcair	0	0	0	0	351	0	0	0									
7	phosphate bi	0	0	0	0	245	137	0	0									
8	CMV croiss	0	0	0	0	190	80	20	45									
9	CMV finitior	0	0	0	0	190	80	20	45									
10	CMV ponte	0	0	0	0	190	80	20	45									
11		EM kcal/kg	protéines	MG	cellulos	ca	p dispo	lysine	méthionne									
12	croissance	2800	23	1	0	8	3	13	5									
13	finition	2800	20	0	0	25	3.5	10	4.5									

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 :

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

Ou :

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 :

$$TC(\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Où :

TC : taux de cendres (%).

m₀ : masse du creuset vide (g).

m₁ : masse du creuset et de la prise d'essai (g).

m₂ : 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 :

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

Où :

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

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

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

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

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

F : Facteur de conversion à appliquer pour obtenir le taux des protéines à partir de l'azote

Total, qui est de l'ordre de 6,25.

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
- Incinerer 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 :

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

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 HNO_3 + 150 ml de H_2SO_4 + 300 ml d' HClO_4 à 60 %) et laissé 2 heures en prédigestion sous hotte puis chauffé par flamme de gaz (très faible) jusqu'à l'obtention d'une solution limpide.

- La solution limpide a été diluée dans une fiole de 50 ml par l'eau distillée puis filtrée par papier filtre N° 1.
- Dans un tube à essai, 1 ml d'extrait a été mélangé avec 2 ml de 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)₆MO₇O₂₄·4H₂O] 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 notre étude nous avons essayé de préparer des formules alimentaires pour combler les besoins alimentaires dans les trois phases de croissance (croissance, finition, ponte) de la caille.

En utilisant la méthode des essais et erreurs via Excel, nous avons calculé les formules alimentaires pour les aliments de croissance témoin, de croissance expérimentale, de finition témoin et de finition expérimentale, de ponte témoin et de ponte expérimentale pour alimenter le caille (*Coturnix japonica*) (Tableau 13).

Tableau 13 : Taux des ingrédients utilisés pour la formulation des aliments pour la caille (%)

Phases	Maïs	TS	Son de blé	<i>Azolla pinnata</i>	Calcaire	Phosphate bicalcique	CMV	Somme
Croissance T	51.2	33.8	12	0	1	1	1	100
Croissance E5	50	32	10.6	5	0.7	0.7	1	100
Croissance E10	50	30.5	7	10	0.5	0.6	1.4	100
Finition T	56.5	28	11	0	2	1.5	1	100
Finition E5	55.7	24.6	10.5	5	2	1.7	0.5	100
Finition E10	53.9	22.8	10	10	1.3	1	1	100
Ponte T	54	24	16.5	0	2.5	1.5	1.5	100
Ponte E5	51.6	21.9	15	5	3.7	0.9	1.9	100
Ponte E10	51.5	20	13	10	3	0.8	1.7	100

La méthode des essais et des erreurs est la plus populaire et utilisée pour la formulation des aliments volailles. Elle permet de satisfaire le besoin de la volaille en manipulant les valeurs nutritives des ingrédients en fonction des pourcentages fixés. Elle peut se faire manuellement ou en utilisant les tableurs de calcul comme Excel (Brah et al., 2015).

Pour chaque phase de croissance, 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 tourteau de soja par 5 et 10 % de la poudre d'*Azolla pinnata*.

Les apports alimentaires en matière d'énergie métabolisable, protéines, lipides, cellulose, calcium, phosphore, lysine et méthionine ont été calculés pour chaque formule alimentaire (Tableau 14)

Tableau 14 : Apports alimentaires des aliments de la caille formulés

Phases	EM (kcal/kg)	Protéines %	Lipides %	Cellulose brute %	Ca (g/kg)	Phosphore 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 E5	2823.6	23.1	3.2	5.5	8.3	3.1	12.4	4.0
Croissance E10	2810.5	23.0	3.2	5.7	8.7	3.4	12.1	4.1
Finition T	2864.3	20.5	3.3	4.6	14.1	4.0	11.1	3.8
Finition E5	2831.8	20.0	3.3	5.1	14.1	4.0	10.2	3.4
Finition E10	2805.2	20.1	3.3	5.6	11.5	3.6	9.9	3.5
Ponte T	2776.7	19.3	3.3	4.9	16.7	4.5	10.3	3.8
Ponte E5	2703.5	19.1	3.2	5.2	20.7	4.1	10.5	3.9
Ponte E10	2705.9	19.1	3.3	5.6	18.2	3.9	9.4	3.7

De l'observation des résultats du tableau 14, il apparaît que les besoins alimentaires de la caille en matière d'énergie métabolisable (2800 Kcal/kg pour la croissance et la finition et 2700 Kcal/kg pour la ponte) et en matière de protéines (23, 20 et 19 % respectivement pour la croissance, la finition et la ponte).

En ce qui concerne l'apport en calcium, les besoins dans les phases de croissance et de finition (8 à 8,5 g/kg) sont comblés alors qu'un déficit très important est enregistré dans la formule alimentaire de la phase de ponte (25 g/kg) (Bensalah, 2016).

Les apports en lysine des formules alimentaires croissance E5 et E10 et ponte E10 sont légèrement déficitaires par rapport aux besoins de la caille dans ces phases de croissance (13 et 10 g/kg) (ITELV, 2018 ; Bensalah, 2016).

