



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ÉCOLOGIE

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité: Production et nutrition animale

THEME

**Contribution à l'étude de l'incorporation d'une fougère
aquatique en alimentation de la caille japonaise (*Coturnix
japonica*)**

Présenté par :

El Robrini Ibtihel El Batoul

Merahba Rayane

Devant le jury :

Mr. BENCHERCHALI M.	MCA	USDB1	Président de jury
Mme. SID S.	MAA	USDB1	Examinatrice
Mme. MAHMOUDI S.	MCA	USDB1	Promotrice

ANNEE UNIVERSITAIRE 2023/2024

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail .

Tout d'abord nous tenons à remercier notre promotrice Madame **MAHMOUD Souhila** MCA. à l'institut des sciences et techniques appliquées, Université Blida 1, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion durons toute la période de ce travail.

Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à Monsieur **BENCHERCHALI M.** MCA. au département de biotechnologie et agro-écologie, Université Blida 1, qui a bien voulu de présider notre jury la lourde tâche, qu'il trouve dans ces lignes le témoignage de notre respectueuse reconnaissance.

Nous remercions particulièrement Madame **SID S.** MAA. au département de biotechnologie et agro-écologie, Université Blida 1, pour avoir accepté d'examiner ce travail. C'est un honneur pour nous d'avoir l'occasion de discuter les résultats de nos recherches avec vous.

Un grand merci à Monsieur **SAIDE**, l'ingénieur de laboratoire au département de biotechnologie et agro-écologie, Monsieur **AHMED** l'ingénieur de laboratoire à l'institut des sciences et techniques appliquées pour leur aide lors de la réalisation des analyses.

Nous remercions également **Pr. BOUTOUMI** ainsi que son doctorante **ABIRE** pour l'autorisation d'accès au laboratoire de génie chimie et pour leur aide.

Nous tenons également à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie cet humble et modeste travail avec grande amour et sincérité à tous ceux qui me sont chers.

A MES CHERS PARENTS

Aucun dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction je ne peux pas nier tous ce que vous avez fait pour moi votre soutiens fut une lumière dans tout mon parcours d'études. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formules les fruits de vos innombrable sacrifice puisse dieu le très haut vous accorder la santé le bonheur et longue vie.

A MA CHERE SŒUR JUMELLE

Quoi que je fasse ou que je dise Je n'arriverai jamais à trouver les meilleures expressions ta présence à mes cotes a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles tu à partager avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travaille tu m'as chaleureusement supporter et encourage Que Dieu te protège toi et ton mari et vous offre la chance et le bonheur .

A MES CHERS AMIS (A.F.K.S.A.KH.)

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées. En gage de ma profonde estime pour l'aide que vous m'avais apporté. Je n'oublierai jamais votre soutient et votre support toute au longue de ce chemin. En témoignage de l'amitié qui nous unit, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A MON BINOME IBTIHEL

C'est avec profond gratitude, que je dédie ce modeste travail à toi, mon partenaire dans cette épreuve, tu as été toujours présente durant ces années d'étude, j'ai le plaisir de partager ce succès avec toi je te souhaite tout le bonheur et le succès.

MERAHBA RAYANE



Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

A mes parents

Merci pour tout votre soutien inconditionnel, vos sacrifices, vos encouragements, votre amour sans limite et bienveillance sont mes plus grands trésors, vous êtes mes piliers et ma source d'inspiration.

Ce modeste travail paraît bien dérisoire pour traduire une reconnaissance infinie envers vous je vous aime fort.

A mes chers frères

Vous être mes compagnons de vie précieux, mes allies qui partagent mes aventures et mes souvenirs, merci d'être toujours à mes côtés, par votre amour dévoué

Je prie Dieu pour qu'il vous donne le bonheur et prospérité

Je vous aime énormément

A ma chère sœur

Tu es un pilier dans ma vie, épaule sur laquelle je peux toujours m'appuyer, ta présence chaleureuse et ton soutien inconditionnel rendent chaque jour

Plus lumineux, merci d'être toujours à mes côtés, par votre amour dévoué

Je prie Dieu pour qu'il vous donne le bonheur et prospérité

Je t'aime énormément.

A mes chers amis

Vous être les étoiles qui illuminent ma vie de bonheur et d'amour, vos soutiens inébranlables, votre amitié est mon plus grand trésor, merci d'avoir été toujours présent, je vous souhaite que de bonheur et prospérité

A ma binôme Rayane

Tu es un partenaire essentiel dans ce travail, une alliée avec qui je partage les défis et les succès j'ai le plaisir de partager ce succès avec toi je te souhaite tout le bonheur et le succès dans ta vie.

EI ROBRINI Ibtihel Batoul

Résumé

En coturnicultur l'alimentation est toujours le principal obstacle dû aux coûts élevés des aliments importés et le manque de production locale qui apporte des protéines valorisables par cette filière.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de l'incorporation d'*Azolla pinnata* dans l'alimentation de la caille, durant la phase finition, sur la qualité de la viande de cuisses et filets (pH, taux d'humidité, cendres totales, protéines, lipides et minéraux).

Les cailles ont été divisées en 4 lots, un lot témoin recevant un aliment standard, des lots expérimentaux recevant des aliments contenant 2,5 % d'*Azolla* sèche, 5 % d'*Azolla* sèche et de l'*Azolla* fraîche

Les résultats des analyses physico-chimiques de la viande des filets et des cuisses de la caille montre que les valeurs du pH des cuisses (6,67 à 6,86) sont supérieures à celles des filets (5,86 à 5,99). Les filets de lot réservant un aliment à 2,5 % d'*Azolla* marque le taux de protéine le plus élevé (24,5 %) contrairement aux filets de contrôle soit (17,5 %). Nos résultats révèlent que les cuisses sont plus gras que les filets et le taux de matière grasse dans le lot de contrôle sont supérieurs par rapport à ceux des groupes expérimentaux soit 5,23 %. Le lot 2 à bas de 2,5% d'*Azolla* a enregistré une valeur élevée de Ca dans les cuisses et aussi une teneur de phosphore élevée (363,377 mg/100g) au niveau de filet. En revanche, dans le même lot le sodium a marquée une valeur faible au niveau de filet. Nous pouvons dire que l'*Azolla* fraîche ou sèche peut être incorporée dans l'alimentation de la caille sans effet néfaste sur la qualité de la viande.

Mots clés : *Azolla pinnata*, caille alimentation, viande, qualité.

Contribution to the study of the incorporation of an aquatic fern in Japanese quail (*Coturnix japonica*) feed

Abstract

In coturniculture (quail farming), feed is always the main obstacle due to the high costs of imported feed and the lack of local production that provides valuable proteins for this sector.

The objective of this work is to evaluate the effect of incorporating *Azolla pinnata* into quail feed, during the finishing phase, on the quality of thigh and breast meat (pH, moisture content, total ash, proteins, lipids, and minerals).

The quails were divided into 4 groups: a control group receiving standard feed, and experimental groups receiving feed containing 2.5% dry Azolla, 5% dry Azolla, and fresh Azolla.

The results of the physicochemical analyses of the breast and thigh meat of the quail show that the pH values of the thighs (6.67 to 6.86) are higher than those of the breasts (5.86 to 5.99). The breasts from the group receiving 2.5% Azolla feed had the highest protein content (24.5%) compared to the control breasts (17.5%). Our results reveal that the thighs are fattier than the breasts and that the fat content in the control group is higher compared to the experimental groups at 5.23%. The group with 2.5% Azolla recorded a high calcium value in the thighs and a high phosphorus content (363.377 mg/100g) in the breast. However, in the same group, the sodium value was low in the breast. We can say that fresh or dry Azolla can be incorporated into quail feed without adverse effects on meat quality.

Key words: *Azolla pinnata*, quail feed, meat, quality.

مساهمة في دراسة إدخال سرخس مائي في تغذية السمان

ملخص

في تربية السمان، تشكل التغذية دائماً العبء الرئيسية بسبب التكاليف العالية للأعلاف المستوردة ونقص الإنتاج المحلي الذي يوفر البروتينات القيمة لهذا القطاع.

هدف هذا العمل هو تقييم تأثير إدخال نبات الأزولا بيناتا في غذاء السمان، خلال مرحلة التسمين، على جودة لحم الأفخاذ والصدور (درجة الحموضة، نسبة الرطوبة، الرمد الكلي، البروتينات، الدهون والمعادن).

تم تقسيم السمان إلى 4 مجموعات: مجموعة تحكم تتلقى غذاءً قياسياً، ومجموعات تجريبية تتلقى غذاءً يحتوي على 2.5% من الأزولا الجافة، 5% من الأزولا الجافة والأزولا الطازج.

تظهر نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية للحم الأفخاذ والصدور أن قيم درجة الحموضة للأفخاذ (6.67 إلى 6.86) أعلى من قيم الصدور (5.86 إلى 5.99). سجلت صدور المجموعة التي تتلقى غذاءً يحتوي على 2.5% من الأزولا أعلى نسبة بروتين (24.5%) مقارنة بصدور مجموعة التحكم (17.5%). كشفت نتائجنا أن الأفخاذ أكثر دهنية من الصدور وأن نسبة الدهون في مجموعة التحكم أعلى مقارنة بالمجموعات التجريبية حيث تبلغ 5.23%. سجلت المجموعة الثانية التي تحتوي على 2.5% من الأزولا قيمة عالية من الكالسيوم في الأفخاذ وكذلك محتوى عالي من الفوسفور (363.377 مجم/100 جم) في الصدور. في المقابل، سجلت نفس المجموعة قيمة منخفضة من الصوديوم في الصدور. يمكننا أن نقول إن الأزولا الطازجة أو الجافة يمكن إدخالها في غذاء السمان دون تأثير ضار على جودة اللحم.

الكلمات المفتاحية: الأزولا بيناتا، تغذية السمان، اللحم، الجودة

Sommaire

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

Partie 1 Bibliographie

Chapitre 1 : Élevage de la caille.....	2
Chapitre 2 : <i>Azolla pinnata</i> dans l'alimentation de bétail	17

Partie 2 expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes.....	26
Chapitre 2 : Résultats et discussion.....	34
Conclusion	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de la caille japonaise	4
Tableau 2 : Variation de la température en fonction de l'âge des cailleteaux	4
Tableau 3 : Les normes d'élevage de la caille reproductrice	5
Tableau 4 : Besoins en protéines, énergie, et minéraux.....	7
Tableau 5 : Besoin de la caille en oligoéléments et vitamines	8
Tableau 6 : La consommation alimentaire et indice de consommation.....	9
Tableau 7 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisé comme source d'énergie dans l'alimentation de la caille	10
Tableau 8 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisées comme source de protéine dans l'alimentation de volaille	11
Tableau 9 : Normes d'ambiance de la caille reproductrice et besoins de la caille reproductrice en matériel 0-6 semaines.....	13
Tableau 10 : Valeur alimentaire de la viande de la caille	14
Tableau 11 : Valeur alimentaire des œufs de la cailles	15
Tableau 12 : Composition chimique de l'Azolla fraîche.....	21
Tableau 13 : Les minéraux présents dans l'Azolla.....	21
Tableau 14 : Les principaux acides aminés présents dans l'Azolla	22
Tableau 15 : pH de la viande de la caille de groupes témoin et expérimentaux ..	34
Tableau 16 : Taux d'humidité (%) de la viande de la caille	35
Tableau 17 : Taux de cendres totales (%) de la viande de la caille	36

Liste des figures

Figure 1 : Mâle (gauche) au plumage de surface, cou et poitrine de couleur rousse et femelle (droite) au plumage de couleur gris-jaunâtre et les lancettes bordées de noir.....	3
Figure 2 : Distribution moderne approximative d' <i>Azolla</i>	17
Figure 3 : Plan d' <i>Azolla Pinnata</i>	18
Figure 4 : Vitesse de croissance d' <i>Azolla pinnata</i>	20
Figure 5 : Détermination du pH de la viande de la caille	27
Figure 6 : Les échantillons de la viande de la caille après séchage	28
Figure 7 : Les échantillons de la viande de la caille après calcination au four à moufle	29
Figure 8 : Minéralisation des échantillons de la viande de la caille.....	31
Figure 09 : Taux de protéines de différentes parties de la viande de la caille	37
Figure 10 : Taux de la matière grasse dans la viande de la caille (%).....	39
Figure11 : Pertes à la décongélation cuisses de la caille (%).....	40
Figure 12 : Pertes à la décongélation filets de la caille (%)	41
Figure 13 : Pertes à la cuisson cuisses de la caille (%).....	42
Figure 14 : Pertes à la cuisson filets de la caille (%)	42
Figure 15 : Teneurs en sodium, potassium et calcium dans les cuisses et les filets de la caille (mg/100g)	43
Figure 16 : Teneurs en phosphore dans les cuisses et les filets de la caille (mg/100g)	45

Liste des abréviations

Ca : calcium

CB : cellulose brute

Cm : centimètre

°C : Degrée Celsius

EB : énergie brute

g : gramme

H : heure

INRA : institut national de la recherche agronomique

ITLV : institut technique des élevages

J : Joule

K : potassium

Kcal : unité énergie kilo calorie

KJ : kilo Joule

LED : l'ampoule LED lumière

L1F : filet lot 5% Azolla.

L2F : filet lot 2,5% Azolla.

L3F : filet lot témoin.

L4F : filet lot Azolla fraîche.

MAT : matière azoté totale

MM : matière minérale

MG : matière grasse

MS : matière sèche

Max : maximum

Min : minimum

Na : sodium

P : phosphore

UI : unité internationale

INTRODUCTION

Introduction

L'élevage de volailles est devenu la branche de production animale la plus développée ces dernières années. Malgré que le poulet est la viande la plus produite dans cette branche, une diversification des espèces élevées a été observée. Parmi ces espèces, la caille occupe une place pertinente dans l'élevage avicole et contribue à la variété de la viande de volaille (**Genchev, 2008**).

L'élevage des cailles se caractérise par une relative simplicité, un besoin de peu d'espace et de faibles moyens financiers ainsi qu'une demande sans cesse croissante (**Mondry, 2016**).

Les aliments destinés aux volailles couvrent aujourd'hui à peu près tous les besoins nutritionnels, la maîtrise des techniques de l'alimentation est le moyen le plus puissant pour baisser les coûts de production et améliorer la qualité des produits ; adaptée aux conditions d'élevage (**Kenzi et Wahaj, 2015**).

