



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique

Université SAAD DAHLAB DE BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme De Master académique en

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production et Nutrition animale

Thème

Contribution à l'étude de l'effet de l'incorporation d'*Azolla pinnata* dans
l'alimentation de la caille sur la qualité des œufs

Présenté par : Amadou Baïla Sow

Soutenu le 29/06/2025

Devant le Jury :

Président : Bencherchali Mohamed

Promotrice : Mahmoudi Souhila

Co-promotrice : Boudjellaba Haizia

Examinatrice : Sid Sihem

Année universitaire : 2024/2025

REMERCIEMENT

Tout d'abord je remercie Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à ma promotrice Dr. Mahmoudi Souhaila, MCA à l'Institut des sciences et techniques appliquées, Université Blida 1 pour la qualité de son encadrement exceptionnel, qui s'est toujours montré à l'écoute et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier le président de jury, Dr. Bencherchali M. MCA au département de Biotechnologie et Agroécologie pour avoir accepté de présider le jury de ce modeste travail.

Je remercie également Dr. Sid S. pour avoir consacré de son temps pour l'évaluation de ce modeste travail.

Je tiens à remercier ma Co-promotrice Mme. Boudjellaba Haizia pour son soutien.

Je remercie également le responsable de laboratoire zootechnie pour sa disponibilité et son soutien.

Je remercie tous mes professeurs du Département de Biotechnologie et agroécologique, spécialité Production et Nutrition Animal.

Finalement, je remercie tous ceux qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Grâce soit rendue à **Dieu** le tout puissant qui m'a donné la force de tenir jusqu'à ici

Je dédie ce travail :

A mon très chère et défunt père **Baïla Boubou Gouro Sow** et à mes défunts sœurs **Aissata Baïla Sow** et **Oumou Baïla Sow** que la terre vous soit légère qu'Allah vous accueille dans son paradis firdaws (جنة الفردوس).

A ma très chère mère **Houraye Siley Gouro Sow** pour son amour et l'affection qu'elle m'a donnée, pour son aide, ses douas pour moi, son soutien ininterrompu qu'elle m'a apporté en toute circonstance. Je vous dédie ce travail les mots me manquent pour vous remercier merci maman pour tout je vous aime beaucoup ! Je vous souhaite longue vie pleine de santé.

A mes frères et sœurs ceux qui ont contribué de près et de loin merci pour vos encouragements et vos soutiens.

A mon grand frère **Hamadou Mamoudou Sow** modèle de force, de sagesse et de bienveillance. Vous avez été ce repère solide dans mes moments d'incertitude, merci beaucoup pour votre soutien fidèle dans chaque étape de ma vie, vos encouragements et vos conseils, je vous souhaite longue vie pleine de santé et des réussites merci beaucoup mon idole.

A tous mes amis et camarades depuis Collège, Lycée et de l'université (Licence et Master)

A mes amis et promo de Licence l'ISSET DE ROSSO

A mes amis de Master de l'université SAAD DAHLEB de Blida 1

A toute la famille de **Boubou Gouro** et **Siley Gouro**

Résumé

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'incorporation d'*Azolla pinnata*, comme aliment non conventionnel, dans l'alimentation de la caille sur la qualité des œufs. La qualité physico-chimique des œufs de 5 lots (témoin, recevant 4,5% d'*Azolla* fraîche, 4,5% d'*Azolla* sèche, 9% d'*Azolla* fraîche et 9% d'*Azolla* sèche) a été déterminée. Les résultats obtenus montrent que l'ajout d'*Azolla* fraîche et sèche n'a pas d'effet négatif sur les paramètres physico-chimiques mesurés. L'indice de Haugh a été supérieur dans le lot 2 par rapport aux autres lots ($p<0,05$). Le taux de la matière sèche des œufs a diminué ($p<0,05$) avec l'incorporation d'*Azolla*. Le lot 5 a enregistré une augmentation dans le taux de protéines et une diminution dans le taux de matière grasse ($p<0,05$). L'*Azolla* fraîche et sèche peut substituer partiellement les aliments conventionnels dans l'alimentation de la caille jusqu'à 9%.

Mots clés : *Azolla pinnata*, Aliment non conventionnel, Qualité des œufs, paramètres physico-chimiques, Indice de Haugh, Teneur en protéines, Matière grasse, Matière sèche.

Title: contribution to the study of the effect of the incorporation of azolla pinnata in quail feed on egg quality

Abstract

The objective of this study was to evaluate the impact of incorporating *Azolla pinnata*, as an alternative feed, into quail diets on egg quality. The physicochemical quality of eggs from five batches (control, receiving 4.5% fresh *Azolla*, 4.5% dry *Azolla*, 9% fresh *Azolla*, and 9% dry *Azolla*) was determined. The results obtained show that the addition of fresh and dry *Azolla* had no negative effect on the measured physicochemical parameters. The Haugh index was higher in batch 2 compared to the other batches ($p<0.05$). The dry matter content of the eggs decreased ($p<0.05$) with the inclusion of *Azolla*. Batch 5 recorded an increase in protein content and a decrease in fat content ($p<0.05$). Fresh and dried *Azolla* can partially replace conventional feed in quail diets up to 9%.

Keywords: *Azolla pinnata*, Unconventional feed, Egg quality, physicochemical parameters, Haugh index, Protein content, Fat, Dry matter.

العنوان: مساهمة في دراسة تأثير إضافة الأزولا بيناتا إلى علف السمان على جودة البيض

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة أزولا بيناتا، كعلف بديل، إلى علائق السمان على جودة البيض. حُددت الجودة الفيزيائية والكيميائية لبيض خمس دفعات (مجموعة ضابطة، تحتوي على 4.5% أزولا طازجة، 4.5% أزولا جافة، 9% أزولا طازجة، و9% أزولا جافة). أظهرت النتائج أن إضافة الأزولا الطازجة والجافة لم يكن لها تأثير سلبي على المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة. كان مؤشر هوف أعلى في الدفعة الثانية مقارنةً بالدفعات الأخرى (قيمة الاحتمالية >0.05). انخفض محتوى المادة الجافة في البيض (قيمة الاحتمالية >0.05) مع إضافة الأزولا. سجلت الدفعة الخامسة زيادة في محتوى البروتين وانخفاضًا في محتوى الدهون (قيمة الاحتمالية >0.05). يمكن للأزولا الطازجة والمجففة أن تحل جزئيًا محل العلف التقليدي في علائق السمان بنسبة تصل إلى 9%.

الكلمات الرئيسية: أزولا بيناتا، علف غير تقليدي، جودة البيض، المعايير الفيزيائية والكيميائية، مؤشر هاف، محتوى البروتين، الدهون، المادة الجافة

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

Partie bibliographique

Chapitre 1 : Elevage et alimentation de la caille.....	1
Chapitre 2 : Culture et utilisation d' <i>Azolla pinnata</i>	14
Chapitre 3 : Qualité des œufs.....	20

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Matériels et méthodes.....	29
Chapitre 2 : Résultats et discussions.....	39
Conclusion.....	50

Références bibliographiques

Listes des tableaux

Tableau 01 : La systématique de la caille.....	4
Tableau 02 : Normes d'élevage et besoins de la caille reproductrice en Matériel	7
Tableau 03 : Température en fonction de l'âge des cailleteaux.....	9
Tableau 04 : Croissance de la caille.....	10
Tableau 05 : Besoins nutritionnels de la caille japonaise en pourcentage ou en Unités par kilogramme d'aliment à 90% de matière sèche	12
Tableau 06 : Besoins nutritionnels de la caille japonaise phases de démarrage Et de finition.....	13
Tableau 07 : Composition Chimique de l'Azolla fraîche.....	17
Tableau 08 : Composition chimique d'Azolla sèche.....	18
Tableau 09 : Principales protéines du blanc (en % de matière sèche).....	22
Tableau 10 : Composition centésimale du jaune d'œuf de poule en pourcentage de matière sèche.....	23
Tableau 11 : Quantités absolues de protéines et de lipides dans un jaune d'œuf de poule de 60 g.....	23
Tableau 12 : Valeur alimentaire des œufs des volailles	25
Tableau 13 : Poids (g) des œufs entiers de la caille.....	39
Tableau 14 : Poids (g) de contenu des œufs de la caille	40
Tableau 15 : Poids (g) de blanc des œufs de la caille	40
Tableau 16 : Poids (g) de jaune des œufs de la caille	41
Tableau 17 : Hauteur (cm) de blanc des œufs de la caille	42
Tableau 18 : Hauteur (cm) de jaune des œufs de la caille	43
Tableau 19 : Unité Haugh des œufs de la	43
Tableau 20 : Poids (g) de la coquille des œufs de la caille	44
Tableau 21 : Longueur (cm) des œufs de la caille	44
Tableau 22 : Largeur (cm) des œufs de la caille	45
Tableau 23 : pH de contenu des œufs de la caille	46

Listes des figures

Figure 01 : Caille des blés (<i>Coturnix coturnix</i>)	2
Figure 02 : Caille Japonaise (<i>Coturnix japonica</i>). Mâle et femelle.....	2
Figure 03 : La caille de Chine (<i>Coturnix chinensis</i>)	3
Figure 04 : Caille arlequin (<i>Coturnix delegorguei</i>)	4
Figure 05 : Élevage au sol	7
Figure 06 : Elevage en cage	8
Figure 07 : <i>Azolla pinnata</i>	15
Figure 08 : Structure de œufs.....	22
Figure 09 : Longueur de l'œufs.....	30
Figure 10 : Largeur de l'œufs.....	31
Figure 11 : Poids de l'œuf entier.....	31
Figure 12 : Poids du jaune et blanc des œufs.....	32
Figure 13 : Poids de la coquille des œufs.....	32
Figure 14 : Détermination de pH des œufs de la caille	33
Figure 15 : Détermination des cendres dans les œufs de la caille.....	35
Figure 16 : Détermination de la teneur en protéines dans les échantillons des œufs de la cailleœufs.....	36
Figure 17 : Détermination de la teneur en lipides dans les échantillons des œufs de la cailleœufs.....	38
Figure 18 : Taux de matière sèche dans le contenu des œufs de la caille.....	46
Figure 19 : Taux de cendres totales dans le contenu des œufs de la caille.....	47
Figure 20 : Teneurs en protéines dans le contenu des œufs de la caille.....	48
Figure 21 : Teneurs en protéines dans le contenu des œufs de la caille.....	49

Listes des Abréviations

UH : Unités Haugh

P : poids de l'œuf

H : Hauteur de l'albumen

M0 : est la masse du creuset vide

M1 : est la masse du creuset et du résidu après séchage

M : est la masse de l'échantillon avant séchage

CT : Cendres totales

P : teneur en protéines (%)

V1 : volume de H₂SO₄ en ml nécessaire pour titrer l'échantillon

V0 : volume de H₂SO₄ en ml nécessaire pour titrer le blanc

MN₂ : masse moléculaire de l'azote soit 14 g / mole

N(HCl) : normalité de l'acide sulfurique

m : masse de l'échantillon

P2 : poids du ballon contenant les lipides

P1 : poids du ballon vide

Pr : prise d'essai

L1: lot Témoin

L2: lot azolla fraîche (4,5%)

L3: Lot azolla sèche (4,5 %),

L4: Lot azolla fraîche (9%)

L5: Lot azolla sèche (9%)

POE : poids de l'œuf entier

PCO : poids du contenu de l'œuf

PB : poids de blanc

PJ : poids de jaune

HB : hauteur de blanc

HJ : hauteur de jaune

UH : Unité Haugh

PC : poids de la coquille

LO : longueur de l'œuf

LA : largeur de l'œuf

pH : pH-mètre

MS : Matière sèche

CT : Cendre Total

Pro : Protéine

MG : Matière Grasse

Table des matières

Résumé.....	- I -
صخلم.....	- I -
abstract.....	-II-
Liste des tableaux.....	- III -
Liste des figures.....	-VI -
Liste des abréviations.....	-V-

Introduction

Introduction.....	-1-
-------------------	-----

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Elevage et alimentation de la caille

1.1 Description.....	1
1.1.1 Caille des blés (<i>Coturnix coturnix</i>)	1
1.1.2 La caille Japonaise (<i>Coturnix japonica</i>)	2
1.1.3 Les cailles de Chine (<i>Coturnix chinensis</i> , naine de Chine)	3
1.1.4 Caille arlequin (<i>Coturnix delegorguei</i>)	3
1.2 Classification de la caille	4

1.3 Conduite d'élevage.....	5
1.3.1 Reproducteurs.....	5
✓ Incubation.....	5
✓ L'éclosion.....	6
1.3.2 Bâtiment d'élevage.....	6
• Élevage au sol	6
• Système en batterie.....	8
1.3.3 Les conditions d'ambiance	8
✓ La température.....	8
✓ L'humidité.....	9
✓ L'éclairage.....	9
✓ La ventilation.....	9
✓ La litière.....	10
1.3.4 Élevage des cailles de chair	10
1.3.5 Élevage des cailles de ponte.....	10
1.4 Alimentation.....	11
1.4.1 Besoin alimentaire de la caille.....	11

Chapitre 2 : Culture et utilisation d'*Azolla Pinnata*

2.1 Répartition et description.....	14
2.2 Classification Botanique de l' <i>Azolla pinnata</i>	15
2.3 Conduite de la culture.....	16
2.3.1 La température.....	16
2.3.2 pH.....	16
2.3.3 La Salinité.....	16
2.3.4 L'eau.....	16
2.3.5 Le vent.....	17
2.4 Valeur alimentaire d' <i>Azolla pinnata</i>	17
2.5 Importance d' <i>Azolla pinnata</i>	18
2.5.1 Alimentation animale.....	18
2.5.2 Fertilisation du sol.....	18
2.5.3 Traitement des eaux.....	19

Chapitre 3 : Qualité des œufs

3.1 Structure de l'œuf.....	20
3.1.1 Le vitellus.....	20
3.1.2 L'albumen.....	20
3.1.3 La coquille et les membranes coquillières.....	21
3.1.4. La chambre à aire.....	21
3.1.5 La cuticule.....	21
3.2 Composition chimique et valeur alimentaire.....	22

3.2.1 Le blanc.....	22
3.2.2 Le jaune.....	23
3.2.3 La coquille	24
3.2.4 La valeur alimentaire des œufs de différentes espèces.....	25
3.3 Facteurs affectant la composition de l'œuf.....	25
3.3.1 Qualité interne de l'œuf.....	25
3.3.2 Age de la poule	26
3.3.3 Origine génétique et sélection.....	26
3.3.4 Techniques d'élevage.....	26
❖ Le bâtiment d'élevage	26
❖ Modes d'élevage	27
3.3.5 Alimentation.....	27
3.4 Évaluation de la qualité des œufs de consommation	27
3.4.1 Mirage.....	27
3.4.2 Calibrage des œufs.....	28
a. Le poids à maturité	28
b. La maturation sexuelle.....	28
3.4.3 Qualité de la coquille.....	28
3.4.4 Qualité de l'albumen.....	29
3.4.5 Qualité du vitellus.....	29
3.5 Le classement des œufs.....	29
3.5.1 Variation du poids de l'œuf.....	29