L'ensemble des formules alimentaires sont déficitaires en méthionine dont les apports sont inférieurs aux besoins de la phase de croissance (5 g/kg) et des phases de finition et de ponte (4,5 g/kg).

Le déficit en lysine et en méthionine peut être corrigé par addition de ces deux acides aminés alors que le déficit en calcium peut être réglé par ajout de calcaire.

En tous les cas, il est difficile d'avoir une formule alimentaire équilibrée en terme de tous les nutriments en utilisant la méthode des essais et des erreurs ; c'est pour cela nous avons basé sur l'ajustement de l'énergie et des macronutriments notamment l'apport protéique.

La substitution partielle de tourteau de soja par la poudre d'*Azolla pinnata* n'a pas affecté les apports alimentaires des formules expérimentales en matière d'énergie métabolisable et en protéines.

5.2 Analyses alimentaires des aliments de la caille

Dans la première partie, les apports alimentaires du tableau 15 sont issus des calculs en utilisant les tables de la valeur alimentaire des matières premières de l'INRA (INRA CIRAD, 2020). Afin de vérifier l'apport alimentaire réel des formules alimentaires calculées, nous avons procédé dans une deuxième partie à l'analyse alimentaire des formules préparées.

5.2.1 Taux de matière sèche

D'après les résultats de la matière sèche du tableau 15, il apparaît que la matière sèche des aliments de croissance est entre 88,03 et 90,4 %, de finition entre 88,3 et 88,67 % et de ponte entre 85,13 et 87,41 %.

Tableau 15 : Taux de la matière sèche dans les aliments de la caille (%)

Aliment	CT	CE5	CE10	FT	FE5	FE10	PT	PE10	PE5
MS %	88.03	90.4	90.2	88.34	88.67	88.33	87.41	87	85.13
	±0.27	±0.27	±0.13	±0.45	±0.09	±0.22	±0.23	±0.53	±1.69

Les résultats représentent la moyenne de trois répétitions \pm SEM. CT : croissance témoin ; CE5 : croissance expérimental 5% Azolla, CE10 : croissance expérimental 10% Azolla, FT : finition témoin, FE5 : finition expérimental 5% Azolla, FE10 : finition expérimental 10% Azolla, PT : ponte témoin, PE5 : ponte expérimental 5% Azolla, PE10 : ponte expérimental 10 % Azolla.

En général, les taux de matière sèche de toutes les formules alimentaires sont proches sauf pour les aliments de ponte E5 et E10.

Nos résultats de la matière sèche sont proches à ceux de Boussekra et Bouhedou (2020) qui ont trouvé des taux de matière sèche de 90,66 % dans les aliments de croissance et de 90,37 % dans l'aliment de la phase de finition.

La matière sèche est un facteur très important à déterminer dans les aliments de volaille. La mesure de la teneur en eau permet de prévoir et d'éviter les détériorations, donc plus cette valeur est basse, plus l'aliment se conserve bien (Belekacem et Zrrouga, 2021).

5.2.2 Taux de cendres totales

Des taux de cendres totales représentés dans le tableau 16, nous constatons que les formules alimentaires expérimentales qui comportent la poudre d'*Azolla pinnata* enregistrent les taux de cendres les plus élevés par rapport aux formules témoins.

Les aliments de ponte E5 et E10 enregistrent les taux en cendres totales les plus élevés soient 8,6 et 8,73 % respectivement ce qui est peut être expliqué par l'augmentation de taux de calcaire (3,7 et 3%) et de CMV (1,9 et 1,7 %) dans ces deux formules alimentaires.

Tableau 16 : Taux de cendres totales dans les aliments de la caille (%)

Aliments	CT	CE5	CE10	FT	FE5	FE10	PT	PE5	PE10
CT %	4.70	6.13	6.33	5.01	6.60	6.67	6.23	8.60	8.73
	±0.10	±0.22	±0.22	±0.68	±0.13	±0.18	±0.04	±0.40	±1.11

Les résultats représentent la moyenne de trois répétitions \pm SEM. CT : croissance témoin ; CE5 : croissance expérimental 5% Azolla, CE10 : croissance expérimental 10% Azolla, FT : finition témoin, FE5 : finition expérimental 5% Azolla, FE10 : finition expérimental 10% Azolla, PT : ponte témoin, PE5 : ponte expérimental 5% Azolla, PE10 : ponte expérimental 10 % Azolla.

Le taux de cendre totale dans l'aliment de croissance témoin (4,7 %) est proche à celui enregistré par Belkacem et Zerrouga (2021) dans l'aliment de la même phase (4,88 %).

5.2.3 Teneurs en protéines

Les résultats de la figure 11 révèlent que la poudre d'*Azolla pinnata* est très riche en protéines brutes (32 %). Cette valeur est supérieure à celle utilisée pour les calculs des formules alimentaires dans la première partie (25,46 %).

