

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد
ابن باديس مستغانم
كلية علوم الطبيعة و
الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mlle. Benessalah Batoul

Mlle. Hadjeba chaimaa

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité: Production Animale

Thème

Traitement biologique des eaux usées par L'Azolla et son incorporation
dans l'alimentation des volailles cas de Fayoumi (Mostaganem).

Soutenue publiquement le 20/07/2023

Devant le Jury

Président	M. Chaalal Abdelmalek	MCA	UNIV. Mostaganem
Examineur	M. Mazouz Mustapha	MAA	UNIV. Mostaganem
Encadrant	M. Benabdelmoumene Djilali	MCA	UNIV. Mostaganem
Co-Encadrant	M. Benguennouna Noureddine	Doctorant	UNIV. Mostaganem

La thématique a été réalisée au niveau du laboratoire de physiologie animale appliquée Université-Mostaganem

Projet soutenu dans le cadre de l'arrêté 1275

Année universitaire: 2022/2023

Remercîment

Tout d'abord, nous tenons à exprimer nos reconnaissances à M. BENEABDELMOUMENE, notre encadrant, pour sa patience, son expertise et ses précieux conseils qui ont été d'une aide inestimable tout au long de ce parcours académique.

Nous tenons également à exprimer nos profondes reconnaissances à M. NOUREDDINE, notre coencadrant, dont l'expertise pratique et les suggestions avisées ont grandement enrichi notre travail.

Au nom de toute l'équipe, on tient à vous exprimer Monsieur CHAFEL Abdelmalik nos sincères remerciements pour votre rôle essentiel en tant que Président du jury lors de notre récente évaluation. Votre expertise, votre engagement et votre soutien ont grandement contribué à la réussite de notre projet.

Votre précieuse contribution en tant que président du jury a été d'une importance capitale pour évaluer notre travail et nous guider vers l'excellence. Votre professionnalisme, votre rigueur et votre perspicacité ont été d'une grande valeur pour nous, et nous sommes extrêmement reconnaissants de vous avoir eu comme leader et évaluateur.

Nous souhaitons également exprimer nos plus sincères remerciements à Monsieur Mazouz Mustapha, l'examinateur qui a pris le temps d'évaluer minutieusement notre projet. Votre expertise approfondie et vos commentaires constructifs nous ont permis de mieux comprendre les forces et les faiblesses de notre travail, et nous avons grandement apprécié votre implication.

Nous aimerions également adresser nos chaleureux remerciements à Monsieur Moussa Mohamed, représentant de l'incubateur. Votre soutien continu et vos conseils avisés ont été d'une importance cruciale tout au long de notre parcours. Votre présence en tant que représentant de l'incubateur a renforcé notre confiance dans notre projet et nous a encouragés à poursuivre nos efforts avec détermination. Nos vifs remerciements vont également à Monsieur Boumehed Samir, représentant du partenaire sociéconomique, pour votre soutien inestimable. Votre expertise et votre appui ont joué un rôle essentiel dans notre démarche et ont contribué à la pertinence et à la viabilité de notre projet. Nous sommes profondément reconnaissants pour votre collaboration fructueuse. Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers Monsieur Medjahed Mostefa, le responsable de l'incubateur. Votre soutien constant, vos conseils avisés et votre engagement en faveur de notre réussite ont été une source d'inspiration pour nous. Nous vous remercions sincèrement pour votre disponibilité et votre accompagnement tout au long de notre parcours. Nous tenons à remercier chaleureusement tous les enseignants du département d'Agronomie pour leur dévouement à notre égard. Votre expertise et votre encadrement ont joué un rôle essentiel dans notre formation et ont contribué à notre préparation en vue de cette évaluation. Vos précieux enseignements continueront de nous guider dans notre

cheminement professionnel. Nous ne pouvons pas oublier de remercier le personnel de la ferme agricole ITA pour leur soutien inconditionnel. Votre travail acharné et votre dévouement ont été essentiels pour la réalisation de notre projet. Nous sommes reconnaissants de votre disponibilité, de votre expertise et de votre engagement à nos côtés. Enfin, nous tenons à exprimer nos remerciements aux membres du laboratoire de physiologie animale appliquée de l'Université de Mostaganem. Votre contribution scientifique et vos conseils précieux ont été d'une valeur inestimable pour notre projet. Votre engagement envers l'avancement de la recherche et votre générosité dans le partage de connaissances nous ont inspirés et encouragés.

Nous sommes conscients que notre réussite est le fruit d'un travail d'équipe exceptionnel et de l'appui inconditionnel de toutes les personnes mentionnées ci-dessus. Votre soutien a été essentiel dans la concrétisation de notre projet, et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Enfin, nous souhaitons adresser nos remerciements chaleureux à tous les membres du groupe de recherche du laboratoire de physiologie animale appliquée. Pour votre collaboration, échanges constructifs et votre camaraderie ont créé un environnement stimulant et bienveillant

Dédicace

À nous-mêmes, binôme extraordinaire, pour avoir uni nos forces et bravé les obstacles avec détermination, et ainsi avoir rendu nos rêves plus atteignables que jamais ! Merci pour cette incroyable aventure main dans la main.

À nos mères AZIZA et FATIMA et notre père AHMED, qui ont été notre roc, notre inspiration et notre soutien inébranlable tout au long de ce parcours d'études.

À nos sœurs aimantes, BOUCHRA, NABILA, MARWA et DOUA qui ont toujours été là pour nous encourager et nous remonter le moral quand nous en avons besoin.

À nos frères HAMZA et MOHAMMED pour leur soutien malgré la distance qui nous sépare.

À nos camarades de classe, avec qui nous avons partagé des moments inoubliables, des rires, des pleurs et des défis, qui ont rendu cette étape de notre vie si spéciale et enrichissante.

Enfin, un immense merci à tous ceux qui nous ont encouragés et soutenus tout au long de cette période d'études. Vos mots d'encouragement, vos sourires et votre présence ont été une source inestimable de motivation pour atteindre nos objectifs.

Résumé

Cette recherche présente une étude exhaustive sur l'emploi de l'azolla dans le traitement des eaux usées. Les résultats sont remarquables, montrant un taux de traitement impressionnant de 85% pour la demande biochimique en oxygène (DBO5), 72,87% pour la demande chimique en oxygène (DCO), et une réduction considérable de 96,63% en matières en suspension (MES). De plus, l'usage des eaux usées a conduit à une augmentation significative du contenu protéique de l'azolla, atteignant jusqu'à 27%. Pour approfondir cette recherche, différentes concentrations d'azolla provenant des eaux usées ont été intégrées à l'alimentation des poulets, précisément 5%, 10% et 15%, en parallèle avec des concentrations similaires d'azolla cultivée dans des lots séparés. Les résultats de cette expérience ont été tout simplement exceptionnels, en particulier en ce qui concerne la qualité nutritionnelle de la viande et le gain de poids des poules Fayoumi. Notamment, la concentration de 15% d'azolla issue des eaux usées a donné des résultats hautement significatifs. Il est important de mentionner que même l'azolla provenant des eaux usées a été utilisée comme complément alimentaire à hauteur de 50% avec l'alimentation standard. Cette approche a aussi produit des résultats splendides en termes de contenu lipidique et de gain de poids.

Mots clé : Azolla, eau usée, Fayoumi, traitement, protéine, viande, alimentation.

Summary

This research presents a comprehensive study on the use of azolla in wastewater treatment. The results are remarkable, showing an impressive treatment rate of 85% for biochemical oxygen demand (BOD₅), 72.87% for chemical oxygen demand (COD), and a significant reduction of 96.63% in suspended solids (SS). Moreover, the use of wastewater led to a significant increase in the protein content of azolla, reaching up to 27%. To deepen this research, different concentrations of azolla from wastewater were integrated into chicken feed, specifically 5%, 10%, and 15%, in parallel with similar concentrations of azolla grown in separate batches. The results of this experiment were simply exceptional, particularly in terms of the nutritional quality of the meat and the weight gain of Fayoumi hens. Notably, the concentration of 15% azolla from wastewater yielded highly significant results. It is important to mention that even azolla from wastewater was used as a dietary supplement up to 50% with standard feed. This approach also produced splendid results in terms of lipid content and weight gain.

Keywords: Azolla, wastewater, Fayoumi, treatment, protein, meat, feed.

Liste d'abréviation

DCO : demande chimique en oxygène.

DBO 5: demande biologique en oxygène.

MES : matière en suspension

ONA : office national d'assainissement

MADR : ministère d'agriculture et du développement rural.

Mm : matière minérale

MS : matière sèche.

MO : matière organique

FAO : Food of agriculture organisation.

INRAE : institue national des recherches agricoles.

STEP: station d'épuration.

TCA: l'acide trichloracétique

TBA: acide thiobarbiturique

MDA : malonaldéhyde

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition chimique (g) et valeur énergétique (KJ) pour 100 g de fraction comestible de viande de poulets	13
Tableau 2 : Composition chimique en acide aminé essentiel des protéines de la viande de poulet (g/100g de fraction comestible)	14
Tableau 3 : Teneur en lipides de quelques muscles chez le poulet en pourcentage (%) du poids frais	14
Tableau 4 : Teneur en sels minéraux de la viande de poulet, teneur pour 100g de partie comestible	14
Tableau 05 : Composition élémentaire de différentes céréales	18
Tableau 06 : Composition élémentaire des oléagineux	19
Tableau 07 : Composition élémentaire des oléagineux	21
Tableau 08 : Composition de l'Azolla	32
Tableau 09 : Quantité de nourriture donné et mangé par la volaille locale a divers âges	49
Tableau 10 : Formules des différentes concentrations d'alimentation	51
Tableau 11 : Rendement de la carcasse dans les différentes concentrations d'Azolla	62

Liste de figures

Figure 01: Coq Brahma	7
Figure 02: Race Cou-nu	7
Figure 03: Race Frisé	8
Figure 04 : Poule Fayoumi	10
Figure 05 : vue latérale du tractus digestif du poulet après autopsie	11
Figure 06 : Evolution de l'utilisation des céréales depuis 1983	17
Figure 07 : Culture d'Azolla en aquaponie	25
Figure08 : Azolla filiculoides	27
Figure 09 : Azolla pinnata	27
Figure 10 : Azolla caroniliana	28
Figure 11 : Azolla mexicana	28
Figure 12: Azolla microphylla	29
Figure 13 : Vitesse de croissance d'Azolla pinnata	31
Figure 14 : Situation géographique de la ferme expérimentale de l'ITA – Mostaganem (google map)	36
Figure 15 : Le sol avant la fauche	37
Figure 16 : Le sol après la fauche	37
Figure 17 : Organigramme de la mise en place des bassins	37
Figure 18 : mise en place d'un couvert	38
Figure 19 : mesure des bassins	38
Figure 20 : Forage des bassins	38
Figure 21 : Ajout de l'eau usée dans le bassin	39
Figure 22: la pesée de l'Azolla	40
Figure 23 : l'implantation de l'Azolla	40

Figure 24 : Bassin après la culture d'Azolla	41
Figure 25 : Irrigation des bassins d'Azolla	41
Figure 26 : 4e jour après la culture	42
Figure27 : La première récolte d'azolla	42
Figure28 : La Première récolte d'Azolla	43
Figure29 : La quantité d'Azolla récoltée a du bassin (A)	43
Figure 30 : Séchage d'Azolla	44
Figure 31 : Suivi du rendement d'Azolla	45
Figure 32 : Multiplication d'Azolla	45
Figure 33 : La première récolte du Bassin (B)	46
Figure 34 : La quantité d'Azollas récoltée	46
Figure 35 : Organigramme de séparation des locaux	48
Figure 36 : Variation des poids vifs de la phase de démarrage	58
Figure 37 : Variation des poids vifs de phase de croissance	59
Figure 38 : les variations de poids vif de poule Fayoumi avant l'abattage	61
Figure 39 : Variance du poids de carcasse chez la poule Fayoumi	63
Figure 40 : variation du poids de la cuisse chez la poule Fayoumi	63
Figure 41 : variation du poids du foie chez la poule Fayoumi dans différents régimes alimentaires	64
Figure 42 : Variation du poids du cœur chez la poule Fayoumi	65
Figure43 : variation du poids du gésier chez la poule Fayoumi	65
Figure 44 : variation du poids tissu adipeux chez la poule Fayoumi	66
Figure 45 : Taux de lipide de cuisse et filet	67
Figure 46 : Taux de protéine de cuisse et filet	68
Figure 47 : Taux de Matière sèche de la viande de poule Fayoumi	69