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

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

C'est dans ce contexte que nous avons essayé d'incorporé une fougère aquatique dans l'alimentation de la caille (*Coturnix japonica*) en remplaçant partiellement le tourteau de soja par d'*Azolla pinnata* produite localement et avec un faible coût et évalué son impact sur la qualité de la viande.

Notre travail est composé de deux parties, une partie bibliographique qui comporte deux chapitre sur l'élevage de la caille et l'utilisation d'*Azolla pinnata* dans l'alimentation de bétail ; et une partie expérimentale où nous avons évalué l'effet d'une alimentation qui comporte *Azolla* fraîche et sèche sur les caractéristiques physico-chimiques et la composition alimentaire de la viande de la caille .

PARTIE 1

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE 1

ÉLEVAGE DE LA CAILLE

Chapitre 1

Élevage de la caille

1.1 Origine et description

1.1.1 Origine

La caille japonaise (*Coturnix japonica*) niche en Asie orientale, depuis le Nord de la Mongolie, la région du Nord-est du lac Baikal le Sud-est de la Russie jusqu'à l'île de Sakhaline à l'Est, le Nord du Japon et de la Corée puis le Nord-est de la Chine. En hiver elle migre dans le Sud du Japon et de la Corée, en Chine et jusqu'au Nord de la Birmanie, de la Thaïlande, l'Assam et le Bouthan. Elle semble sédentaire dans certaines régions du Sud du Japon (**urbain, 2017**).

1.1.2 Description

La caille est appartenant à une famille d'oiseaux de petite taille, au plumage varié, avec des pattes courtes et des formes assez rondes, il est un voisin génétique du colin et de la perdrix. Malgré la mauvaise aptitude au vol de ces oiseaux, on trouve des espèces de cailles sédentaires dans les pays chauds, et des espèces migratrices dans les pays tempérés (**Boris, 2023**).

Les cailles japonaises (*Coturnix japonica*) sont les plus petites espèces aviaires d'élevage caractérisées par leur croissance rapide, leur courte période de maturation de 8 semaines, leur production massive d'œufs, développement embryonnaire rapide de 16 jours, résistance aux maladies et sont utilisés comme modèle pour plusieurs domaines de recherche scientifique (**Ali et al., 2021 ; Marie-claire et al., 2020 ; Hosseini et al., 2017**).

La caille japonaise (*Coturnix japonica*) est un oiseau trapu de petite taille de 16 à 18 cm et pesé 70 à 135g. Son plumage est gris moucheté et tacheté de brun, la femelle est un peu plus grosse que le male (**Mondry, 2016**).

Le mâle a la tête, le cou et la poitrine plutôt roux avec de nombreuses nuances. Le sourcil est blanc teinté d'ocre ou de roux. Mais il est possible de rencontrer des individus moins foncés, avec une poitrine plus chamois que rousse ou la gorge traversée par un collier crème ou même un sourcil blanc. Bec noir, iris brun et pattes couleur chair assez pâle ou jaunâtre. La femelle est beige à peu près

partout où le mâle est roux ou chamois (tête, cou et poitrine) avec des taches brunes sur le haut et les côtés de la poitrine (**Figure 1**). En général la longueur de l'aile pliée mesure moins de 10,5 cm. Chez la forme domestique de *C. japonica*, on distingue nettement les sexes dès 3 semaines (**urbain, 2017**)



Figure 1 : Mâle (gauche) au plumage de surface, cou et poitrine de couleur rousse et femelle (droite) au plumage de couleur gris-jaunâtre et les lancettes bordées de noir (**Hutu, 2020**)

1.2 Classification

La caille est une espèce d'oiseau de familles des faisans, on pense que la caille a été domestiquée pour la première fois au Japon au XI^e siècle (**Baykalir et al., 2020**).

Selon **urbain (2017)**, la caille japonaise forme une super-espèce avec la caille des blés (*C. coturnix*) et peut-être aussi par certains côtés avec la caille des chaumes (*C. pectoralis*). Elle est très souvent considérée comme une sous-espèce de la caille des blés avec laquelle elle s'hybride en captivité car sur le terrain d'une part leurs aires de répartition sont principalement allopatriques (ne se recouvrent pas) et d'autre part leurs chants respectifs diffèrent nettement. Pas de sous-espèces (**Tableau 1**).

Tableau 1 : classification de la caille japonaise (**Animalia, 2024**)

REGNE	Animalia
EMBRANCHEMENT	Chordata
CLASSE	Aves
ORDRE	Galliformes
FAMILLE	Phasianidae
GENRE	<i>Coturnix</i>
ESPÈCE	<i>Coturnix japonica</i>

1.3 Élevage de la caille

1.3.1 Conditions d'élevage

a. Température

La température les premiers 7 jours de vie sera de 37 °C. Au niveau des poussins, après en diminuant de 3,5 °C. Par semaine jusqu'à ce que les poussins soient complètement couverts de plumes. On va assurer la température locale à l'aide des éleveuses installées à la hauteur de 30-45 cm au-dessus du niveau de la literie ; le meilleur indicateur de confort thermique est le comportement des poussins au patio. La température dans la salle d'élevage sera 20-22 °C. (**Hutu, 2020**).

Le tableau suivant représente la variation de la température en fonction de l'âge des cailleaux (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Variation de la température en fonction de l'âge des cailleaux (**Bourgogne, 2019**).

Age	Naissance	Jour 2	Jour 3	Jour 5	Jour 10	Après 15 jours
Température °C	38	35	32	28	22	Min 18

b. Humidité

L'humidité est aussi importante pour cet animal originaire de climats tropicaux qui craint la sécheresse ou l'excès d'humidité. L'humidité relative de l'aire sera 65-70 % (**hutu, 2020**).

c. Éclairage

L'éclairage se fait uniquement de manière artificielle avec des LED ou des ampoules (**Bourgogne, 2019**).

d. 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, 2019**).

Les normes d'élevage de la caille reproductrice sont représentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Les normes d'élevage de la caille reproductrice (**ITAVI**).

Age en semaine	Température		Humidité relative (%)	Ventilation (m ³ /H)	Éclairage	
	Sous Éleveuse	Ambiante			lumière	Intensité
1	40-35				Toute la	3 Watts
2	30			4 à 5		
3	25			m3/H/kg	journée	
4		22-24	70	de poids vif	+	
5		22-24			veilleuse	
6		22-24			la nuit	
7		22-24				
Reproducteurs		22-24	70	4-5	16-18	5 Watts

1.3.2 Bâtiment d'élevage

Doit être isolé et disposant d'une bonne aération, il dispose de 3 sales différents, une pour la reproduction, une pour engraissement et une salle d'incubation tout en respectant les règles hygiène (**ITELV, 2012**).

❖ Élevage au sol

Élevée dans le sol dans un logement amélioré (d'au moins 2 m de hauteur) Elles 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 (**Mondry, 2016**).

❖ Élevage en cage

Nécessite une cage à plusieurs niveaux excepté au niveau du plancher qui est plat et non incliné et ne disposant pas de système de récolte des œufs. Une densité de 70 à 80 sujets/m² (**ITELV, 2012**).

Le fond de la cage peut être en bois et recouvert de 5 cm de copeaux de bois, ou en grillage à maille carrée de 1,5 cm. Dans les cages de 1 m x 0,5 m x 0,5 m, il est possible de mettre un groupe de reproducteurs comportant 1 mâle et 5 femelles (**Mondry, 2016**).

1.4 Alimentation

Les besoins alimentaires sont très documentés et l'alimentation de la caille ne pose pas de problèmes particuliers (**Leterrier et al., 2022**).

La consommation quotidienne d'aliment d'une caille est d'environ 20 à 25 g (**UFA, 2024**)

L'aliment doit apporter aux cailles l'ensemble des éléments nutritionnels dont elles ont besoin. Ces besoins évoluent dans le temps avec l'âge de l'animal. (**Bourgogne, 2019**).

1.4.1 Besoin alimentaire

Les besoins des cailles sont particulièrement élevés du fait de leur forte production pondérale et en œufs, sachant qu'un œuf correspond à 1/12ème du poids du corps des reproducteurs (**Bourgogne, 2019**).

Les besoins en protéines, énergie et minéraux de la caille sont représentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Besoins en protéines, énergie, et minéraux (ITELV, 2012)

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

Les besoins en protéines des cailleteaux sont de l'ordre de 28 % durant les premières semaines pour diminuer régulièrement jusqu'à 20 % à 6 semaines. Parallèlement, les besoins énergétiques, très importants au début (2 800 kcal/kg), diminuent jusqu'à 2 300 kcal en fin d'engraissement (**Bourgogne, 2019**).

En période de croissance, surtout en démarrage, les besoins en protéines (acides aminés) sont très élevés. Selon le niveau énergétique (2600 à 2800 Kcal d'EM/Kg), les teneurs en lysine et en méthionine devront dépasser respectivement 1,30 et 0,40 % (**Larbier et Leclercq, 1992**).

Les besoins de la caille en oligoéléments et vitamines sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Besoin de la caille en oligoéléments et vitamines (NRC, 1994)

Oligoéléments	Min.	Max.
Cuivre		
Iode	0.5mg	5mg
Fer	0.30mg	0.3mg
Manganèse	160mg	20mg
Sélénium	60mg	60mg
Zinc	0.2mg	0.2mg
	25mg	50 mg
Vitamines		
A	1650 UI	3300 UI
D3	750 UI	900 UI
E	12 UI	25 UI
K	1mg	1 mg
B12	0.03mg	0.003 mg
Thiamine	2 mg	2 mg

La consommation alimentaire de la caille est de :

- Démarrage : 250 g. pendant les 3 premières semaines
- Croissance : 1 kg pendant 4 semaines (**Bourgogne, 2019**).

La consommation alimentaire, l'indice de consommation et le poids à l'abattage de la caille sont mentionnés dans le tableau 6.

Tableau 6 : la consommation alimentaire et indice de consommation (ITLV, 2012).

Phase d'élevage	Consommation d'aliment par sujet en g	Poids du sujet	Indice de consommation
Démarrage – Croissance (1j-21j)	380	122	3.1
Finition (22j-42j)	400	165	2.5
Cumul (1j-42j)	790	165	4.78

Le poids à abattage se situe entre 120 et 140 grammes .pour un indice de consommation 4 à 5 (**Institut technique du petit élevage, 1988**).

Les cailles à l'abattage pèsent entre 400 grammes pour une durée d'engraissement de 50 jours et 250 grammes pour une durée d'engraissement de 52 jours selon le type et la taille de l'élevage (**Bourgogne, 2019**).

1.4.2 Matières premières utilisées dans l'alimentation des cailles

On distingue principalement deux types de matières premières : sources d'énergie et sources de protéines.

Les céréales, principalement le maïs, sont utilisées comme source d'énergie et les tourteaux des oléagineux, à leur tête le tourteau de soja, sont les plus utilisés comme source de protéines (Tableaux 7 et 8).

Les principales céréales utilisées sont les grains de blé, de maïs, de sorgho, de seigle et de triticale.

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

Aliments	MS %	MAT %	CB %	MG %	MM %	Lignine %	Amidon %	Sucres %	EB mg/kg
Avoine	87,6	9,4	11,5	4,7	2,5	2,3	36,8	1,3	17
Blé dur	87,6	14,4	2,7	1,8	1,9	1,1	55,8	2,8	16,2
Blé tendre	86,9	11	2,4	1,4	1,5	1	60	2,6	15,8
Mais	86,3	7,6	2,3	3,6	1,2	0,5	63,8	1,7	16,1
Orge	87,2	9,9	4,7	1,6	2,2	1,1	52,3	2,2	16
Seigle	86,7	8,5	2	1,2	1,8	0,9	53,7	3,1	15,6
Sorgho	87,8	9,3	2,4	2,9	1,9	1	64,6	1,1	16,5
Triticale	86,8	10	2,5	11,2	1,8	11	58,8	3	15,7

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

Les principaux tourteaux utilisés sont de soja principalement, de colza, de coprah, de tournesol et de coton (Tableau 8).

Tableau 8 : Valeur alimentaire de quelques matières premières utilisées comme source de protéine dans l'alimentation de volaille (INRA CIDRE, 2020).

Aliments	MS %	MAT %	CB %	MM %	MG	Lignine %	Amidon %	Sucres %	EB mg/kg
Tourteau de colza huile ≤ 5%	90,4	37	11,5	3,2	7	7,4	6,8	9,8	17,8
Tourteau de coprah huile ≤ 5%	90,5	21,1	12,3	3,2	6,4	5,7	0,3	10	17
Tourteau de coton cellulose brute ≤ 15 %	92,2	42	9,6	9,4	6,7	4,9	2,9	4,6	20,2
Tourteau de soja huile ≤ 5%; 48 % protéine	88	46,2	6	1,5	6,2	0,6	5	8,1	17,3
Tourteau de tournesol huile ≤ 5% décortiqué	90,4	36,6	17,8	1,2	6,5	6,7	3,5	6,7	17,5

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

1.5 Conduite d'élevage

1.5.1 La reproduction des cailles

La reproduction en fonction d'un ratio de sexes de 1 : 3 donc 3 cailles parfois même deux pour chaque male, la récolte des œufs a incuber immédiatement après la ponte, pour une durée maximum de 7 jours, le poids des œufs à incuber doit être de 10 à 12 g avant incubation une recommandation d'un préchauffage pour 3-4h à 20-25 °C (hutu, 2020).

1.5.2 Incubation

Les œufs à incuber :

- doivent avoir une coquille lisse et mate.
- ne doivent pas avoir de coquille brisée et 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, utilise l'incubateur statique à température 38.5 à 39 °C en couveuse, l'humidité est 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 sans ouverture d'incubateur.

Du 2^{ème} au 14^{ème} jour, retourner régulièrement les œufs au moins 2 à 3 fois par 24h (**Mondry, 2016**).

1.5.3 Mirage

Cette opération consiste à prendre les œufs un par un et à les examiner dans un local complètement sombre, au moyen d'un petit appareil appelé mine –œufs. Les rayons lumineux de la lampe traversent les œufs et feront ressortir le contenu qui sera de couleur rougeâtre ou rose si le germe s'est développé. L'œuf restera d'apparence uniforme et claire s'il n'y a pas de fécondation, la présence d'un cercle filiforme sanguin signifie la mort de l'embryon. Les œufs ayant une coloration rouge ou rosée sont conservés tandis que les autres sont éliminés (**Berrama, 2007**).