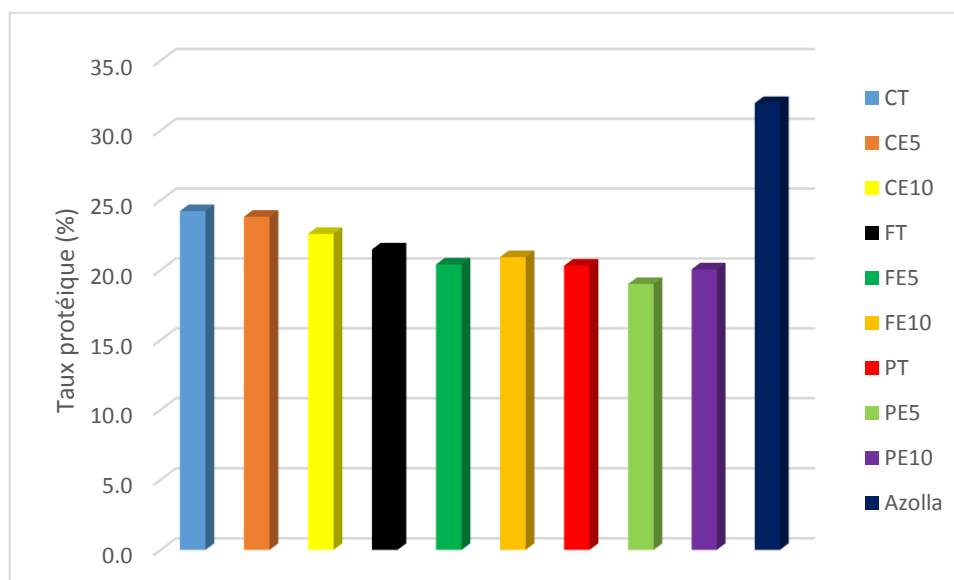


Figure 11 : Taux protéique dans les aliments formulés. CT : croissance témoin ; CE5 : croissance expérimental 5% Azolla, CE10 : croissance expérimental 10% Azolla, FT : finition témoin, FE5 : finition expérimental 5% Azolla, FE10 : finition expérimental 10% Azolla, PT : ponte témoin, PE5 : ponte expérimental 5% Azolla, PE10 : ponte expérimental 10 % Azolla.

En générale, les taux de protéines des formules alimentaires témoins et expérimentales enregistrés (Figure 11) sont semblables à ceux calculés précédemment en utilisant la méthode des essais et des erreurs (Tableau 14).

Dans l'ensemble, les taux protéiques de toutes les formules alimentaires couvrent les besoins en protéines de la caille (23, 20 et 19 % pour les phases de croissance, finition et ponte respectivement).

Selon Abdelatty et al. (2020), Azolla est une fougère très riche en protéines à cause de sa capacité à fixer l'azote atmosphérique et son profil en acides aminés et mieux équilibré que celui de tourteaux de soja, raison pour laquelle elle peut être utilisée dans l'alimentation de volaille à raison de 5% pour la substitution partielle de tourteau de soja.

5.2.4 Teneurs en cellulose brute

D'après les résultats illustrés dans la figure 12, l'ajout de la poudre d'*Azolla pinnata* dans les formules alimentaires expérimentales a augmenté le taux de cellulose dans ces aliments. Ce qui est peut être expliqué par le taux de cellulose élevé dans la poudre d'*Azolla* qui est en moyenne 15 % (Feedipedia, 2013). Ces résultats sont en concordances avec les résultats des calculs du tableau 14.

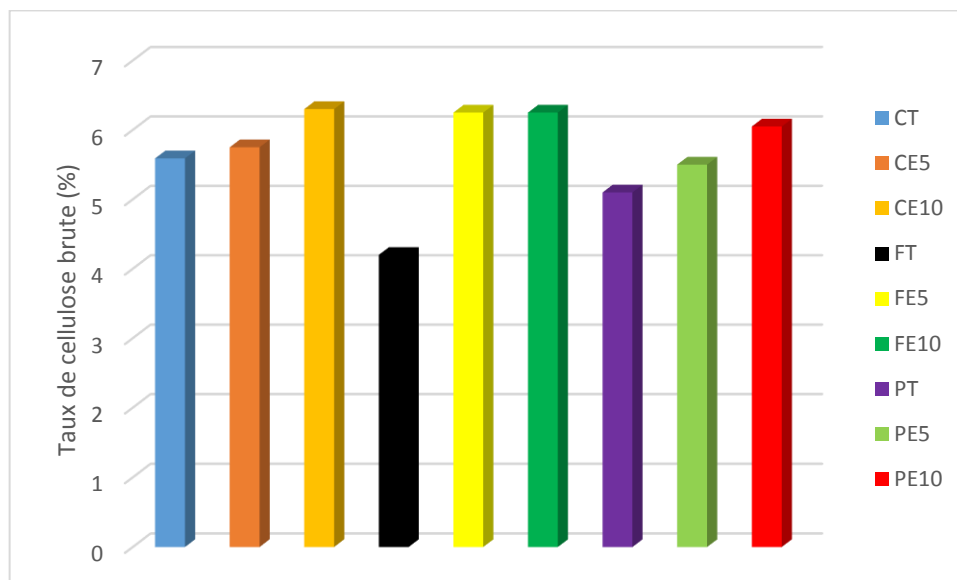


Figure 12 : Taux de cellulose brute dans les aliments formulés. CT : croissance témoin ; CE5 : croissance expérimental 5% Azolla, CE10 : croissance expérimental 10% Azolla, FT : finition témoin, FE5 : finition expérimental 5% Azolla, FE10 : finition expérimental 10% Azolla, PT : ponte témoin, PE5 : ponte expérimental 5% Azolla, PE10 : ponte expérimental 10 % Azolla.