Figure 48 : La teneur en matière minérale des cuisses et filets	70
Figure 49 : Teneur en eau des filets et cuisses	71
Figure 50 : La teneur en matière organique des filets et cuisses	72
Figure 51 : Oxydation des lipides de viande de poule Fayoumi	73
Figure 52 : variation du taux de protéine de l'Azolla	75
Figure 53 : variation du tût de lipide de l'Azolla	76
Figure 54: la variation avant et après le traitement	77

SOMMAIRE

Page de garde	
Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

Introduction **1**

I. Partie bibliographique

Chapitre 1 : Poule locale

1. Poule locale au monde	5
2. Poule locale en Algérie	5
3. Principales races en Algérie	6
A. Race Brahma	6
B. Race Cou nu	7
C. Race Frisé	8
D. Race Fayoumi	9
4. Anatomie du tube digestif des volailles	10
5. Qualité nutritionnelle de la viande de la poule locale	12
➤ Composition chimique de la viande de poulet.	13
a. Protéine	13
b. Lipide	14
c. Glucide	14
d. Minéraux	14

Chapitre 2 : Différents régimes alimentaires

1. Introduction	16
2. Principales céréales utilisées dans l'alimentation animale	17
3. Valeur nutritionnelle des céréales	18
4. Principaux protéagineux et oléagineux dans l'alimentation animale	19
1) Oléagineux	19
2) Protéagineux	20
5. Principal insecte utilisé dans l'alimentation animale	21
6. Principales algues utilisées dans l'alimentation animale	23

Chapitre 3 : Azolla

1. Définition de l'azolla	25
2. Description morphologique	25

3. Taxonomie	26
4. Espèces d'azolla	26
5. Élevage d'azolla	29
6. Composition nutritionnelle de l'azolla	31
7. Utilisation d'azolla	32

Matériels et méthodes

Expérience une

1. Zone d'étude et durée de l'expérience	35
2. Situation géographique et présentation du lieu de l'expérience	35
3. Préparation du terrain	35
4. Déroulement d'élevage	36

Expérience deux

1. Préparation des locaux	
2. Animaux et échantillonnage	48
3. Déroulement d'élevage	49
4. Paramètres zootechniques	51
5. Paramètres pondéraux	52
6. Analyse physico-chimiques Résultats et discussion	
1. Paramètres zootechniques	58
2. Paramètres pondéraux	61
3. Qualité nutritionnelle de la viande	67
4. Azolla	75
5. Traitement des eaux	77

Conclusion	78
-------------------	----

La volaille a été la première viande produite et consommée au monde en 2019, avec 129 millions de tonnes (Mt), devant le porc (109 Mt), le bœuf (70 Mt) et l'agneau (15 Mt). C'est également lui qui affiche la croissance la plus forte : un taux de croissance annuel moyen de 3,3 % depuis 2000, contre 1,4 % pour le porc, 1,5 % pour l'agneau et 0,9 % pour le bœuf. Cette croissance du secteur de la volaille est principalement due à la production de poulet, qui représentait 90 % de la production mondiale en 2019 selon les données de l'**OCDE**, tandis que la production de dinde (5 %) et de canard (4 %) est restée plus modeste, même si elles suivent également une croissance dynamique au cours des 10 dernières années. Les principaux facteurs de succès de la volaille sont le prix attractif, l'absence d'interdits religieux et la facilité de développement de cette production. (**OCDE**, 2019)

En Algérie, comme dans la plupart des pays en voie de développement, une préoccupation majeure depuis l'indépendance est d'essayer de satisfaire les besoins alimentaires des populations, notamment en protéines d'origine animale, or l'élevage traditionnel (ovin et bovin) ne peut répondre à ces besoins. À cause de plusieurs contraintes liées à ce type d'élevage (la grande durée d'élevage, l'insuffisance des fourrages...etc). (**Kirouani**, 2015).

L'aviculture en Algérie a produit 537 240 tonnes de viande blanche et 6,335 milliards d'œufs destinés à la consommation en 2020 (**MADR**, 2021).

La filière avicole travaille actuellement avec des opérateurs privés et publics pour approvisionner les villes en produits avicoles à un coût structurellement dépendant des marchés extérieurs. Selon le **CNIS** (2021), la facture d'importation des intrants avicoles est de 1,5 milliard de dollars. Certaines réalisations ont été faites telles que l'autosuffisance du produit final, l'existence d'infrastructures de production, le savoir-faire local sur le parcours technique. La réémergence de certaines maladies telles que Marek, Coccidiose, Newcastle, Gumboro, etc. tue un grand nombre du cheptel, notamment pendant l'échéance de la pandémie Covid 19. La forte hausse des prix des aliments du bétail due au contexte inflationniste actuel a eu un fort impact sur le marché avicole algérien (manque de viande et de poussins, spéculation, dépassement de 450 dinars/kg) montre une forte fragilité de la filière. (**Kaci**, 2022).

La consommation moyenne algérienne de viande blanche est d'environ 50 000 tonnes par mois. Les indicateurs de consommation de viande blanche en Algérie ne sont pas loin de ceux du monde atteignant 18 kg/personne/an. La consommation moyenne de volaille en Algérie est de 15 kg/personne/an. (**Betraoui**, 2021).

Les poules locales développent souvent une résistance naturelle aux maladies courantes dans leur environnement. Cette résistance aux maladies réduit le besoin d'antibiotiques et d'autres produits chimiques dans le bétail, contribuant à une viande et des œufs plus sains. (**Gupta et al.**, 2021). Les poules locales sont généralement bien adaptées aux conditions climatiques locales. Cette adaptabilité réduit le risque de stress thermique et la mortalité, ce qui améliore la survie et la performance des poules. (**Nguyen et al.**, 2022).

Les poules locales peuvent offrir des opportunités économiques aux petits exploitants agricoles en raison de leurs faibles coûts d'achat initiaux, de leurs besoins alimentaires moins exigeants et de la demande croissante de produits biologiques et locaux (**Patel et al.**, 2023)

Actuellement, les algues ne sont pas largement utilisées dans la production commerciale d'aliments pour animaux à grande échelle. La connaissance détaillée de la valeur nutritionnelle des algues pour l'alimentation fait encore défaut à ce jour, seules quelques études rapportant leur digestibilité *in vitro*, *in situ* ou *in vivo* (**Greenwood et al.**, 1983 ; **Molina et al.**, 2017).

En effet, ils ont été les premiers producteurs d'oxygène et de matière organique, un maillon de base de la chaîne alimentaire, mais aussi les premiers consommateurs de dioxyde de carbone, jouant ainsi un rôle dans la stabilité du climat. Des microalgues à haut rendement avec des taux de croissance élevés bien supérieurs aux plantes terrestres, ainsi que leurs capacités à stocker de grandes quantités de graisses les ont positionnées comme des biocarburants prometteurs de troisième génération. En revanche, ils peuvent produire des molécules telles que des antioxydants, des pigments, des acides gras, des vitamines... (**Asfour**, 2019). La principale préoccupation de la culture des microalgues est la production de molécules à haute valeur ajoutée. Les microalgues sont une source importante des lipides, de protéines, de polysaccharides et de pigments. (**Chanel**, 2016).

Une autre considération importante concerne la disponibilité de l'eau par habitant, qui varie considérablement d'une région à l'autre. Cependant, on constate que sous l'influence de la croissance démographique, elle a diminué dans toutes les régions du monde. Entre 2000 et 2018, l'épuisement des ressources en eau renouvelable interne (IRWR) par habitant était d'environ 20 % au niveau mondial, la différence étant plus prononcée dans les pays où ces ressources sont par habitant qui souffrent le plus, comme l'Afrique subsaharienne. (41 %), Asie centrale (30 %), Asie occidentale (29 %) et Afrique du Nord (26 %). La région avec la plus faible réduction est l'Europe (3 %) (**FAO**, 2022).

L'eau non traitée est rejetée dans le milieu naturel, généralement dans les rivières, les plans d'eau et la mer, qui est la plus forte source de pollution. La raréfaction du précieux liquide qui est devenu l'eau de la planète pour un tiers de l'humanité et la protection de l'environnement signifient que les eaux usées sont traitées de la meilleure manière possible pour être réutilisées pour l'eau potable et les autres activités humaines, notamment l'agriculture. Irrigation, absorbant 70 besoins en eau. Selon ONU-Eau, « aujourd'hui encore, une grande partie des eaux usées est rejetée dans la nature sans être collectée ni traitée. Cela est particulièrement vrai dans les pays à faible revenu, où le traitement des eaux usées est en moyenne de 8, contre 70 dans les pays à revenu élevé. Selon les données présentées par les chercheurs du CRE lors de cette conférence : « L'Algérie compte actuellement 171 stations d'épuration (Step) d'une capacité de 900 millions de m³/an contre seulement 10 en 2000. (EL-WATAN.2023).

Selon Ahmed KETTAB expert et consultant international en matière de gestion de l'eau : depuis près de 20 ans, nous sommes en état de sécheresse. En général en Algérie, au cours des 20 dernières années, la pluviométrie a diminué de 30%", avait-il déclaré en janvier dernier à la radio publique. (ALGÉRIE ÉCO, 2023).

L'une des principales caractéristiques des microalgues est leur capacité à absorber les nutriments présents dans les eaux usées, tels que les nitrates et les phosphates, qui provoquent la croissance d'algues indésirables dans l'écosystème. Les microalgues peuvent donc jouer un rôle essentiel dans la réduction de l'eutrophisation, qui perturbe l'équilibre écologique des rivières et des lacs (Guldhe *et al.*, 2020). En plus d'éliminer les nutriments, les microalgues peuvent également éliminer d'autres polluants organiques présents dans les eaux usées, tels que les métaux lourds, les hydrocarbures et les produits pharmaceutiques.

Objectifs de notre étude

Les objectifs principaux de notre projet sont centrés sur l'incorporation de l'*Azolla* dans l'alimentation animale. Nous visons à améliorer leur régime alimentaire en fournissant une source de nutriments de qualité. Cela peut conduire à une meilleure santé et une croissance optimale des animaux, en particulier de la volaille.

En plus de cela, notre objectif secondaire est de contribuer à l'amélioration globale de l'alimentation animale en Algérie. En introduisant de nouvelles options alimentaires telles que l'*Azolla*, nous cherchons à diversifier les sources de nutriments disponibles pour les animaux.

Cela permettra de réduire la dépendance à l'égard des aliments importés et d'améliorer l'autosuffisance alimentaire du pays.

Enfin, notre objectif tertiaire concerne le traitement des eaux usées par l'Azolla. L'Azolla a la capacité de croître rapidement dans des eaux riches en nutriments, absorbant efficacement les nitrates et les phosphates présents dans les eaux usées.

Partie
bibliographique

Chapitre 1

Poule locale

1. Poule locale au monde

Les poulets domestiques (*Gallus domesticus*) sont des poulets qui se sont adaptés aux conditions environnementales difficiles qui incluent les grands et les petits villages, les systèmes de production biologiques et en plein air. Parfois, ces poulets sont appelés poulets traditionnels, poulets de récupération, poulets de jardin, poulets de village, poulets locaux ou poulets familiaux (**Mahendra et al.**, 2016).

La production avicole indigène représente des systèmes de production qui sont souvent situés dans des zones rurales et servent souvent de référentiels de génotypes avicoles indigènes. Il y a généralement des poules, des coqs, des canards, des oies et des dindes (**Mehdaoui 2010 ; Mahammi et al.**, 2012)

De nombreuses études ont montré que les poulets locaux jouent un rôle clé dans l'amélioration des conditions sociales et économiques de nombreuses communautés rurales. Cependant, le manque de logements, le manque de mécanismes coordonnés de contrôle des maladies, la mauvaise nutrition et le manque de stratégies de conservation sont quelques-uns des défis auxquels sont confrontés les systèmes locaux de production de poulet en Afrique (**Siyaya et al.**, 2013).