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Chapitre 1 : Matériels et méthode

4.1 Objectif de travail	29
4.2 Matériel	29
4.2.1 Animaux	29
4.2.2 Aliments	29
4.2.3 Conduite d'élevage	29
4.2.4 Autre matériel	29
4.3 Déroulement des travaux expérimentaux	30
4.4 Échantillonnage des œufs	30
4.5 Détermination des paramètres physiques	30
4.5.1 Longueur	30
4.5.2 Largeur	31
4.5.3 Poids de l'œuf entier	31
4.5.4 Poids du blanc, du jaune et de la coquille	32
➤ Poids de la coquille	32
4.5.5 Indice de Haugh et indice de jaune	33
4.5.6 pH (JORA, 2006)	33
4.6 Détermination de la valeur alimentaire des œufs de la caille japonaise	34
4.6.1 Humidité	34
4.6.2 Cendres totales (AOAC 920.153)	34

4.6.3 Protéines brutes	35
4.6.4 Lipides totaux (Soxhlet. AOAC, 1990)	37

Chapitre 2 : Résultats et discussion

5.1 Caractéristiques physiques des œufs	39
5.1.1 Poids des œufs entier	39
5.1.2 Poids de contenu des œufs	40
5.1.3 Poids de blanc des œufs	40
5.1.4 Poids de jaune des œufs	41
5.1.5 Hauteur de blanc des œufs	42
5.1.6 Hauteur de jaune des œufs	42
5.1.7 Indice de Haugh	43
5.1.8 Poids de la coquille des œufs	44
5.1.9 Longueur des œufs	44
5.1.10 Largeur des œufs	45
5.2 pH de contenu des œufs	45
5.3 Matière sèche de contenu des œufs	46
5.4 Cendres totales de contenu des œufs	47
5.5 Teneurs en protéines de contenu des œufs	48
5.6 Teneur en matière grasse de contenu des œufs	48

Introduction

L'azolla est une fougère flottante vivant en eau peu profonde. Elle flotte à la surface de l'eau grâce à ses nombreuses petites feuilles, semblables à des écailles, se chevauchant étroitement, et dont les racines sont suspendues dans l'eau. Les plantes aquatiques sont utilisées depuis longtemps dans de nombreux pays en développement comme source d'alimentation pour le bétail et la volaille. Récemment, leur utilisation dans les rations animales a pris une importance croissante, car leur teneur en protéines et autres nutriments est comparable à celle de certaines légumineuses (Sihag et al., 2018).

Le terme Azolla est une combinaison de deux mots grecs : azo (sécher) et allyo (tuer), reflétant l'incapacité des plantes à prospérer en conditions sèches (Lumpkin et Plucknet 1982). Il s'agit d'une fougère aquatique flottante appartenant à la famille des Salviniacées et au genre Azolla. Azolla pinnata est la plus répandue. Espèces dispersées dans les régions tropicales et tempérées de l'Inde et du monde entier (Bhatt et al., 2020).

L'azolla abrite l'algue bleu-vert symbiotique *Anaebaena azollae*, responsable de la fixation et de l'assimilation de l'azote atmosphérique. L'azolla, à son tour, fournit la source de carbone et un environnement favorable à la croissance et au développement de l'algue. C'est cette relation symbiotique unique qui fait de l'azolla, une plante merveilleuse à haute teneur en protéines (MISHRA., 2016).

L'*Azolla pinnata* est présente localement dans son aire de répartition naturelle : Afrique et Madagascar, Inde, Asie du Sud-Est, Chine, Japon, Malaisie, Philippines, Nouvelle-Guinée continentale et Australie. On la trouve à la surface de petits étangs calmes ou de bras morts sans houle, aux latitudes basses et moyennes. Elle abonde dans les eaux riches en nutriments, comme les étangs des enclos à bétail et les étangs agricoles, où elle peut recouvrir entièrement la surface (Ting et al., 2022)

Chapitre1 Élevage et alimentation de la caille

1.1 Description

La caille est un oiseau trapu, de petite taille, aux pattes courtes et au plumage varié, aux formes rondes, assez voisin de la perdrix. L'éleveur des cailles est appelé coturniculteur (Mondry, 2016 ; ITELV, 2003).

La caille est élevée pour ses œufs (destinés à la consommation et utilisés comme remède) et pour sa chair de plus en plus recherchée par les populations africaines à revenus élevés (Mondry, 2016).

Connues depuis la plus haute antiquité dans les pays d'Europe (France, l'Italie et l'Espagne), d'Asie (Japon, Taiwan et Philippine) et d'Afrique, les cailles séjournent dans les plaines et les clairières (ITELV, 2003).

Il existe plusieurs espèces à savoir :

1.1.1 Caille des blés (*Cotumix coturnix*)

Elle est également dénommée scientifiquement *coturnix communis* et présente une longueur de 18 à 20 cm (Figure 01). Les femelles sont légèrement plus grandes que les mâles. La caille des blés (poids : femelle : 85 à 135 g ; mâle : 70 à 100 g) est répandue en Europe, en Asie du nord et en Afrique du nord. Lorsque le froid arrive, elle migre vers le sud, jusqu'à l'Afrique centrale et méridionale et l'Asie méridionale. Cet oiseau, qui était très courant en Europe et dans les régions méditerranéennes, est devenu de plus en plus rare, à cause de la chasse indiscriminée dont il fait l'objet, notamment dans les pays méridionaux. La caille des blés est envergure 32 à 35 cm, longévité 8 ans, la femelle pèse entre 85 à 135 g et le mâle 70 à 100 g (Menassé, 2004 ; Daniel, 2005 cité par Benagrouba, 2022).



Figure 01 : Caille des blés (*Coturnix coturnix*) (Anonyme 1)

1.1.2 La caille Japonaise (*Coturnix japonica*)

Elle a été domestiquée il y a plus de 700 ans au Japon. Elle est aujourd'hui l'espèce la plus élevée pour sa production d'œufs et/ou pour sa viande. Son plumage est gris moucheté et tacheté de brun. La femelle est un peu plus grosse que le mâle et présente une gorge plus claire et tachetée de noir. Le mâle a une gorge plus foncée, brun caramel (Figure 02). La caille du Japon produit jusqu'à 300 œufs par an et peut peser plus de 300 grammes, bien que la plupart pèsent environ 180 g à l'âge de 50 jours. D'autres variétés de couleurs ont été obtenues : albinos, blanche, isabelle, argentée, brune, panachée, tuxedo. Les nouvelles souches de *Coturnix japonica* Jumbo font preuve de bien meilleures performances zootechniques (Mondry, 2016).

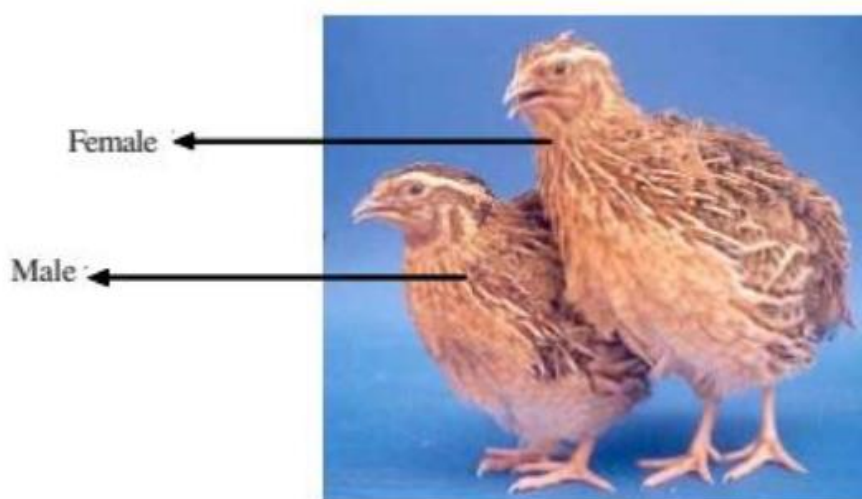


Figure 02 : Caille Japonaise (*Coturnix japonica*). Mâle et femelle (Anonyme 2)

1.1.3 Les cailles de Chine (*Coturnix chinensis*, naine de Chine)

Elles sont très faciles à élever car elles socialisent entre elles et laissent en paix les autres espèces. Mesurant seulement de 12 à 14 cm et pesant 40 g environ, elles sont élevées uniquement comme oiseaux d'ornement. Le mâle porte un dessin noir et blanc bien marqué à la gorge, alors que la femelle a un plumage strié, de couleur brun et blé (Figure 03). Il existe plusieurs variétés de couleurs : fauve, blanc, argenté, brun, noir (Mondry, 2016).



Figure 03 : La caille de Chine (*Coturnix chinensis*) (Anonyme 3)

1.1.4 Caille arlequin (*Coturnix delegorguei*)

Elle a presque les mêmes dimensions que la caille des blés, le dimorphisme sexuel est très évident, puisque les femelles de la caille arlequin présentent une coloration uniforme brune (Figure 04). L'aire de diffusion de cette espèce comprend toute l'Afrique centrale et méridionale et Madagascar. Cette espèce niche uniquement dans les régions où elle trouve en abondance de l'herbe et des insectes afin d'assurer la croissance des petits (Menassé, 2004 cité par Benagrouba, 2022)



Figure 04 : Caille arlequin (*Coturnix delegorguei*) (Anonyme 4)

1.2 Classification de la caille

La caille appartient à l'ordre des Galliformes et à la famille des Phasianidae, qui est de loin la plus grande famille et la plus variée des Gallinacés (Tableau 1). Elle est tellement diversifiée qu'il est difficile de la subdiviser en groupes naturels ; mais trois sous-familles sont généralement reconnues : la *Perdicinae* (caille de l'Ancien Monde), la *Phasianinae* (les vrais faisans et paons) et la troisième sous-famille - selon la majorité des schémas taxonomiques - est : l'*Odontophorinae* (caille du Nouveau Monde). D'autres schémas les classent au sein de la sous-famille des *Phasianinae* (Gutierrez, 1993 ; Shanaway, 1994 cité par Bensalah, 2016).

Tableau 01 : La systématique de la caille

Règne	Animal
Embranchement	Vertébrés
Classe	Oiseau
Ordre	Galliformes
Sous – Ordre	Gallinacés
Super – famille	Phasianoidea
Famille	Phasianidés
Genre	Coturnix

Source : Menassé, 2004 cité par Merzouk et Mouloudj, 2022.

1.3 Conduite d'élevage

1.3.1 Reproducteurs

Les femelles commencent à produire à l'âge de 5 semaines. Certains sujets particulièrement précoces entrent en ponte dès leur trentième jour d'existence, mais ces oiseaux n'ayant pas atteint une maturité suffisante, leurs œufs sont encore petits et très souvent infertiles (Lucotte, 1975 cité par Haddad, 2016).

Pour la production d'œufs fertiles, les cailles mâles devraient être mises avec les femelles à l'âge de 8-10 semaines. Le regroupement d'un seul mâle avec deux ou trois femelles donnera généralement une fécondité élevée (Bensalah, 2016).

D'une manière générale, les œufs sont incubés dès la septième semaine. La période de grande fertilité pour la femelle s'étend tout au long de la première année de ponte (Haddad, 2016).

✓ Incubation

Pour avoir une ponte régulière et optimale, 18 heures de lumière par jour sont nécessaires.

Le choix des œufs à incuber est important pour la réussite :

- doivent avoir une coquille lisse et mate
- ne doivent pas avoir de coquille brisée ou luisante
- ne doivent pas être sphériques

Ne pas stocker les œufs plus de 10 jours avant leur mise en couveuse. Les stocker de préférence dans un endroit frais à environ 15 °C. L'incubation dure 16 à 18 jours. La température d'incubation s'élève de 38,5 à 39 °C en couveuse. L'humidité est de 55 à 60 %. À partir du 15^{ème} jour, elle doit être portée à 70 % ou plus. 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 (Mondry, 2016).

Pour économiser la place dans l'incubateur, pratiquer le « mirage » des œufs au 7^e jour pour éliminer les œufs « clairs ». Les œufs clairs ne montrent pas de point sombre (Mondry, 2016).

✓ L'éclosion

Les œufs fertiles sont ensuite transférés vers les compartiments d'éclosion dans des machines à couvrir ou séparer dans des éclosiers. Cela se fait normalement aux jours 14 ou 15 pour la caille japonaise. Les poussins éclos doivent sécher complètement (pendant 8 à 12 heures) avant de les retirer des éclosiers (Bensalah, 2016).

1.3.2 Bâtiment d'élevage**✓ Élevage au sol**

La préparation des futures reproductrices doit passer par une phase de démarrage (0-6 semaines). Pour arriver à ce stade, l'éleveur doit préparer une bonne poussinière qui répond aux normes. Avant l'installation des cailliteaux, il convient de procéder à une bonne désinfection des locaux d'élevage. On épandra sur le sol une bonne litière de 10 cm d'épaisseur constituée de copeaux de bois ou de paille broyée.

Pendant la première semaine de vie, on utilise un cercle d'élevage confectionné généralement en grillage à petites mailles carrées (Figure 05). Le matériel conçu pour cette phase d'élevage est disposé autour de la source de chaleur (radiant). Les mangeoires et abreuvoirs doivent être répartis sur toute la surface d'élevage, ce qui permettra une répartition homogène des cailliteaux et une meilleure prise alimentaire. Le tableau 02 représente les normes d'élevage de la caille reproductrice en matériel recommandées par l'Institut technique des élevages (ITELV, 2003).

Partie 1 : Bibliographie Chapitre 1: Élevage et alimentation de la caille

Tableau 02 : Normes d'élevage et besoins de la caille reproductrice en matériel (0-6 semaines d'âge)

Age en semaine	Matériel approprié	Densité/m2
0-3	Pour 500 sujets : -5 assiettes démarrage -20 abreuvoirs siphoniques spéciaux espèce caille -Un radiant à gaz -Un cercle de garde -Un thermo-hygromètre -Une bassine	100-150
4-6	-10 mangeoires linéaires de 1m équipées d'une grille anti- gaspillage. -20 abreuvoirs siphoniques de 2 à 3 litres ou 5 abreuvoirs automatiques liés à une citerne d'eau.	50-60

Source : ITELV, 2003



Figure 05 : Élevage au sol (ITELV, 2003)

✓ Système en batterie

La caille s'adapte très bien à l'élevage en batterie (Figure 06). Ce mode d'élevage présente les avantages suivants :

- o Forte concentration d'Animaux au (m2) et possibilité d'utiliser plusieurs niveaux.
- o 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 away) pour permettre la descente des œufs et facilite la collecte (Bouallag et Korichi, 2022).