La teneur en cellulose dans l'aliment de finition témoin issue des analyses (Figure 12) est inférieure à celle de la valeur calculée dans le tableau 14. Pour le reste les valeurs sont légèrement supérieures.

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

5.2.5 Teneurs en calcium

En ce qui concerne les teneurs en calcium mentionnée dans la figure 13, nous constatons que les teneurs en calcium des aliments de croissances et de ponte issues des analyses sont proches à celles calculées dans le tableau 14. Par contre les teneurs en calcium dans les aliments de finition dans la figure 14 sont inférieures à celles calculées dans le tableau 14.

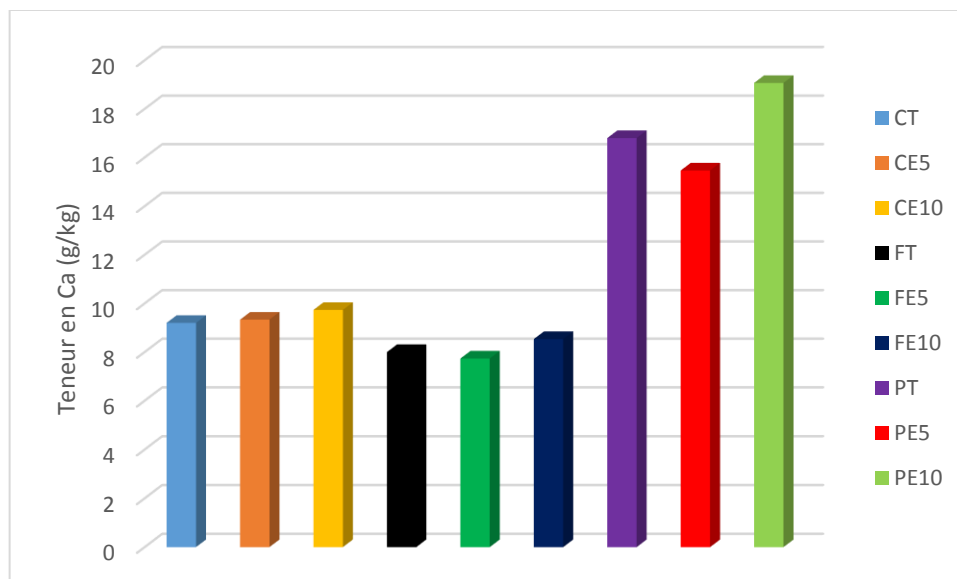


Figure 13 : Teneurs en calcium dans les aliments formulés (g/kg). CT : croissance témoin ; CE5 : croissance expérimental 5% Azolla, CE10 : croissance expérimental 10% Azolla, FT : finition témoin, FE5 : finition expérimental 5% Azolla, FE10 : finition expérimental 10% Azolla, PT : ponte témoin, PE5 : ponte expérimental 5% Azolla, PE10 : ponte expérimental 10 % Azolla.

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 cité par Belkacem et Zrrouga, 2021).

Le calcium est possible d'inhiber complètement la production d'œufs au moyen d'un régime alimentaire pratiquement dépourvu de calcium. En cas de carence, la production d'œufs diminue bien que, pendant un certain temps, les oiseaux soient capables d'exploiter les réserves stockées dans les os médullaires (Tome et al., 1992).

Selon Léonie (2015) le taux de calcium dans l'aliment de croissance et de finition est (1%). L'INRA (1989) cité par cherif (2013) trouve que le taux de calcium à l'intervalle de (0,50 à 1,09). Ce taux va augmenter surtout dans la phase de ponte à cause des besoins de volaille pour préparer la coquille. Nos résultats s'accordent avec ceux Parent et al. (1989) pour les aliments formulés qui conclue que le taux requiert de calcium dans l'aliment de volaille est entre 1 et 2 %.

5.2.6 Teneurs en phosphore

Pour calculer la teneur en phosphore dans les aliments formulés nous avons utilisé l'équation de la courbe d'étalonnage de phosphate de potassium (Figure 14).

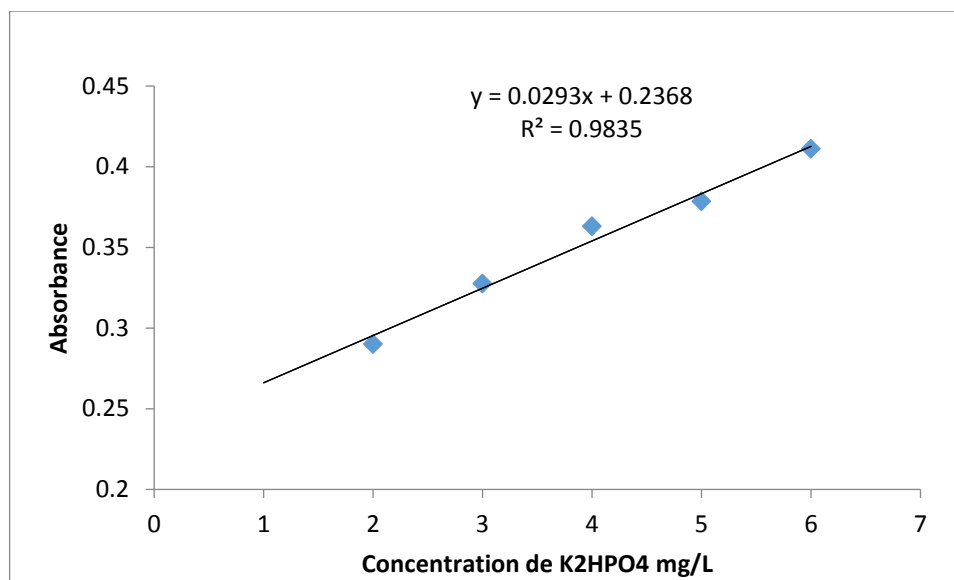


Figure 14 : Courbe d'étalonnage de phosphore (mg/l)