Les poules traditionnelles locales ou "poules à bicyclette" n'ont pas pu s'appliquer à la production à grande échelle en raison d'une faible productivité, d'un taux de croissance lente et d'une rentabilité jugée insuffisante (poids vif 900 g à 1300 g), bien que cette race traditionnelle soit prisée pour la qualité de leur viande et de leurs œufs ainsi que pour leur goût distinctif. (**Loukou et al.**, 2019)

Les poulets locaux sont maintenant largement utilisés pour la production de viande, mais de nombreuses personnes utilisent des poulets locaux pour la production d'œufs afin de répondre aux besoins de la communauté en protéines animales (**Zulfanita et Mudawaroch.**, 2019).

Selon certains auteurs (**Weiman et al.**, 2016 ; **Mebanga et al.**, 2020), la production avicole et les produits avicoles locaux sont au centre de nombreux événements de la vie sociale, culturelle, économique, sanitaire et religieuse des populations (rituels de mariage, médecine traditionnelle et maintien de la cohésion sociale dans les communautés traditionnelles grâce aux dons et à l'hospitalité).

2. Poule locale en Algérie

Le fonctionnement de la filière avicole rencontre actuellement certains contraintes qui entravent son développement : Dépendance structurelle vis-à-vis des matières premières (maïs, tourteaux de soja, additifs) et d'autres facteurs de production différents (matériels biologiques, produits vétérinaires), manque de coordination entre les parties. Les entreprises

du secteur ont une meilleure maîtrise des flux, une faible productivité des éléments utilisés dans les entreprises avicoles, il est difficile d'assurer un approvisionnement régulier en produits avicoles aux centres urbains avec une stabilité des prix. Or, compte tenu du rôle important de l'industrie avicole et de la demande croissante des consommateurs, il est nécessaire de développer des stratégies appropriées, dans le cadre d'une organisation interdisciplinaire, pour améliorer la compétitivité de l'industrie (**Kaci**, 2022)

La production de volaille en Algérie a produit 537 240 tonnes de viande blanche et 6,335 milliards d'œufs pour la consommation en 2020 (**MADR**, 2021).

Il existe peu de recherches sur les poules algériennes locales. La caractérisation phénotypique et les études des performances de croissance des poules locales en Kabylie ont été étudiées par **Moula** et ses collaborateurs (2009).

La consommation annuelle de viande de volaille en Algérie est estimée à 6 kilos par habitant par an, pour une production de 342 000 tonnes (**Mahammi et al.**, 2014). Quant aux races locales, exploitées exclusivement dans des élevages traditionnels étendus, elles sont peu connues et regroupées sous le nom commun de DJAJE LAREB (poule arabe) sans aucune information sur la structuration de leur population (**Mahammi**, 2015).

Pendant ce temps, sur le marché algérien, le poulet local est rare quelle que soit l'origine et le prix est plus élevé que le poulet industriel. Sa viande est très appréciée des consommateurs (**Djelil**, 2012).

3. Principales races locales en Algérie

La poule locale se distingue par ses caractéristiques morphologiques, son adaptation aux conditions locales et son patrimoine génétique unique. Selon **Smith et al.** (2018), les poules locales présentent une diversité phénotypique remarquable, avec des variations de taille, de couleur et de forme. Ces caractéristiques sont le résultat de l'évolution sélective dans des environnements spécifiques, ce qui confère à ces poules une résistance accrue aux maladies et aux conditions climatiques difficiles (**Kumari et al.**, 2020).

a. Race Brahma

Le Brahma est l'une des plus grandes races d'origine asiatique élevées aux États-Unis à partir du Cochin (un croisement entre le Cochin et le Maltais Hunter) (**Cattal conservatory**, 2018). Il se caractérise par sa grande taille et sa forme très large. Le corps est charnu et volumineux, la poitrine est large. Petite tête aux sourcils proéminents. Malgré sa croissance lente, le Brahma reste une race appréciée de nombreux éleveurs. Il existe différentes variétés comme le Brahma doré ou argent, le bleu et le blanc. (**Semenuik et Perno**, 2008).

Elle possède un génotype complexe qui lui confère plusieurs traits remarquables. Tout d'abord, la race Brahma se distingue par sa taille imposante, avec des coqs pouvant atteindre jusqu'à 5 kg et des poules jusqu'à 4 kg. Cette caractéristique est attribuée à des gènes de croissance spécifiques (**Smith et al.**, 2019). Un autre trait génétique important de la Brahma est son plumage abondant et luxuriant. Les gènes responsables de cette caractéristique sont liés à la production accrue de plumes et à leur taille généreuse (**Shapiro et al.**, 2013). Le plumage est souvent multicolore, avec des combinaisons de couleurs telles que le noir, le blanc, le bleu et le fauve. Cette diversité de couleurs est attribuée à des variations génétiques spécifiques dans les gènes du pigment (**Rogers et al.**, 2008). En outre, la poule Brahma possède des caractéristiques de tempérament uniques, telles que la docilité et la tolérance au froid. Ces traits sont le résultat d'un ensemble de gènes impliqués dans la régulation du comportement et de la thermorégulation (**Dessi-Fulgheri et al.**, 2003). Ils contribuent à faire de la Brahma une race appréciée pour l'élevage familial et la production d'œufs.



Figure 1 : Poule Brahma (**mon piailé**. 2020).

b. Race Cou nu

La poule cou-nu, également connue sous le nom de poule nue, présente des caractéristiques phénotypiques et génotypiques spécifiques.



Figure 2: Poule cou nu (**Extra poule**. 2019)

➤ **Caractéristique phénotypique de la poule cou-nu**

Plumage : La poule cou-nu se distingue par l'absence de plumage sur certaines parties de son corps, principalement au niveau de la tête et du cou. Cela donne à la peau une apparence lisse et nue (**Karlsson et al.**, 2020).

Régulation thermique : En raison de l'absence de plumage sur la tête et le cou, les poules cou-nu ont une meilleure capacité à réguler leur température corporelle dans des environnements chauds. Cela les rend plus adaptées aux climats chauds et aux températures élevées (**Karlsson et al.**, 2020).

➤ **Caractéristiques génétiques de la poule cou-nu**

Mutation génétique : L'absence de plumage chez les poules cou-nu est le résultat d'une mutation génétique. Cette mutation affecte le développement des plumes, conduisant à l'absence de plumage sur certaines parties du corps (**Karlsson et al.**, 2020).

Gène prolactine : Des études ont identifié que des variations dans le gène prolactine sont associées à l'absence de plumage chez les poules cou-nu (**Carlsson et al.**, 2006).

C. Race frisée

La poule frisée, également connue sous le nom de poule aux plumes frisées ou bouclées, présente des caractéristiques phénotypiques et génotypiques spécifiques.



Figure 3 : Poule Frisé (**Overblog** . 2010)

➤ **Caractéristiques phénotypiques de la poule frisée**

Les poules frisées se distinguent par un plumage frisé ou bouclé. Les plumes sont généralement plus denses et ont une texture ondulée ou en spirale, ce qui leur confère une apparence distinctive (**Guo et al.**, 2019). La frisure du plumage peut varier en intensité d'une poule à l'autre. Certaines poules peuvent présenter un plumage fortement frisé, tandis que d'autres peuvent avoir un plumage légèrement frisé (**Guo et al.**, 2019).

➤ **Caractéristiques génétiques de la poule frisée**

Mutation génétique : La frisure du plumage chez les poules frisées est généralement le résultat d'une mutation génétique qui affecte la structure des plumes. Cette mutation est héritée de manière génétique (**Guo et al.**, 2019). Expression génique : Des études ont identifié des gènes impliqués dans la formation des plumes et la structure du follicule pileux qui sont associés à la frisure du plumage chez les poules frisées (**Guo et al.**, 2019).

D.Race Fayoumi

La race Fayoumi a été introduite dans l'espoir d'une meilleure performance, adaptabilité et résistance aux maladies. Ils sont originaires d'Égypte et sont des variétés résistantes aux maladies particulièrement adaptées aux climats chauds (**Heinrichs**, 2007). Ce sont également de très bons butineurs et, en liberté, ils peuvent gagner leur vie presque à l'état sauvage. Les poules Fayoumi sont de petites pondeuses d'œufs blancs fins. Cette race mûrit rapidement, les poules pondent environ 4 mois et demi après l'éclosion (**Ekarius**, 2007). On sait que les poules pondeuses de Fayoumi produisent environ 250 œufs par an en cas de malnutrition (**Akhtar**, 2007). En raison de ses propriétés sans racine et de sa forte immunité contre les maladies infectieuses, les agriculteurs conservent cette variété dans leurs maisons et leurs fermes (**Rajput et al.**, 2005). Elle a été introduite pour enseigner à l'Université Haramaya et a fait des recherches sur des fermes avicoles en Éthiopie pour développer une race de volaille capable de survivre et de bien performer dans différentes conditions dans les zones rurales. Mais ce n'est pas un bon producteur de viande en raison de sa petite taille. Son poids moyen des œufs est également inférieur à 45,91 g (**Akhtar**, 2007).



Figure 4 : Poule Fayoumi (**the poultry club.** 2023)

➤ **Caractéristiques phénotypiques de la poule Fayoumi**

Plumage : Les poules Fayoumi présentent un plumage principalement noir avec des reflets vert métallique. Certaines variantes peuvent également avoir des motifs de plumage tels que des rayures ou des taches (**Al-Antably et al.**, 2017).

Taille : Les poules Fayoumi sont de taille moyenne, avec un corps compact et bien proportionné (**Hussein et al.**, 2015).

Résistance et adaptation : La poule Fayoumi est réputée pour sa rusticité et sa résistance aux conditions environnementales difficiles, notamment à la chaleur, aux maladies et aux parasites (**Abdel-Moneim et al.**, 2017).

➤ **Caractéristiques génétiques de la poule Fayoumi**

Variabilité génétique : La poule Fayoumi présente une variabilité génétique élevée, ce qui lui confère une capacité d'adaptation et de survie dans des environnements différents (**Kanginakudro et al.**, 2019).

Taux de consanguinité : En raison de l'élevage traditionnel et de la sélection naturelle, les poules Fayoumi ont généralement un taux de consanguinité relativement faible, ce qui contribue à la préservation de leur diversité génétique (**Hussain et al.**, 2015).

4. Anatomie de tube digestif des volailles

-La structure dépend de la nourriture : manger des graines, manger des insectes, manger du poisson, manger de la viande

- Pharynx : la cavité buccale et le larynx sont fusionnés faute de palais mou

- Bec formé de 2 valves : pointu chez les Galliformes et en forme de cuillère en Anseriformes

- Le bec s'use par frottement et se renouvelle sans cesse ; diamant organe d'éclosion utilisé par le poussin pour percer sa coquille

- Le contour du palais mou, formé d'une série de papilles cornées - Choanes, fentes étroites de chaque côté de la cavité buccale -pharyngienne
- Langue dans la forme de bec, suspendu à un appareil hyoïde très mobile
- Glandes salivaires développées chez les oiseaux terrestres, en particulier prédateurs
- Œsophage long et allongé composé de 2 parties : du cou : lombaire et thoracique à l'estomac
- Variation en espèce par espèce : dilatation simple chez ordres d'Anseriformes, dilatation supra crânienne de l'œsophage chez ordres de Galliformes et expansion complète de la paroi chez les Colombiformes (Pigeon boulangier)
- Estomac granivore : complexes et pluriloculaire, possèdent deux compartiments :
- Estomac glandulaire ou proventricule ou ventricule succenturié, simple renflement fusiforme où les aliments ne séjournent pas

Estomac moléculaire :

- Carnivores et Piscivores : simple et monoculaire
- Granivores : complexe et pluriloculaire, possède deux compartiments Estomac glandulaires ou proventricule ou ventricule succenturié, simple renflement fusiforme où les aliments ne séjournent pas

Estomac moléculaire :

- Ou gésier : représente l'estomac mécanique, puissant chez les granivores, formés de 2 muscles principaux et 2 muscles intermédiaires.
- Sa cavité interne est tapissée d'une muqueuse cornée plissée et contient toujours des petits cailloux siliceux (véritables dents broyeuses)

l'intestin

- Développement en rapport avec le régime alimentaire: court chez les oiseaux carnivores, plus longs chez les autres
- Poule : longueur totale 165 à 230 cm, soit 5 à 6 fois la longueur du corps
- Duodénum: forme une grande boucle en 8 avec une branche descendante ventrale gauche et une ascendante dorsale droite
- Loge le pancréas et souvent placé dans une couche de graisse abondante
- Jéjunum : divisé en 2 parties, une proximale (tractus de Meckel), la plus importante et une distale, courte en forme de U (anse supra duodénale)
- Mésentère avec de nombreuses circonvolutions
- Iléon : court et rectiligne, 13 à 18 cm chez la poule
- 6 à 8 plaques de Peyer dont une tonsille caecale
- Caecums : polymorphes, formés de 2 sacs symétriques unis à l'intestin par un méso

- Poule : 12 à 25 cm
- Colon : correspond à la portion comprise entre le débouché des caecums et le cloaque
- Cloaque : ouverture des voies digestives, urinaires et génitales, divisées par 2 plis transversaux en 3 parties :
- Coprodaeum : partie la plus large et la plus profonde, collectent les excréments
- Urodaeum : plus petit, reçoit les 2 uretères et les conduits déférents chez le mâle. Chez la femelle, l'oviducte débouche à gauche uniquement.
- Proctodaeum : sorte de réservoir qui s'ouvre à l'extérieur par l'anus
- Au plafond du cloaque, une cavité se développe, véritable « thymus cloacal » ou bourse de Fabricius; élément lymphoïde transitoire, sa régression et sa transformation en tissu adipeux et fibreux se font vers l'âge de 1 an chez la poule (Tekkouk. 2018).