Figure 06 : Elevage en cage (Bouallag et Korichi, 2022).

1.3.3 Les conditions d'ambiance**✓ La 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 03) (Bourgogne Franche-Comté, 2019).

Une température inférieure à 15 °C peut provoquer une mue artificielle, son degré et sa persistance dépendent de la durée de la chute. Les mues puisent les réserves contenues dans le corps de l'oiseau, d'où ralentissent et parfois arrêt total de la ponte (Benagrouba, 2022).

Tableau 03 : Température en fonction de l'âge des cailleteaux

Âge	Naissance	2ème Jour	3ème Jour	5ème Jour	10ème Jour	Après 15J.
Température	38 °C	35 °C	32 °C	28 °C	22 °C	Min 18 °C

Source : Bourgogne Franche-Comté, 2019.

✓ L'humidité

L'humidité est très importante car elle harmonise l'ambiance totale du bâtiment. Les variations provoquent des proliférations microbiennes avec une chute de la production. Un taux d'humidité de 70% est nécessaire car la caille est un oiseau tropical qui craint la sécheresse ou l'excès d'humidité (Boukhelifa, 2000 cité par Benagrouba, 2022).

✓ L'éclairage

Les cailleteaux doivent être élevés sous 24 heures continues de lumière pour les deux premières semaines, après quoi le programme lumineux dépend de la finalité de la production. Si les oiseaux sont destinés à la production de viande, ils peuvent avoir 23 heures de lumière et une heure d'obscurité, ou un éclairage intermittent (éclairage interrompu). Un programme qui alterne trois heures d'obscurité et une heure de lumière répété six fois pourrait aider à réduire la prise alimentaire et à améliorer l'électricité (Shanaway, 1994 cité par Bensalah, 2016).

✓ La 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 (Bourgogne-Franche-Comté, 2019). En moyenne la caille a besoin d'une ventilation de 6 m³ /h/Kg de poids vif minimum (ITELV, 2008).

✓ La litière

Les cailles peuvent être élevées avec ou sans litière (5 à 10 cm de copeaux de bois, tourbe ou sciure). 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).

1.3.4 Élevage des cailles de chair

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 (Bensalah, 2016).

Chez les cailleteaux, la croissance de la femelle est plus rapide. Le poids est cependant identique à l'abattage car la supériorité du poids de la femelle est due au foie et surtout à l'appareil génital (Tableau 04). Il y a donc peu de différences jusqu'à 4 semaines. Le poids de la carcasse est pratiquement identique pour les deux sexes (Bourgogne-Franche-Comté, 2019).

Tableau 04 : Croissance de la caille

Age en jours	1	8	15	22	26	29	33	36	40
Poids des cailles en g	10	50	105	150	176	196	221	237	256

Source : Bourgogne-Franche-Comté, 2019.

1.3.5 Élevage des cailles de ponte

La femelle peut pondre son premier œuf à l'âge de 5 à 6 semaines. Elle continue à pondre des œufs pendant plus d'une année et atteint le pic entre la 3ème et la 5ème semaine de ponte. L'utilisation de lumières artificielles pour induire la ponte en toute saison de l'année. L'utilisation d'un programme d'éclairage tels que : 16 heures de lumière et huit heures d'obscurité à partir de la troisième semaine d'âge (après la période de démarrage initiale) se traduirait par des cailles arrivant à maturité à environ six semaines (Bensalah, 2016).

L'œuf de caille présente le un cinquième de la taille d'un œuf de poule, son poids est de 7 à 15 g, avec un poids moyen de 10 g pour la caille japonaise. 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 (Bensalah, 2016).

1.4 Alimentation

L'alimentation représente près de 70 % du coût de l'élevage des cailles. Elle est constituée principalement de céréales comme le maïs, le sorgho ou le mil. Les cailles adultes mangent environ 14 à 18 g d'aliments par jour (jusqu'à 20-25 g/jour en fonction du niveau de ponte et de la qualité nutritive de l'aliment). La nourriture doit toujours être fraîche. Pour cela, la stocker dans un container bien fermé dans un local sec et froid, protégé des rongeurs, acariens et autres animaux nuisibles. L'aliment stocké plus de 2 à 3 mois est sujet à la détérioration des vitamines et peut devenir rance, surtout dans les climats chauds (Mondry, 2016).

La caille a besoin d'une alimentation très riche en protéines :

- 25 à 28 % pour une alimentation de démarrage (ainsi qu'1 % de calcium et 0,5 % de phosphore), 22 % pour l'engraissement et 24 % pour les pondeuses. Les pondeuses ont besoin de 3 % de calcium. Quand il fait très chaud, les cailles mangent moins, augmenter à 3,5 % de calcium, quantité nécessaire pour pondre (Mondry, 2016).

Les besoins nutritionnels de la caille sont représentés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 05 : Besoins nutritionnels de la caille japonaise en pourcentage ou en unités par kilogramme d'aliment à 90% de matière sèche

Nutriments	Unité	Démarrage et croissance	Reproduction
Energie métabolisable EM	Kcal	2900	2900
Protéines et acides aminés	%	24,0	20,0
Arginine	%	1,25	1,26
Glycine + sérine	%	1,15	1,17
Histidine	%	0,36	0,42
Isoleucine	%	0,98	0,90
Leucine	%	1,69	1,42
Lysine	%	1,30	1,00
Méthionine	%	0,50	0,45
Méthionine + cystine	%	0,75	0,70
Phénylalanine	%	0,96	0,78
Phénylalanine + Tyrosine	%	1,80	1,40
Thréonine	%	1,02	0,74
Tryptophane	%	0,22	0,19
Valine	%	0,95	0,92
Acide linoléique	%	1.01	1.01
Macroéléments			
Calcium	%	0,80	2,5
Chlore	%	0,14	0,14
Magnésium	Mg	300	500
Non phytates phosphore	%	0,30	0,35
Potassium	%	0,40	0,40
Sodium	%	0,15	0,15
Vitamines Liposolubles			
A	UI	1650	3300
D3	UI	750	900
E	UI	12	25
K	Mg	1	1
Vitamines hydrosolubles			
B12	Mg	0,003	0,003
Biotine	Mg	0,3	0,15
Choline	Mg	2,000	1,500
Acide folique	Mg	1	1
Niacine	Mg	40	20
Acide pantothénique	Mg	10	15
Pyridoxine	Mg	3	3
Riboflavine	Mg	4	4
Thiamine	Mg	2	2

Source : NRC, 1998 cité par Bensalah, 2016.

Partie 1 : Bibliographie Chapitre 1: Élevage et alimentation de la caille

Tableau 06 : Besoins nutritionnels de la caille japonaise phases de démarrage et de finition

Phases d'élevage	Démarrage (0 à 3 semaines)		Finition (4 sem. à l'abattage)
Présentation de l'aliment	Farineux ou en miettes		Petits granulés
Teneur de l'aliment en kcal/kg d'aliment	2800	3000	2600
Teneur en protéines (%)	25	28	20
Lysine	1.30	1.39	1.15
Méthionine	0.39	0.42	0.34
Calcium	0.85	0.90	0.85
Phosphore total	0.65	0.70	0.60
Phosphore disponible	0.42	0.45	0.37
Zinc en (ppm)	60	60	60

Source : (ITELV, 2003)

Chapitre 2

Culture et utilisation d'*Azolla Pinnata*

2.1 Répartition et description

L'*Azolla pinnata* est présente localement dans son aire de répartition naturelle : Afrique et Madagascar, Inde, Asie du Sud-Est, Chine, Japon, Malaisie, Philippines, Nouvelle-Guinée continentale et Australie. On la trouve à la surface de petits étangs ou bras morts calmes, sans vagues, aux latitudes basses et moyennes. Elle abonde dans les eaux riches en nutriments, comme les étangs des enclos à bétail et les étangs agricoles, où elle peut recouvrir entièrement la surface. Elle survit sur les sols humides des rivières, des fossés et des étangs. Elle pousse naturellement dans les eaux stagnantes des égouts, des canaux, des étangs, des rivières et des plans d'eau, y compris les zones marécageuses (Ting et al., 2022). Le terme Azolla est une combinaison des mots grecs azo (sécher) et allyo (tuer), reflétant l'incapacité des plantes à prospérer en conditions sèches (Bhatt *et al.*, 2020).

L'azolla est une fougère aquatique flottante, de la famille des Salviniacées. Ses frondes mesurent de 1 à 3 cm. Elles sont constituées d'un rhizome principal qui porte des ramifications secondaires elles-mêmes porteuses de rhizomes près de l'extrémité en dégénérescence. L'ensemble présente un aspect triangulaire auriculé (Figure 7). Les racines 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 (Reynaude et Franche, 1985).

C'est une plante à ramification dichotomique, naturellement présente sur les sols humides, les fossés et les étangs marécageux. Cette fougère pousse abondamment en association avec des bactéries fixatrices d'azote (*Anabaena azollae*), ce qui lui permet de prospérer dans les eaux pauvres en azote mais riches en phosphore. L'azolla pousse sur les surfaces d'eau flottantes des régions tempérées et subtropicales (Katole et al., 2017 cité par Hossain et al., 2021).

On distingue pour Azolla une reproduction végétative et une reproduction sexuée. Dans les conditions de reproduction végétative, lorsque la fougère atteint environ 1 à 2 cm de diamètre, les ramifications les plus âgées se détachent et donnent naissance à des frondes isolées plus petites. Lorsque les conditions environnantes deviennent défavorables, le cycle de reproduction sexuée est initié. Il se forme sous la fougère des spores mâles (mégaspores) et des spores femelles (microspores) qui constituent des formes de survie d'Azolla. La fécondation du gamète femelle par le gamète mâle donne naissance à une jeune plante. (Reynaude et Franche, 1985).

L'azolla est une bonne source de protéines. Elle contient la quasi-totalité des acides aminés essentiels et des minéraux tels que le fer, le calcium, le magnésium, le potassium, le phosphore, le manganèse, etc., ainsi que des quantités appréciables de bêta-carotène, précurseur de la vitamine A, et de vitamine B12 (Hossain et al., 2021).



Figure 07 : *Azolla pinnata* (Anonyme 07)

2.2 Classification Botanique de l'*Azolla pinnata*

On peut classer l'*Azolla* comme suite :

Embranchement : Pteridophytes.

Classe : Filicophytes.

Ordre des Salviniiales.

Famille : Azollacées.

Genre : *Azolla*.

Espèce : *Azolla pinnata*

Autrement, l'*Azolla* est classé dans la famille des Salviniacées, qui comprend deux genres : *Azolla* et *Salvinia*. Sachant que le genre *Azolla* est l'unique représentant de la famille des Azollacées (Konar et Kapoor, 1974 ; Lumpkin et Plucknett 1982 cité par Fanjanirina, 2023).

2.3 Conduite de la culture

Azolla a tendance à contenir des niveaux d'azote relativement élevés et à constituer une source de protéines intéressante pour l'alimentation animale. La culture de l'*Azolla* est très efficace, car elle nécessite un minimum de main-d'œuvre, utilise un minimum de terres et produit des nutriments de haute qualité tout au long de l'année. L'utilisation d'engrais azotés

Partie 1 : Bibliographie Chapitre 2: Culture et utilisation d'*Azolla pinnata*

pollue l'environnement, mais sa culture n'en nécessite pas. Cependant, la composition nutritionnelle d'*Azolla* varie en fonction des conditions environnementales, notamment la température, l'intensité lumineuse et les nutriments du sol (Chatterjee et al., 2013 cité par Ting et al., 2022).

2.3.1 La température

La température est l'un des facteurs majeurs de la croissance d'*azolla*. Vu en large distribution géographique, le genre *azolla* possède des écotypes adaptés à une grande diversité de conditions thermiques. En général, l'optimum se situe à environ 25 °C pour toutes les espèces, la température minimale est de 15 °C et la température maximale est de 35 °C. Ces températures ne sont pas toujours vraies car il y a certaines souches qui peuvent croître à des températures de moins de 10 °C ou plus de 40 °C. Mais la tolérance aux températures extrêmes est rare. Le degré de tolérance aux températures extrêmes varie en fonction des variétés (Raoelina, 1995).

2.3.2 pH

L'*azolla* est une plante particulièrement peu sensible au pH. Il croît de manière satisfaisante dans une gamme de pH allant de quatre à dix (Raoelina, 1995).

2.3.3 La Salinité

Selon Mandal et al. (2013), l'*Azolla* est sensible à la salinité de l'eau et sa croissance est optimale dans des conditions où la salinité ne dépasse pas 1 à 2 ppm. Au-delà de ce seuil, une salinité plus élevée peut entraîner un ralentissement de la croissance et même la mort de la plante. Il est donc important de maintenir une salinité faible pour assurer le succès de la culture d'*Azolla*.

2.3.4 L'eau

L'*Azolla* prospère dans une couche d'eau peu profonde, idéalement entre 5 et 10 cm, favorisant ainsi une meilleure nutrition minérale grâce à la proximité des racines avec le sol. L'eau est un élément essentiel pour la croissance et la multiplication de l'*Azolla*, cette plante étant extrêmement sensible au manque d'eau (Van Hove et al., 1989 cité par Hachemi et Aissaoui, 2024). Pour une croissance optimale, l'*Azolla* nécessite une couche d'eau peu profonde, constante et calme.

2.3.5 Le vent

Le vent provoque l'accumulation des *azolla* dans une zone du plan d'eau, créant un état de surpopulation prématurée et freinant donc la croissance (Raoelina, 1995).

Partie 1 : Bibliographie Chapitre 2: Culture et utilisation d'*Azolla pinnata*

2.4 Valeur alimentaire d'*Azolla pinnata*

La composition de l'*Azolla* n'est pas constante (Tableaux 7 et 8), elle change et varie selon les écotypes, les conditions écologiques et la phase de croissance. Les acides aminés dans l'*azolla* dépendent de l'espèce. On peut utiliser l'*Azolla* comme source des macro et micro minéraux.