1.5.4 Éclosion

Poids faible 10 g environ à l'éclosion, le poussin cailleteaux doit être manipulé avec beaucoup de soins et le placer dans une poussinière (**ITLV, 2012**).

Les normes d'ambiance de la caille reproductrice et besoins de la caille reproductrice en matériel 0-6 semaines sont représentés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Normes d'ambiance de la caille reproductrice et besoins de la caille reproductrice en matériel 0-6 semaines (ITLV, 2012).

Age en Semaines	Éclairage	Température	Ventilation	Densités /m2	Matérielle
Age en semaine (0-3)	*1er au 5ème jr : 24h de lumière à raison de 4Watts/m2 *Au-delà du 5ème jr : 14 à 15 h de lumière à raison de 0.5 à 1 Watt/m2	* 1-3 jr 38-40°C * à 7jr 35°C * à 14jr 30°C * à 21jr 25°C	6m3/h/Kg de poids vif minimum	100- 150	*05 assiettes démarrage. Pour 500 sujets : * 20 abreuvoirs siphoniques spéciaux espèce Caille. *01 radiant à gaz. *01 cercle de garde. *01 thermo-hygromètre. *01 bassine.
Age en semaine (4-6)	*Au-delà du 5ème jr ; 14 à 15 h de lumière à raison de 0.5 à 1 Watt/m2	* à 35jr 20°C	6m3/h/Kg de poids vif minimum	50-60	*10 mangeoires linéaires de 1m équipée d'une grille anti-gaspillage. *20 abreuvoirs siphoniques de 2 à 3 l ou 05 abreuvoirs automatiques liés à une citerne d'eau. *01 feuille d'isorel pour casser les coins afin d'éviter l'entassement.

1.5.5 Engraissement

Dès la 3^{ème} semaine après la période de démarrage, placer les cailles dans les cages ou volières/logements où elles resteront jusqu'à la 7^{ème} semaine avant d'être abattues, chaque cage ou chaque volière contient des cailleteaux du même âge. Pour les cages en grillage, enlever les fientes tous les 3 jours.

Il faut impérativement changer la litière avant la prochaine portée pour éviter les maladies. N'est pas nécessaire de fournir plus de 8 heures de lumière par jour. La mortalité habituelle peut atteindre 10 % pendant l'engraissement. Les meilleurs sujets seront gardés comme reproducteurs (**Mondry, 2016**).

1.6 Valeur alimentaire de la viande de la caille

La valeur nutritionnelle de la viande de caille japonaise (**Tableau 10**) est assez favorable. Elle est riche en acides gras mono insaturés, en particulier en acide oléique (C18:1) elle contient également des quantités importantes d'acides gras polyinsaturés comme l'acide linoléique (C18:2). De plus, la viande de caille a une teneur en cholestérol relativement faible par rapport aux autres viandes animales (**Gecgel et al., 2015**).

Tableau 10 : valeur alimentaire de la viande de la caille (**Zubria, 2021**)

Nutriments	100 g de viande de la caille
Calories	227
Lipides	14 g
-satures	4,0g
-monoinsaturé	4,9g
polyinsaturé	3,5g
Cholestérol	86mg
Protéines	25g
Fer	44mg
Zn	3,1 mg
Sélénium	22 µg
Phosphore	279 mg

1.7 Valeur alimentaire des œufs de la caille

Les œufs de cailles étaient considérés comme un remède par les Chinois, depuis plusieurs siècles, puis cette pratique s'est généralisée dans des pays différents comme au Vietnam, en Pologne, et en Russie.

Mais ce n'est que par l'effet du hasard qu'un docteur français a constaté que les personnes ayant pris les œufs de cailles se sont complètement guéries de l'allergie, ce qui lui a conduit à utiliser l'œuf de caille dans le traitement des allergies respiratoires (**Rossian, 1977**).

La valeur alimentaire des œufs des cailles est représentée dans le tableau 11.

Tableau 11 : Valeur alimentaire des œufs de la cailles (**Santé, 2022**)

Nom	Teneur moyenne
Energie (kJ/100 g)	639
Protéines, (g/100 g)	13,1
Glucides (g/100 g)	0,41
Lipides (g/100 g)	11,1
Sucres (g/100 g)	0,4
Acides gras saturés (g/100 g)	3,56
Sel chlorure de sodium (g/100 g)	0,35

1.7 Élevage de la caille dans le monde et en Algérie

La facilité de l'élevage de cette volaille a fait d'elle une espèce très populaire et de son produit une consommation de luxe. L'élevage de la caille est basé sur la production de la viande et celle des œufs qui sont très appréciables. En Europe, la caille japonaise est assez répandue spécialement en France, Espagne et en Italie **(Benagrouba, 2022)**.

En Algérie l'élevage de caille ou coturnicultur a connu ces dernières années un essor considérable, participant à la diversité des produits avicoles. En effet, la production des œufs et la production des viandes de caille sont des spéculations indissociables. L'œuf est l'unité biologique fondamentale de l'existence des poussins qui seront destinés au remplacement du cheptel reproducteur ou à l'élevage de la caille chair **(Djalali, 2003)** .

CHAPITRE 2

***AZOLLA PINNATA* DANS**

L'ALIMENTATION DU BETAIL

Chapitre 2

Azolla pinnata dans l'alimentation du bétail

2.1. Historique et description

2.1.1 Historique

Azolla pinnata est une fougère aquatique qui a une longue histoire de culture et d'utilisation (**Figure 2**). Originaires d'Asie du Sud-Est, cette plante est cultivée depuis des siècles comme engrais (**Faricha et al., 2012**). L'utilisation d'*Azolla* remonte à l'onzième siècle au Vietnam et au moins au quatorzième siècle en Chine (**Brown, 2021**).

La production d'*Azolla* a été fortement encouragée au début des années 1960 en Chine et au Vietnam, cela a entraîné une expansion rapide de cette plante dans ces pays. Dans les années 1970, elle a suscité l'intérêt international en raison de la crise pétrolière et de la hausse des prix des engrais azotés basés sur les combustibles fossiles (**Van Hove et al., 2002**).

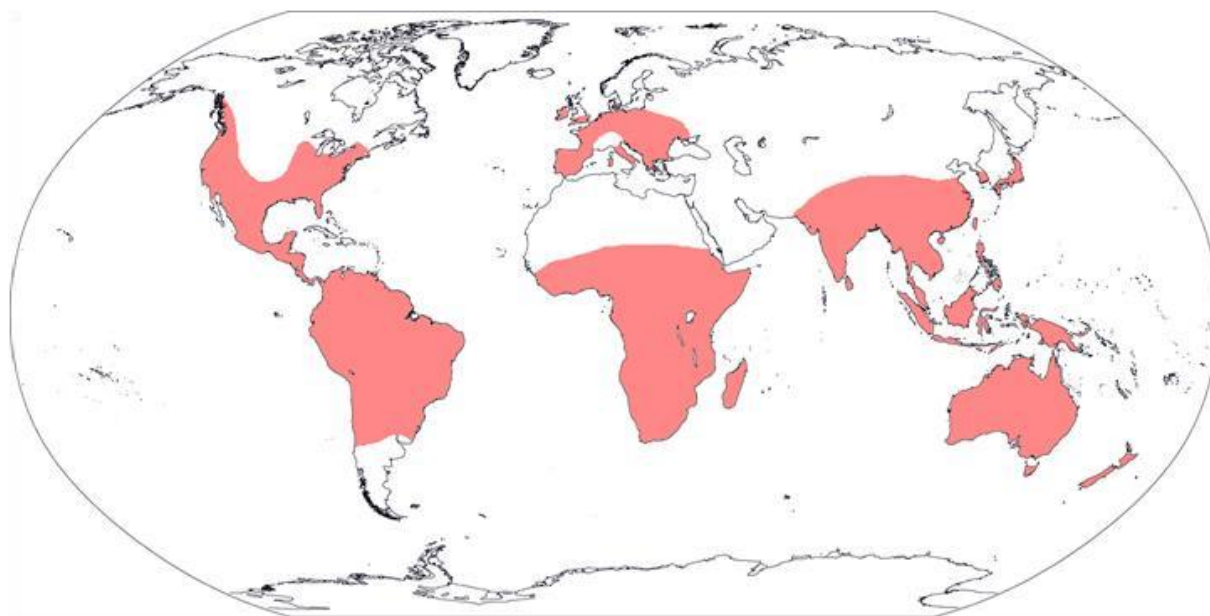


Figure 2 : Distribution moderne approximative d'*Azolla* (**Small et Darbyshi, 2011**)

2.1.2 Description

Azolla pinnata de la famille des salvinacées est une petite plantes ovales ou triangulaires au contour de 1,5 à 2,5 cm de long, avec un axe principal plus ou moins droit avec des branches latérales pennées, progressivement plus longues vers la base, donc de forme grossièrement triangulaire (**Figure 3**) (**Brown, 2021**).

Elle est riche en protéines, acides aminées, vitamines et minéraux, ce qui en fait une source de nourriture potentielle pour l'homme et le bétail (**Gökçe, 2008**). Dans des conditions idéales, elle croît de manière exponentielle, doublant sa biomasse tous les trois jours (**Kumar et Chander, 2017**).



Figure 3 : Plan d'*Azolla Pinnata* (**Echaroux, 2024**).

2.2 Taxonomie

Azolla est une plante qui appartient à : **(Reynaude, 1985)**

Division	Ptéridophytes
Ordre	Salviniales
Famille	Azollaceae
Genre	Azolla
Espèce	<i>Azolla pinnata</i>

2.3. Cycle de reproduction

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 redonne naissance à une jeune plantule. **(Reynaude , 1985).**

2.4 Culture

En général, la culture d'*Azolla pinnata* se fait dans un environnement aquatique riche en nutriments **(Subbiah, 2017)**. Afin de commencer la culture, *Azolla* est prélevée de son environnement naturel et plantée dans un étang ou un bassin avec une lame d'eau d'environ 10 cm **(Cumber, 2020)**. Il est possible de la cultiver dans des fosses, sur des bâches en plastique ou dans des bassins **(Asuming-Brempong, 2018)**.

Les nutriments tels que le phosphore, le carbone organique total, les nitrites et l'ammoniac présents dans ces milieux favorisent sa croissance **(Soman, 2018)**. Puis, il est nécessaire de maintenir une température comprise entre 18° et 25° et un pH compris entre 3,5 et 10, mais l'idéal est de 4,5 à 7.

La croissance des espèces d'*Azolla* est maximale pendant l'été, puis au printemps, avec un doublement de 2 à 5 jours. Il est possible de produire environ 40 à 55 kg d'*Azolla* frais à partir d'un inoculant de 8 kg en 15 jours (**Figure 4**) (**Sebastian et al., 2021**).

L'*Azolla* est une nouvelle méthode qui permettra de garantir la durabilité de la production dans les riziculteurs (**Kern, 2007**).



Figure 4 : Vitesse de croissance d'*Azolla pinnata* (**Tran, 2015**).

2.5 Composition chimique

Selon **Sharma (2024)**, *Azolla pinnata* contient une variété de phytocomposés, notamment des protéines, des glucides, des lipides, des vitamines et des minéraux (**Tableau 12**). De plus, elle est riche en minéraux essentiels tels que le calcium, le magnésium, le fer et le phosphore, ce qui en fait une plante nutritionnellement précieuse (**Papapolymero, 2018**).

Tableau 12 : Composition chimique de l'*Azolla* fraîche (Tran et al., 2015)

Analyse Principale	Unité	Moyenne	Min	Max
Matière sèche	% tel que nourri	6,7	5,1	8,7
Protéine brute	% MS	20,6	13,9	28,1
Fibre brute	% MS	15,0	11,3	22,8
Lignine	% MS	11,4	9,3	13,5
Extrait d'éther	% MS	3,8	1,9	5,1
Cendre	% MS	15,9	9,8	21,6
Amidon	% MS	4,1	5,5	/
Énergie brute	MJ/kg MS	17,0	/	/

Les teneurs en minéraux dans *Azolla pinnata* sont représentées dans le tableau 13.

Tableau 13: Les minéraux présents dans l'*Azolla* (Feedipedia, 2019).

Minéraux	Unité	Moy	Min	Max
Calcium	g/kg MS	1,0	5,8	17,0
Phosphore	g/kg MS	6,1	0,3	15,5
Potassium	g/kg MS	17,4	10,9	22,5
Sodium	g/kg MS	9,0	2,8	12,5
Magnésium	g/kg MS	5	3,9	6,1
Manganèse	mg/kg MS	762	208	1429
Zinc	mg/kg MS	38	11	77

Les teneurs en acides aminés dans *Azolla pinnata* sont représentées dans le tableau 14.

Tableau 14 : Les principaux acides aminés présents dans l'*Azolla* (Tranet *al.*, 2015).

Acides aminés	Unité	Moy	Min	Max
Alanine	% de protéines	6,4	5,3	7,4
Arginine	% de protéines	5,9	5,1	6,6
L'acide aspartique	% de protéines	9,3	8,2	10,3
Cystine	% de protéines	1,6	0,7	2,3
Acide glutamique	% de protéines	1,6	11,6	13,5
Glycine	% de protéines	5,6	6,6	3
Histidine	% de protéines	2,1	2,4	3
Isoleucine	% de protéines	4,5	5,4	3
Leucine	% de protéines	8,4	9,2	3
Lysine	% de protéines	4,7	6,5	5
Méthionine	% de protéines	1,4	1,9	5
Phénylalanine	% de protéines	5,4	5,6	3
Proline	% de protéines	4,9	6,8	3
Sérine	% de protéines	4,5	5,6	3
Thréonine	% de protéines	4,7	5,3	3
Tryptophane	% de protéines	1,8	2	
Tyrosine	% de protéines	3,6	4,1	3
Valine	% de protéines	5,5	6,8	3

2.6 *Azolla* dans l'alimentation du bétail

L'*Azolla* peut être donnée au bétail sous forme fraîche ou séchée. Elle peut être administrée directement ou mélangée avec des concentrés aux bovins, volailles, moutons et lapins (**Giridhar et Rajendran, 2013**).