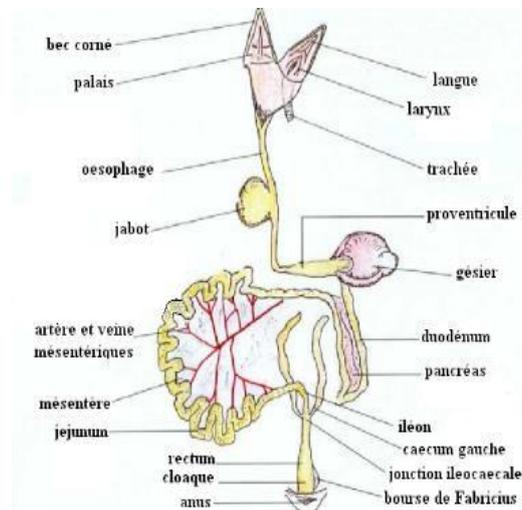


Figure 4 : vue latérale du tractus digestif du poulet après autopsie (Villate. 2001).

5. Qualité nutritionnelle de la viande de poule locale

La viande de la poule locale offre une valeur nutritionnelle exceptionnelle, en fournissant une variété de nutriments essentiels pour une alimentation saine. Tout d'abord, elle est une excellente source de protéines de haute qualité. Selon le Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA), 100 grammes de poulet cuit sans peau fournissent environ 31 grammes de protéines. Les protéines sont essentielles pour la croissance et la réparation des tissus, ainsi que pour la formation des enzymes et des hormones. En plus des protéines, la viande de poule locale est également riche en vitamines B. Elle contient notamment de la vitamine B12, qui est essentielle pour la formation des globules rouges et le bon fonctionnement du système nerveux. Les vitamines B jouent également un rôle clé dans le métabolisme énergétique. Une portion de viande de poule locale peut donc contribuer à satisfaire les besoins en vitamines B de votre corps (USDA. 2021).

Par ailleurs, la viande de poule locale est une source de minéraux importants tels que le fer, le zinc et le sélénium. Le fer est essentiel pour la formation de l'hémoglobine et le transport de l'oxygène dans le corps. Le zinc joue un rôle vital dans le système immunitaire et la cicatrisation des plaies. Quant au sélénium, il possède des propriétés antioxydantes et participe au bon fonctionnement de la thyroïde (USDA, 2021).

➤ Composition chimique de la viande de poulet

La viande blanche entière appelée « volaille » comprend tous les produits, de la carcasse à la viande reconstituée, en passant par les découpes ainsi que divers produits transformés disponibles sur le marché sous diverses formes (Achrine et Serkhan, 2020). Les principaux facteurs de variation de la composition chimique de la viande sont l'âge de l'animal à l'abattage et parfois la race (Afssa, 2003).

La viande est composée essentiellement d'eau, protides, lipides, glucides et minéraux comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 1 : composition chimique (g) et valeur énergétique (KJ) pour 100 g de fraction comestible de viande de poulets (CIV, 2010).

Composé	Eau	Protide	Lipide	Glucide	Energie (Kcal)
Teneurs	72.7	21	5.6	Traces	138

Frenot et Vierling (2001) indiquent que l'eau est l'ingrédient de base le plus important, tant quantitativement que fonctionnellement. Il représente 72 degrés de muscle.

a. Protéine

La protéine a une teneur élevée en acides essentiels dans un rapport équilibré et est bien assimilée par l'organisme. Il se caractérise par leur richesse en lysine, voir tableau 1 (Ait Addi et Ait Oufella, 2015)

Tableau 2 : La composition chimique en acide aminé essentiel des protéines de la viande de poulet (g/100g de fraction comestible) (**Achrine et Serkhane.** 2020).

Lysine (lys)	1.66
Methionine (met)	0.77
Threonine (thr)	0.85
Valine (val)	0.89
Isoleucine (ileu)	0.92
Leucine (Leu)	1.60
Tryptophan (Try)	0.21
Phénylalanine (phe)	0.73

b. Lipide

C'est un facteur de transformation intervenant dans la composition de la viande de volaille. Cette variation dépend de l'origine anatomique du fragment et du degré de taille (**Achrine et Serkhane,** 2020). Tableau 2 ci-dessous détermine la teneur en lipide dans différents muscles de poulet.

Tableau 3 : Teneur en lipides de quelques muscles chez le poulet en pourcentage (%) du poids frais (**Achrine et Serkhane.,** 2020).

Muscle	Pectoraux	Cuisse	Pilon
Teneur	0,7-1,22	2,9-5,5	2,3-3,8

c. Glucides

La teneur en glucides est très faible, environ 0,5 % sous forme de glycogène (**Ait Addi et Ait Oufella.,** 2015).

d. Minéraux

Selon **Frenot et Vierling** (2001), le poulet est riche en minéraux, en moyenne 1 à 2 mg de fer pour 100g de portion comestible, pauvre en calcium, mais riche en phosphore et en potassium. La teneur en minéraux du poulet est indiquée dans le tableau 4.

Tableau 4 : Teneur en sels minéraux de la viande de poulet, teneur pour 100g de partie comestible (**Frenot et Vierling.**, 2003).

Élément	Sodium	Potassium	Phosphore	Calcium	Magnésium	Fer	Zinc
Teneur	80	350	200	12	37	1.8	0.85

Chapitre 2

Différents régimes alimentaires

1. Introduction

L'alimentation animale joue un rôle crucial dans la santé, le bien-être et les performances des animaux d'élevage (**Kadiyala et al.**, 2020). Que ce soit pour les bovins, les porcs, les volailles ou d'autres espèces, une nutrition adéquate est essentielle pour favoriser la croissance, la production laitière, la reproduction et la résistance aux maladies (**NRC**, 2016). Au fil des années, la recherche scientifique a permis d'approfondir notre compréhension des besoins nutritionnels des animaux, ainsi que les différentes stratégies alimentaires pour répondre à ces besoins (**Noblet et al.**, 2021). Cela a conduit à des avancées significatives dans la formulation des rations alimentaires et à l'utilisation d'ingrédients de haute qualité pour optimiser la santé et les performances des animaux (**Leeson et al.**, 2021).

Les matières premières pour l'alimentation animale peuvent être classées en plusieurs catégories, notamment les céréales, les protéines végétales, les sous-produits de l'industrie agroalimentaire, les graisses et les minéraux (**Shurson et Johnoston.**, 2019). Les céréales les plus couramment utilisées incluent le maïs, le blé, l'orge, le riz et le sorgho. Ces grains fournissent une source d'énergie sous forme de glucides, ainsi que des protéines et des fibres (**Yan et al.**, 2020).

Les sous-produits de l'industrie agroalimentaire, tels que les tourteaux d'oléagineux (résidus obtenus après extraction de l'huile), les drêches de brasserie (résidus de la production de bière) et les pulpes de betterave à sucre (résidus de la production de sucre), sont également utilisés comme sources de nutriments pour les animaux. Ils contribuent à la durabilité de l'industrie alimentaire en utilisant des produits qui seraient autrement jetés (**Goelema et al.**, 2020).

L'équilibre adéquat des minéraux dans l'alimentation animale est crucial pour assurer une croissance saine, une reproduction optimale et une résistance aux maladies. Des études récentes (**Smith et al.**, 2022 ; **Jones et al.**, 2021 ; **Gonzalez et al.**, 2020) soulignent l'importance de fournir des niveaux appropriés de calcium, de phosphore, de zinc et d'autres minéraux dans l'alimentation animale pour maximiser la performance et le bien-être des animaux d'élevage.

2. Principale céréale utilisée dans l'alimentation animale

Dans le monde, l'alimentation animale représente près de 1,7 milliard de tonnes de produits et sous-produits (hors alimentation animale): maïs, tourteau de soja, son, blé, manioc, orge, la canne à sucre représente les trois quarts de la consommation mondiale d'alimentation animale. Le maïs en représente à lui seul plus du tiers et 61 % de la production mondiale de maïs sert à l'alimentation des animaux. Pour de nombreuses céréales (orge, avoine et toutes les « autres céréales »), le taux d'utilisation en alimentation animale est d'environ 70 %, contre seulement 19 % pour le blé et 5 % pour le riz (figure 06) (Solagro, 2022).

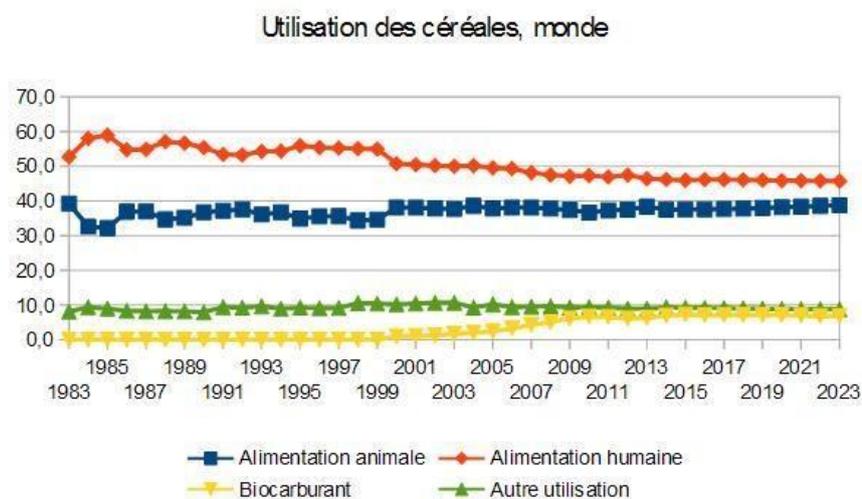


Figure 06 : l'évolution de l'utilisation des céréales depuis 1983 (Mario.2019).

➤ Maïs

Est une céréale riche en amidon qui est couramment utilisée dans l'alimentation des ruminants, des porcs, des volailles et des poissons en raison de sa haute digestibilité et de sa valeur énergétique élevée (Liu *et al.*, 2019).

➤ Sorgho

Le sorgho, une céréale résistante à la sécheresse, est également utilisé dans l'alimentation animale, en particulier pour les ruminants et les volailles, en raison de sa teneur élevée en glucides et en protéines (Kumar *et al.*, 2019).

➤ Avoine

L'avoine est appréciée pour sa digestibilité et sa teneur en fibres solubles, et est souvent utilisée dans l'alimentation des chevaux (**Lawrence**, 2012).