Tableau 07 : Composition Chimique de l'*Azolla* fraîche

Analyse principale	Unité	Moyenne	Ecart type	Min	Max
Matière sèche	%	6,7	1,3	5,1	8,7
Protéine brute	%MS	20,6	3,5	13,9	28,1
Fibre brute	%MS	15,0	3,5	11,3	22,8
ACNP	%MS	43,8	5,9	35,4	52,3
ADF	%MS	31,8	6,4	24,0	38,9
Lignine	%MS	11,4	1,7	9,3	13,5
Extrait d'éther	%MS	3,8	1,3	1,9	5,1
Cendre	%MS	15,9	3,5	9,8	21,6
Amidon (polarimétrie)	%MS	4,1	/	2,7	5,5
Energie brute	MJ/Kg MS	17,0	/	/	/

Source : (Tran et al., 2015)

Partie 1 : Bibliographie Chapitre 2: Culture et utilisation d'*Azolla pinnata*

Tableau 8 : Composition chimique d'*Azolla* sèche

Analyse Principale	Unité	Moy	Min	Max	Nb
Matière sèche	%	80.2	50.1	97.8	16
Protéine brute	%MS	27.8	15.5	35.6	18
Fibre brute	%MS	13.1	8.7	20.0	8
ACNP	%MS	40.3	22.5	57.4	9
FAD	%MS	23.9	20.3	28.9	7
Lignine	%MS	2.3	1.3	3.3	2
Extrait d'éther	%MS	4.0	2.2	5.1	9
Cendre	%MS	18.9	3.8	35.6	17
Energie brute	MJ/Kg MS	17.1	15.5	17.8	4

Source : (Tran et al., 2015).

2.5 Importance d'*Azolla pinnata*

2.5.1 Alimentation animale

Actuellement, différentes espèces d'*azolla* sont utilisées comme alternatives alimentaires durables pour les bovins, les porcs, la volaille et les poissons, sous forme de flocons séchés ou frais. Outre sa teneur élevée en protéines et en acides aminés essentiels, l'*azolla* est riche en minéraux, vitamines et pigments (Abd El-Ghany, 2020).

L'incorporation de certaines concentrations d'*azolla* dans les rations des poulets de chair favorise la prise alimentaire, la prise de poids, l'indice de consommation et l'état de santé général, car l'*azolla* contient des facteurs de croissance. Chez les pondeuses, l'utilisation d'*azolla* améliore la productivité en termes de quantité et de qualité des œufs, car l'*azolla* contient des pigments, des minéraux et des acides aminés essentiels (Abd El-Ghany, 2020).

2.5.2 Fertilisation du sol

L'association *Azolla-Anabaena* est le biofertilisant préféré des cultures, en particulier dans les rizières, en raison de sa capacité à fixer le diazote à des taux élevés et à faible coût. De plus, l'*Azolla* est un candidat approprié comme aliment pour animaux, purificateur d'eau, producteur de biogaz et supprimeur de mauvaises herbes. La capacité de fixation du diazote de

Partie 1 : Bibliographie Chapitre 2: Culture et utilisation d'*Azolla pinnata*

l'association est due à *Anabaena azollae* qui habite la cavité du lobe dorsal de la feuille de l'hôte *Azolla* (Peters, 1978 cité par Vandna et Ashwani, 1999).

Des études ont montré que la masse de paddy et la masse de matière sèche (production de fourrage) sont significativement plus élevées en fertilisation avec *Azolla pinnata* qu'en fertilisation chimiques quel que soit la dose d'engrais chimique. L'utilisation de *Azolla pinnata* permet d'éviter la pollution de l'espace cultivé par les engrais chimiques et les pesticides (Djogbede et al., 2013)

2.5.3 Traitement des eaux

La pénurie d'eau est en augmentation en raison d'une augmentation brutale de la population et de l'utilisation compétitive des ressources en eau. Cela nécessite la réutilisation des eaux usées telles que les eaux grises et les eaux usées d'aquaculture pour l'irrigation, en particulier dans les pays en développement, où le traitement et la réutilisation des eaux usées n'ont pas été prioritaires. Des études ont montré la possibilité de traitement des eaux usées d'aquaculture avec *A. pinnata* (Adabembe et al., 2022).

Azolla est un excellent ingrédient pour la phytoremédiation des eaux usées et des effluents industriels. Elle a une capacité à améliorer les paramètres de qualité de l'eau tels que le pH, le TDS (matières solides dissoutes totales), la conductivité électrique (CE) et la salinité de l'eau de station d'épuration (STEP) (Singh et al., 2023).

Chapitre 3

Qualité des œufs

3.1 Structure de l'œuf

3.1.1 Le vitellus

Il s'agit de la partie centrale et jaune-orange de l'œuf. Il représente 30 à 33 % du poids de l'œuf et se compose de plusieurs couches de blanc et de jaune, d'un disque germinal, d'une membrane vitelline et du latébre (Figure 8). Il contient les cellules germinales, où se déroulent la fécondation et le développement embryonnaire, rendu possible grâce au jaune d'œuf, riche en nutriments (Zukami, 2020).

Le vitellus est limité par la membrane plasmique de l'ovocyte, lui-même contenu à l'intérieur d'une très fine membrane cellulaire transparente appelée membrane vitelline. Elle est très résistante et perméable à l'eau et aux sels. Elle est composée de 4 couches successives dont les deux plus internes sont d'origine ovarienne (la zona radiata et la couche périvitelline) et les deux plus externes synthétisées par l'infundibulum. A la surface du vitellus est visible un petit disque blanc : le blastodisque lieu de division des cellules embryonnaires. Le reste de la surface du jaune présente normalement une couleur jaune - orange sans tâche visible. Au centre se trouve la petite masse sphérique du vitellus blanc (centre de la latébra) réunie par une mince colonne (col de la latébra) à un disque conique (disque de la latébra) situé sous le blastodisque. C'est la trace de la migration du noyau de l'ovocyte (Kaouche et Kaouche, 2015).

3.1.2 L'albumen

Le blanc d'œuf ou albumen est de nature hétérogène. Il peut être divisé en quatre couches bien distinctes qui ont chacune des propriétés particulières :

- La couche chalazifère, très ferme, entoure la membrane vitelline et se prolonge vers les deux bouts de l'œuf par les chalazes.
 - Le blanc liquide externe (23% du blanc total), au contact des membranes coquillières.
 - Le blanc épais (57 % du blanc total), fixé aux deux extrémités de l'œuf et présentant une structure de gel.
 - Le blanc liquide interne (17 % du blanc total) entourant le jaune :
- Filaments en spirales allant du jaune aux deux extrémités de l'œuf à travers le blanc épais ; ce sont les chalazes qui assurent le maintien du jaune dans une position centrale.

- Les proportions de blanc liquide et de blanc épais dépendent de nombreux facteurs, parmi lesquels nous citerons : le poids de l'œuf, la souche, l'âge et l'état sanitaire de la pondeuse, le taux de ponte mais surtout la durée et le mode de conservation de l'œuf. Le blanc représente les 2/3 du poids de l'œuf (sans la coquille), pesant environ 34 g.
- Le blanc est translucide et de plus liquide quand l'œuf vieillit : lorsqu'un œuf frais est cassé, l'albumen épais reste ferme autour du jaune (Sauveur, 1988 cité par Amara et al., 2006).

3.1.3 La coquille et les membranes coquillières

La coquille représente 9 % du poids de l'œuf et est composée de carbonate de calcium (94 %), de carbonate de magnésium (1 %), de phosphate de calcium (1 %) et de matière organique (4 % de protéines).

Sa couleur dépend de la présence d'un pigment composé de porphyrines, lié à la race de la poule. Sur sa surface se trouvent de nombreux pores (entre 7 000 et 15 000) qui facilitent les échanges gazeux entre l'intérieur et l'extérieur de l'œuf (Zukami, 2020)

Deux membranes superposées à l'intérieure de la coquille qui ont une épaisseur totale de 0,07 mm : respectivement 0,05 mm pour la membrane externe et 0.02mm pour la membrane interne. Une membrane colle à la coquille et l'autre entoure le blanc (albumen). Elles sont composées de minces couches de fibres protéiques. C'est la deuxième ligne de défense de l'œuf contre les bactéries. Cette barrière permet tout de même des échanges gazeux ; c'est-à-dire un échappement de dioxyde de carbone (CO₂) et l'introduction de dioxygène (O₂) et d'humidité. Elle préserverait les qualités internes de l'œuf (Amara et al., 2006).

3.1.4. La chambre à aire

Elle n'existe pas au moment de la ponte, mais apparaît immédiatement après, lorsque le refroidissement de l'œuf entraîne une légère contraction de ses contenus. Elle augmente de volume avec l'âge de l'œuf, en raison de la plus grande porosité de la coquille à ce niveau de l'existence des échanges gazeux entre l'œuf et le milieu extérieur (Sow,2008).

3.1.5 La cuticule

Toute la surface de l'œuf est recouverte d'une cuticule organique sécrétée par l'utérus, elle possède une épaisseur de moins de 10 µm, elle limite les pertes d'eau de l'œuf (Kaouche et Kaouche, 2015).

Couche de protéine kératine qui ferme les pores, mais permet les échanges gazeux (sortie du CO₂ et de la vapeur d'eau et entrée de l'O₂) (Zukami, 2020).

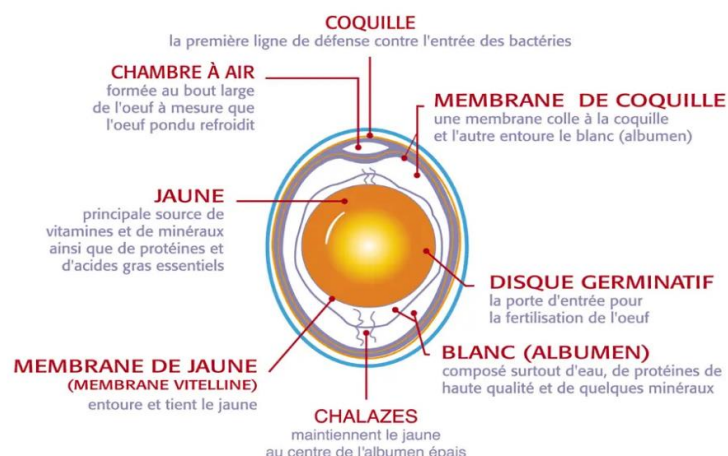


Figure 08 : Structure de œufs (Anonyme 08)

3.2 Composition chimique et valeur alimentaire

3.2.1 Le blanc

Il est composé essentiellement d'eau, de protéines et de minéraux. 90% de la matière sèche du blanc est constituée de protéines. Les principales protéines du blanc sont données dans le tableau 09 par rapport à la matière sèche (MS) (Sow, 2008).

Tableau 09 : Principales protéines du blanc (en % de matière sèche)

Protéines du blanc d'œuf	% de matière sèche
Ovalbumines	54
Conalbumines	13
Ovomucoïdes	11
Ovoglobuline	8
Lysozyme	3,5
Ovomucine	1,5
Flavoprotéines	0,8
Avidine	0,05
Autres protéines	8,15

Source : (Sow, 2008)

3.2.2 Le jaune

Le vitellus ou "jaune" est constitué d'environ 50% d'eau et 50% de solide dont 99% sont des protéines et des lipides. Les 3/5 de ces protéines sont des lipo- et phosphoprotéines. Le vitellus est également très riche en cholestérol. Rappelons que ces protéines sont d'origine hépatique et constituent la principale source nutritive de l'embryon. Son origine hépatique explique l'importance de l'alimentation tant pour la qualité et la quantité que pour la couleur du vitellus (Kaouche et Kaouche, 2015).

Les lipides et les protéines doivent être considérés ensemble, tous les lipides (phospholipides et triglycérides) sont associés à au moins 02 protéines (vitelline et vitellogenèse). Les lipides du jaune sont représentés à 65-70 % de graisses neutres (triglycérides) et à 25-30% de phospholipides (Kaouche et Kaouche, 2015).

La composition de jaune d'œuf est représentée dans les tableaux 10 et 11.

Tableau 10 : Composition centésimale du jaune d'œuf de poule en pourcentage de matière sèche

Glucose libre	0,4
Minéraux	2,1
Vitamines	1,5
Lipides	63
Protéines : dont	33
Livétines	4 à 10
Phosvitines	5 à 6
Vitelline	4 à 15
Vitellénine	8 à 9

Source : Sauveur, (1988).

Tableau 11 : Quantités absolues de protéines et de lipides dans un jaune d'œuf de poule de 60 g

Protéines : 3,2 g		Lipides : 6,4 g	
Dont :		Dont :	
Livétines (hydrosolubles)	0,4 à 1,0	Triglycérides	4,1
Phosvitines	0,5	Phospholipides	1,9
Vitellines (dans H.D.L)	0,4 à 1,5	Cholestérol	0,25
Vitellénine (dans L.D.L)	0,9	Vitamines	0,13

Source : Sauveur, (1988)

3.2.3 La coquille

Elle est à la fois lisse, dure, rigide et fragile. Son épaisseur est comprise entre 300 et 400 μm . Elle est composée d'une trame protéique dans laquelle se développent des cristaux de carbonates de calcium. La fragilité de la coquille l'expose à des risques importants de rupture provoquée par les chocs provenant de diverses manipulations de la fourche à la fourchette : piétinement par les poules après la ponte, ramassage, conditionnement, stockage, transport. La coquille cassée ou fêlée ouvre ainsi toutes les voies de contamination de l'œuf, alors que la coquille intacte recouverte de sa cuticule est protégée de toute pénétration microbienne dans l'œuf. Le vieillissement de l'œuf ou le lavage (voire brossage) entraîne une destruction de la cuticule, libère les pores de la coquille (6 à 8000 pertuis de 20 à 45 μm de diamètre) qui peuvent être traversés par les bactéries et les moisissures, surtout si la coquille est humide ou encore si l'œuf est soumis à des variations de température (Sow, 2008).

3.2.4 La valeur alimentaire des œufs de différentes espèces

Les œufs de volaille de différentes espèces varient considérablement, en raison de leur processus divergent d'évolution. Les propriétés physiques et nutritionnelles de l'œuf chez le poulet, le canard, l'oie, la dinde, la caille et le pigeon domestiques (Tableau 12). Différents significativement entre les différentes espèces, telles que le poids de l'œuf (de 11 à 139 g), la forme de l'œuf (de 1,28 à 1,44), la proportion de jaune (de 19,3 à 37,9 %) et la résistance à la rupture (de 0,91 à 8,04 kg/cm^2). Le blanc d'œuf de l'oie présentait la teneur en eau la plus élevée (89,21 %) et la plus faible en protéines brutes (8,5 %). Parmi les six espèces, l'acide glutamique était l'acide aminé le plus abondant dans le blanc d'œuf. Le blanc d'œuf de dinde présentait la plus grande quantité d'acides aminés essentiels (EAA) et d'acides aminés totaux (TAA), tandis que le canard et l'oie présentaient des ratios EAA/TAA relativement plus élevés (Sun et al., 2019).