2.6.1 Bovin

Selon **kirishi, (2020)** l'utilisation d'*Azolla pinnata* dans l'alimentation des bovins peut être bénéfique. Selon la recherche, elle est riche en protéines, en caroténoïdes, en acides aminées et en fibres, ce qui en fait une source de nutriments de qualité pour les animaux d'élevage. De plus, des études ont montrées que l'ajout d'*Azolla pinnata* fraîche dans l'alimentation des vaches laitières a entraîné une augmentation du rendement laitier et du taux de matière grasse.

2.6.2 Ovin

L'inclusion d'*Azolla pinnata* dans l'alimentation des moutons peut avoir des effets positifs sur leur comportement alimentaire et la fonction du rumen. Sa teneur élevée en fibres peut stimuler la rumination et favoriser les processus digestifs normaux chez le mouton (**Ana, 2017**).

Bien que l'utilisation d'*Azolla* pure comme aliment ne soit pas recommandée, son incorporation comme supplément peut être bénéfique pour la production ovine (**Tavani et Camargo, 2022**).

2.6.3 Lapin

Selon **Abdelatty et al. (2021)** *Azolla* sèche pourrait être inclus dans un régime alimentaire de lapin en croissance, jusqu'à 10 %, tandis que des doses plus élevées altèrent négativement les performances de production, la qualité de la viande et l'efficacité alimentaire des lapins en croissance.

2.6.4 Volaille

2.6.4.1 Poulet de chaire

Il a été montré que les poulets recevant une alimentation classique supplémentée avec 5 % de plus d'*Azolla* avaient une croissance plus rapide que ceux qui ont ingéré l'aliment commercial seul. Ainsi la conversion alimentaire des

animaux et l'efficacité énergétique ont été considérablement améliorées (**Rajesh, 2020**).

2.6.4.2 Poule pondeuse

Une autre étude visant à évaluer la valeur alimentaire de l'*Azolla* sur les performances de ponte des poules a montré la possibilité de l'incorporer à des taux allant jusqu'à 15 % sans affecter la production d'œufs, l'indice de conversion, ou la taille et la couleur des œufs (**Fiogbé, 2014**).

2.6.4.3 Caille japonaise (*Coturnix japonica*)

Des études ont montré qu'*Azolla pinnata* peut être utilisée pour remplacer jusqu'à 50 % des protéines de la farine de soja dans l'alimentation des cailles pondeuses sans avoir d'impact négatif sur la production ou la qualité des œufs. Ces effets bénéfiques sont probablement dus à la teneur élevée en protéines (28,41 %) et au profil nutritionnel (**Faradillah, 2015**).

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

2.6.5 Poisson

Selon des recherches, l'ajout de 25% à 30% de poudre d'*Azolla* séchée dans les aliments pour poissons a favorisé une amélioration de la croissance, du taux de survie et de la teneur en nutriments tels que les glucides et les protéines chez les carpes (**Chellamuthu et al., 2021**).

En outre, l'*Azolla* peut constituer une alternative abordable pour les protéines végétales en remplaçant une partie de la farine de poisson dans les aliments pour poissons (**Luthfiyah et al., 2019**).

Toutefois, il est important de ne pas en ajouter trop, car une surabondance d'azote et de phosphore pourrait être toxique pour les poissons (**Faricha et al., 2012**).

2.7 Intérêt d'*Azolla*

Azolla pinnata, présente un potentiel économique important en raison de ses diverses applications. L'un de ses principaux avantages économiques est son utilisation comme biofertilisant. Lorsqu'elle est utilisée comme engrais, elle peut améliorer la croissance et la productivité des cultures (**Faricha et al., 2012**).

Ainsi qu'elle présente d'importants avantages environnementaux. Elle est capable de bioaccumuler des métaux lourds comme le plomb, et le cuivre. *Azolla pinnata* peut être utilisée comme biofertilisant en raison de sa teneur élevée en azote, phosphore, potassium et matière organique (**Roger, 1993**). Elle peut éliminer efficacement les nutriments comme l'ammoniac et le phosphate des eaux usées de l'aquaculture grâce à la phytoremédiation (**Ariffin, 2019**).

Cela améliore la qualité de l'eau en augmentant les niveaux d'oxygène dissous. De plus, la relation symbiotique d'*Azolla pinnata* avec la cyanobactérie fixatrice d'azote *Anabaena azollae* lui permet de fixer l'azote atmosphérique, ce qui en fait une source durable d'azote pour la croissance des plantes (**Faricha et al., 2012**).

PARTIE 2

EXPERIMENTATION

CHAPITRE 1

MATERIEL ET METHODES

Chapitre 1

Matériel et méthodes

3.1 Objectif de l'étude

La recherche des sources alternatives, végétales couramment utilisées a été l'objet de plusieurs études afin de limiter l'utilisation des ressources classiques qui coûtent chers (céréales, tourteaux de soja...), parmi ces ressources se trouvent *Azolla pinnata*. C'est dans ce sens que s'inscrit notre étude qui a pour objectif d'évaluer l'effet de la supplémentation d'*Azolla pinnata* dans l'alimentation de la caille, durant la phase finition, sur la qualité de la viande (pH, taux d'humidité, cendres totales, protéines, lipides et minéraux).

3.2 Matériel

3.2.1 Animaux

Un élevage de quatre lots de la caille Japonaise (*Coturnix japonica*) a été réalisé chez un éleveur dans la Wilaya de Boumerdes.

3.2.2 Aliments

Des régimes alimentaires de la phase de finition ont été formulés pour couvrir les besoins alimentaires de la caille durant cette phase. Les régimes alimentaires comportent le maïs, tourteau de soja, son de blé, CMV, phosphate bicalcique et calcaire et *Azolla pinnata*. Les régimes alimentaires sont :

Finition témoin

Finition comportant 2,5 % *Azolla* sèche.

Finition comportant 5 % *Azolla* sèche.

Finition comportant *Azolla* fraîche.

3.2.3 Autre matériel

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

3.3 Déroulement des travaux expérimentaux

Les analyses physico-chimiques et alimentaire de la viande ont été réalisées au niveau de laboratoire de zootechnie de département de biotechnologie et agro-écologie université Blida 1, laboratoire de l'institut des sciences et techniques appliquées université Blida 1, laboratoire de génie chimie université Blida 1 et centre de recherche en analyses physico-chimiques de Bousmail. Ce travail a été réalisé entre le mois de Mars et le mois de Juin 2024.

3.4 Détermination de la valeur alimentaire de la viande de la caille japonaise

3.4.1 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 de viande ou de produit à base de viande.

A partir d'un échantillon représentatif de 200 g de viande, une quantité suffisante est Homogénéisée deux fois en utilisant un hachoir de viande. 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 5**).

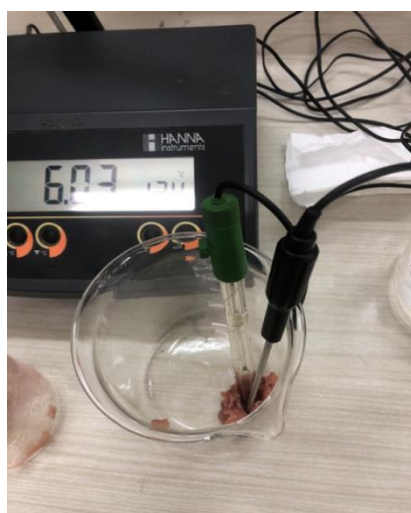


Figure 5 : Détermination du pH de la viande de la caille (Original, 2024)

3.4.2 Humidité

Le taux d'humidité de la viande a été déterminé par une méthode gravimétrique en déshydratant l'échantillon dans une étuve. Une prise d'essai de 5 à 6 gramme a été placée dans un creuset en porcelaine préalablement séché et pesé puis laissée déshydrater pendant 16 à 18 heures dans une étuve à 100 à 102 °C. Après le refroidissement du creuset dans le dessiccateur pendant 45 min la matière sèche restante est alors pesée (**Figure 6**) (**AOAC 2006 ; CLAFLIN, 2013**).

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)



Figure 6: Les échantillons de la viande de la caille après séchage (**Originale, 2024**)

3.4.3 Cendres totales (AOAC 920.153)

Le taux en cendres totales de la viande a été déterminé par une méthode gravimétrique en calcinant l'échantillon dans un four à moufle. Une prise d'essai de 2 à 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 3 heures à 550 °C (**Figure 7**). Après le refroidissement des creusets dans le dessiccateur, les cendres totales sont pesés 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 7 : Les échantillons de la viande de la caille après calcination au four à moufle (**Originale, 2024**)

3.4.4 Protéines brutes

La méthode de Kjeldahl est basée sur la transformation de l'azote organique en 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 d'un catalyseur constitué de 15 g de K_2SO_4 , 1,5g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Un gramme de viande est introduit dans un matras de 250 ml avec le catalyseur et 20 ml d'acide sulfurique concentré (96 à 98 %) et 5 ml de peroxyde d'hydrogène (30 %) (**Figure 8**). 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 50 ml d'eau distillée et 70 ml d'une solution de NaOH à 32 %.

Distiller le mélange et récupérer le distillat dans 30 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 la viande en utilisant la formule suivante :

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

Où :

P : teneur en protéines (%).

V1 : volume de H_2SO_4 en ml nécessaire pour titrer l'échantillon.

V0 : volume de H_2SO_4 en ml nécessaire pour titrer le blanc.

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

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

m : masse de l'échantillon (g).

6,25 : facteur protéique.



Figure 8 : Minéralisation des échantillons de la viande de la caille (Originale, 2024)

3.4.5 Lipides totaux (FOLCH et al., 1957 citée par AL-SAYED MAHMOUD, 2007).

Le dosage des lipides totaux par la méthode de **FOLCH et al. (1957)** consiste à une extraction à froid des lipides par un mélange de solvant chloroforme/méthanol (2/1 ; V/V). L'addition d'une solution de NaCl 0,7 % permet la séparation des phases. La phase supérieure constituée de méthanol et d'eau, contient les composés hydrophiles (glucides et protéines) dont la dissolution est favorisée par la présence de sel, tandis que les lipides sont dissous dans la phase organique inférieure. La pesée du ballon contenant l'extrait lipidique après évaporation du solvant permet de calculer la teneur en lipide exprimée en g par 100g d'échantillon .

Environ 50 g de viande sont mélangés avec 200 ml chloroforme et 100 ml méthanol dans un mixeur pendant 2 minutes. Le mélange est filtré ensuite sous aspiration sur un verre fritté n° 3. On ajoute environ 200 ml de mélange de solvant chloroforme : méthanol (2 :1, v :v) sur le résidu pour assurer l'extraction de la totalité des lipides. Le filtrat est transféré dans une ampoule à décanter (forte agitation puis 2 heures de décantation) avec un ajout de 0,2 volume de solution de NaCl à 0,7 % à raison de 1 volume de NaCl pour 4 volumes de filtrat. La présence d'une émulsion peut être possible. Dans ce cas nous ajoutons quelque goutte d'éthanol.

Après séparation de deux phases, la phase inférieure est récupérée dans un ballon taré, puis le solvant est évaporé dans l'évaporateur rotatif à 50 °C pour obtenir la masse de lipides (moyenne de trois répétitions). Le pourcentage des lipides totaux peut être déterminé par la formule suivante :

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

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

P1 : poids du ballon vide (g).

P : prise d'essai (g).

3.4.6 Minéraux (Na, Ca, K et P)

3.4.6.1 Sodium, calcium et potassium

❖ Minéralisation des échantillons

- Mettez 2 à 5 grammes de l'échantillon dans un creuset ;
- Introduire le creuset dans le four de calcination (550 °C) pendant 3 h jusqu'à l'obtention des cendres blanchâtres ;
- Ajouter 10 ml de HNO₃ à 20 % dans chaque creuset ;
- Chauffer 5 min par plaque chauffante à 100 °C ;
- Filtrer par papier filtre et compléter avec l'eau distillée jusqu'à 100 ml ;
- Conserver la solution minérale jusqu'à l'utilisation.

❖ Préparation des gammes d'étalonnage

- Préparer des solutions mères de sodium, de potassium et de calcium dans de l'eau distillée.
- Préparer des gammes des solutions filles allant de 0 à 1,4 mg/l (**Annexe 2**).

❖ Dosage

Le dosage de sodium, calcium et potassium a été réalisé par ICP-OES (Instrument : Analytik jena PQ 9000 #13-5850D-AU291) (**Annexe 3**). Les teneurs en Na, K et Ca ont été calculées en se référant à la courbe d'étalonnage de chaque élément (Annexe 2).

3.4.6.2 Dosage du phosphore

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

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

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

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

3.5 Analyses statistiques

Les résultats des analyses ont été exprimés en moyenne $\pm$ SEM (standard error of mean) de trois mesures. Les droites d'étalonnage sont calculées par la méthode de la régression linéaire en utilisant l'Excel. La différence significative entre les différents résultats a été déterminée par l'analyse de la variance ANOVA one-way suivie par le test de Tukey pour les comparaisons multiples avec un risque d'erreur α fixé à 5 %. L'analyse statistique a été conduite par le Graph Pad Prism 7 statistics program.

CHAPITRE 2

RESULTATS ET

DISCUSSION

Chapitre 2

Résultats et discussion

Dans ce chapitre nous présentons l'ensemble des résultats des analyses alimentaires des cuisses et des filets de la caille des groupes témoin et expérimentaux sous forme de tableaux et d'histogrammes.

4.1. pH

Les valeurs de pH de viande dépendaient du glycogène contenu dans les muscles et les réserves de glycogène sont fortement influencées par l'activité locomotrice et la période d'abattage (**Genchev et al., 2008**).

Les valeurs du pH de la viande de cuisses et de filets de la caille des groupes témoin et expérimentaux sont représentées dans le tableau 15.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs du pH des cuisses (6,67 à 6,86) sont supérieures à celles des filets (5,86 à 5,99).

Nous n'avons pas observé une grande différence entre les valeurs du pH entre le groupe témoin et les groupes expérimentaux recevant l'*Azolla*.