Les résultats des teneurs en phosphore total illustrés dans la figure 15 montrent que l'ajout de la poudre d'*Azolla pinnata* dans les formules alimentaires expérimentales a diminué les teneurs en phosphore dans ces aliments.

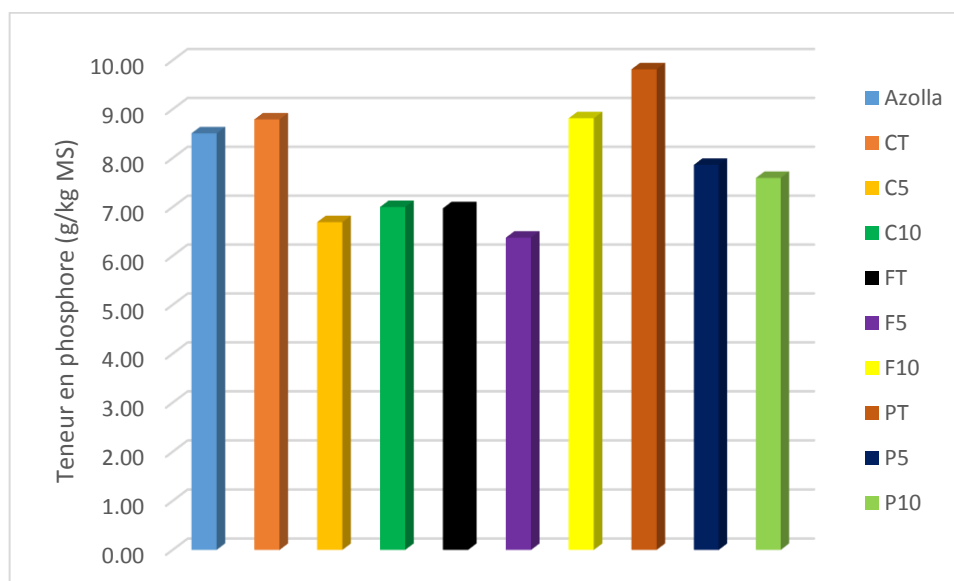


Figure 15 : Teneurs en phosphore dans les aliments formulés (g/kg MS). CT : croissance témoin ; CE5 : croissance expérimental 5% Azolla, CE10 : croissance expérimental 10% Azolla, FT : finition témoin, FE5 : finition expérimental 5% Azolla, FE10 : finition expérimental 10% Azolla, PT : ponte témoin, PE5 : ponte expérimental 5% Azolla, PE10 : ponte expérimental 10 % Azolla.

Le phosphore alimentaire peut être d'origine végétale ou d'origine minérale. Dans les végétaux, 45 à 85 % du phosphore est stocké sous forme phytique (Tran et Skiba, 2005). Une des difficultés rencontrées dans la recherche sur les besoins en phosphore est l'utilisation de plusieurs paramètres comme le phosphore disponible (P disp) et le phosphore digestible (P dig).

La conversion de l'un à l'autre est compliquée. Le phosphore digestible est une valeur mesurée, obtenue par différence entre le phosphore ingéré et le phosphore excrété alors que le phosphore disponible est exprimé relativement à un phosphate de référence considéré comme 100 % disponible. Le phosphate de référence peut être le phosphate monosodique (MSP), le phosphate monocalcique (MCP) ou le phosphate bicalcique (DCP) (Maxime, 2014).

Le besoin de volaille en phosphore disponible est de 4,4 g/kg dans l'aliment de croissance et de 3,8g/kg dans l'aliment de finition (Larbier et Leclercq 1992 ; INRA (1989).

La teneur en phosphore de la poudre d'*Azolla pinnata* enregistrée dans notre étude est incluse dans l'intervalle cité par Singh (1979) soit 0,5 à 0,9 % et supérieure à celle évoquée par Hadjis et al (2014) et Shemma (2013) soit 0,40 %).

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 Zrrouga, 2021)

Conclusion

Ce travail avait pour objectif la formulation des aliments composés qui couvrent les besoins alimentaire de la caille (*Coturnix japonica*) en substituant partiellement le tourteau de soja importé par une ressource alimentaire produite localement et qui ne coûte pas cher l'*Azolla pinnata*.

Notre travail est subdivisé en deux parties : dans la première partie, nous avons essayé de formuler des aliments composés équilibrés de la caille en utilisant la méthode des essais et des erreurs via Excel. Trois types d'aliment (croissances, finition et ponte) contenant 0, 5 et 10 % d'*Azolla pinnata* ont été formulés. Dans la deuxième partie nous avons vérifié l'apport nutritionnel réel des formules alimentaires par la réalisation des analyses alimentaires.