Tableau 12 : Valeur alimentaire des œufs des volailles

Pour 100 g de viande rôtie	Calories(kcal)	Protéines (g)	Lipides (g)	Acides gras saturés (g)	Acides gras mono insaturé s (g)	Acides gras poly insaturé s (g)	Fer (mg)
Poulet	161	26,4	6,2	1,95	2,65	1,23	1,3
Dinde	150	29,1	3,8	1,32	0,97	1,25	1,3
Pintade	180	25,3	9,7	2,6	5,2	1,2	2,7
Canard	150	23,2	6,4	1,9	2,5	1,6	NC
Oie	273	29,1	17,5	7,28	6,93	2,46	3,7

Source : Doctissimo, 2015

3.3 Facteurs affectant la composition de l'œuf

3.3.1 Qualité interne de l'œuf

La qualité interne de l'œuf est mesurée par la couleur du jaune, l'intégrité de la membrane pérevitelline et la qualité de l'albumen. La qualité interne des œufs peut être affectée par le stockage ; la souche et l'âge de la poule ; la mue induite, la nutrition et les maladies. Une compréhension de l'éventail des facteurs qui affectent la qualité de la coquille et la qualité interne des œufs est essentielle à la production d'œufs de haute qualité (Robert, 2004).

3.3.2 Age de la poule

La qualité des œufs est influencée par de nombreux facteurs, parmi lesquels l'âge, le génotype et l'alimentation des poules (Tang et al., 2015). Selon Johnston et Gous (2007), l'âge est l'un des principaux facteurs internes influençant la qualité des œufs. Le poids des œufs est donc influencé par l'âge. En général, le poids des œufs a augmenté significativement au cours des trois premiers mois de la ponte. La coquille s'amincit progressivement avec l'âge, ce qui diminue également le pourcentage de coquille (Ledvinka et Klesalová, 2002). La qualité des parties internes est également influencée par l'âge des poules ; les œufs pondus au début de la période de ponte présentent des unités de Haugh, un albumen et un indice de vitellus plus élevés (Bozkurt et Tekerli, 2009 cité par Adam et Lukáš, 2019).

3.3.3 Origine génétique et sélection

Le génotype est également sans aucun doute l'un des facteurs internes les plus importants, qui influence la valeur technologique des œufs. Il influence principalement le poids de l'œuf, mais le génotype a également une influence sur d'autres caractéristiques de l'œuf. Par exemple, la composition des œufs (matière sèche, matière grasse, etc.) est également influencée dans une certaine mesure par le génotype, ainsi les dispositions héréditaires ont un impact significatif sur la qualité des œufs (Jones et al., 2010). Ledvinka et Klesalová (2002) confirment également l'influence du génotype sur la qualité des œufs frais, le génotype influence clairement les indicateurs internes de la qualité des œufs (Adam et Lukáš, 2019).

3.3.4 Alimentation

Une poule produit plus de 300 œufs/an, soit plus de dix fois son poids vif. La transformation avec une grande efficacité de l'aliment constitué majoritairement de matières premières végétales en protéines animales de haute valeur biologique constitue un véritable défi métabolique pour la poule. Son alimentation est cruciale pour optimiser l'excellent potentiel génétique des lignées modernes en termes de performance de production mais aussi de qualité de l'œuf (Bouvarel et al., 2010).

3.4 Évaluation de la qualité des œufs de consommation**3.4.1 Mirage**

Les œufs sont classés et commercialisés en fonction de leur qualité au mirage d'une part, et de leur poids d'autre part. Le mirage permet d'observer :

- les fêlures, les micro-fêlures, ou toute rupture de la coquille.
- la localisation et la dimension de la chambre à air.
- l'aspect du vitellus, de l'albumen, et des chalazes.
- la présence de grosses inclusions (taches de sang et/ou de viande)

Durant cette manipulation, les œufs présentant des coquilles fêlées, tachées de sang ou de déjections seront déclassés ou écartés et destinés aux casseries (Protais, 1988 cité par Kaouche et Kaouche, 2015).

3.4.2 Calibrage des œufs

C'est la génétique qui généralement détermine le poids d'un œuf, cependant on peut dans une certaine mesure agir sur le poids de l'œuf pour répondre aux besoins particuliers du marché. Ainsi, certains éléments de contrôle méritent une attention particulière :

a. Le poids à maturité

Plus la poule est lourde à la ponte de son premier œuf, plus les œufs seront gros sa vie durant. Afin d'optimiser le poids des œufs, il ne faut jamais stimuler le lot avant que le poids de la poule n'atteigne 1550-1600 g (Kaouche et Kaouche, 2015).

b. La maturation sexuelle

Le poids moyen de l'œuf augmente lorsqu'on retarde la maturation sexuelle. On peut se servir de l'éclairage pour agir sur la maturation sexuelle, en effet une diminution progressive de l'éclairage durant la croissance retardera le processus de maturité et augmentera en moyenne la grosseur de l'œuf (Kaouche et Kaouche, 2015).

3.4.3 Qualité de la coquille

La qualité de la coquille et la qualité interne de l'œuf sont d'une importance capitale pour l'industrie mondiale des œufs. Cette revue aborde la formation de l'œuf de poule et les méthodes de mesure de la qualité de la coquille et de la qualité interne de l'œuf. La qualité de la coquille peut être mesurée par la taille de l'œuf, la densité, la couleur, la résistance à la rupture, la déformation (destructive ou non), le poids, le pourcentage, l'épaisseur et l'ultrastructure de la coquille. De nouvelles méthodes apparaissent régulièrement. La complexité du processus de formation de la coquille d'œuf signifie que des imperfections peuvent apparaître à plusieurs endroits dans l'oviducte de la poule. La qualité de la coquille d'œuf peut être affectée par la souche et l'âge de la poule ; la mue induite ; des facteurs nutritionnels tels que le calcium, le phosphore, les vitamines, la qualité de l'eau, les polysaccharides non amylacés, les enzymes, la contamination des aliments ; le stress général et le stress thermique ; les maladies, le système de production ou l'ajout de produits brevetés aux régimes (Robert, 2004).

3.4.4 Qualité de l'albumen

L'estimation de la qualité de l'albumen se fait souvent par examen, après cassage, de l'aspect physique du blanc sur une surface plane (Amara et al., 2006).

3.4.5 Qualité du vitellus

La coloration du vitellus est appréciée à l'aide d'un éventail colorimétrique dont les valeurs s'échelonnent entre 6 (jaune clair) et 13 (jaune orangé). L'index vitellenique correspond au rapport (hauteur du vitellus/ largeur du vitellus), il est situé entre 40 et 45 pour un œuf frais (Protais, 1988 cité par Kaouche et Kaouche, 2015).

3.5 Le classement des œufs

Le classement des œufs consiste à regrouper les œufs en lots présentant des caractéristiques similaires en termes de qualité et de taille (poids). Les œufs peuvent être classés en fonction de la qualité interne de l'œuf, de l'aspect et de l'état de la coquille (American Egg Board, 2012). La taille désigne le poids minimum par douzaine d'œufs. Elle ne fait pas référence aux dimensions ni à la taille apparente d'un œuf. Par conséquent, la qualité des œufs, quelle que soit leur catégorie de poids (taille), peut également varier (USDA, 2017).

Aux Philippines, comme aux États-Unis, les œufs de poule sont triés et vendus selon un système de classification par taille (jumbo, extra-large, grand, moyen, petit et peewee) basé sur le poids de l'œuf (PNS, 2005 ; USDA, 2000). À titre de comparaison, le système de classification en quatre tailles (extra-large, grand, moyen et petit) est utilisé au Royaume-Uni et en Europe (British Egg Industry Council, 1996). Il existe déjà des normes, des catégories et des catégories de poids pour chaque œuf des poulets domestiques dans de nombreux pays du monde, un système de classement des œufs et de classification du poids des œufs de cane fait cruellement défaut (Orville et *al.*, 2016).

3.5.1 Variation du poids de l'œuf

Le poids de l'œuf dépend principalement de facteurs liés à la poule (origine génétique et surtout âge) mais aussi de son alimentation durant la période de ponte. L'alimentation de la poulette y contribue indirectement en influençant sa maturité sexuelle, son poids vif et sa composition corporelle lors de l'entrée en production (Bouvarel et *al.*, 2010).

Chapitre 1

Matériel et méthodes

4.1 Objectif de travail

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet de l'incorporation d'*Azolla pinnata*, un aliment non conventionnel dans l'alimentation de la caille japonaise sur la qualité physico-chimique des œufs.

4.2 Matériel

4.2.1 Animaux

L'expérimentation s'est déroulée dans la wilaya de Tiaret les poussins sont de type caille japonaise d'un jour d'âge. Les poussins ont reçu un aliment de démarrage/croissance au début puis un aliment de ponte.

4.2.2 Aliments

La formulation des aliments a été réalisée par la doctorante Boudjellaba Haizia en utilisant la méthode de tâtonnement par Excel de telle façon à combler les besoins nutritionnels de la caille dans les deux phases d'élevage. L'aliment de démarrage/croissance est constitué de maïs, tourteau de soja, son de blé, calcaire, phosphate bi calcique et CMV. Des aliments de ponte ont été formulés en utilisant les mêmes matières premières et 0% Azolla (contrôle), 4,5 % Azolla fraîche, 4,5 % Azolla sèche, 9% Azolla fraîche et 9% Azolla sèche.

4.2.3 Conduite d'élevage

L'élevage de la caille japonaise a été réalisé par la doctorante Boudjellaba Haizia en 2024/2025 chez un éleveur au niveau de la wilaya de Tiaret (Ksar Chellala) pendant une durée de 110 jours. Les cailles ont été divisés en 5 lots recevant chacun une des diètes contenant 0% Azolla (contrôle), 4,5 % Azolla fraîche, 4,5 % Azolla sèche, 9% Azolla fraîche ou 9% Azolla sèche. Chaque lot a été divisé en 3 sous lots.

4.2.4 Autre matériel

Le matériel et les réactifs utilisés dans cette étude sont mentionnés dans l'annexe 1

4.3 Déroulement des travaux expérimentaux

Les travaux expérimentaux de cette étude ont été réalisés dans le laboratoire de Zootechnie, Département de biotechnologie et agroécologie, Université Blida 1 de 09/03/2025 jusqu'à 28/05/2025.

4.4 Échantillonnage des œufs

Pour les analyses physico-chimiques, 10 œufs ont été collectés le soir à partir de chaque sous lot durant 3 jours au cours de la dernière semaine de l'expérience. Les échantillons ont été acheminés au laboratoire pour analyse. Les œufs ont été cassés manuellement puis homogénéisés avec un homogénéisateur.

4.5 Détermination des paramètres physiques**4.5.1 Longueur**

La longueur de l'œuf a été déterminée à l'aide du pied à coulisse (Figure 09).



Figure 09 : Longueur de l'œuf (original, 2025)

4.5.2 Largeur

La largeur de l'œuf a été déterminée à l'aide du pied à coulisse (Figure 10).



Figure 10 : Largeur de l'œuf (original, 2025)

4.5.3 Poids de l'œuf entier

Le poids de l'œuf entier a été déterminé à l'aide d'une balance de précision (Figure 11).

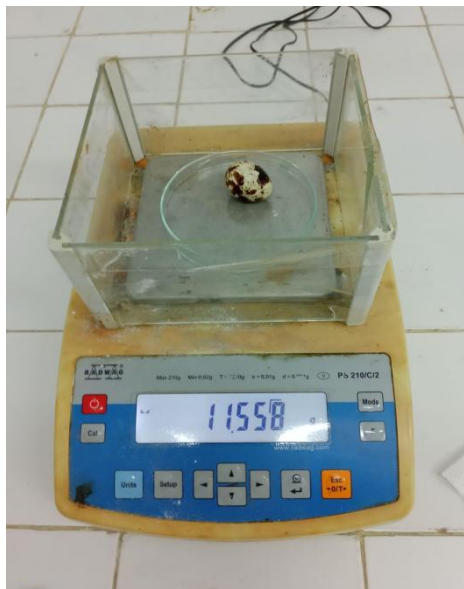


Figure 11 : Poids de l'œuf entier (original, 2025)

4.5.4 Poids du blanc, du jaune et de la coquille

Le poids du blanc et du jaune (Figure 12) a été déterminé comme suit le contenu de l'œuf blanc et jaune ont été versé dans une nacelle puis la nacelle tarée a été pesée par la balance.



Figure 12 : Poids du jaune et blanc (original, 2025)

✓ **Poids de la coquille**

Le poids de la coquille a été déterminé par une balance (Figure 13).



Figure 13 : Poids de la coquille (original, 2025)

4.5.5 Indice de Haugh et indice de jaune

L'indice de Haugh a été déterminé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Unités Haugh (UH)} = 100\log(H-1,7P^{0,37}+7,57)$$

- ✓ UH : Unités Haugh
- ✓ P : poids de l'œuf (g)
- ✓ H : Hauteur de l'albumen (mm)
- ✓ **Indice de jaune**

Hauteur du jaune (mm)

L'indice de jaune = _____ * 100

Diamètre du jaune (mm)

4.5.6 pH (JORA, 2006)

Le principe de détermination du pH est basé sur le mesurage de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence, plongées dans un échantillon des œufs.

Étalonner le pH-mètre puis introduire les électrodes dans la prise d'essai et lire le pH directement sur l'échelle de l'appareil (effectuer 3 mesures pour chaque échantillon) (Figure 14).



Figure 14 : Détermination de pH des œufs de la caille (Originale, 2025)

4.6 Détermination de la valeur alimentaire des œufs de la caille japonaise**4.6.1 Humidité**

Le taux d'humidité des œufs a été déterminé par une méthode gravimétrique en déshydratant l'échantillon dans une étuve. Une prise d'essai de 5 grammes a été placée dans un creuset en porcelaine préalablement séché et pesé puis laissée déshydrater pendant 24 heures dans une étuve à 98°C. Après le refroidissement du creuset dans le dessiccateur pendant 45 min la matière sèche restante est alors pesée (AOAC, 2019).

La matière sèche (MS) de l'échantillon est calculée par l'expression suivante :

$$MS (\%) = (M1 - M0 / M) \times 100$$

Le taux d'humidité est calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = [100 - MS]$$

Où :

M0 : est la masse du creuset vide (g)

M1 : est la masse du creuset et du résidu après séchage (g)

M : est la masse de l'échantillon avant séchage (g)

4.6.2 Cendres totales (AOAC 920.153)

Le taux en cendres totales des œufs a été déterminé par une méthode gravimétrique en calcinant l'échantillon dans un four à moufle. Une prise d'essai de 5 grammes a été placée dans un creuset en porcelaine préalablement séché et pesé. Le creuset contenant la prise d'essai est placé dans un four de calcination durant 9 heures à 525 °C. Après le refroidissement des creusets dans le dessiccateur, les cendres totales (Figure 15) sont pesées et le taux en cendres totales est calculé en utilisant la formule suivante :

$$CT (\%) = ((M1 - M0) / M) \times 100$$

Où :

CT : Cendres totales (%)

M0 : masse du creuset vide (en gramme)

M1 : masse du creuset contenant les cendres (en gramme)

M : masse de la prise d'essai (en gramme)



Figure 15 : Détermination des cendres dans les œufs de la caille (Originale, 2025)

4.6.3 Protéines brutes

La méthode de Kjeldahl est basée sur la transformation de l'azote minéral sous forme ammoniacale $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ par l'action oxydative de l'acide sulfurique bouillant sur la matière organique en présence de 2g d'un catalyseur constitué de 100 g de K_2SO_4 , 20 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

0,5 gramme des œufs déshydratés est introduit dans un matras de 250 ml avec 2g catalyseur et 20 ml d'acide sulfurique concentré (96 à 98 %) (Figure 16). Un blanc doit être préparé en utilisant le saccharose. Le mélange doit être minéralisé 30 min à 250°C, plus 30 min à 350 °C et 60 min à 420 °C. Après refroidissement (50 à 60 °C) ajouter 80 ml d'eau distillée (ajuster à 100 ml) et 65 ml d'une solution de NaOH à 40 %.