Tableau 15 : pH de la viande de la caille de groupes témoin et expérimentaux

Echan	5 % <i>Azolla</i>		2,5 % <i>Azolla</i>		Témoin		<i>Azolla</i> fraîche	
	Filet	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet	Cuisses
pH	5,99±0,04	6,67±0,02	5,99±0,04	6,85±0,02	5,86±0,02	6,72±0,02	5,9±0,01	6,86±0,2

Résultats de 3 répétitions ±SEM

Nous constatons que les valeurs de pH des filets enregistrées dans notre étude sont légèrement inférieures à celles évoquées par **Genchev et al. (2008)** soit 6,12 à 6,23 pour les filets. En revanche, ces auteurs ont trouvé un intervalle du pH des cuisses (6,23 à 6,31) inférieure que le nôtre.

Dans leur étude **Lukanov et al. (2023)** ont rapporté un intervalle de pH de 5,9 à 6,6 au niveau des cuisses et de 5,15 à 8,18 pour les filets de la caille.

Nos résultats de pH des deux parties étudiées de la carcasse de la caille (cuisses, filets) sont supérieurs en comparaison avec ceux de **DosSantos et al. (2020)** à savoir (5,49 à 5,60).

4.2 Humidité

D'après les résultats de l'humidité de la viande de la caille représentés dans le tableau 16 il apparaît que les taux d'humidité des cuisses sont significativement ($p < 0,05$) supérieurs à ceux des filets.

Le taux d'humidité de cuisses de cailles alimentées par un aliment contenant 2,5% d'*Azolla* est le plus élevé soit 77,1%. Il n'y a pas une différence significative ($p > 0,05$) entre le taux d'humidité du contrôle et des lots expérimentaux. En revanche, nous n'avons pas observé une différence ($p > 0,05$) de taux d'humidité entre les filets de cailles alimentées par un aliment contrôle et les autres aliments expérimentaux (5 % *Azolla* et *Azolla* fraîche).

Tableau 16 : Taux d'humidité (%) de la viande de la caille

Echan	Témoin		2,5% <i>Azolla</i>		5% <i>Azolla</i>		<i>Azolla</i> fraîche	
Parties	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet
H%	75,7±0,51 AB	72,9±0,56 C	77,1±0,38 A	73,3±0,18 C	75,9±0,47 AB	73,5±0,38 C	75,3±0,11 B	72,9±0,47 C

Résultats de 3 répétitions ±SEM

A, B, C des lettres différentes dans la même ligne indiquent une différence significative

Nos résultats de taux d'humidité des filets sont très proches à ceux de **Kokoszynski et al. (2024)** soit 71,09 à 72,89 % pour les filets de la caille. Par contre, les taux d'humidité des cuisses dans notre étude sont supérieurs à ceux évoqué par ces auteurs.

4.3 Cendres totales

Les résultats des cendres totales sont représentés dans le tableau 17. Ces résultats montrent que les cailles qui reçoivent une alimentation à base d'*Azolla* fraîche marque des teneurs légèrement ($p>0,05$) plus élevées en cendres totales au niveau des deux parties (cuisses, filet).

Les teneurs en cendres totales entre les différentes parties de la carcasse et les différents groupes de la caille sont proches soient 0,87 à 1,10 % pour les cuisses et 1,4 à 1,73 % pour les filets.

Nous avons observé une différence significative ($p<0,05$) uniquement entre la cuisse de groupe contrôle et celle de groupe alimenté par 5 % alors que pour le filet il n'y a pas une différence significative ($p>0,05$).

Nous avons constaté qu'il y a une différence significative ($p<0,05$) entre les taux des cendres des files et des cuisses.

Tableau 17 : Taux de cendres totales (%) de la viande de la caille

Echan	Témoin		2,5% <i>Azolla</i>		5% <i>Azolla</i>		<i>Azolla</i> fraîche	
Parties	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet	Cuisses	Filet
CT %	1,07±0,11 BD	1,40±0,13 ABC	0,87±0,09 D	1,53±0,18 AB	1,03±0,16 CD	1,47±0,11 ABC	1,10±0,07 BD	1,73±0,04 A

Résultats de 3 répétitions $\pm$ SEM

A, B, C,D des lettres différentes dans la même ligne indiquent une différence significative

Nos résultats ne rejoignent pas ceux de **Lukanov et al. (2023)** qui ont signalé un taux de cendres totales élevées au niveau de cuisse que de filet. Les taux de cendres totales enregistrés par ces auteurs (1,23 à 1,34 % au niveau de cuisse et 2,13 à 2,33 % au niveau de filet) sont supérieurs aux taux trouvés dans notre étude.

Le contenu en cendre totale obtenus au niveau de cuisse et de filet dans notre étude est proche par rapport aux résultats trouvé par **Genchev et al. (2008)**.

4.4 Protéines

La figure 09 représente les taux en protéines dans différentes parties de la viande de la caille. Après la lecture de ces résultats on note que le taux de protéine est élevé au niveau des filets par rapport aux cuisses avec une différence significative ($p < 0,05$).

Les filets de cailles qui ont reçus un aliment avec 2,5% d'*Azolla* ont marqué le taux protéines le plus élevée (24,5 %) en comparaison avec les autres lots ($p < 0,05$). En revanche, les cuisses des cailles recevant un aliment contrôle ont le taux de protéine le plus faible soit 17,5 %

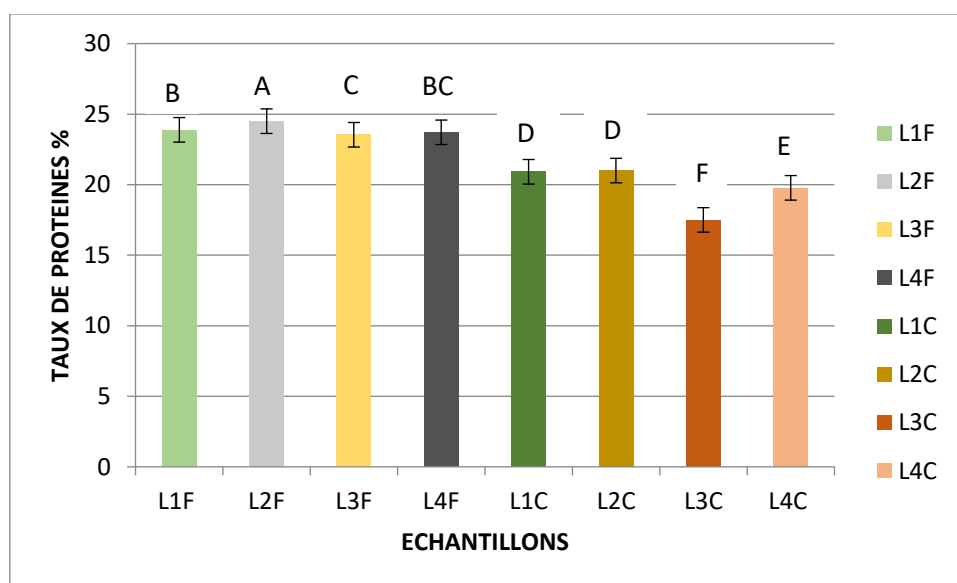


Figure 09 : Taux de protéines de différentes parties de la viande de la caille

L1F: filet lot 5% *Azolla*, L2F: filet lot 2,5% *Azolla*, L3F: filet lot témoin, L4F: filet lot *Azolla* fraîche. L1C: cuisse lot 5% *Azolla*, L2C: cuisse lot 2,5 % *Azolla*, L3C: cuisse lot témoin, L4C: cuisse lot *Azolla* fraîche.

A, B, C, D, E, des lettres différentes entre les différents groupes et parties indiquent une différence significative

Les teneurs en protéines de filets des cailles évoquées par **Kokoszynski et al. (2024)** soient 22,66 à 23,72 % sont proches à nos résultats. Ces auteurs ont trouvé des taux en protéines 20,11 à 20,44 % dans les cuisses.

Les taux de protéines de filets enregistrés dans notre étude sont relativement proches aux résultats des analyses de **Genchev et al. (2008)** soit 22,23 à 23,38 %. Les teneurs en protéines dans les cuisses de la caille sont entre 20,49 et 20,91 % (**Genchev et al., 2008**).

Nos résultats sont en accord avec les résultats de **Lukanov et al. (2023)** qui ont mentionnée un taux de protéine élevée au niveau de filet qu'au niveau de cuisse . ils ont révélée un taux de protéine de cuisse proche à nôtre taux de cuisse de lot témoin (17,77 à 18,75 %). Contrairement, le taux de protéine au niveau de filet de nos résultats sont supérieur à ceux de **Lukanov el al. (2023)** soit 19,75 à 21,6 %.

D'après les résultats de taux de protéines (26,2 à 23,5 %) de **Quaresma et al. (2022)** nous constatons que nous avons obtenus des résultats similaires.

4.5 Matière grasse

L'observation des résultats de la figure 10. de taux de matière grasse révèle que les taux de matière grasse dans les cuisses sont supérieurs ($p < 0,05$) à ceux des filets.

Les taux de matière grasse de cuisse et de filet enregistré par le groupe témoin sont supérieurs ($p < 0,05$) par rapport à ceux des groupes expérimentaux.

Le taux de matière grasse le plus faible est donné par le filet et cuisse de groupe alimenté par 2,5 % Azolla.

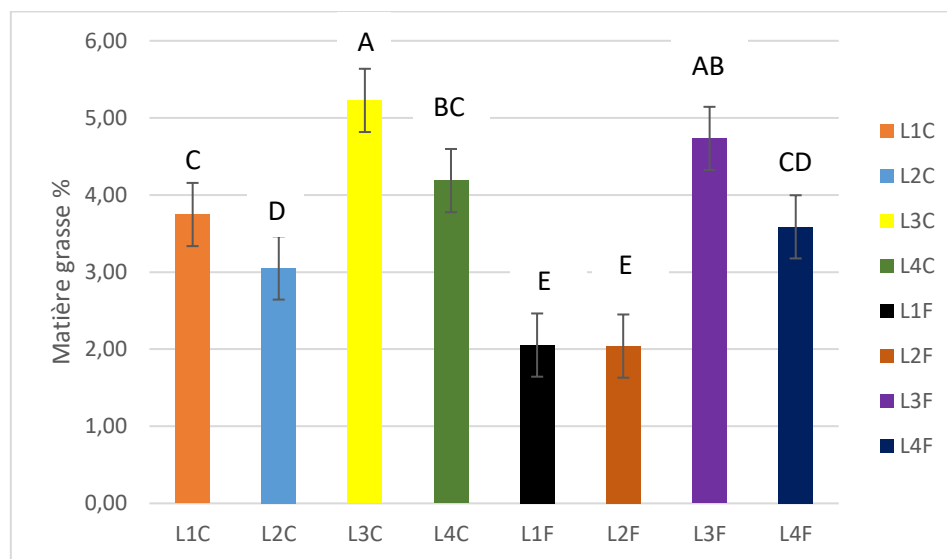


Figure 10 : Taux de la matière grasse dans la viande de la caille (%)

L1F: filet lot 5% Azolla, L2F: filet lot 2,5% Azolla, L3F: filet lot témoin, L4F: filet lot Azolla fraîche. L1C: cuisse lot 5% Azolla, L2C: cuisse lot 2,5 % Azolla, L3C: cuisse lot témoin, L4C: cuisse lot Azolla fraîche.

A, B, C, D, E des lettres différentes entre les différents groupes et parties indiquent une différence significative

Nos résultats sont en concordance avec ceux de **Kokoszynski et al. (2024)** qui ont enregistré des taux de matière grasse plus élevés dans les cuisses que dans les filets de la caille. Ces mêmes auteurs ont trouvé des taux de matière grasse dans le filet plus faibles que les nôtres (1,28 à 2,45 %). Les résultats de la matière grasse des cuisses dans notre étude sont inclus dans l'intervalle des résultats publiés par **Kokoszynski et al. (2024)** à savoir 2,21 à 4,99 %.

Genchev et al. (2008) ont apporté que les cuisses contiennent le taux de matière grasse le plus élevé à savoir (3,26 à 3,39 %). Ils ont également signalé un taux de matière grasse faible au niveau de filet (2,21 à 2,75 %) mais en comparaison avec nos résultats nous avons trouvé des taux plus élevés par rapport à ceux de **Genchev et al. (2008)**.

De même **Lukanov et al. (2023)** ont rapporté des taux de matière grasse dans le filet 2,72 à 6,53 % comparables à nos résultats. Les résultats de matière grasse de cuisse enregistrés dans notre étude sont très proches à ceux de **Lukanov et al. (2023)** à savoir (3,19 à 5,26 %).

En revanche, les résultats de taux de matière grasse des cuisses et filets cités par **Quaresma et al. (2022)** sont très élevés par rapport aux résultats obtenus dans notre études soit un taux de 8,4 à 8,7 %.

4.6 Pertes à la décongélation

La figure 11 représente les résultats des pertes à la décongélation des cuisses de la caille. Après la lecture de ces résultats on note que les pertes à la décongélation sont élevées au niveau de cuisses de contrôle et de lot recevant un aliment contenant Azolla fraîche ($p>0,05$) par apport aux cuisses des autres lots ($p<0,05$).

Les cuisses de cailles qui ont reçus des aliments contenant 5 % et 2,5 % d'Azolla ont enregistré les mêmes valeurs.

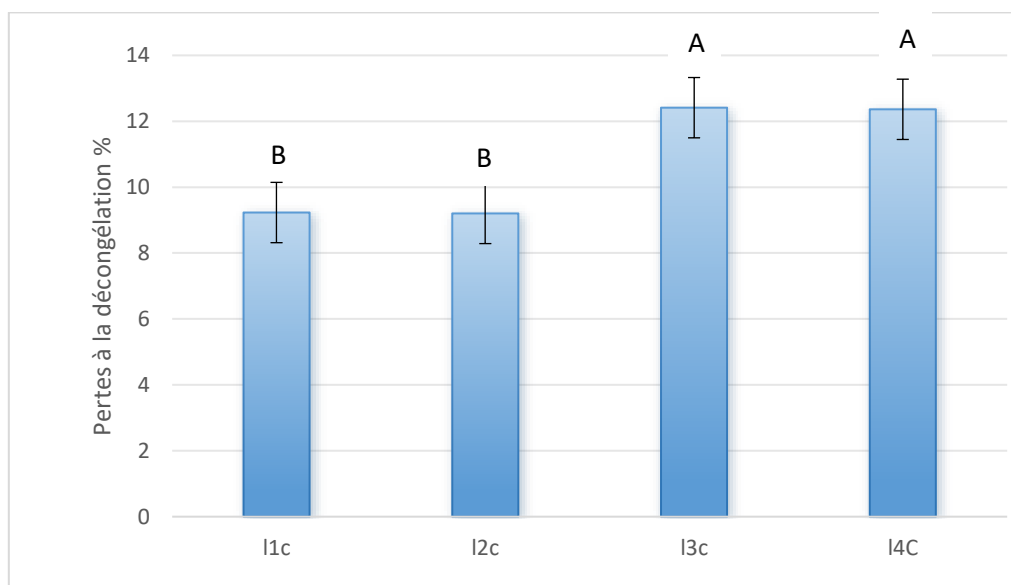


Figure 11 : Pertes à la décongélation cuisses de la caille (%)

L1C: cuisse lot 5% Azolla, L2C: cuisse lot 2,5 % Azolla, L3C: cuisse lot témoin, L4C: cuisse lot Azolla fraîche. A, B, C, D, E des lettres différentes entre les différents groupes et parties indiquent une différence significative

Selon les résultats de la figure 12, on observe que les filets de cailles qui ont reçus un aliment avec 2,5 % d'Azolla ont marqué la valeur de pertes la plus élevée (9,22 %) en comparaison avec les autres lots. En revanche, les cailles recevant un aliment avec 5 % d'Azolla ont la valeur la plus faible soit 5,46 % ($p<0,05$).