Nos résultats montrent que la farine d'*Azolla pinnata* est un substituant intéressant de tourteau de soja dans la ration de la caille car il est riche en protéine (32 %).

En général, toutes les formules alimentaires témoins et expérimentales préparées couvrent les besoins alimentaires de la caille, principalement, en matière d'énergie métabolisable et de protéines.

Les résultats des analyses alimentaires sont comparables à ceux calculés par la méthode des essais et des erreurs.

Nous concluons que la farine d'*Azolla pinnata* est un substituant prometteur du tourteau de soja dans l'alimentation de la caille.

En perspective, il sera d'intérêt d'essayer d'autres méthodes de formulation telles que les méthodes de programmation linéaire et de vérifier l'impact de ces formules sur les performances zootechniques de la caille.

Références bibliographiques

1. Abdelatty M.I., Mandouh S.A., Mohamed S., Busato O., Badr M., Bionaz A.A., Elolimy M.M.A., Moustafa O.A.A., Farid A.K., Al-Mokaddem. Azolla leaf meal at 5% of the diet improves growth performance, intestinal morphology and p70S6K1 activation, and affects cecal microbiota in broiler chicken. *Animal*. 2021.
2. Alalade O.A. and Eustace I. Chemical Composition and the Feeding Value of Azolla (*Azolla pinnata*) Meal for Egg-Type Chicks. *International Journal of Poultry Science*. 2006. 137-141.
3. Ali M.A., Abd A., Amani A. and Awad A. A. Comparative Study on Nutritional Value of Quail and Chicken Eggs. *المؤتمر الدولي الثاني - التعليم النوعي وخريطة الوظائف المستقبلية*. 2019. 56p.
4. Amico S. 1999. Les céréales. In : le guide des aliments. Montréal : Québec.
5. Amroune N. 2020. Alimentation du lapin : Valorisation de l'Azolla dans l'alimentation des lapins étude bibliographique. Mémoire de master. Université Akli Mohand Oulhadj.
6. Anonyme 1. <https://www.labellecaille.com/fr/content/8-guide-elevage-de-cailles>
7. Anonyme 2. <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1739-elever-cailles.html#:~:text=L%27habitat%20des%20cailles%20d,peuvent%20s%27habiller%20en%20volant.>
8. Anonyme3. https://www.aquachange.fr/plante_fiche_aquarium.php?id=108%23%3A~%3Atext%3DL%27Azolla+pinnata+est+une%2Cpeut+devenir+tr%3%A8s+vite+envahissante
9. Anonyme4. <https://productionsanimales.org/article/view/2353#:~:text=Ainsi%2C%20l'Ordonnance%202010%2D,m-arch%2C%20adoss%2C%20une%20cotation>
10. Anonyme5. https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/tourteaux.php4
11. Anonyme6. <http://definition.over-blog.fr/article-azolla-62357971.html>
12. Anonyme7. <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/628/azolla>
13. Anonyme8. <https://www.agriculture-afrique.com/fourrage-vert-lazolla/>
14. Aubry J.M., Schorsch G. Formulation – Présentation. *Techniques de l'Ingénieur*. 1999.
15. Baer J., Lansford R. and Cheng K. Japanese Quail as a Laboratory Animal Model. In *Laboratory Animal Medicine, Third Edition*. 2015. 1087–1108.
16. Belkacem Y. et Zerrouga F. 2021. Essai de formulation d'un aliment pour poulet de chair en incorporant des ressources alimentaire locales. Mémoire Master académique. Université de Msila.
17. Ben Youcef S. et Rebiha M. 2018. Situation d'élevage de caille en régions sahariennes (Ghardaïa et Ouargla). Essai d'un cas pratique. Mémoire de Master Académique en Parcours et Elevage en Zones Arides. Université Kasdi Merbah Ouargla.
18. Bensalah A. 2016. Effets de quelques formules alimentaires sur les performances zootechniques et le profil biochimique de la caille japonaise. Magistère en sciences vétérinaires. Université des Frères Mentouri Constantine.
19. Bertechini A.G. The quail production. *Area: Poultry Welfare and Environment XXIV World's Poultry Congress*. Brazil. 2012.