Distiller le mélange et récupérer le distillat dans 50 ml d'une solution d'acide borique à 4 % contenant quelques gouttes de l'indicateur coloré ensuite titrer le distillat par une solution de HCl à 0,1 N. Calculer la teneur en protéines dans l'œuf en utilisant la formule suivante :

$$P\% = [(V1 - V0) \times MN2 \times N(HCl) \times 100 / (1000 \times m)] \times 6,25$$

Où :

P : teneur en protéines (%).

V1 : volume de H₂SO₄ en ml nécessaire pour titrer l'échantillon.

V0 : volume de H₂SO₄ en ml nécessaire pour titrer le blanc.

MN2 : masse moléculaire de l'azote soit 14 g / mole.

N(HCl) : normalité de l'acide sulfurique (0,1 N).

m : masse de l'échantillon (g).

6,25 : facteur protéique.



Figure 16 : Détermination de la teneur en protéines dans les échantillons des œufs de la caille
(Originale, 2025)

4.6.4 Lipides totaux (Soxhlet. AOAC, 1990)

Ce dosage consiste à réaliser une extraction continue à l'aide d'un appareil appelé Soxhlet en utilisant l'éther de pétrole comme solvant (Figure 17).

- Peser avec précision de 1 g d'échantillon des œufs déshydratés et broyés dans une cartouche propre
- Mettre la cartouche avec son contenu dans le siphon
- Introduire 300 ml d'éther de pétrole dans le ballon à col rodé préalablement taré
- Installer le siphon sur le ballon et mettre le tout au-dessous du réfrigérant
- Faire circuler l'eau dans les réfrigérants et allumer les plaques (sous une hotte)
- La durée d'extraction est de 6 h
- Évaporer le solvant par Rota vapeur puis sécher le ballon contenant l'extrait et le peu d'éther dans l'étuve 105°C durant 2h (laisser la porte de l'étuve légèrement ouverte durant les 15 premières minutes)
- Peser le ballon après refroidissement (le refroidissement peut être fait à l'aire ambiante sauf que le ballon doit être muni de son bouchon).

$$MG (\%) = (P2-P1/P) \times 100$$

P2 : poids du ballon contenant les lipides (g).

P1 : poids du ballon vide (g).

P : prise d'essai (g).



Figure 17 : Détermination de la teneur en lipides dans les échantillons des œufs de la caille
(Originale, 2025)

Chapitre 2

Résultats et discussion

5.1 Caractéristiques physiques des œufs

5.1.1 Poids de l'œuf entier

Les valeurs du poids moyen de l'œuf entier balancent entre 10,89 et 12,25 g (Tableau 13). Le poids moyen de l'œuf entier des lots expérimentaux Lot 2, Lot 4, Lot 3 et Lot 5 recevant différentes concentrations d'Azolla fraîche et sèche est inférieur par rapport au Lot 1 contrôle. Une diminution significative ($P < 0,05$) du poids de l'œuf a été observée dans le lot 2 recevant un aliment contenant 4,5% d'Azolla fraîche par rapport au contrôle.

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
POE (g)	12,25±0,95 ^a	10,89±0,88 ^b	11,53±0,64 ^{ab}	11,01±0,5 ^{ab}	11,68±0,56 ^{ab}
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). POE : poids de l'œuf entier. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p < 0,05$

Dans leur étude sur l'effet de l'incorporation d'Azolla sèche dans l'alimentation de la caille, Al-Jabari et al. (2024) ont trouvé que le poids moyen des œufs entiers de groupe de caille recevant 4% d'Azolla a diminué alors que ceux de groupe qui a reçu un aliment contenant 8% d'Azolla a augmenté significativement ($p < 0,05$). Les résultats de ces auteurs pour le groupe de 4 % Azolla sont en concordance avec nos résultats.

L'intervalle du poids moyen de l'œuf entier 10,89 à 12,25 g dans notre étude est supérieur à celui enregistré par Al-Jabari et al. (2024) (8,74 à 9,53 g).

Les travaux de Alagbe et al. (2018) ont montré que l'ajout de 10, 20, 30 et 40% d'azolla dans l'alimentation de la caille a amélioré le poids des œufs. Les poids des œufs enregistrés dans notre étude sont comparables à ceux enregistrés par ces chercheurs (9,9 à 13,4 g).

5.1.2 Poids de contenu des œufs

Les valeurs de poids moyen de contenu de l'œuf (9,24 à 10,4 g) sont représentées dans le tableau 14. L'incorporation d'Azolla fraîche et sèche dans l'alimentation de la caille a diminué significativement ($P<0,05$) le poids de contenu des œufs pour le lot 2 recevant 4,5% d'Azolla fraîche. En revanche la diminution pour les autres lots est non significative ($P>0,05$) par rapport au contrôle.

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
PCO (g)	10,40±0,76 ^a	9,24±0,82 ^b	9,83±0,55 ^{ab}	9,43±0,43 ^{ab}	9,86±0,51 ^{ab}
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). PCO : poids du contenu de l'œuf. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p<0,05$

Khatun et al. (1999) ont observé une amélioration significative dans le poids de contenu de l'œuf après l'ajout de 15 et 20% d'azolla dans l'alimentation de la poule pondeuse par rapport au contrôle.

5.1.3 Poids de blanc des œufs

Les valeurs de poids moyen de blanc d'œuf des lots varient entre 5,43 et 6,19 g (Tableau 15).

Le poids moyen de blanc d'œuf du Lot 2 alimenté par une diète contenant 4,5% d'Azolla fraîche diminue significativement ($p<0,05$) par rapport au lot témoin.

Les autres lots 4, 3 et 5 ont enregistré une légère ($p>0,05$) diminution de poids de blanc.

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
PB (g)	6,19±0,45 ^a	5,43±0,51 ^b	5,85±0,31 ^{ab}	5,72±0,27 ^{ab}	6,17±0,28 ^a
Test Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). PB : poids de blanc. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p<0,05$

Al-Jabari et al. (2024) ont trouvé que le poids moyen de blanc d'œuf entier de groupe de caille recevant 4% d'Azolla a augmenté par rapport au contrôle alors que celui de groupe qui a reçu un aliment contenant 8% d'Azolla a diminué ($p>0,05$). Nos résultats sont comparables à ceux trouvés par ces auteurs.

Alagbe et al. (2018) ont enregistré une légère diminution dans le poids de blanc d'œuf des cailles alimentées par 10, 20, 30 et 40% d'azolla. Nos résultats sont proches à ceux de ces auteurs (6,07 à 6,11g).

Dans leur étude sur l'effet de l'incorporation d'Azolla dans l'alimentation de poule pondeuse sur la qualité des œufs, Khatun et al. (2008) ont montré que la supplémentation de 5 à 20% d'Azolla dans l'alimentation a augmenté légèrement ($p>0,05$) le poids de blanc d'œuf. Ces résultats ne s'alignent pas avec nos résultats

5.1.4 Poids de jaune des œufs

Une diminution significative ($P<0,05$) du poids de jaune d'œuf a été observée dans le lot 5 recevant un aliment contenant 9% d'Azolla sèche par rapport au contrôle (Tableau 16).

La diminution du poids de jaune d'œufs des autres lots est non significative par rapport au lot témoin ($P>0,05$).

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
PJ (g)	4,20±0,46 ^a	3,60±0,37 ^{ab}	3,88±0,29 ^{ab}	3,72±0,27 ^{ab}	3,57±0,31 ^b
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). PJ : poids de jaune. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p<0,05$

Les valeurs du poids de jaune d'œuf enregistrées dans notre étude sont supérieures à celles enregistrées par Al-Jabari et al. (2024). Ces chercheurs ont trouvé que l'incorporation de

8 % d'*Azolla pinnata* sèche dans l'alimentation de la caille a augmenté significativement ($P<0,05$) le poids de jaune. Ces résultats ne sont pas en accord avec les nôtres.

Contrairement à nos résultats, Alagbe et al. (2018) ont enregistré une légère augmentation dans le poids de jaune d'œuf des groupes des cailles alimentés par 10, 20, 30 et 40% d'azolla. Nos résultats sont supérieurs à ceux enregistrés par ces auteurs (1,65 à 2,76 g).

Selon les travaux de Khatun et al. (2008), après 16 semaines de supplémentation de l'alimentation des poules pondeuses par Azolla (5 à 20%), aucune différence significative ($p>0,05$) de poids de jaune n'a été observée.

5.1.5 Hauteur de blanc des œufs

Les valeurs de la hauteur de blanc des œufs de la caille recevant des aliments contenant *Azolla pinnata* fraîche et sèche sont mentionnées dans le tableau 17. Ces résultats montrent que l'incorporation d'Azolla dans l'alimentation de la caille n'a aucun effet significatif sur la hauteur du blanc d'œuf ($P>0,05$).

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
HB (cm)	0,444±0,059 ^a	0,478±0,069 ^a	0,478±0,069 ^a	0,444±0,049 ^a	0,467±0,074 ^a
Test Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). HB : Hauteur de Blanc.

5.1.6 Hauteur de jaune des œufs

L'incorporation d'Azolla fraîche et sèche dans l'alimentation de la caille n'a aucun effet significatif sur la hauteur de jaune d'œuf ($P>0,05$). Cette incorporation d'Azolla a diminué la hauteur pour les lots 2 (Tableau 18).

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
HJ (cm)	1,57±0,09 ^a	1,51±0,06 ^a	1,61±0,06 ^a	1,53±0,07 ^a	1,58±0,07 ^a
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). HJ : hauteur de jaune.

5.1.7 Indice de Haugh

L'indice de Haugh est un paramètre très important pour vérifier la fraîcheur des œufs. Cet indice varie entre 57,05 pour le lot témoin et 59,49 pour le lot 2 recevant un aliment contenant 4,5 % d'Azolla fraîche (Tableau 19). L'incorporation de 4,5% d'Azolla fraîche a augmenté significativement l'indice de Haugh ($p < 0,05$).

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
UH	57,05±35,98 ^b	59,49±27,71 ^a	58,51±26,54 ^{ab}	58,94±9,83 ^{ab}	58,14±24,00 ^{ab}
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). UH : Unité Haugh. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p < 0,05$

En alignement avec nos résultats, Alagbe et al. (2018) ont enregistré une augmentation dans l'indice de Haugh avec l'incorporation de 10, 20, 30 et 40% d'azolla dans l'alimentation de la caille. Les indices de Haugh enregistrés dans notre étude sont inférieurs à ceux enregistrés par ces auteurs (80,7 à 96,06).

Khatun et al. (2008) ont observé que l'incorporation de 5 et 10 % d'Azolla dans l'alimentation de la poule a diminuée l'indice de Haugh ($p > 0,05$) alors qu'adjonction de 15 et 20 % d'Azolla a augmentée cet indice ($p > 0,05$).

5.1.8 Poids de la coquille des œufs

En observant les résultats des poids de la coquille des œufs de la caille recevant des aliments contenant *Azolla pinnata* fraîche et sèche représentés dans le tableau 20, nous constatant que l'ajout d'*Azolla* n'a pas d'effet significative sur le poids de la coquille de l'œuf ($P>0,05$).

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
PC (g)	1,35±0,11 ^a	1,21±0,07 ^a	1,21±0,10 ^a	1,19±0,13 ^a	1,31±0,07 ^a
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). PC : poids de la coquille.

Les valeurs de l'intervalle du poids de la coquille dans notre étude (1,19 à 1,35 g) sont supérieures à celles trouvées par Al-Jabari et al. (2024) (0,66 à 0,72 g). Ces auteurs ont constaté que l'adjonction de 4 et 8 % d'*Azolla* sèche dans l'alimentation de la caille n'a aucun effet significative ($p>0,05$) sur le poids de la coquille ce qui est en accord avec nos résultats.

Contrairement à nos résultats, Alagbe et al. (2018) ont enregistré une augmentation dans le poids de la coquille avec l'incorporation de 10, 20, 30 et 40% d'*azolla* dans l'alimentation de la caille. Les poids de la coquille enregistrés dans notre étude sont supérieurs à ceux enregistrés par ces auteurs (0,47 à 0,86).

5.1.9 Longueur des œufs

Les valeurs de la longueur des œufs de la caille recevant des aliments contenus *Azolla pinnata* fraîche et sèche (Tableau 21) sont plus faibles que les valeurs du lot témoin. Les valeurs des lots 2 et 4 recevant des aliments contenant 4,5% et 9 % d'*Azolla* fraîche sont significativement plus faibles que le lot témoin ($P<0,05$).

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
LO (cm)	3,29±0,10 ^a	3,12±0,09 ^b	3,19±0,08 ^{ab}	3,10±0,04 ^b	3,20±0,09 ^{ab}
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). LO : longueur de l'œuf. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p < 0,05$

Les valeurs de la longueur de l'œuf dans notre étude sont très proches à celles enregistrées par Al-Jabari et al. (2024) (3,1 à 3,3 cm). Ces chercheurs ont trouvé que l'ajout de 4% d'Azolla sèche dans l'alimentation de la caille a diminué la longueur des œufs. Ce qui est similaire à nos résultats.

Alagbe et al. (2018) ont trouvé que l'ajout de 10, 20, 30 et 40 % d'azolla dans l'alimentation de la caille a amélioré la longueur des œufs. Les longueurs des œufs enregistrés dans notre étude sont comparables à ceux enregistrés par ces chercheurs (2,09 à 3,2 cm).

5.1.10 Largeur des œufs

Les largeurs des œufs de la caille recevant des aliments contenus *Azolla pinnata* fraîche et sèche représentées dans le tableau 22 sont légèrement inférieurs par rapport au témoin. L'incorporation d'Azolla fraîche et sèche n'a pas d'effet significatif sur la largeur de l'œuf ($P > 0,05$).

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
LA (cm)	2,63±0,08 ^a	2,51±0,06 ^a	2,58±0,05 ^a	2,52±0,10 ^a	2,57±0,07 ^a
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%). LA : largeur de l'œuf.