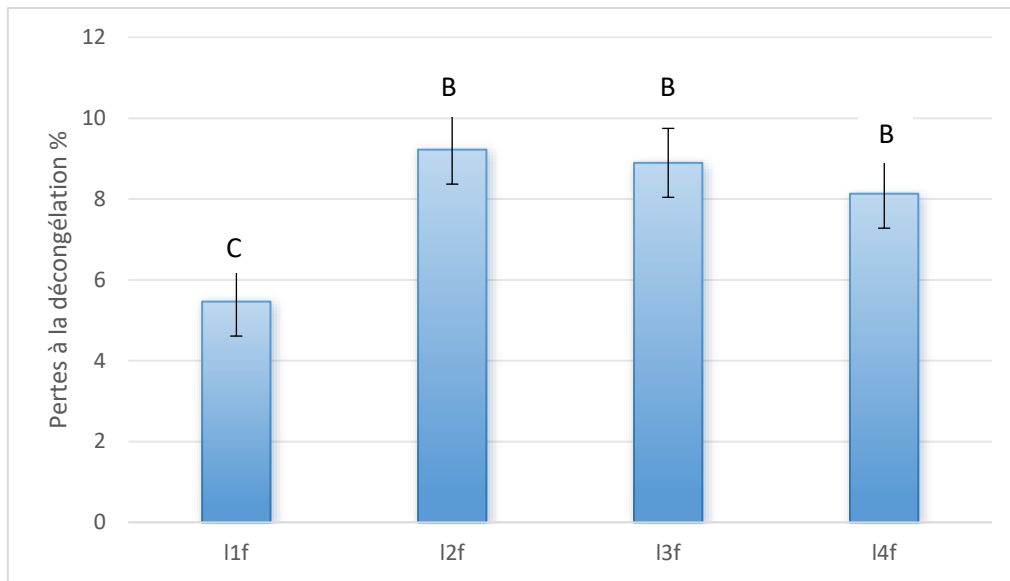


Figure 12 : Pertes à la décongélation des filets de la caille (%)

L1F: filet lot 5% Azolla, L2F: filet lot 2,5% Azolla, L3F: filet lot témoin, L4F: filet lot Azolla fraîche. B, C, des lettres différentes entre les différents groupes et parties indiquent une différence significative

4.7 Pertes à la cuisson

L'observation des résultats de la figure 13 des pertes à la cuisson des cuisses de la caille révèle que les pertes à la cuisson enregistrées par le groupe de cailles recevant Azolla fraîche sont supérieurs par rapport à ceux des autres groupes mais il n'y a pas une différence significative entre eux ($p > 0,05$) par contre il y a une différence significative entre le contrôle et les autres groupes ($p < 0,05$).

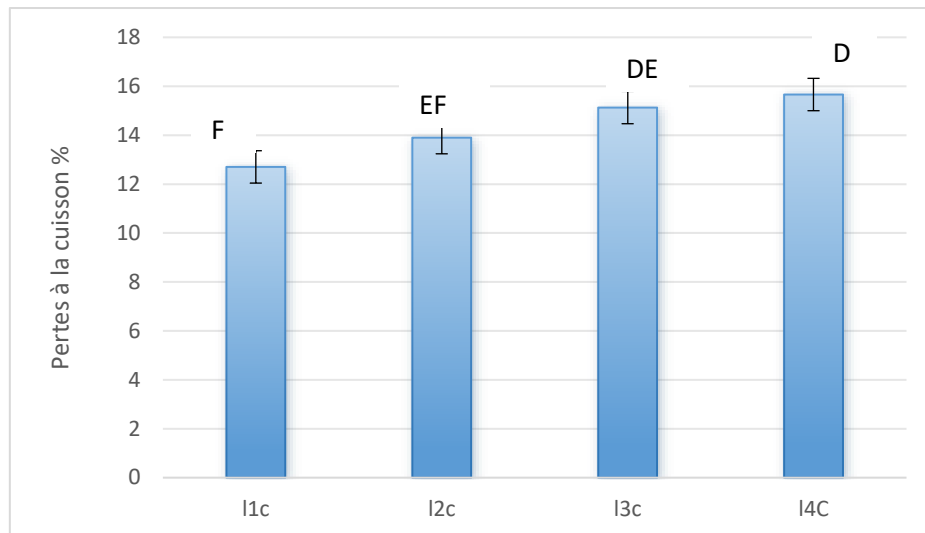


Figure 13 : Pertes à la cuisson cuisses de la caille (%)

L1C: cuisse lot 5% Azolla, L2C: cuisse lot 2,5 % Azolla, L3C: cuisse lot témoin, L4C: cuisse lot Azolla fraîche. D, E, F des lettres différentes entre les différents groupes et parties indiquent une différence significative

Les valeurs des pertes à la cuisson de la viande de filets de la caille des groupes témoin et expérimentaux sont représentées dans la figure 14. Les résultats obtenus montrent que les valeurs des pertes des groupes de cailles qui ont reçu un aliment témoin et un aliment contenant Azolla fraîche (26,85 et 26,35 %) sont supérieures à celles des autres filets ($p < 0,05$).

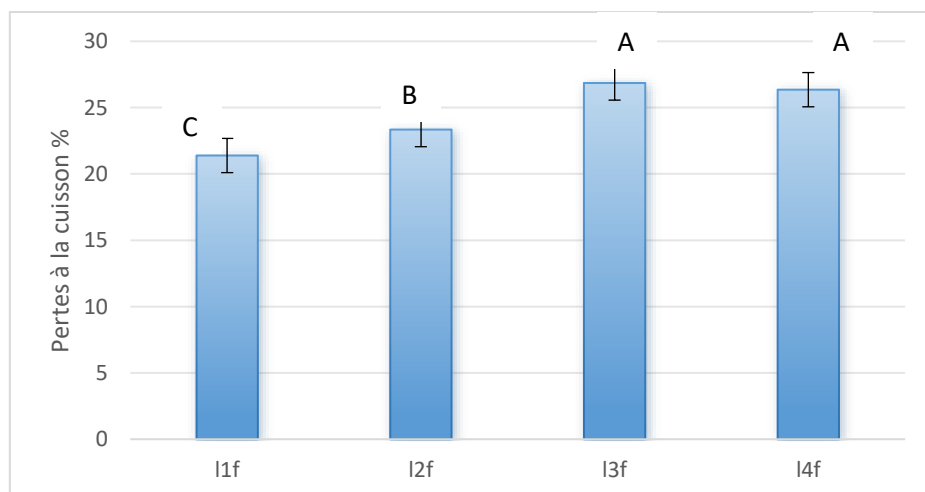


Figure 14 : Pertes à la cuisson filets de la caille (%)

L1F: filet lot 5% Azolla, L2F: filet lot 2,5% Azolla, L3F: filet lot témoin, L4F: filet lot Azolla fraîche. A, B, C, des lettres différentes entre les différents groupes et parties indiquent une différence significative

4.8 Teneurs en sodium, potassium et calcium

Après la lecture des résultats de la figure 15 nous constatons que la teneur en calcium est la plus élevée au niveau des deux parties étudiées par rapport à la teneur en potassium et sodium à savoir 171,4 à 185,2 mg/100g pour les cuisses et 169,66 à 172,28 mg/100g pour les filets.

La teneur en calcium de cuisse des cailles recevant un aliment à base de 5 % d'*Azolla* sèche est la plus élevée alors que pour le filet la teneur le plus élevé est enregistrée par le lot recevant l'*Azolla* fraîche.

Les filets de lot des cailles de qui ont reçu *Azolla* fraîche indiquent une teneur en potassium supérieur par rapport aux autres. En revanche, les cuisses de ce même lot ont la faible teneur en potassium et la teneur la plus élevée est signalée par le lot des cailles recevant 2,5% d'*Azolla* sèche.

Les cailles nourries par un aliments avec 5% d'*Azolla* contient la teneur la plus faible en sodium au niveau de filet et la teneur la plus élevée au niveau des cuisses.

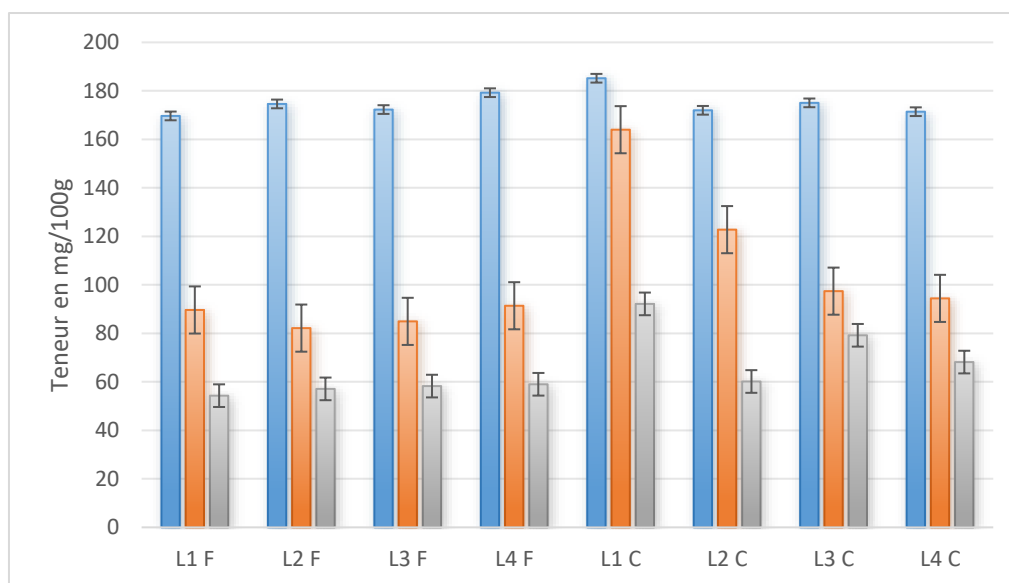


Figure 15 : Teneurs en sodium, potassium et calcium dans les cuisses et les filets de la caille (mg/100g)

L1F: filet lot 5% *Azolla*, L2F: filet lot 2,5% *Azolla*, L3F: filet lot témoin, L4F: filet lot *Azolla* fraîche. L1C: cuisse lot 5% *Azolla*, L2C: cuisse lot 2,5 % *Azolla*, L3C: cuisse lot témoin, L4C: cuisse lot *Azolla* fraîche.

Les résultats de **lukanove et al. (2023)** révèlent que les cuisses possèdent les teneurs en potassium les plus élevées soit 105 à 281,2 mg/100g ce qui est comparable avec nos résultats.

Les teneurs en potassium obtenues dans notre étude sont supérieures aux résultats évoqués par **khalifa et al. (2016)** à savoir 56,42 à 75,75 mg/100g.

L'étude de **Lonita et al. (2024)** qui consiste à comparer la teneur en potassium dans la viande de la caille avec celle de poulet et de canard montre que la viande des cailles a une teneur élevée par rapport aux autres (216 contre 189 et 209 mg/100g respectivement).

Par contre, les teneurs en potassium obtenus au niveau des cuisses et des filets dans notre étude sont élevées en comparaison avec celles évoquées par **Genchev et al. (2022)** qui ont indiqué des teneurs allant de 40,2 à 69 mg/100g au niveau des filets et 61 à 67 mg/100g au niveau des cuisses.

En revanche, les résultats des teneurs en potassium obtenus par **Quarismo et al. (2022)** sont élevées par rapport à nos résultats à savoir 523,36 à 579,8 mg/100g.

Les teneurs en sodium de cuisses et de filets affichées dans notre travail sont plus élevées par rapport à ceux de **lukanove et al. (2023)** à savoir 24,45 à 41,32 pour les filets et 19,73 à 28,94 mg/100g cuisses.

Selon **Lonita et al. (2024)** la viande de la caille comporte moins de sodium (53 mg/100g) par rapport à la viande de poulet et de canard (70 et 63 mg/100g respectivement).

En comparant nos résultats des teneurs en calcium des filets et des cuisses de la caille avec les résultats obtenus par **KHalifa et al. (2016)** qui ont indiqués des teneurs de 41,12 à 55,47 mg/100g, on remarque que les nôtres sont largement supérieures.

Par contre nos résultats de la teneur en calcium des cuisses et des filets sont inclus dans l'intervalle des résultats évoqués par **Quarismo et al. (2022)** à savoir 180 à 211 mg/100g.

4.9 Teneurs en phosphore

La figure 16 représente les résultats des teneurs en phosphore dans les cuisses et les filets des cailles des lots témoin et expérimentaux. D'après les résultats de ce graphe on peut dire que les teneurs pour les filets sont de 279,733 à 363,377 mg/100g alors que pour les cuisses sont de 178,622 à 312,266 mg/100g. Alors les teneurs les plus élevées du phosphore sont marquées au niveau des filets.

Le teneur en phosphore enregistrée au niveau de filet du lot alimenté avec 5 % d'*Azolla* est la plus importante (363,377 mg/100g) par rapport aux autres lots. Les cuisses de ce même lot contiennent la teneur la plus élevée en phosphore soit (312,266 mg/100g).