➤ Blé

Le blé, une céréale riche en glucides et en protéines, est utilisé dans l'alimentation des bovins, des porcs, des volailles et des poissons. (**Serghini et al.**, 2013)

➤ Millet

Le millet est une céréale cultivée dans les régions chaudes et sèches, est utilisé dans l'alimentation des ruminants, des volailles et des poissons en raison de sa teneur en nutriments. (**Aynew et al.**, 2017)

➤ Orge

L'orge, une céréale riche en fibres et en protéines, est couramment utilisée dans l'alimentation des ruminants, des chevaux et des volailles. (**El-Sayed et al.**, 2019)

3. Valeur nutritionnelle des céréales

Les tableaux suivants représentent la valeur nutritionnelle des principales céréales utilisées dans l'alimentation animale selon **INRAE** :

Tableau 05 : composition élémentaire de différentes céréales selon (**INRAE.2017**).

Paramètres bruts(%)	Mais	Sorgho	Avoine	Blé	Millet	Orge
Matière sèche	86.3	87.8	87.6	87.8	90.6	87.2
Protéines	7.6	9.3	9.4	14.4	12.9	9.9
Cellulose	2.3	2.4	11.5	2.7	6.7	4.7
Matières grasses	3.6	2.9	4.7	1.8	5.1	1.6
Matières minérales	1.2	1.9	2.5	1.9	3.6	2.2
Sucres totaux	1.7	1.1	1.3	2.8	1.7	2.2
Énergie brute (kcal)	3840	3930	4070	3880	4180	3820

4. Principaux oléagineux et protéagineux dans l'alimentation animale

1) Oléagineux

➤ Soja

Le tourteau de soja est l'oléagineux le plus couramment utilisé dans l'alimentation animale en raison de sa teneur élevée en protéines voir tableau7. Il fournit également une bonne quantité d'acides gras essentiels (**Oil seeds: World Markets and Trade.2021**).

➤ Colza

Les tourteaux de colza sont également largement utilisés dans l'alimentation animale en raison de leur teneur en protéines et en acides gras voir tableau8. Ils sont particulièrement courants en Europe (**Eurostat. 2021**).

➤ Tournesol

Les graines de tournesol sont utilisées pour produire de l'huile, tandis que les tourteaux de tournesol sont utilisés dans l'alimentation animale. Ils fournissent des protéines et des graisses voir tableau 9. (**Sunflower.2021**).

➤ Lin

Les graines de lin sont riches en acides gras oméga-3 et en fibres. La farine de graines de lin est utilisée dans l'alimentation animale en raison de sa teneur en protéines et en acides gras (**Flaxseed Meal in Animal Nutrition. 2021**).

➤ Arachide

Les tourteaux d'arachide sont utilisés comme source de protéines dans l'alimentation animale. Ils sont également riches en matières grasses (**Peanut. 2021**).

Valeur nutritionnel des oléagineux sont présentés dans le tableau suivant selon **INRAE** :

Tableau 06 : composition élémentaire des oléagineux (**INRAE.2017**).

Paramètre brut %	Soja	Colza	Tournesol	Lin	Arachide
Matière sèche	88.9	89	92.8	92	89.4
Protéines	11.4	33.9	14.8	20.7	48.1
Cellulose	34.8	12.7	15.9	9.1	12
Matières grasses	1.9	2.2	44.5	34.6	1
Matières minérales	4.7	6.8	3.2	3.9	5.7
Sucres totaux	1.1	9.4	2.5	2.7	8.2
Énergie brute (kcal)	3850	4110	6350	5950	4320

2) Protéagineux

➤ Pois

Le pois (*Pisum sativum*) : Le pois est une autre source de protéines utilisée dans l'alimentation animale. La protéine de pois a un profil nutritionnel qualifié de "moyen", par rapport à sa composition énergétique et protéique. Principalement en concurrence dans les formulations avec le couple soja-blé, la matière première respectivement à haute teneur en protéines et en amidon, les pois sont fortement substitués. D'autant plus que ces deux autres commodités sont très présentes sur le marché, comme nous l'évoquions plus haut. Le développement récent d'autres sous-produits de l'industrie agroalimentaire ainsi que de l'industrie de l'éthanol (**DDGS**) et des agrocarburants ont élargi la gamme des matières premières (tourteau de colza, tournesol, etc.) peut remplacer et renforcer le manque d'attractivité du pois (**Charriere**, 2013).

➤ Lupin

L'importance du lupin dans l'alimentation animale réside dans sa haute teneur en protéines et sa digestibilité. Le lupin présente également un profil en acides aminés équilibré, ce qui en fait une source de protéines de qualité pour les animaux. Une étude publiée dans le Journal of Dairy Science (**Schelze et al.**, 2021) a examiné l'utilisation du lupin dans l'alimentation des vaches laitières et a observé une amélioration de la composition en acides gras du lait, ce qui peut avoir des avantages pour la santé humaine.

Les lupins sont des légumineuses riches en protéines. Ils ont besoin d'un sol légèrement acide avec un pH de 6,5 ou moins - et surtout d'un sol sans calcium libre. Comparé au soja, le lupin nécessite moins de chaleur. Le lupin est un fortifiant végétal riche en protéines. Il contient plus que des légumineuses et des protéines de pois et est proche du soja (**Bio actualité**, 2020).

➤ Tourteaux de tournesol

Le tourteau de tournesol, remarquable par sa composition en acides aminés soufrés et l'absence de facteurs antinutritionnels intrinsèques, pourrait constituer un substitut intéressant au tourteau de soja importé, à condition d'en augmenter la teneur en protéines et sa teneur en fibres.

Le tourteau de tournesol est l'un des principaux tourteaux et l'une des principales sources de protéines utilisées en alimentation animale. Il s'agit généralement d'un produit sain et de bonne qualité, mais sa teneur en protéines, en fibres et en huile varie considérablement en fonction du processus d'extraction et du degré de peau. La teneur réelle en protéines varie du simple au double, allant de 23 % de MS pour les aliments pressés sans coquille à plus de 40% pour les aliments entièrement décortiqués et extraits au solvant. La plage typique de variation des protéines est de 29 à 33 % pour les mollusques et crustacés et de 35 à 39 % pour les aliments à coquille et à coquille partielle (**Valerie et al.**, 2020).

➤ Tourteaux de soja

Le tourteau de soja est un aliment précieux et riche en protéines, largement utilisé dans l'alimentation animale. Il est obtenu après l'extraction de l'huile à partir des graines de soja et se distingue par sa teneur élevée en protéines, qui avoisine généralement les 40 à 50%. Cette caractéristique en fait une source de protéines végétales de premier choix pour l'alimentation animale (FAO, 2002)

En plus de leur valeur nutritionnelle, les tourteaux de soja sont également une option économique pour l'alimentation animale. Ils représentent une alternative abordable aux sources de protéines animales, ce qui permet de réduire les coûts de production tout en maintenant la qualité de l'alimentation animale. L'utilisation de tourteaux de soja contribue ainsi à la durabilité et à la rentabilité de l'industrie de l'élevage (Kim *et al.*, 2019)

Valeur nutritionnel des protéagineux sont présentés dans le tableau suivant selon INRAE :

Tableau 07 : Composition élémentaire des protéagineux (INRAE.2017)

Paramètre brut	Pois	lupin	Tourteaux de soja	Tourteaux de tournesol
Matière sèche	87.2	88.1	93.2	90.4
Protéines	20.3	33.5	43.8	36.6
Cellulose	5.6	11.6	6	17.8
Matières grasses	1.2	8.5	8.9	1.2
Sucres totaux	4.2	6	8.7	6.7
Matière minérale	3.1	3.5	6.1	6.5
Énergie brut (kcal)	3810	4460	4710	4620

5. Principal insecte utilisé dans l'alimentation animale

➤ Ajout de red-wiggler

Les redwigglers sont riches en protéines, vitamines et minéraux essentiels, ce qui en fait une source de nutrition précieuse pour les animaux d'élevage. Ils contiennent également des acides aminés essentiels et des enzymes qui favorisent la digestion chez les animaux. Ces caractéristiques en font un substitut potentiel aux sources de protéines traditionnelles telles que le soja ou le poisson. (Lalander *et al.*, 2018). L'utilisation des redwigglers dans l'alimentation

animale présente plusieurs avantages environnementaux. Tout d'abord, leur élevage nécessite moins d'espace et d'eau par rapport aux sources de protéines conventionnelles. Ils se reproduisent rapidement et sont faciles à élever, ce qui permet une production efficace à grande échelle. De plus, leur culture ne nécessite pas l'utilisation d'engrais chimiques ni de pesticides, ce qui réduit l'impact environnemental associé à l'agriculture conventionnelle. (**Lalander et al.**, 2018)

De nombreuses études ont été menées pour évaluer l'utilisation des redwiggler dans l'alimentation animale. Ces études ont montré que les vers de terre peuvent être utilisés avec succès dans l'alimentation des volailles, des poissons, des porcs et d'autres animaux d'élevage. Ils ont démontré une bonne acceptabilité et une digestibilité élevée chez les animaux, ainsi qu'une amélioration des performances de croissance et de la qualité des produits. (**Godoy et al.**, 2020)

➤ **Ajout des criquets**

Face à l'augmentation de la demande mondiale de protéines animales, l'élevage traditionnel est devenu insoutenable en termes de ressources et d'émissions de gaz à effet de serre. Les criquets, en revanche, présentent un profil environnemental beaucoup plus favorable. Ils consomment moins d'eau et d'aliments par kilogramme de viande produite par rapport aux autres sources de protéines animales telles que les bovins, les porcs et les volailles. **Oninco** en 2010 explique que les criquets sont une source riche en protéines complètes, contenant tous les acides aminés essentiels nécessaires à une alimentation équilibrée pour les animaux. Ils sont également riches en acides gras oméga-3 et en vitamines B, ce qui en fait un aliment de qualité pour de nombreux animaux d'élevage. (**Rumpold**, 2013).

➤ **Ajout de larves de mouche soldat noire**

Les larves de mouches soldat noires sont très riches en protéines et en matières grasses, ce qui les rend particulièrement attractives pour l'alimentation animale. Elles peuvent être utilisées dans l'alimentation de diverses espèces, telles que les poissons, les volailles, les porcs et même les animaux de compagnie. Des études ont montré que les larves de mouches soldat noires peuvent être une source de protéines de haute qualité, avec une teneur en protéines pouvant atteindre 40 à 60 % de leur poids sec (**Li et al.**, 2017). De plus, elles contiennent une gamme d'acides aminés essentiels nécessaires à la croissance et au développement des animaux (**Surendra et al.**, 2016).

L'utilisation des larves de mouches soldat noires dans l'alimentation animale présente également des avantages environnementaux significatifs. Elles sont élevées à partir de substrats organiques tels que les déchets alimentaires, les déchets de jardin et même les excréments d'animaux. En

recyclant ces déchets, les larves de mouches soldat noires contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à minimiser les problèmes de gestion des déchets (**Oon et al.**, 2018). De plus, l'élevage de ces insectes nécessite moins d'eau et d'espace que l'élevage conventionnel d'animaux destinés à l'alimentation animale, ce qui en fait une option plus durable sur le plan environnemental (**St-Hilaire et al.**, 2007).

Certaines études ont également montré que l'utilisation des larves de mouches soldat noires dans l'alimentation animale peut améliorer les performances de croissance des animaux. Par exemple, une étude menée sur des truites arc-en-ciel a révélé que l'incorporation de larves de mouches soldat noires dans leur alimentation avait augmenté leur taux de croissance et leur efficacité alimentaire (**Makkar et al.**, 2014). Des résultats similaires ont été observés chez les poulets de chair, les porcs et les crevettes (**Newton et al.**, 2005 ; **Józefiak et al.**, 2016 ; **Yu et al.**, 2020). Ces résultats suggèrent que les larves de mouches soldat noires peuvent être utilisées efficacement pour améliorer la production animale.