Les valeurs de largeur de l'œuf dans notre étude sont proches à celles enregistrées par Al-Jabari et al. (2024) (2,4 à 2,6 cm). Ces chercheurs ont trouvé que l'ajout de 4% d'Azolla sèche dans l'alimentation de la caille a diminué la longueur des œufs. Ce qui est en accord avec nos résultats.

5.2 pH de contenu des œufs

Les résultats du pH (7,59 à 7,86) représentés dans le tableau 23 montrent que l'ajout d'Azolla fraîche et sèche dans l'alimentation de la caille n'a pas d'impact significatif ($P > 0,05$) sur le pH des œufs.

Echantillons	L1	L2	L3	L4	L5
pH	7,74±0,07 ^a	7,75 ±0,12 ^a	7,86 ±0,06 ^a	7,74±0,14 ^a	7,59±0,05 ^a
Teste Anova					

L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%).

5.3 Matière sèche de contenu des œufs

Les résultats de taux de matière sèche illustrés par la figure 09 montrent que l'incorporation d'*Azolla pinnata* dans l'alimentation de la caille a diminué significativement le taux de la matière sèche des œufs ($p < 0,05$).

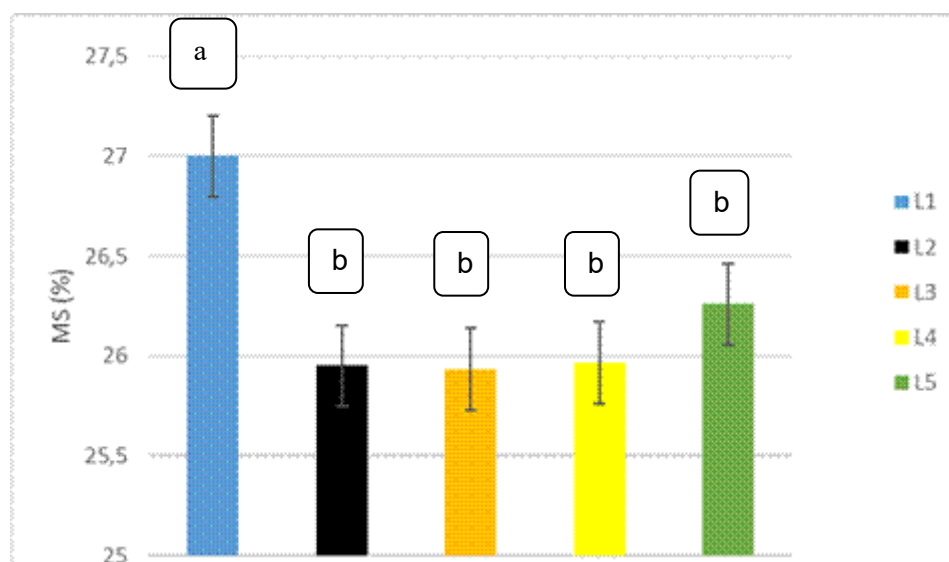


Figure 09 : Taux de matière sèche dans le contenu des œufs de la caille recevant des aliments contenus *Azolla pinnata* fraîche et sèche. L1 : lot Témoin, L2 : lot azolla fraîche (4,5%), L3 : Lot azolla sèche (4,5 %), L4 : Lot azolla fraîche (9%), L5 : Lot azolla sèche (9%), MS : Matière Sèche. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p < 0,05$.

D'après Tunsaringkarn et al. (2013), le taux moyen de l'humidité des œufs entiers de la caille est de 72,25 % ce qui est similaire à nos résultats de lot témoin.

Les résultats de Mostafa et al. (2019) montrent que les œufs de poule présentaient une teneur en humidité plus élevée (74,86 %) que les œufs de caille (72,9 %).

5.4 Cendres totales de contenu des œufs

D'après les résultats de la figure 10 l'ajout d'*Azolla* dans l'alimentation de la caille n'a pas d'impact significatif sur le taux de cendres totales à exception de lot 3 ($p < 0,05$).

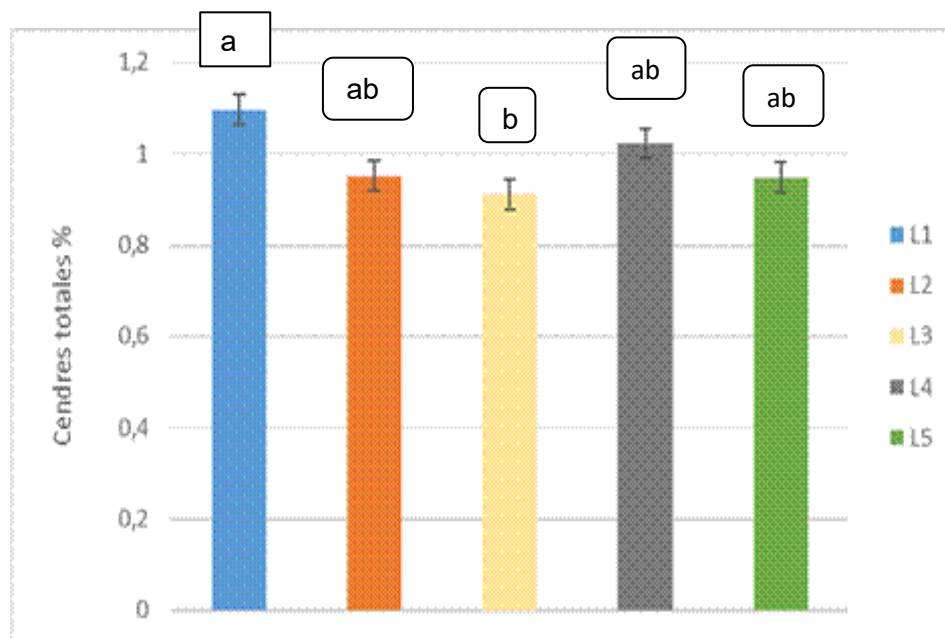


Figure 10 : Taux de cendres totales dans le contenu des œufs de la caille recevant des aliments contenus *Azolla pinnata* fraîche et sèche. L1 : lot Témoin, L2 : lot azolla fraîche (4,5%), L3 : Lot azolla sèche (4,5 %), L4 : Lot azolla fraîche (9%), L5 : Lot azolla sèche (9%), CT : Cendre Total. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p < 0,05$.

Selon Tunsaringkarn et al. (2013), les œufs entiers de caille pesaient 10,67 g par œuf. Leurs teneurs en cendres et de 1,06% ce qui est comparable à nos résultats.

5.5 Teneurs en protéines de contenu des œufs

D'après les histogrammes des teneurs en protéines dans les œufs de la caille (Figure 11) le lot 5 enregistre la teneur en protéine la plus élevée ($P < 0,05$) en comparaison avec le témoin et autres lots expérimentaux.

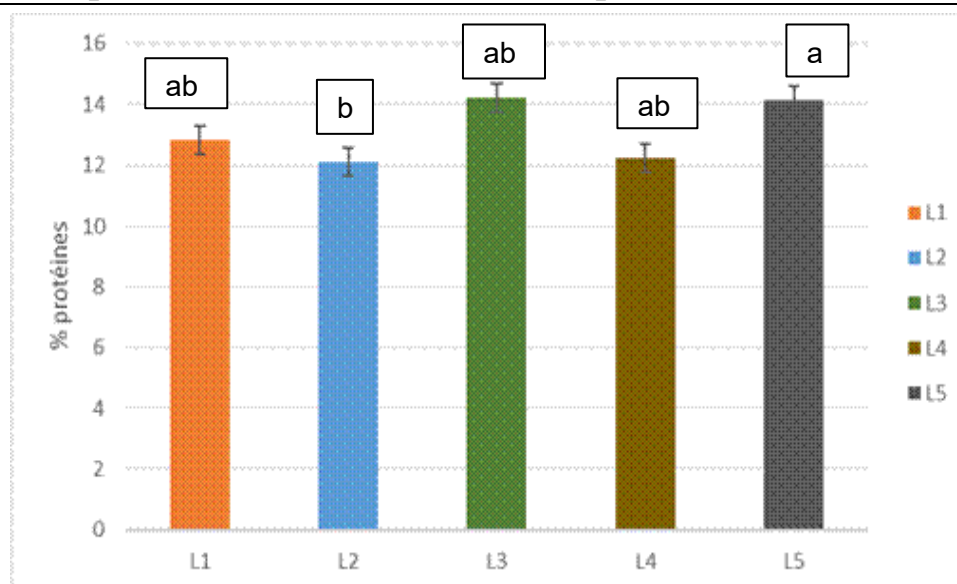


Figure 11 : Teneurs en protéines dans le contenu des œufs de la caille recevant des aliments contenus *Azolla pinnata* fraîche et sèche. L1 : lot Témoin, L2 : lot azolla fraîche (4,5%), L3 : Lot azolla sèche (4,5 %), L4 : Lot azolla fraîche (9%), L5 : Lot azolla sèche (9%), P : Protéine. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p < 0,05$.

D'après Tunsaringkarn et al. (2013), le taux moyen des protéines dans le contenu de l'œuf entier de la caille est de 12,7 % ce qui est très proche à nos résultats.

D'un point de vue nutritionnel, l'œuf de caille est plus riche en protéines que l'œuf de poule. Certains auteurs mentionnent aussi des effets bénéfiques sur le système immunitaire nerveux et des vertus thérapeutiques sur les problèmes digestifs et gastriques ou sur l'hypertension. Le développement de la chaîne de valeur des œufs de caille apparaît comme un moyen de contribuer à satisfaire cette demande en œufs, même si son potentiel est encore sous-exploité (Anato et al., 2024).

Les résultats de Mostafa et al. (2019) montrent que les teneurs en protéines étaient plus élevées dans les œufs de caille que dans ceux de poule mais il n'y avait pas de différences significatives entre eux ($p < 0,05$).

5.6 Teneur en matière grasse de contenu des œufs

Les résultats de la teneur en matière grasse illustrés par la figure 12 montrent que lot 5 enregistre la teneur en matière grasse la plus faible par rapport aux autres lots ($p < 0,05$).

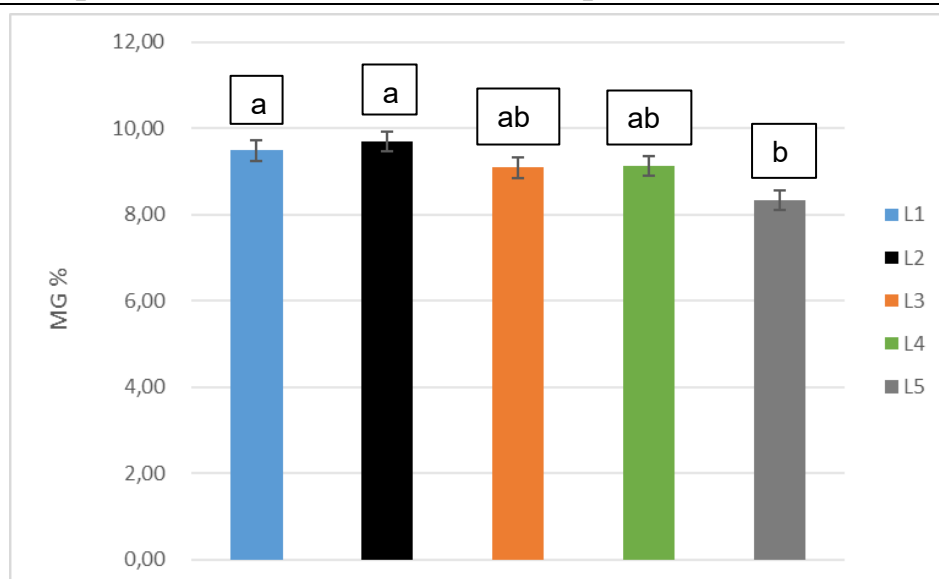


Figure 12 : Teneurs en protéines dans le contenu des œufs de la caille recevant des aliments contenus *Azolla pinnata* fraîche et sèche. L1: lot Témoin, L2: lot azolla fraîche (4,5%), L3: Lot azolla sèche (4,5 %), L4: Lot azolla fraîche (9%), L5: Lot azolla sèche (9%),

MG : Matière Grasse. ^{ab}: des lettres différentes dans les colonnes signifiées une différence statistique significative à $p < 0,05$.

Selon Tunsaringkarn et al. (2013), le taux moyen de la matière grasse dans le contenu de l'œuf entier de la caille est de 9,89 % ce qui est très proche à nos résultats. D'après ces mêmes auteurs, la composition nutritionnelle des œufs de caille a révélé que les jaunes contiennent des teneurs plus élevées en cendres, glucides (y compris les fibres alimentaires), lipides, protéines et calories. Leur étude a conclu que les meilleurs nutriments se trouvent principalement dans les jaunes d'œufs.

Les résultats de Mostafa et al. (2019) montrent que les lipides étaient plus élevés dans les œufs de caille que dans ceux de poule. La teneur en cholestérol des œufs de caille et de poule était respectivement de 12,26 et 12,48 mg/g. Les œufs de caille contiennent une quantité de cholestérol légèrement inférieure à celle des œufs de poule, mais cette différence n'était pas significative ($P < 0,05$)

Conclusion

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'impact de l'incorporation de l'*Azolla pinnata* dans l'alimentation de la caille japonaise sur la qualité des œufs.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence que l'introduction de cette fougère aquatique (témoin, recevant 4,5% d'*Azolla* fraîche, 4,5% d'*Azolla* sèche, 9% d'*Azolla* fraîche et 9% d'*Azolla* sèche), en substitution partielle aux sources de protéines conventionnelles, peut améliorer ou maintenir certaines propriétés physico-chimiques des œufs sans altérer leur qualité globale.

L'ajout d'*Azolla* fraîche et sèche n'a pas d'effet négatif sur les paramètres physico-chimiques mesurés. L'indice de Haugh a été supérieur dans le lot 2 par rapport aux autres lot ($p < 0,05$). Le taux de la matière sèche des œufs a diminué ($p < 0,05$) avec l'incorporation d'*Azolla*. Le lot 5 a enregistré une augmentation dans le taux de protéines et une diminution dans le taux de matière grasse ($p < 0,05$). L'*Azolla* fraîche et sèche peut substituer partiellement les aliments conventionnels dans l'alimentation de la caille jusqu'à 9%.

En perspective, il est recommandé de faire plus d'analyses pour évaluer l'effet de l'incorporation de cette fougère sur les autres paramètres nutritionnels.