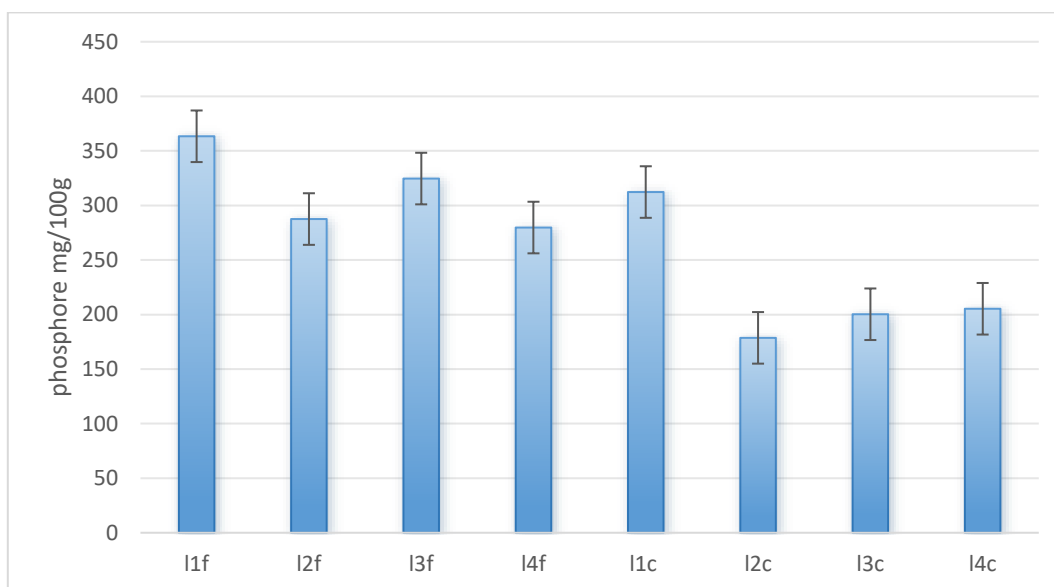


Figure 16 : Teneurs en phosphore dans les cuisses et les filets de la caille (mg/100g)

L1F: filet lot 5% *Azolla*, L2F: filet lot 2,5% *Azolla*, L3F: filet lot témoin, L4F: filet lot *Azolla* fraîche. L1C: cuisse lot 5% *Azolla*, L2C: cuisse lot 2,5 % *Azolla*, L3C: cuisse lot témoin, L4C: cuisse lot *Azolla* fraîche.

Nos résultats de la teneur en phosphore dans les cuisses et les filets de la caille sont en désaccord avec ceux de **Lukanove et al.(2023)** qui ont évoqué des résultats faibles entre 97,89 et 165,26 mg/100 g.

Dans une autre étude conduite par **Quarisma et al. (2022)** les teneurs en phosphore sont de 319 à 329,3 mg/100g.

Selon **Lonita et al. (2024)**, la teneur en phosphore dans la viande de la caille (275 mg/100g) est plus importante que dans la viande de poulet et de canard (147 et 139 mg/100g).

CONCLUSION

Conclusion

En conclusion de ce travail de fin d'étude, notre recherche a été très enrichissante, elle nous a apporté une méthodologie de travail avec les différentes étapes de recherche et d'analyse. Nous avons évalué l'impact de l'incorporation d'une fougère aquatique dans l'alimentation des cailles japonaises comme ressource alimentaire locale afin de diminuer le coût de l'alimentation sur la qualité physico-chimique et alimentaire de la viande.

Le pH, les protéines, la matière grasse, l'humidité, les cendres totales, les pertes à la décongélation, les pertes à la cuisson et les minéraux (Na, Ca, K et P) ont été déterminés dans les cuisses et les filets des lots des cailles recevant un aliment du contrôle et les aliments expérimentaux.

Les résultats obtenus montrent que :

- Les valeurs du pH des cuisses (6,67 à 6,86) sont supérieures à celles des filets (5,86 à 5,99).
- Les filets de lot réservant un aliment à 2,5 % d'*Azolla* marquent le taux de protéine le plus élevé (24,5 %) contrairement aux filets de contrôle soit (17,5 %).
- Nos résultats révèlent que les cuisses sont plus grasses que les filets et le taux de matière grasse dans le lot de contrôle sont supérieurs par rapport à ceux des groupes expérimentaux soit 5,23 %.
- Le lot 2 à base de 2,5% d'*Azolla* a enregistré une valeur élevée de Ca dans les cuisses et aussi une teneur de phosphore élevée (363,377 mg/100g) au niveau de filet. En revanche, dans le même lot le sodium a enregistré une valeur faible au niveau de filet.

Nous pouvons dire que l'*Azolla* fraîche ou sèche peut être incorporée dans l'alimentation de la caille sans effet néfaste sur la qualité de la viande.

En perspective, il est souhaitable de tester d'autres concentrations d'*Azolla* dans l'alimentation de la caille et de faire des analyses plus approfondies sur la viande issue.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

1. ABDELATTY M., MANDOUH S., MOHAMED S., BUSATO O., BADR M., BIONAZ A., ELOLIMY M.M.A., MOUSTAFA O.A.A., FARID A.K., AL-MOKADDEM., 2021. Azolla leaf meal at 5% of the diet improves growth performance, intestinal morphology and p70S6K1 activation, and affects caecal microbiot in broiler chicken. *Animal*, Vol.15, pp.100-362.
2. ANA L., 2017. Comportement ingestion du mouton.
3. ARIFFIN F.D., 2019. Capacité de phytoremédiation par *Azolla pinnata* dans le traitement des eaux usées aquacoles.
4. ASUMING-BREMPONG S., 2018. Improving the Nitrogen Mineralization of Dried *Azolla pinnata*, *West African Journal of Applied Ecology*. Vol. 13.p.2.
5. ALI A., PONNAMPALAM E.N., PUSHPAKUMARA G., COTTRELL J.J., SULERIA H A., DUNSHEA ., 2021. Cinnamon: A natural feed additive for poultry health and production a review. *Animals*, 11(7). p.3.
6. BERRAMA Z., 2007. Caractérisation zootechnique de paramètres de la caille japonaise. Mémoire de magistère, ENSV(EX-ENV), El-harrache,146p.
7. BOURGOGNE., 2019. CAILLES DE CHAIR Une maîtrise nécessaire de l'élevage à la vente.p.53.
8. BAYKALIR Y., ASLAN S., 2020. Phenotypic correlations between egg quality traits, albumen pH and ovalbumin levels in four varieties of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 10(3), pp.069-075.
9. BROW N., 2021. *Azolla pinata*. *Int. J. Biol. Chem. Sci*,Vol.17,No.1, pp 13-27.
10. 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 (*Cortunix japonica*). Université de Tissemsilt. 83p
11. BORIS N., 2023. Bisoumacaille. <https://bisoumacaille.fr/tout-sur-la-caille-du-japon/>
12. CUMBER R., 2020. Comportement de l'azolla (*Azolla spp.*) dans différentes conditions ambiantes et comportementales.
13. CHELLAMUTHU S., 2021. Dry Azolla Based Feed Formulation for Fresh Water carp. *Proceedings of the First International Conference on Combinatorial and Optimization*.

<http://dx.doi.org/10.4108/eai.7-12-2021.2314519>

14. DJALLALI M. 2003. La coturniculture. Mémoire de master, ENSV(ex-ENV), El Harrach, p,80.
15. DAHOUDA M., TOLÉBA S-S., SENOU M., YOUSAO A.K.I., HAMBUCKERS A., HORNICK J.L., 2009. Les ressources alimentaires non-conventionnelles utilisables pour la production aviaire en Afrique : valeurs nutritionnelles et contraintes. Ann. Méd. Vét.153 : 5-21.
16. DOS SANTOS T.C., GATES R.S., TINOCO I.F., ESTRADA M., CHIZZOTTI M., 2020. Meat quality traits of European quails reared under different conditions of temperature and air velocity. Poultry science, 99(2), pp. 848–856
17. ECHAROUX E., 2024. Usbek rica récupéré sur: <https://usbeketrica.com/fr/observations/l-azolla-une-fougere-meconnue-pourrait-etre-tout-a-la-fois-l-aliment-l-engrais-et-le-biocarburant-du-futur>
18. SOMAN D., 2018. Bioremediation of municipal sewage water with *Azolla microphylla*. Int. J. Adv. Res. 6(5), 101-10.
19. FARICHA R.N., Endang Dewi Masithah dan A., Shofy M., 2012. The effect of *Azolla pinata* fertilizer concentration in *Spirulina platensis*. Journal of Coastal and Ocean Sciences, Vol.1, No.1, pp 27-33.
20. FIOGBE C.C., 2014. Valorisation de *Azolla spp Moringa oleifera*, son de riz et de coproduits de volaille et de poisson en alimentation animale. Journal of Applied Biosciences, Vol.81, pp7277 – 7289.
21. FARADILLAH F., 2015. Substitution of Soybean Meal with *Indigofera zollingeriana* Top Leaf Meal on Egg Quality of *Cortunix cortunix japonica*. Media Peternakan, Vol.38, No.3, pp 192-197.
22. FEEDIPEDIA., 2019. Animal Feed Resources Information System - INRAE CIRAD AFZ and FAO Login in: <https://www.feedipedia.orgde/>.
23. GENCHEV A., MIHAYLOVA G., RIBARSKI S., PAVLOV A., KABAKCHIEV M., 2008. Meat quality and composition in japanese quails, Trakia Journal of Sciences, Vol.6, No. 4, pp 72-82.
24. GÖKÇE D., 2008. Algae as an Indicator of Water Quality. Algae as an Indicator of Water Quality. InTech, vol.5, No.4, pp 23-27.
25. GIRIDHAR K., RAJENDRAN D., 2013. Cultivation and usage of azolla as supplemental feed for dairy cattle. In: Value addition of feed and fodder for dairy cattle, NIANP, pp 32-34.

26. GECGEL U., Yilmaz I., Gurcan E-S., Karasu S., Dulger G-C., 2015. Comparison of Fatty Acid Composition between Female and Male Japanese Quail Meats. *Journal of Chemistry*, 8.
27. HOSSEINI F., MEHRAEI HAMZEKOLAEI M-H., ZAMANI MOGHADDAM A-K., ARABHA H., TOHIDIFAR S-S., 2017. Normal ultrasonographic images of reproductive organs of female Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*): a laboratory animal model. *Laboratory animals*, 51(1), pp.75-84.
28. HUTU L., 2020. L'élevage et l'exploitation des cailles
29. INSTITUT TECHNIQUE DE PETIT ELEVAGE (ITPE)., 1988. Guide d'élevage de la caille.
30. INSTITUT TECHNIQUE DES ELEVAGES ALGERIEN (ITELV), 2012. Guide d'élevage de la caille, 14 p. (p. 12). Disponible en ligne <https://www.doc-developpement>
31. KERN M-A., 2007. L'azolla une technique d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote. *Agriculture et développement rural*. vol.2, pp54-55.
32. KENZI M.Z., WAHAJ M., 2015. Étude sur l'alimentation du poulet de chair à base du maïs. Master en agronomie. Université Abou-Baker Belkadi. Tlemcen. p.16.
33. KHALIFA A.H., OMAR M-B., HUSSEIN S-M., ABDEL-MBDY H.E., 2016. Nutritional Value of Farmed and Wild Quail Meats. *Assiut J.Agric .Sci.* 47 (6-1), pp. 58-71.
34. KUMAR G., CHANDER H., 2017. Study on the Potential of *Azolla pinnata* as livestock Feed Supplement for climate Change adaptation and Mitigation. *Asian J. Adv. Basic Sci.* 5(2), pp.65- 68.
35. KRISHI G.W., 2020. Effect of Fresh Azolla as a Feed Supplementation on Milk Yield and Fat Percentage in Dairy Cattle. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 9 n °11.
36. KOKOSZYNSKI D., ŻOCHOWSKA-KUJAWSKA J., KOTOWICZ M., WEGNER M, ARPASOVA HE., WLODARCZYK K, SALEH M., CEBULSKA A., 2024. Carcass characteristics, physicochemical traits, texture and microstructure of young and spent quails meat. Pre-proof, vol.103. 15.
37. LARBIER M., LECLERCQ B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles, Institut national de la recherche agronomique, p.274.