6. Principales algues utilisées dans l'alimentation animale

➤ Ajout de Spiruline

La spiruline est une microalgue qui pousse naturellement dans notre environnement depuis des millions d'années, c'est une plante rustique capable de résister à des conditions de croissance difficiles, en effet, la cellule de la microalgue ne meurt jamais réellement, elle dort lorsque les conditions climatiques ne sont pas favorables, et dès que ces changements et le bon environnement reviennent à la croissance, la spiruline commence à croître et à se reproduire.(FAO, 2011) Une étude menée par (**Kutluyer et al.**, 2017) avait pour objectif d'évaluer l'effet de l'ajout de spiruline dans l'alimentation des poulets de chair sur leurs performances de croissance et leurs paramètres sanguins. Les résultats de l'étude ont montré que l'ajout de spiruline dans l'alimentation des poulets de chair avait un impact significatif sur leur croissance. Les poulets ayant reçu le régime contenant de la spiruline ont montré une amélioration de leur gain de poids par rapport au groupe témoin. De plus, le taux de mortalité était plus faible dans le groupe alimenté avec de la spiruline. Les paramètres sanguins ont également été évalués dans cette étude. Les chercheurs ont constaté que l'incorporation de la spiruline dans l'alimentation des poulets de chair entraînait des améliorations dans la numération globulaire, indiquant une meilleure santé globale des animaux. De plus, les niveaux d'enzymes hépatiques étaient également améliorés, ce qui suggère une fonction hépatique plus saine chez les poulets recevant de la spiruline.

➤ Ajout d'Azolla

L'Azolla est une plante aquatique qui présente une valeur alimentaire significative et offre de nombreux avantages lorsqu'elle est utilisée dans l'alimentation animale. Cette plante est riche en protéines de haute qualité, vitamines, minéraux et acides aminés essentiels, ce qui en fait un excellent complément nutritionnel pour diverses espèces animales. Selon une étude publiée dans le *Journal of Applied Phycology* (**Bhanu et al.**, 2011), l'Azolla peut être utilisée avec succès dans l'alimentation des poissons, des volailles, des porcs et des ruminants, en améliorant la croissance, la santé et les performances de ces animaux. Une des principales caractéristiques bénéfiques de l'Azolla est sa capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec une cyanobactérie. Cela signifie que la plante peut fournir de l'azote organique aux animaux qui la consomment, réduisant ainsi la dépendance à l'égard des engrais chimiques (**Prabu et Ramasamy**, 2015). De plus, l'Azolla peut être cultivée de manière durable dans des systèmes aquaponiques, où elle peut être utilisée pour nourrir les poissons tout en épurant l'eau des nutriments excédentaires (**Sahoo et al.**, 2017).

➤ Ajout de lentilles d'eau

Les lentilles d'eau sont des plantes flottantes qui développent des taux de croissance très importants quand les conditions sont bonnes, c.-à-d. quand il y a beaucoup de chaleur, de lumière et de nutriments (surtout de l'azote). Elles peuvent atteindre des teneurs en protéines dignes du soja et sont donc une alternative intéressante aux sources de protéines habituelles comme la farine de soja, la farine de poisson ou le gluten de blé. (**Regula et Matthias.**, 2017).

Des études scientifiques ont démontré que les lentilles d'eau sont une source de protéines de haute qualité, contenant tous les acides aminés essentiels nécessaires à la croissance et au développement des animaux. Par exemple, une étude réalisée par (**Xie et al.**, 2018) a montré que les lentilles d'eau peuvent être utilisées avec succès comme substitut partiel des protéines de poisson dans l'alimentation des poissons d'élevage, tout en maintenant leur croissance et leur santé.

En ce qui concerne les volailles, des recherches ont été menées par (**Nisa et al.**, 2020) pour évaluer l'efficacité des lentilles d'eau dans l'alimentation des poulets de chair. Les résultats ont montré que l'inclusion de lentilles d'eau dans l'alimentation des poulets avait un effet positif sur leur poids vif, leur taux de conversion alimentaire et la qualité de leur viande.

Chapitre 3

Utilisation de l'Azolla

Définition d'Azolla

L'Azolla est une espèce unique de fougère d'eau douce qui est l'une des plantes à la croissance la plus rapide de la planète en raison de sa relation symbiotique avec une "algue bleue" cyano bactérienne appelée *Ana baena* qui attire l'azote atmosphérique pour fertiliser l'azolla, et il fournit une maison remplie d'azote pour l'*Ana baena* dans ses cavités foliaires. Cela permet aux plantes de doubler leur biomasse en seulement deux jours flottant librement dans une eau aussi peu profonde qu'un pouce (2,4 cm)(**Jonhatan et Alexandra**, 2019). La croissance rapide d'Azolla en fait un séquestrant potentiel important du dioxyde de carbone des gaz à effet de serre à convertir directement en biomasse d'Azolla. Cela fournit du fourrage pour le bétail local. Biofertilisant, nourriture et biocarburant partout où l'Azolla est cultivés, cette plante remarquable a donc le potentiel de nous aider à affronter la tempête parfaite- les menaces du changement climatique anthropique et le manque de nourriture et de terres. (**Jonhatan et Alexandra**, 2019)

1. Description morphologique

L'Azolla est une fougère aquatique qui flotte sur les eaux calmes, tempérées ou tropicales, dans les champs de cresson, les rizières, les étangs et les canaux d'irrigation (Figure 01). Il abrite une cyanobactérie du genre *Anabaena* qui a la propriété de fixer l'azote, c'est-à-dire de transformer l'azote moléculaire atmosphérique en azote fixe assimilable par les plantes. Dans des conditions idéales, sa croissance est exponentielle, doublant sa biomasse tous les trois jours (**Reynaud et Franche**, 1985 ; **Raolina**, 1995 ; **Chander et al.**, 2017).



Figure 07 : Culture d'azolla en aquaponie (**Harlaut**. 2019).

Cette fougère est composée d'une tige ou d'un rhizome, de feuilles et de racines. L'arbre Azolla est appelé une fronde. Il est constitué d'un rhizome principal, d'une longueur dépassant

rarement 3 ou 4 cm, portant des branches subsidiaires pouvant donner naissance respectivement à des rhizomes tertiaires et à des rhizomes quaternaires. Cette architecture rend la plante triangulaire ou circulaire selon les espèces (**Van-Hove**, 1989 ; **Raoelina**, 1995). Chaque feuille est composée de deux parties appelées lobes. L'une d'elles est située au-dessus de la tige, plus épaisse et chlorophyllienne, elle contient une cavité interne, renfermant une population de cyanobactéries (algues vertes) appelées *Anabaena azollae* (**Van-Hove**, 1989 ; **Amroune**, 2020).

2. Taxonomie

Le genre *Azolla* appartient au phylum des *Pteridophytes*, ordre des *Salviniales*, famille des *Azollaceae* (**Reynaud et Franche**, 1985). Il existe au moins huit espèces d'*Azolla* dans le monde ; *Azolla caroliniana*, *Azolla circinata*, *Azolla japonica*, *Azolla mexicana*, *Azolla microphylla*, *Azolla nilotica*, *Azolla pinnata* et *Azolla rubra* (**Amroune**, 2020).

La position systématique d'*Azolla* sp se présente comme suit (**Diomande et al.**, 2017) :

Règne :Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division :Pteridophyta

Classe :Liliopsida

Ordre :Hydropteridales

Famille :Azollaceae

Genre :Azolla

Espèces d'*Azolla*

➤ *Azolla filiculoides*

Aussi connue sous le nom d'*Azolla* flottante ou Fougère flottante présentée dans la (figure 02), c'est une espèce commune présente dans de nombreux pays. Ses feuilles sont vertes, petites et en forme d'aiguilles, avec des racines suspendues sous l'eau. Elle forme souvent des colonies denses. (**Martin et al.**, 1982)



Figure08 : *Azolla filiculoides* (Cabi.2008)

➤ ***Azolla pinatta***

Cette espèce, également appelée *Azolla* à feuilles pennées illustrées dans la (figure03), se distingue par ses feuilles vertes brillantes et divisées en segments. Elle est originaire des régions tropicales et subtropicales d'Asie et d'Afrique. (Triest *et al.*, 2013)



Figure 09 : *Azolla pinnata* (Saurav, 2022).

➤ ***Azolla caroniliana***

Originaire des Amériques, cette espèce est souvent appelée *Azolla* de Caroline (figure04). Ses feuilles sont vertes et légèrement dentelées, formant des rosettes denses. Elle est souvent utilisée comme engrais organique dans les cultures de riz. (Lumpkin *et al.*, 1980).



Figure 10 : *Azolla caroniliana* (Saurav, 2022).

➤ ***Azolla mexicana***

Également connue sous le nom d'*Azolla* du Mexique (figure05), cette espèce présente des feuilles vertes claires et des racines fines. Elle est couramment trouvée dans les habitats aquatiques doux et est souvent utilisée dans les systèmes de traitement des eaux usées. (Johansson *et al.*, 2006).



Figure 11 : *Azolla mexicana* (Russ *et al.*, 2008)

➤ ***Azolla microphylla***

Azolla microphylla (figure 12) présente l'avantage d'être une matière première pour l'alimentation des volailles, à savoir une teneur élevée en protéines de 20 à 35 %. Il contient des vitamines A et B12 et des acides aminés (lysine 0,46%, méthionine 0,05% et acide aminés glutamate 1,54% (Nuraini *et Mirzah*, 2021). 2-9 Jours pour la multiplication, et 20 tonnes de biomasses fraîches/ha peuvent être obtenues à partir de graines 0,5 tonne/ha *Azolla microphylla* produit une biomasse relativement élevée, c'est-à-dire que les poids atteignent 1-2 kg/m² selon la fertilité de l'étang (Lukiwati *et al.*, 2008).



Figure 12: *Azolla microphylla* (Saurav, 2022).

3. Élevage d'azolla

Les espèces d'*Azolla* montrent une croissance maximale en été, suivie du printemps. Il peut se développer rapidement avec un temps de doublement de 2 à 5 jours. Environ 40 à 55 kg d'*Azolla* frais peuvent être formés à partir de 8 kg d'inoculum en 15 jours dans une rizière avec une profondeur d'eau de 10 cm. La parcelle a nécessité des nutriments supplémentaires sous la forme de 10 kg de fumier de vache et 100 g de super triple phosphate répartis en trois lots à 4 jours d'intervalle (Sebastian *et al.*, 2021).

L'*Azolla* se caractérise par sa vie en symbiose avec une microalgue qui lui permet de fixer l'azote de l'air. Cette combinaison lui permet de se développer rapidement et il peut devenir envahissant très rapidement. Il peut former une couche de végétation de deux centimètres d'épaisseur dans l'aquarium et ne laisse donc plus passer la lumière. Il faut donc prévenir sa propagation en les prenant régulièrement, comme à chaque changement d'eau. Cette plante aquatique préfère les eaux calmes. Il ne doit pas être placé dans un réservoir où il y a un courant de surface. La jonquille fraise se propage très rapidement grâce aux rejets qu'elle produit. La température doit alors être prise entre 18° et 25° et le pH entre 3,5 et 10, mais l'optimum est de 4,5 à 7. Un pH trop acide ou alcalin a des effets néfastes sur cette fougère (Amroune, 2020).

Selon Reynaud *et Franche* (1985), les conditions de croissance de l'*Azolla* sont classées comme suit :

- bonne maîtrise de l'eau.
- protection contre les fortes intensités lumineuses.
- température minimale de 15°C la nuit, 25° C le jour et maximale de 35 °C.
- source de phosphore.

- et dans une moindre mesure de calcium, magnésium et oligo-éléments.
- protège des parasites.

➤ Eau

La croissance d'Azolla est facilitée par une couche d'eau ne dépassant pas quelques centimètres : 5 à 10 centimètres. Cela favorise la nutrition minérale, car les racines sont proches du sol (**Rahagarison**, 2005). L'humidité relative optimale serait de 85 à 90 %. À une humidité relative inférieure à 60 %, l'algue devient sèche, cassante et plus sensible aux conditions défavorables (**Dommergues et Diem**, 1982).