20. Bouras CH. et Ben Sayfia KH. 2020. Essai de formulation d'un aliment de poulet de chair en incorporant des ressources locales. Université de M'sila.
21. Bourgogne-Franche-Comté. Caille de chair. Une maîtrise nécessaire de l'élevage à la vente. 2019.
22. Bouvarel I., Lessire M., Narcya., Duval E., Grasteau S., Quinsac A., Peyronnet C., Tran G. et Heuze V. Des Sources De Protéines Locales Pour L'alimentation Des Volailles : Quelles Voies De Progrès ? Ocl - Oilseeds And Fats, Crops And Lipid. 2014.
23. Brah N., Houndonougbo F. M., Issa S. et Chrysostomen C. A. A. M. Tableur Ouest Africain De Formulation d'Aliments De Volailles (TOAFA –Volaille). Int. J. Biol. Chem. Sci. 2019. 13 (3) : 1308-1320p.
24. Chabalière A. Légumineuse: la liste des principaux légumes secs. 2020. <https://www.femmeactuelle.fr/sante/alimentation-equilibree/legumineuses-la-liste-des-principaux-legumes-secs-2096351#:~:text=Riches%20en%20prot%C3%A9ines%2C%20en%20fibres,vari%C3%A9t%C3%A9s%20%C3%A0%20travers%20le%20monde>
25. Chander H., Kumar G. A Study on the Potential of *Azolla pinnata* as Livestock Feed Supplement for Climate Change Adaptation and Mitigation. 2017.
26. CIWF. 2016. Cailles : une industrie très intensive pour un mets dit raffiné. <https://www.ciwf.fr/presse/communiques/2016/06/cailles-une-industrie-tres-intensive-pour-un-mets-dit-raffine>.
27. Dahouda M., Toléba S.S., Senou M., Youssao A.K.I., Hambuckers A. et Hornick J.-L. Les ressources alimentaires non-conventionnelles utilisables pour la production aviaire en Afrique : valeurs nutritionnelles et contraintes. Ann. Méd. Vét. 2009. 153 : 5-21.
28. Desmedt L. 2019. Influences maternelles sur le développement vocal de la caille japonaise (*Coturnix c. japonica*). Thèse de doctorat en Biologie animale. Université Rennes 1. France.
29. Dhumal MV., Siddiqui MF., Siddiqui MBA., Avari PE. Performance of broilers fed on different levels of Azolla meal. Indian J. Poult. Sci. 2009. 44: 65-68.
30. Djitie Kouatcho F., Kana J.R., Ngoula F., Nana N F.C. et Teguaia A. 2015. Effet du niveau de protéines brutes sur la croissance et la carcasse chez la caille (*Coturnix sp*) en phase de finition dans les Hautes Terres du Cameroun. Département des Productions Animales. Université de Dschang .Cameroun.
31. Evans A. Quelle devrait être la nourriture pour la caille et comment la faire La source: <https://bureau-assurance.com/fr/quelle-devrait-etre-la-nourriture-pour-la-caille-et-comment-la-faire/>. 2021.
32. Fernandez E.V et Ruiz Matas J.J. 2003. Technicien En Elevage. Tome1. Ed : CULTURAL, S.A. Espagne. 242p.
33. Fiogbe D.E., Micha J.C., Van Hove C. Use of a natural aquatic fern, *Azolla microphylla* as a main component in food for the omnivorous - phytoplanktonophagous tilapia *Oreochromis niloticus* L. Journal of applied ichthyology. 2004.
34. Franck Y. 1980. L'alimentation rationnelle des poulets de chair et des pondeuses.

35. Guillaume J. 1970. Du besoin azoté de la caille domestique (*Coturnix coturnix japonica*). Étude Préliminaire de besoin de la caille en croissance.
36. Hêdji C., Diana N.S., Marcel R. et Emile D. Valorisation de *Azolla spp Moringa oleifera* son de riz et de co-produit de volaille et de poissons en alimentation animale synthèse bibliographiques. Journal of applied biosciences. 2014. 7278-7279.
37. Hoffmann E. *coturnix Quail*. Taipei: Yi Hisien Publishing Co. 1988.
38. INPN. 2022. Inventaire National du Patrimoine Naturel. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/2996.
39. INRA. CIRAD. AFZ. 2020. <https://www.feedtables.com/fr>
40. ITELV. 2018. Guide d'élevage de la caille. Institut technique des élevages. Algérie. 14p.
41. ITPE. 1988. Guide d'élevage de la caille et du pigeon. Institut technique des petits élevages. Algérie. 28p.
42. Johnsgard P.A. 1988. *Genus Coturnix the Quails Partridges and Francolins of the world*. Oxford University. Press. Oxford.
43. Kenzi M.Z. et Wahaj M. 2015. Etude sur l'alimentation du poulet de chair à base du maïs. Master en agronomie. Université Abou-Baker Belkadi. Tlemcen.
44. Kocoun K.Y. 2012. Effets du sorgho grain entier et broyé en alimentations séquentielles et mélangée chez le poulet de chair au Sénégal. Docteur en médecine vétérinaire (Diplôme d'état). Université Cheikh Anta Diop De Dakar. 144p.
45. Konig C. Le maïs, une céréale aux grains précieux. 2017. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-mais-cereale-grains-precieux-2346/>
46. Larbier M. Et Leclercq B. 1992. Nutrition Et Alimentation Des Volailles. Ed : INRA. Paris. 355p.
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 biologie. Université de Rennes 1 sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne. 273p.
48. Leterme P., Londono A .M., Munoz J.E., Suarez J., Bedoya C.A., Souffrant WB., Buldgen A. Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs. Animal Feed Science and Technology. 2009.
49. Malumba P. 1999. Une approche programmatique dans la formulation des aliments complets pour volaille. Université de Kinshasa. 63p.
50. Maxime L. 2014. Forme d'apport du phosphore, performances et minéralisation osseuse chez le poulet de chair. Sciences agricoles. Mémoire de Fin d'Études d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage. Etablissement D'Enseignement Supérieur Français Agro campus Ouest.
51. Meziane Z., Longo-Hamouda F.H., Boudouma D. et Kaci A. Quelles alternatives aux couples « tourteau de soja – maïs » de l'aliment poulet de chair en Algérie. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger. 2013.
52. Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO and Harvard University Herbaria, Cambridge, MA. 2010.
53. Mondry R. 2016. L'élevage des cailles en zone tropicale. Pro-Agro est une coédition d'Ingénieurs Sans Frontières. Cameroun.. 31p.
54. Moula N., Philippe F.X., Ait Kaki A., Touazi L., Antoine-Moussiaux N. et Leroy P. Ponte et qualité d'œufs de caille élevée en conditions semi intensives dans l'Est Algérien. Université de Liège. Belgique. Université Constantine 1 .Algérie. Université Ferhat Abbas. Sétif-1. Algérie. 2014.