38. LUTHFIYAH S.F., 2019. Testez l'effet de la farine d'azolla (*Anabaena azollae*) avec des mesures différentes alimentations sur la croissance et survie du poisson srikandi tila (*Oreochromis niloticus*). Print ISSN,p.1997-8631.
39. LETERRIER C., LEMARCHAND J., CORNILLEAU F., RICHARD S., CALANDREAU L., RIVIERE S., 2020. Un modèle pour des études dans de nombreuses disciplines. STAL Sciences et Techniques de l'Animal de Laboratoire, pp. 46-51.
40. LUKANOV H., PAVLOVA I., GENCHEV A, PENKOV D., PELTEKOV A, MIHAYLOVA G., 2023. Quality and composition of meat in different productive types of domestic quail. Center European agriculture, 24(2), pp.322-339.
41. LONITA L., POPESCU-MICLOSANU E., ROIBUC., CUSTURA I., 2024. Bibliographical study regarding the quails' meat quality in comparison to the chicken and duck meat. Lucrări Științifice, vol. 56. p. 224-228.
42. MEZIANE Z., LONGO-HAMOUDA F.H., BOUDOUMA D., KACI A., 2013. Quelles alternatives aux couples « tourteau de soja – maïs » de l'aliment poulet de chair en Algérie. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger.
43. MONDRY R., 2016. L'élevage des cailles en zone tropical.
44. MARIE-CLAIRE D.G., ERNEST Z.N., BRAHIMA K., KOFFI K., 2020, Effets de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* sur la croissance, la ponte et la qualité des œufs de la caille *Coturnix japonica* en élevage en Côte d'Ivoire.
45. NASR M.A., EL-SHIMAA M.R., HUSSEIN M., 2017. Performance, carcass traits, meat quality and amino acid profile of different Japanese quails strains. journal of food science and technology 54(13), pp 4189–4196
46. PAPAPOLYMEROU G., 2018. Growing *Chlorella vulgaris* into bioreactors set in solar greenhouse towards biofuel: Nutrient. 5.
47. ROSSIAN., 1977. Les œufs qui guérissent l'allergie revue science et vie n°716.
48. REYNAUD P.A., 1985. *Azolla pinnata* var. *africana* : de la biologie moléculaire aux applications agronomiques = from molecular biology to use as a green manure. ResearchGate.
49. Roger P.A., 1993. Les biofertilisants fixateurs d'azote en riziculture: potentialités, facteurs limitant et perspectives d'utilisation. pp 327-348 in M. Raunet (ed.) Bas-fond et riziculture. Cirad CA BP 5035 34032, Montpellier cedex, France. 518 pages

50. RAJESH S., 2020. Production of Azolla as livestock feed supplement in India. Pashudhan prepare. Indian Dairy & Poultry industry. 43p.
51. QUARESMA M.A., ANTUNES I.C., GIL FERREIRA B., PARADA A., ELIAS A., BARROS M., SANTOS C., PARTIDARIO A., MOURATO M., ROSEIRO L.C., 2022 .The composition of the lipid, protein and mineral fractions of quail breast meat obtained from wild and farmed specimens of common quail (*Coturnix coturnix*) and farmed Japanese quail (*Coturnix japonica domestica*). Vol101.
52. SMALL E., DARBYSHIRE S.J., 2011. Blossoming treasures of biodiversity. 35. Mosquito Ferns (azolla species) – tiny ‘super plants. Biodiversity, vol. 12 (2), pp. 119–128.
53. SHAMNA T.P., PEETHAMBARN P.A., JALALUDEEN A., LEO J., MUHAMMED A.M., 2013. Broiler characteristic of japonica of different levels of diet substitution. Animal Science Reporter, vol.7, pp.75-80.
54. SHARMA A., 2024. Unravelling the Phytochemical and Pharmacognosy Contour of traditional Medicinal Plant: Pterocarpus Marsupium Roxb.
55. SEBASTIAN A., DEEP A.P., NARASIMHA VARA P.M., 2021. Azolla Farming for Sustainable Environmental Remediation. In: Narasimha Vara Prasad M. Handbook of Assisted and Amendment-Enhanced Sustainable Remediation Technology. First Edition. ED John Wiley Sons ed. PP. 517-532.
56. SUBBIAH G., 2017. Azolla Cultivation in Generating Income for Farm. Azolla Cultivation in Generating Income for Farm, p. 85.
57. TRAN G., Lebas F., 2015. Timothy grass (*Phleum pratense*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/16886>
58. TRAN G., 2015. Azolla. Feedipedia, INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://www.feedipedia.org/node/565>
59. TAVANI R., CAMARGO G-W., 2022. Bioprocess for mass production and feed utilization of *Azolla pinnata* in aquaculture ponds: a perspective of bioeconomy and eco-friendly technology for small farms. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, vol.16, pp.1-9.
60. UFA., 2024. La consommation quotidienne de la caille récupéré sur : <https://www.ufa.ch/fr/infos-techniques/alimentation-descailles> .
61. URBAIN J., 2017. Nature scope récupéré : <https://www.naturoscope.net/catalogue/article-207-coturnix-japonica>

62. Van Hove C., LEJEUNE A., 2002. The *Azolla anabaena* symbiosis. In: Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy, 102 (1) pp 23-26.
63. ZUBRIA L., 2021. Valeurs nutritionnelles et caloriques de la caille.
https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=caille._nu.2021.

TABLE DES MATIERES

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION	1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01 : ELEVAGE DE LA CAILLE

1.1. Origine et description	2
1.1.1 Origine	2
1.1.2 Description	2
1.2 Classification	3
1.3 Elevage de la caille	4
1.3.1 Conditions d'élevage	4
1.3.1.1 Température	4
1.3.1.2 Humidité	5
1.3.1.3 Eclairage	5
1.3.1.4 Ventilation	5
1.3.2 Bâtiment d'élevage	6
1.4 Alimentation	6
1.4.1 Besoin alimentaire	7
1.4.2 matières premières utilisées dans l'alimentation des cailles	9
1.5 Conduite d'élevage	11
1.5.1 La reproduction des cailles	11
1.5.2 Incubation	11
1.5.3 Mirage	12
1.5.4 Eclosion	12
1.5.5 Engraissement	14
1.6 Valeur alimentaire de la viande de la caille	14
1.7 Valeur alimentaire des œufs de la caille	15
1.8 Elevage de la caille dans le monde et en Algérie	16

CHAPITRE 02 : *AZOLLA PINNATA* DANS L'ALIMENTATION DU BETAIL

2.1 Historique et description	17
2.1.1 Historique	17
2.1.2 Description	18
2.2 Taxonomie	19
2.3 Cycle de reproduction	19
2.4 Culture	19
2.5 Composition chimique	20
2.6 Azolla dans l'alimentation du bétail	23
2.6.1 Bovin	23
2.6.2 Ovin	23
2.6.3 Lapin	23
2.6.4 Volaille	23
2.6.4.1 Poulet de chair	23
2.6.4.2 Poule pondeuse	24
2.6.4.3 Caille japonaise (<i>Coturnix japonica</i>).....	24
2.6.5 Poisson	24
2.7 Intérêt d'azolla	25

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 01 : MATERIEL ET METHODES

3.1. Objectif de l'étude	26
3.2. Matériel	26
3.2.1. Animaux	26
3.2.2. Aliment	26
3.2.3. Autre matériel	27
3.3. Déroulement des travaux expérimentaux	27
3.4. Détermination de la valeur alimentaire de la viande de la caille japonaise	27
3.4.1. PH (JORA,2006)	27
3.4.2. Humidité	28
3.4.3. Cendres totales (AOAC 920.153)	29
3.4.4. Protéines brutes	30
3.4.5. Lipides totaux (FOLCH et al.,1957 citée par AL-SAYED MAHMOUD,2007)	31
3.4.6. Minéraux(Na, Ca, K et P)	32
3.4.6.1. Sodium, calcium et potassium	32
3.4.6.2. Dosage du phosphore	33

3.5. Analyse statistique	33
--------------------------------	----

CHAPITRE 02 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. pH	34
4.2. Humidité	35
4.3. Cendres totales	36
4.4. Protéines	37
4.5. Matière grasse	38
4.6. Pertes la décongélation	40
4.7. Pertes à la cuisson	41
4.8. Teneurs en sodium, potassium et calcium	43
4.9. Teneurs en phosphore	45
CONCLUSION	47

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

TABLE DES MATIERES

ANNEXS

ANNEXS

Annexe 1

Matériels	Marque	Réactifs	Marque
1. La haute 2. L'étuve 3. l'agitateur magnétique 4. Spectrophotomètre 5. Bain-marie 6. Balance de précision 7. pH-mètre 8. Four a moufle 9. Dessiccateur	1.Kotterman 2.Heraeus Memmert 3.ROBAX 4.UV- 1800 5. Memmert 6. KERN 440-33N 7. HANNA Instruments 8. Heraeus	1. Acide nitrique 2. Acide borique 3. Acide sulfurique 4. Chloroforme 5. Ethanol 6. Methanol 7. Eau distillée 8. Rouge de méthyle 9. K ₂ SO ₄ 10. CuSO ₄ 11. HCl 12. NaCl 13. HClO ₄ 14. D'ammonium molybdate 15. molybdate vanadate 16. potassium phosphate Monobasique	1. Panrac 2. Gpr rectapur 3. Honeywell fluka 4. Biochem chemopharma 5. Vwr chemicals 6. Vwr prolabo 8. Biochem chemopharma 9. Biochem chemopharma 10. Biochem chemopharma 11. Biochem chemopharma 12. Biochem chemopharma 13. Biochem chemopharma 14.p r s 15.vwr prolabo 16. Vwr prolabo

Annexe 2

Bousmail le, 20/06/2024

BULLETIN D'ANALYSE ICP-OES

Nom ou raison sociale du client : SPA CRAPC EXPERTISE

Nature de l'échantillon : VIANDE

Nombre d'échantillon : 8

Nombre de lecture : 01

Analyste : Rafik

Technique : ICP-OES

Instrument :

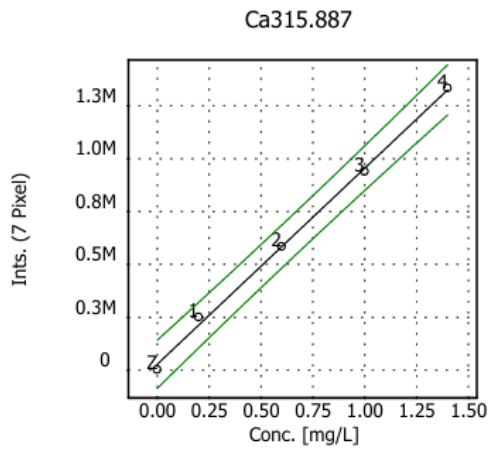
Analytik jena PQ 9000 #13-5850D-AU291

Méthode : Dosage des éléments suivants :

Calcium Ca, Potassium K, Sodium Na,

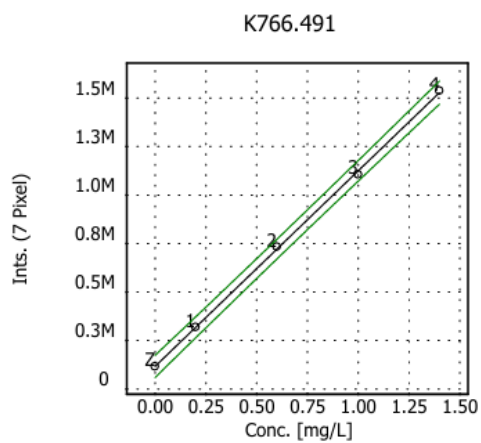
N	Standard	Concentration Mg/L
1	Ca ZERO CAL	0
2	Ca ETALON 1	0.2
3	Ca ETALON 2	0.6
4	Ca ETALON 3	1
5	Ca ETALON 4	1.4

R =0.998946953



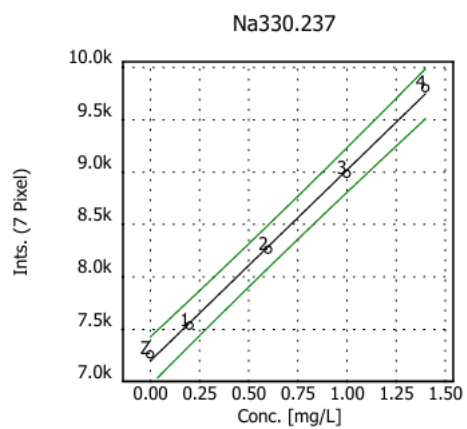
N	Standard	Concentration Mg/L
1	K ZERO CAL	0
2	K ETALON 1	0.2
3	K ETALON 2	0.6
4	K ETALON 3	1
5	K ETALON 4	1.4

R=0.999776143



N	Standard	Concentration Mg/L
1	Na ZERO CAL	0
2	Na ETALON 1	0.2
3	Na ETALON 2	0.6
4	Na ETALON 3	1
5	Na ETALON 4	1.4

R = 0.998890154



Annexe 3

Protocole (CRAPC, 2024) de dosage de sodium, calcium et potassium

1.1.1 Mise en marche et optimisation du spectromètre

- 1- Mettre l'appareil à On.
- 2- Appuyer sur AA-BG pour choisir la méthode d'analyse par absorption atomique avec correction automatique du bruit de fond.
- 3- Choisir la cathode creuse correspondant à l'analyte qui est dosé et l'installer dans le compartiment à la droite de l'appareil.
- 4- Appuyer sur Param Entry. À Lamp Current écrire la valeur du courant indiquée sur la lampe et appuyer sur Enter.
- 5- Appuyer sur Energy.
- 6- Ajuster le détecteur à la longueur d'onde d'absorption de l'élément à doser à l'aide de la roulette située à gauche de l'appareil. La longueur d'onde est ajustée lorsque l'énergie affichée est maximale. Lorsque CTS est plus grand que 125, appuyer sur Gain.
- 7- Ajuster la largeur de la fente spectrale à 0,2 ou 0,7 nm selon l'élément à doser.
- 8- À l'aide des vis d'ajustements de la cathode creuse, ajuster cette dernière de manière à avoir le maximum d'énergie.

1.2. Ajustement du brûleur

- 1- Ajuster la hauteur du brûleur à environ 5 mm sous le faisceau de la lampe.
- 2- À l'aide des deux vis d'ajustement (translation horizontale et rotation) situées sous

le brûleur, ajuster la fente du brûleur de manière parallèle avec le faisceau de la cathode.

1.2.2 Mise en marche du brûleur acétylène-air

1- Ouvrir les valves derrière l'appareil et ajuster la pression d'air à 60 lbs/po².

2- Ouvrir les valves du cylindre d'acétylène et ajuster la pression à la sortie du cylindre à 14lbs/po².

. Ne pas dépasser 15 lbs/po².

. Vérifier que la pression du cylindre est supérieure à 75.lbs/po².

3- Placer le bouton Oxidant à la position Air.

4- À l'aide des vis situées sous les manomètres, ajuster le débit d'acétylène, Fuel à 2,5 (sous labille), et le débit d'air, Oxidant à 4.

5- Appuyer sur Ignite.

1.2.3 Analyses

1- Appuyer sur Cont et faire aspirer de l'eau déionisée. Appuyer sur A/Z.

2- Faire aspirer un étalon du domaine linéaire.

3- Ajuster le brûleur pour avoir le maximum d'absorbance. Prendre garde de ne pas obstruer le faisceau de la lampe avec le brûleur.

4- Appuyer sur Data.

5- Faire aspirer de l'eau déionisée et appuyer sur A/Z.

6- Faire aspirer l'étalon le plus dilué et appuyer sur Read. Noter l'absorbance et l'écart-type.

7- Répéter l'étape précédente pour tous les étalons.

8- Faire aspirer l'échantillon et appuyer sur Read. Noter l'absorbance et l'écart-type.

1.3 Courbe de calibration

À partir des lectures d'absorbance pour les étalons, tracer un graphique nuage de Points (utiliser un chiffrier ex. EXCEL) de l'absorbance en fonction de la concentration. Tracer la courbe de régression linéaire et obtenir l'équation de la régression ainsi que le coefficient de détermination. L'équation de régression représente la courbe de calibration de l'appareil.

1.4 Dosage des échantillons

À l'aide de la courbe de calibration déterminer les concentrations des éléments à doser. Pour les échantillons dilués, multiplier la concentration déterminée par le facteur de dilution.