➤ Température

La température optimale pour la culture d'Azolla se situe entre 20 et 30°C. Certaines souches peuvent survivre temporairement à -5 et 45°C. D'autres souches sont très sensibles aux températures inférieures à 10°C, mais peuvent tolérer des valeurs supérieures à 35°C, comme c'est le cas de nombreux génotypes d'Azolla pinnata (**Rasoloarivony**, 2003). Affectent la propagation de l'Azolla (**Amroune**, 2020)

➤ pH

Habituellement, L'Azolla préfère les environnements proches du neutre ou de l'acide. Pour une bonne croissance de cette algue, le pH optimal du milieu varie de 4,5 à 7,5. Le pH du milieu de 5 à 8 favorise la croissance et la fixation de l'azote chez *A. pinnata*. L'azolla est particulièrement tolérante au pH environnemental (**Sebastian et al.**, 2021 ;**Ntendele**, 2007).

➤ Lumière

Le taux de croissance d'Azolla augmente avec l'intensité lumineuse jusqu'à environ 50 klx ou 50 à l'intensité maximale de la lumière naturelle. Au-delà de ce niveau, le taux de croissance est soit constant, soit décroissant en fonction des interactions non évidentes avec d'autres paramètres écologiques (**Van**, 1989). La couleur de l'Azolla vire au brun rougeâtre à cause de l'exposition à une forte lumière en été et vire au vert lorsque l'ombre revient. La photopériode optimale pour la culture d'Azolla est d'environ 20 heures (**Sebastian et al.**, 2021).

➤ **Nutriment**

Les besoins en minéraux d'Azolla comprennent des macro-éléments (P, K, Ca, Mg et Mn) et des oligo-éléments (Fe, Mo, Co). Les carences de ces éléments conduisent à des taux de croissance réduits (**Becking**,1979). Mais la caractéristique la plus frappante dans ce domaine de la nutrition est l'indépendance totale des sources d'azote. Azolla croît pleinement à l'absence d'azote combiné (**Amroune**, 2020). Mo et Co favorisent la capacité d'Azolla à fixer l'azote (**Sebastian et al.**, 2021).



Figure 13 : Vitesse de croissance d'Azolla pinnata.

4. Composition nutritionnelle de l'Azolla.

La composition chimique des espèces d'azolla varie selon le génotype, les conditions écologiques et le stade de croissance. La teneur en DM est généralement faible, de l'ordre de 5 à 7 %. La teneur en protéines est d'environ 19 à 30 % dans la MS dans des conditions de croissance optimales. La composition en acides aminés d'Azolla dépend de l'espèce, mais la teneur en lysine est relativement élevée (protéine 4-6%). Contrairement aux lentilles d'eau, l'Azolla est relativement riche en fibres : le NDF peut être supérieur à 50 % de MS, la teneur en cellulose brute d'environ 15 MS et la teneur en lignine d'environ 10-13 de DM (tableau 01). Comme la plupart des plantes aquatiques, l'Azolla sont riches en minéraux (10-20 % de MS) vraisemblablement utilisés comme source de macro et oligo-éléments, mais la teneur élevée en fibres et en minéraux, explique pourquoi l'Azolla devrait normalement être incluse en quantités limitées dans l'alimentation des animaux monogastriques. Étant donné que des

taux d'inclusion élevés ont tendance à réduire les performances d'entassement de l'Azolla frais, c'est une autre limitation à son utilisation dans l'alimentation animale et son séchage est souvent préféré. (**Feedpedia**, 2019)

Tableau 08: La composition de l'Azolla (**Feedipedia**, 2019).

Analyse principale	Unité	Moy	Min	Max	NB
Matière sèche	% alimenté	6.7	5.1	8.7	8
Protéine brute	% DM	20.6	13.9	28.1	15
Fibre brute	%DM	15.0	11.3	22.8	9
NDF	%DM	43.8	35.4	52.3	6
ADF	%DM	31.8	24.0	38.9	5
Lignine	%DM	11.4	9.3	13.5	5
Extrait d'éther	%DM	3.8	1.9	5.1	9
Cendre	%DM	15.9	9.8	21.6	12
Amidon (polarimétrie)	%DM	4.1	2.7	5.5	2
Énergie brute	MJ /Kg DM	17.0			

NDF : fraction des parois cellulaires considérée comme à peu près équivalente à l'hémicellulose, la vraie cellulose et la lignine. ADF : Fibres acides détergentes, fraction des parois cellulaires selon Van Soest, considérée comme à peu près équivalente à la vraie cellulose et à la lignine ; Min: valeur minimale ; Max: valeur maximale

5. Utilisation d'Azolla

➤ Biofertilisant

Plusieurs études ont prouvé que l'azolla a une capacité de biofertilisant, une étude a été menée par **Nur hidayati Hariyadi** et **Safitri** en 2020, les résultats de l'étude ont montré que l'application d'Azolla pinnata avait un impact significatif sur la croissance et le rendement de la moutarde. Les plants de moutarde traités avec Azolla présentaient une hauteur plus élevée, un nombre de feuilles supérieur et une biomasse accrue par rapport au témoin sans Azolla. De plus, le rendement en graines de moutarde a également été amélioré avec

l'application d'Azolla, montrant une augmentation significative par rapport au témoin. L'étude conclut que l'application du biofertilisant *Azolla pinnata* peut stimuler la croissance et le rendement de la moutarde. L'utilisation d'Azolla comme biofertilisant présente donc un potentiel prometteur pour améliorer la productivité des cultures, en fournissant des nutriments essentiels, en particulier l'azote, de manière plus durable et respectueuse de l'environnement. (Nurhidayati *et al.*, 2020).

➤ Alimentation de bétail

Des recherches ont été menées pour explorer le potentiel nutritionnel d'*Azolla pinnata* en tant qu'aliment équilibré pour le bétail. Un essai à la ferme de deux mois a été mené sur des bovins, des chèvres et des poulets. Les résultats ont montré une augmentation significative de la production laitière (10-15%), du poids de viande (8-10%) et de l'aptitude au vêlage (10-15%) chez les animaux laitiers, les chèvres et les poules respectives. Sur la base d'études et d'observations actuelles, *Azolla pinnata* est recommandée comme source unique potentielle de protéines pour le bétail en période de famine (Kumar et Chander, 2017)

➤ Alimentation de volaille

Plusieurs chercheurs ont étudié les effets de l'incorporation de poudre d'Azolla dans l'alimentation des poulets sur les performances de croissance (Ouedraogo *et al.*, 2021 ; Alalade et Iyayi, 2006 ; Basak *et al.*, 2002). (Ouedraogo *et al.*, 2021) ont montré que le remplacement partiel du soja torréfié par de la poudre d'*Azolla pinnata* n'avait pas d'impact significatif sur la croissance quotidienne moyenne et le changement de poids des poulets. Leurs résultats corroborent les résultats d'Alalade et Iyayi (2006) au Nigeria qui ont montré que la farine d'*Azolla pinnata* peut être incorporée jusqu'à 10% dans l'alimentation du poussin sans affecter négativement la croissance des poussins. À partir de la sixième semaine d'âge (Basak *et al.*, 2002) ont constaté que les poulets de chair nourris avec 5 % d'*Azolla pinnata* comme substitut du sésame présentaient une amélioration significative du poids corporel par rapport au témoin (0 % d'*Azolla pinnata*). Les volailles consomment très bien l'Azolla. La proportion d'incorporation d'Azolla dans l'alimentation varie selon les espèces. Pour les poules, Azolla peut remplacer jusqu'à 25% des rations alimentaires commerciales et peut être fourni frais à raison de 100 à 300 g/jour selon l'âge des poules (Raolina, 1995). De plus, il a été démontré que les poulets nourris avec des aliments conventionnels additionnés de 5 % d'Azolla grandissent plus rapidement que ceux nourris uniquement avec des aliments

commerciaux. En conséquence, la conversion alimentaire et l'efficacité énergétique de l'animal ont été considérablement améliorées (**Rajesh**, 2020).

➤ **Alimentation de lapin**

L'Azolla séchée pouvait être introduite dans l'alimentation du lapin en croissance, jusqu'à 10 %, tandis que des doses plus élevées nuire aux performances de production, à la qualité de la viande et à l'efficacité alimentaire des lapins en croissance. (**Abdelatty et al.**, 2021)

➤ **Production de bioénergie**

Le rendement très élevé de la biomasse a fait d'Azolla une culture puissante pour la production de biodiesel. Cette plante contient des quantités suffisantes de cellulose/hémicellulose, d'amidon et de matières grasses, similaires à une combinaison de cultures bioénergétiques terrestres et de microalgues utilisées pour produire du biodiesel (**Sebastian et al.**, 2021).

➤ **Dépollution des milieux**

La biosorption aide à éliminer les matières toxiques des milieux aqueux. La biomasse d'Azolla s'est avérée efficace pour biosorber les métaux lourds tels que Pb, Cd, Cu et Zn. Cette biomasse a été très efficace pour éliminer la demande chimique en oxygène et les polyphénols des eaux usées des huileries. Le biofiltre a pu éliminer jusqu'à 4 000 ppm de polyphénols dans les eaux usées (**Sebastian et al.**, 2021). Des études ont démontré que cette plante aquatique flottante est capable d'absorber efficacement les contaminants, réduisant ainsi la pollution des eaux usées. Par exemple, une recherche publiée dans le "Journal of Environmental Management" en 2018 a évalué l'efficacité de l'Azolla dans le traitement des eaux usées domestiques. Les résultats ont montré que l'Azolla pouvait éliminer jusqu'à 94% de l'azote ammoniacal et 83% du phosphore total dans les eaux usées. Une autre étude menée par des chercheurs de l'Université de Huelva, en Espagne, et publiée dans "Water Research" en 2019, a conclu que l'utilisation de l'Azolla comme système de traitement des eaux usées pouvait réduire significativement la demande chimique en oxygène et améliorer la qualité de l'eau. Ces recherches mettent en évidence le potentiel prometteur de l'Azolla dans le domaine du traitement des eaux usées, ouvrant ainsi la voie à des solutions durables et efficaces pour la gestion des ressources hydriques.

Matériels et méthodes

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'impact de l'introduction de l'Azolla dans l'alimentation des poules locales. Nous avons examiné les effets sur les paramètres pondéraux, zootechniques et nutritionnel, ainsi que sur la santé et la productivité des poules, en comparant un groupe nourri avec de l'Azolla à un groupe témoin. De plus, nous avons comparé l'Azolla cultivée dans deux environnements différents : l'eau usée et l'eau normale. Nous avons analysé des paramètres tels que la biomasse, la teneur en nutriments, la composition chimique et la digestibilité de l'Azolla.

Un autre aspect important de notre recherche était l'évaluation de la capacité de l'Azolla à traiter les eaux usées. Nous avons mesuré la capacité d'absorption de l'Azolla pour les nutriments, et évalué les effets de cette filtration sur la qualité de l'eau traitée.

Expérience une

1. Zone et durée de l'expérience

L'expérimentation a été mise en œuvre dans quatre bassins distincts, établis respectivement en mars et juin 2023. Ces bassins étaient situés au sein d'une parcelle dédiée à la recherche, localisée à l'Institut de Technologie agricole (ITA) de Mostaganem. L'ensemble de l'expérience, y compris le suivi régulier des paramètres d'intérêt, s'est déroulé sur une durée totale de quinze semaines et trois jours.

2. Situation géographique et présentation du lieu de l'expérience

L'Institut de Technologie agricole (ITA) de Mostaganem abrite une ferme expérimentale située dans la commune de Mazargan. Cette ferme sert de lieu d'apprentissage pratique et comprend diverses productions animales, y compris les bovins, les ovins, la volaille et les abeilles. Elle est également dotée d'installations pour la production végétale. La figure ci-dessous, extraite de Google Maps, illustre l'emplacement précis de la ferme expérimentale au sein de l'ITA.



Figure 14 : Situation géographique de la ferme expérimentale de l'ITA – Mostaganem (google map)

3. Préparation du terrain

La préparation du sol sur lequel les bassins sont installés est une étape cruciale de l'expérience. Comme illustré dans les figures 15 et 16, le sol a été fauché. Cette procédure est essentielle pour prévenir tout dommage potentiel à la bâche des bassins qui pourrait être causé par l'herbe, entraînant une fuite d'eau. Pour minimiser ce risque, il est recommandé de placer des cartons sur la surface délimitée des bassins après la fauche. Cette mesure supplémentaire assure une protection renforcée contre la perforation de la bâche.