Les références bibliographiques

1. Anonyme 1. Caille des blés *Coturnix coturnix* - Common Quail.
<https://www.oiseaux.net/oiseaux/caille.des.bles.html>
2. Anonyme 2. Lesson 14: Quail farming for eggs and meat.
<https://egyankosh.ac.in/bitstream/123456789/59752/1/Quail%20farming%20for%20eggs%20and%20meat.pdf>
3. Anonyme 3. <https://fr.depositphotos.com/stock-photos/japonica-coturnix.html>.
4. Anonyme 4. <http://www.animogen.com/2013/07/29/la-caille-de-chine-caille-peinte-ou-coturnix-chinensis-une-petite-perle-dasie/>
5. Anonyme 5. https://coco-eco.fr/catalogue/caille-arlequin_693/
6. Anonyme 6. <https://french.alibaba.com/product-detail/quail-cage-with-automatic-drinking-system-60506136612.html>
7. Anonyme 07: *Azolla Pinnata*: <https://www.google.com/searchq=azolla+pinnata>
8. Anonyme 08 : Structure de l'œuf.
<https://www.bing.com/images/search?q=structure+de+l%27oeuf&form=HDRSC3&first=1>
9. Abd El-Ghani W. 2020. A review on the use of *Azolla* species in poultry production. J. World Poult. Res. 10 (2). 378-384.9.
10. Adabembe. B. A1 ·Fasinmirin. J. T2 ·Olanrewaju. O. O2 ·Dada. A. A3 · Oluwaseun Temitope Faloye. O. T1,4. (2022). Phytoremediation of aquaculture wastewater using *Azolla pinnata* and evaluation of its suitability for irrigation purpose.8(5). 166.
<https://doi.org/10.1007/s40899-022-00753-7>.
11. Adam K., Lukáš Z. 2019. The Effect of Age and Genotype on Quality of Eggs in Brown Egg-Laying Hybrids. 67(2). 407-414.
12. Al-Jabari Q.H., Mohammed M.A., Baker A.Gh. and Shaker A.S. 2024. Effect of Supplementation of Different Levels of *Azolla* Plant Powder on The Productive Performance and Some Qualitative Characteristics of Eggs of Japanese Quail. Egypt. J. Vet. Sci. Vol. 55, (Special issue), 1869 -1874.
13. Alagbe J.O., Enam J.S. and Omokore E.A. 2018. Effect of Partial Replacement of Dietary Soya Meal with Dried *Azolla Pinnata* Meal on the Performance and Egg Quality of Japanese Quails (*Coturnix coturnix*). Greener Journal of Agricultural Sciences. Vol. 8(6). 119-127.
14. Amara. M. F. Z, Merzouk. N, Rezine. M. W. 2006. Qualité bactériologique des œufs et des ovoproduits au niveau de la wilaya d'Alger. Projet De Fin D'Études En Vue De L'Obtention Du Diplôme De Docteur Vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire -Alger. Pp:117.
15. American Egg Board. 2012. Egg cyclopedia – the incredible edible egg. 5th ed. American Egg Board. Parkridge, Illinois, USA. 88 pp.

16. Anato L.S.E., Ahehehinou. M.A., Dako S.A.S., Anato J.C., 2024. Performance technique et économique des producteurs d'œufs de caille dans le département de l'Atlantique au Bénin. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop., 77 : 37119, doi: 10.19182/remvt.37119.
17. Boukhelifa A., (2000). Cour d'aviculture.
18. Bouallag A. et Korichi F. (2022). Essai de formulation d'un aliment pour la caille en incorporant *Azolla pinnata*. Mémoire de master. Université M'sila. 51p
19. Bourgogne-Franche-Comté. 2019. Caille de chaire. Une maîtrise nécessaire de l'élevage à la vente.
20. Bouvarel 1, Nys 2. Y , Panheleux 3.M, Lescoat 2. P., (2010).Comment l'alimentation des poules influence la qualité des œufs.23(2).pp:167-182.
21. Bozkurt, Z. and Tekerli, M. 2009. The Effects of Hen Age, Genotype, Period and Temperature of Storage on Egg Quality. Kafkas Üniversitesi Veteriner fakültesi Dergisi, 15(4) : 517–524.
22. Bensalah, A. (2016). Effets des Quelques Formules Alimentaires Sur les performances zootechniques et le profil Biochimique de la Caille Japonaise. *Mémoire Magister*.
23. Benagrouba S. (2022). Effet du mode de présentation de l'aliment sous forme de farine ou granulé sur les performances zootechniques chez la caille japonaise (*coturnix japonica*). Mémoire de master en Filière : Sciences agronomiques Spécialité : Production animale.
24. Bhatt N, Chandra R, Kumar S, Singh K, Singh N P, Rajneesh, Singh A K and Chauhan S P S. 2020. Nutritive Analysis of *Azolla pinnata* and its Cultivation during Winter Season. Int.J. Curr. Microbiol.App.Sci. 9(03): 2012-2018. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.233>
25. British Egg Industry Council. 1996. Egg facts and figures. Retrieved on 1 February 2021 from <https://www.egginfo.co.uk/egg-facts-and-figures>.
26. Chatterjee A, Sharma P, Ghosh M K, Mandal M and Roy P K. 2013. Utilization of *Azolla microphylla* as feed supplement for crossbred cattle. International Journal of Agriculture and Food Science and Technology. 4(3): 207-214.
27. Doctissimo, 2015.Comparatif des apports nutritionnels des volailles.
28. Djogbede, A., Hinvi, L. et Fiogbe, E. (2013) 'Effets de substitution des engrais chimiques par *Azolla pinnata* en riziculture au Nord Bénin', Revue internationale des sciences biologiques et chimiques, 6(6), pp. 3027–3044. : <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.5>.
29. Fanjanirina A.U. (2023). Études Comparatives de la Capacité des deux Plantes Aquatiques : *Azolla pinnata* et *Salvinia hastata* à Traiter des eaux usées domestiques : cas du campus Vontovorona. Mémoire Licence. Génie de procédés chimiques et industriels. Université Antananarivo. Madagascar. 72p.
30. Gutierrez R. J. (1993). Taxonomie et biogéographie des cailles du Nouveau Monde. Dans K.E. Church et T.V. Daily. ed. Cailles III : symposium national sur les cailles. Département de la faune et des parcs du Kansas (Pratt). 8-15.

31. Hachemi M. et Aissaoui A. 2024. En production végétale Mise en culture de l'azolla (*Azolla pinnata* R. Br). Une fougère aquatique utilisée en aliment de la volaille. Mémoire de master. Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN. 86p.
32. Haddad F. (2016). Filière caille dans la wilaya de Tizi-Ouzou : aspects organisationnels et économiques. Mémoire de Master.
33. Hossain^{1*}. M. A, Shimu¹. S. A, Sarker³. M. S.A. Ahsan ².M.E and Banu ².M.R.(2021). BIOMASS GROWTH AND COMPOSITION OF AZOLLA (*Azolla pinnata* R. BR.) SUPPLEMENTED WITH INORGANIC PHOSPHORUS IN OUTDOOR CULTURE. SAARC Journal d'agriculture, 19(1), 177-184. <https://doi.org/10.3329/sja.v19i1.54788>.
34. ITELV. (2003). Guide d'élevage de la caille. Institut Technique Des Élevages. Algérie. 14p.
35. Johnston, S. A. and Gous, R. M. 2007. Modelling the changes in the proportions of the egg components during a laying cycle. British Poultry Science, 48(3). Pp :347–353.
36. Jones, D. R., Musgrove, M. T., Anderson, K. E. et al. 2010. Physical quality and composition of retail shell eggs. Poultry Science, 89(3) : 582–587.
37. Kaoueche.A, Kaoueche. M., (2015). Évolution de la fraîcheur des œufs de consommation au cours de la conservation.Mémoire de Master. Pp :72.
38. Katole, S.B., Lende, S.R. and Patil, S.S. (2017). A review on potential livestock feed: Azolla. Livestock Research International, 5(1): 1-9.
39. Konar R.N. & Kapoor R.K.,1974. Anatomical studies of *Azolla pinnata*. Phyto morphology, (22): 211-223.
40. Khatun A., Ali M.A., Dingle J.G. 1999. Comparison of the nutritive value for laying hens of diets containing azolla (*Azolla pinnata*) based on formulation using digestible protein and digestible amino acid versus total protein and total amino acid. Animal Feed Science and Technology. 81, Issues 1–2. 43-56
41. Khatun M.A., Mindil M. A.S., Akter Y. 2008. Effect of *Azolla pinnata* based diet on the performance and egg quality of laying hens. Int. J. Sustain. Agril. Tech. 4(2) : 06-12
42. Lucotte G. (1975). Reproduction, pp : 22-29. In la production de la caille. Editions Vigot Frères.
43. Lumpkin T.A., Plucknett D.L.1982.Azolla: Botany, physiology, and use of green manure. Economic Botany, 34(2):111-153.
44. Ledvinka, Z. and Klesalová, L. 2002. Weight of eggs and factors that influences it [in Czech: Hmotnost vajec a faktory, které ji ovlivňují]. Náš chov, 62(7). Pp: 54.
45. Mandal. S. M., Banerjee. M., Suresh. K. K., Kumar. K., & Mukherjee. A. (2013). Influence of different salinity levels on the growth and productivity of *Azolla*. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 3(1), 74-79.
46. Mondry R. (2016). L'élevage des cailles en zone tropicale. CTA et ISF. Cameroun. 32p.

47. Mostafa A.A and Abd El-Aziz A.A. 2019. A Comparative Study on Nutritional Value of Quail and Chicken Eggs. لية التربية النوعية – جامعة المنيا
- المؤتمر الدولي الثاني - التعليم النوعي وخريطة الوظائف المستقبلية
48. Monika G., Tayade, DS., Chauhan, BM., Thombre, SR., Sonwane and Neha S. Pawar. 2024. Supplementation of Azolla (*Azolla pinnata*) meal on growth performance of Japanese quails (*Coturnix japonica*). IJABR SP-8(10) : 1339-1342
49. Merzouk A. et Mouloudj K. (2022). Essai de la supplémentation de l'*Azolla pinnata* en alimentation de la caille japonaise (*Coturnix coturnix japonica*). Mémoire de master.
50. Menassé V., Guide de l'élevage rentable. Edition De Vecchi S.A., 119 p.
51. NRC. 1994 Subcommittee on poultry nutrition National Research Council, Nutrient Requirements of Poultry. National Academy Press. Washington: 176 pages. O
52. Orville L. Bondoc¹, Rene C. Santiago², Angelina R. Bustos³, Aldrin O. Ebron¹ and Ana Rose Ramos¹., (2016). EVALUATION OF EGG CHARACTERISTICS USING THE SIZE CLASSIFICATION AND GRADING SYSTEM FOR MALLARD DUCK EGGS.47(2).pp:1-23.
53. Peters G A. 1978.Blue-green algae and algal associations. Bioscience 28, 580–585.
54. Philippine National Standard. 2005. Philippine National Standard (PNS) for Table Eggs - Specifications. PNS/BAFPS 35:2005. Bureau of Product Standards, Philippine Department of Trade and Industry. 8 pp.
55. Protais J, 1988 La qualité de l'œuf de consommation. L'aviculture française, Editions Rosset, 761-772.
56. Raoelina, B, A., 1995.Utilisation de l'azolla dans l'alimentation du poulet de chair. Université d'Antananarivo E.S.S. Agronomiques.115p.
57. Roberts.J.R., (2004). Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. Journal of Poultry Science.41(3). Pp :161-177.
58. Reynaud P.A. et Franche C. 1985. *Azolla pinnata* var. *africana* : de la biologie moléculaire aux applications agronomiques. Microbiologie. B.P. 1386. Dakar, Sénégal.
59. Shanaway M M. (1994). Systèmes de production de cailles. Une revue. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome. 147.
60. Sauver B. 1988.Reproduction des volailles et production d'œufs. Ed, INRA. Paris, page: 374-436.
61. Singh^{1*} J, Yadav P and Soni^{1*}. S. K., (2023). Potential of *Azolla pinnata* for Phytoremediation of Sewage wastewater. Potencial de *Azolla pinnata* para la Fitorremediación de Aguas Residuales.12(2): <https://doi.org/10.7770/safer-v13n1-art564>

62. Sow, F. 2008. Impact de la décharge de Mbeubeuss sur la Qualité Microbiologique et Chimique des œufs de poule produits dans la localité de Malika (Dakar-Sénégal). Ecole Inter-Etats des Sciences et Medecine Veterinaires(E.I.S.M.V.). UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR.
63. Sun C,Liu J,Yang N, and Guiyun Xu1., (2019). Egg quality and egg albumen property of domestic chicken, duck, goose, turkey, quail, and pigeon.48(10). Pp :4516-4521.
64. Ting J. Y.,Kamaruddin, N.A and Mohamad,S.S.S.(2022).Nutritional Evaluation of Azolla pinnata and Azolla microphylla as Feed Supplements for Dairy Ruminants.Journal Of Agrobiotechnology,13(1S):<https://doi.org/10.37231/jab.2022.13.1s.314>.
65. Tang, S. G. H., Sieo, C. C., Kalavathy, R. et al. 2015. Chemical Compositions of Egg Yolks and Egg Quality of Laying Hens Fed Prebiotic, Probiotic, and Synbiotic Diets. Journal of Food Science, 80(8): 1686–1695.
66. Tran G., Lebas F., 2015. Phléole des prés (Phleum pratense). Feedipedia, un programme de l'INRAE, du Cirad, de l'AFZ et de la FAO.
67. Tunsaringkarn T., Tungjaroenchai W., Siriwong W. 2013. Nutrient Benefits of Quail (*Coturnix coturnix japonica*) Eggs. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 5.
68. United States Department of Agriculture [USDA]. 2017. Specifications for Shell Eggs. A “How To” Guide for Food Service Suppliers and Volume Food Buyers. Agricultural Marketing Service, USDA. 18 pp.
69. United States Department of Agriculture [USDA]. 2000. USDA Egg-Grading Manual. Agricultural Handbook Number 75. Agricultural Marketing Service, USDA. 56 pp.
70. Van Hove C., 1989. Azolla and its multiples uses with emphasis on Africa. Rome, Italy: FAO
71. Vandna R. and Ashwani K R., 1999. Growth behaviour of Azolla pinnata at various salinity levels and induction of high salt tolerance. Department of Botany, Banaras Hindu University, Varanasi 221005, India*.103(3). PP:239-248.
72. Zukami. 2020. Conseils sur la structure, la composition et les propriétés des œufs. 12p.https://zucami.com/wp-content/uploads/2020/11/0423-Formacion-huevo_FR.pdf



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université SAAD DAHLAB DE BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologie et agro-écologie

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master académique en
Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production et Nutrition animale

Thème

Contribution à l'étude de l'effet de l'incorporation d'*Azolla pinnata* dans
l'alimentation de la caille sur la qualité des œufs

Présenté par : Amadou Baïla Sow

Devant le Jury :

Mr. Bencherchali Mohamed	MCA	Président de jury
Mme. Mahmoudi Souhila	MCA	Promotrice
Mme. Sid Sihem	MAA	Examinatrice
Mme. Boudjellaba Haizia	Doctorante	Co-promotrice

Année universitaire : 2024/2025

AVIS FAVORABLE

Dr BENCHERCHALI N.