55. Ndiagne N. 1996. Etude de la qualité nutritionnelle des aliments de volaille vendus au Sénégal et de l'effet de leur supplémentations en lysine, en méthionine et en lipide sur les performances zootechniques du poulet de chair. Université Cheikh Anta Diop-Dakar école Inter-état des sciences et médecine vétérinaire (E.I.S.M.V). 33p.
56. Ngom S. 2004. Ébauche d'un référentiel sur la composition chimique et valeur nutritive des matières premières utilisables en alimentation des volailles au Sénégal. Doctorat de troisième cycle de chimie et biochimie des produits naturels. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
57. NRRI. Azolla Germplasms at NRRI. Conservation Characterization and Utilization. India. 2019.
58. Olorunfemi. Application de la programmation linéaire à l'utilisation de lentilles d'eau (*Lemna paucicostata*) dans la formulation de rations à moindre cout pour les poulets de chair en finition. 2007.
59. Ornithologie-AVES-Oiseaux.
https://www.aerien.ch/articles/1359/Oiseaux__Classe_Aves_Ordres_Familles.php. 2021.
60. Ouedraogo B., Nikiema S.Z., Zoundi S.J., Sawadogo L.F. et Ouedraogos S. Effets de l'incorporation de la biomasse d'azolla séchée dans les rations du poulet en agriculture traditionnels amélioré. 2021.
61. Prabakaran R. Good practices in planning and management of integrated commercial poultry production in South Asia. FAO Animal Production and Health Paper. 2003.159-71.
62. Priti M., Satish S. Quail farming: An introduction. Life Sciences. 2014.190-193.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Quail-Farming%3A-An-Introduction-Priti-Satish/07cb4b90dc4999f3f3e687e619b33463b1b23ffb>
63. Rahagarison. Etude bibliographique de l'Azolla ou la « ramilamina » plante fertilisatrice d'Azote (N₂). Enseignant-chercheur en ethno-botanique à l'ICMAA de l'Université d'Antananarivo. 2005.
64. Rajesh S. Production of Azolla as livestock feed supplement in India. Pashudhan prepare. Indian Dairy & Poultry industry. 2020. 43p.
65. Randall M. and Bolla G. Raising Japanese quail. NSW Department of Primary Industries. 2008. 1-5.
66. Raelina B.A. 1995. Utilisation de l'Azolla dans l'alimentation du poulet de chaire. Universités d'Antananarivo école supérieure des sciences agronomiques département D'élevage. 97p.
67. Raynaude P. et Franche C. 1985. *Azolla pinnata* var africaine : de la biologie moléculaire aux applications agronomiques, From molecular biology to use as a green manure. : ORSTOM. Paris. 15p.
68. Saulnier L. 2012. Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. Cahier de nutrition et diététiques.
69. Shamna T.P., Peethambaran P.A., Jalaludeen A., Joseph L. and. Muhammad Aslam M.K. Broiler characteristics of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) at different levels of diet substitution with *Azolla pinnata*. Animal Science Reporter, Volume 7, Issue 2. 2013.
70. Shanaway M.M. Quail production systems: A review. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO Rome. 1994. 147p.

71. Somasundaram R., Jacob L., Swoboda R., Caputo L., Song H., Basak S., MonosD., Peritt D., Marincola F., Cai D., Birebent B., Bloome E., Kim J., Berencsi K., Mastrangelo M., Herlyn D. Inhibition of Cytolytic T Lymphocyte Proliferation by Autologous CD4⁺/CD25⁺ Regulatory T Cells in a Colorectal Carcinoma Patient Is Mediated by Transforming Growth Factor- β . *Cancer research*. 2002.
72. Tome L., Maisonneuve et Larose. 1992. L'élevage de la volaille. <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-help---00-0-1-00-0-0-11----0-0-&cl=CL2.1&d=HASH58a992c05750659cd1d008.7.7.1&x=1>
73. Tunsaringkarn T., Tungjaroenchai W. and Siriwong W. Nutrient Benefits of Quail (*Coturnix Japonica*) Eggs. *Annals Food Science and Technology*. 2012. 122-131.
74. Van Hove C., 1989. Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa. FAO, Rome, FAO. 53p.
75. Varadharajan A., Gnanasekar R. and Kothandaraman S. Studies on feeding value of Azolla in quails in relationship to its carcass traits. *The pharma innovations*. 2019.
76. World Pheasant Association et IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group. 2009. Guidelines for the Re-introduction of Galliformes for Conservation Purposes. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission. 86p.
77. Youshida S., Forno D., Cock J. and Gomez K. 1976. Laboratory manual for physiological studies of rice. (Philippines: The International Rice Research Institute), 82 p.
78. Zubria L. Valeurs nutritionnelles et caloriques de la caille. https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=caille_nu.2021.