Figure 15 : Le sol avant la fauche



Figure 16 : Le sol après la fauche

➤ Construction des bassins

La mise en place des quatre bassins a suivi un protocole spécifique (voir figure 17). La première étape a consisté à sélectionner un emplacement approprié pour les bassins. Des critères tels que la disponibilité de l'ombre ont été pris en compte, étant donné leur importance pour le développement optimal de l'Azolla. Un toit en canne (voir figure 18) a été utilisé pour assurer un équilibre entre l'ombre et l'exposition au soleil (50% d'ombre, 50% de rayons solaires) conditions favorables à la croissance de cette microalgue.

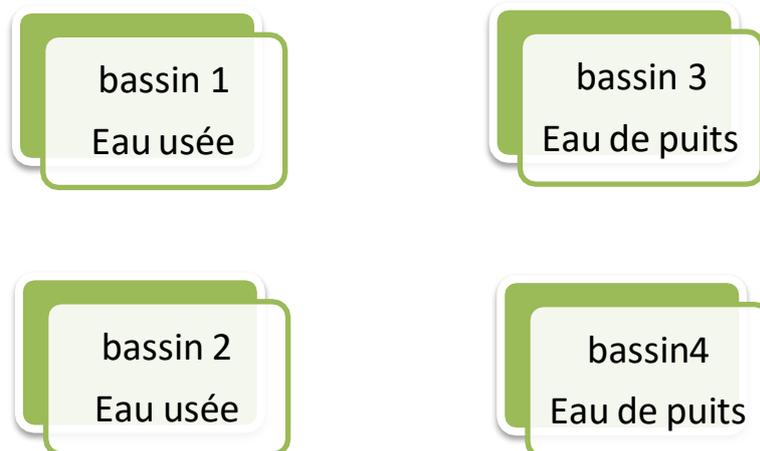


Figure 17 : Organigramme de la mise en place des bassins.



Figure 18 : mise en place d'un couvert (photo original)

La phase suivante du protocole a impliqué la préparation des bassins. Cela a nécessité le creusement de trous mesurant 2 mètres de longueur et de largeur, avec une profondeur de 20 cm (voir figures 19 et 20). Ces dimensions ont été choisies pour optimiser l'espace disponible pour la culture de l'Azolla.



Figure 19 : mesure des bassins (photo original)



Figure 20 : Forage des bassins (photo original).

L'étape suivante du protocole a consisté à installer des bâches dans chaque bassin. Elles ont été étendues et solidement fixées avec des briques tout autour du bassin pour assurer leur

stabilité. Par la suite, une couche de sable a été ajoutée au fond des bassins. Cette mesure a été mise en place pour faciliter le drainage de l'eau, maintenir une bonne circulation et fournir les nutriments nécessaires à l'Azolla.

Pour les bassins alimentés en eau de puits, ces derniers ont été remplis jusqu'à une profondeur de 15 cm (voir figure 21). Ensuite, une solution nutritive a été préparée pour l'Azolla. Cette solution, à base de bouse de vache et d'eau, a été conçue pour assurer une croissance saine et vigoureuse de cette plante aquatique (voir figure 22). Pour créer cette solution, 1,5 kg de bouse de vache a été mélangé avec 12 litres d'eau. Une fois les ingrédients mélangés, la solution a été filtrée pour obtenir une consistance homogène et lisse (voir figure 11). Ce processus de filtration permet d'éliminer les particules indésirables et les matières organiques non dissoutes, garantissant ainsi que les nutriments contenus dans la bouse de vache sont bien dilués et accessibles à l'Azolla.

➤ La source des eaux usées

L'origine des eaux usées brutes est de station d'épuration de la salamandre de wilaya de Mostaganem (STEP de Mostaganem).

Pour les bassins alimentés en eau usée, le processus est relativement simple. Les bassins ont été remplis d'eau usée jusqu'à une profondeur d'environ 15 cm (voir figure 21).



Figure 21 : Ajout de l'eau usée dans le bassin.

Enfin, on a laissé reposer les bassins pendant 24 heures afin que les ingrédients stabilisent dans le bassin.

➤ Culture d'Azolla

La culture de l'Azolla est une étape cruciale de notre protocole expérimental. Pour chaque bassin, nous avons mesuré environ 2 kg d'Azolla, comme illustrés à la figure 22. Cette quantité a été soigneusement calculée pour garantir une croissance optimale de l'Azolla tout en évitant une surpopulation qui pourrait nuire à son développement.

Une fois la quantité d'Azollas déterminée, nous avons procédé à sa répartition uniforme sur la surface de l'eau dans chaque bassin, comme le montre la figure 23. Cette répartition uniforme est essentielle pour assurer que chaque plante d'Azolla ait suffisamment d'espace pour croître et se développer sans être entravée par d'autres plantes.

Il est également crucial de veiller à ce que l'Azolla flotte librement à la surface de l'eau, comme illustrer à la figure 24. En flottant librement, l'Azolla peut absorber efficacement la lumière du soleil, ce qui est essentiel pour la photosynthèse. De plus, cela permet à l'Azolla d'absorber les nutriments présents dans l'eau, favorisant ainsi une croissance saine et vigoureuse.



Figure 22: la pesée de l'Azolla (photo originale)



Figure 23 : l'implantation de l'Azolla

(Photo originale)



Figure 24 : Bassin après la culture d'Azolla.

L'irrigation régulière des bassins a été assurée, en utilisant soit de l'eau propre soit de l'eau usée, selon le cas (voir figure 25). Cette pratique est essentielle pour maintenir un niveau d'eau adéquat dans les bassins, ce qui est crucial pour la croissance de l'Azolla. De plus, l'irrigation joue un rôle clé dans la fourniture de nutriments à l'Azolla, contribuant ainsi à sa santé et à sa vigueur.



Figure 25 : Irrigation des bassins d'Azolla

La surveillance de croissance de l'Azolla a été effectuée quotidiennement (figure 26), et le maintien des conditions optimales, telles que la température, l'éclairage, la quantité d'eau évaporée.



Figure 26 : 4e jour après la culture

4. Déroulement de l'expérience

1) Bassin de l'eau usée (bassin A)

➤ Suivi de la récolte

La moisson des bassins d'Azolla que nous avons entreprise s'est avérée être un processus fructueux et enrichissant (voir figure 27). Nous avons initié la culture le 11 mars et avons effectué notre première récolte le 22 mars. Cette première moisson a produit un poids impressionnant de 1 kilogramme et 115 grammes (voir figure 28), attestant ainsi de la croissance vigoureuse et de la bonne santé des bassins d'Azolla. Par la suite, nous avons maintenu un rythme de récolte régulier tous les 2 à 3 jours, avec des rendements constants d'environ 700 à 800 grammes (voir figure 29)



Figure27 : La première récolte d'azolla (photo original)



Figure28: La Première récolte d'Azolla (photo original)



Figure29 : La quantité d'Azolla récoltée a du bassin (A) l'intervalle de 2 à 3 jours du bassin (A) (photo original).

➤ Séchage d'Azolla

Suite à la récolte de l'Azolla, nous avons procédé à une étape cruciale : le séchage. Cette phase est essentielle pour préserver la qualité de l'Azolla et prolonger sa durée de conservation (voir figure 30). Pour ce faire, nous avons opté pour une méthode de séchage naturelle, en exposant l'Azolla à l'air libre tout en la protégeant des rayons directs du soleil.

L'Azolla a été étalée sur un drap, créant ainsi une surface plane et aérée, propice à une évaporation efficace de l'humidité. Au cours d'une période de 3 à 4 jours, nous avons surveillé attentivement le processus de séchage, veillant à ce que l'Azolla perde son excès d'eau tout en conservant ses nutriments essentiels.

Le séchage à l'air libre est une méthode couramment utilisée pour préserver les propriétés nutritionnelles de l'Azolla. Cette technique, bien que simple, nécessite une attention particulière pour garantir que l'Azolla ne soit pas surexposée aux éléments, ce qui pourrait

compromettre sa valeur nutritionnelle. En somme, le séchage est une étape délicate, mais indispensable dans le processus de préparation de l'Azolla pour une utilisation ultérieure.



Figure 30 : Séchage d'Azolla (photo originale)

➤ Suivi de rendement d'Azolla

Chaque jour, une récolte d'Azolla était effectuée, permettant un suivi précis de la croissance et de la productivité de la culture. Cette approche quotidienne a permis de surveiller de près les variations de croissance, qui peuvent être influencées par divers facteurs environnementaux tels que la température, la lumière et la disponibilité des nutriments.

Après chaque récolte, l'Azolla était soigneusement pesée pour quantifier le produit. Cette méthode de quantification précise a permis d'obtenir des données fiables sur la production d'Azolla. En outre, elle a permis d'évaluer l'efficacité de différentes techniques de gestion et d'identifier les facteurs clés qui influencent la productivité de l'Azolla.

La rigueur de cette approche a permis d'obtenir des données précises sur la production d'Azolla au fil du temps. Ces informations sont essentielles pour comprendre les dynamiques de croissance de l'Azolla et pour développer des stratégies de gestion efficaces. De plus, elles contribuent à une meilleure compréhension de la valeur de l'Azolla en tant que ressource durable pour l'agriculture et l'aquaculture (voir les figures 31 et 32).



Figure 31 : Suivi du rendement d'Azolla (photo originale)



Figure 32 : Multiplication d'Azolla (photo originale).

2) Bassin d'eau de puits (bassin B)

➤ Suivi de récolte d'Azolla

La récolte des bassins d'Azolla a été bien déroulée. Après avoir débuté la culture début mars, nous avons procédé à notre première récolte après 11 jours, où nous avons obtenu un poids de 1115 grammes (figure 33). Par la suite, nous avons poursuivi les récoltes à un intervalle de 2 à 3 jours, obtenant régulièrement des rendements d'environ 300 à 500 grammes par jour (figure 34).



Figure 33 : La première récolte du Bassin (B) à l'intervalle de 2 à 3 jours du bassin (B) (photo originale).



Figure 34 : La quantité d'Azollas récoltée (photo originale)

➤ Séchage et suivi de rendement d'Azolla

Le séchage et le suivi de rendement du deuxième bassin (culture dans l'eau de puits), été effectuer de la même façon précédente.

Expérience deux

1. Préparation des locaux

La préparation des locaux d'élevage pour cette étude expérimentale a été effectuée avec rigueur et souci du détail, garantissant ainsi des conditions optimales pour l'élevage des poules Fayoumi. Ces mesures préliminaires sont essentielles pour maintenir l'intégrité de l'expérience et assurer des résultats fiables et significatifs.

Avant le début de l'étude, une série de mesures prophylactiques a été mise en place pour assurer un environnement sain et hygiénique des locaux pour les poules Fayoumi.

➤ Nettoyage par l'eau

Les locaux d'élevage ont été soigneusement nettoyés en utilisant de l'eau. Cette première étape visait à éliminer les débris et les saletés visibles qui pouvaient se trouver dans les locaux.

➤ Nettoyage par les détergents

Après le nettoyage initial à l'eau, un nettoyage approfondi a été effectué en utilisant des détergents appropriés. Les détergents ont été sélectionnés en fonction de leur efficacité pour éliminer les résidus organiques et les microorganismes potentiellement pathogènes.

➤ Désinfection à la chaux

Une fois les locaux nettoyés avec des détergents, une étape de désinfection a été réalisée en utilisant 4 couches de la chaux. La chaux est connue pour ses propriétés désinfectantes et antimicrobiennes, ce qui en fait un choix approprié pour assainir les locaux d'élevage.

➤ Séparation des locaux

Une fois les locaux préparés sur le plan prophylactique, ils ont été séparés en quatre lots distincts par un grillage pour la répartition des poules Fayoumi puis la mise en place d'une bâche dans chaque lot sur le toit et une tissue moustiquaire sur les fenêtres afin d'éviter toute sorte d'intrant.

➤ Désinfection des locaux

Après le nettoyage à l'eau, le nettoyage aux détergents et l'application de chaux, une étape cruciale consiste à procéder à la désinfection des locaux d'élevage. Un désinfectant adapté est utilisé pour éliminer les agents pathogènes potentiellement présents dans l'environnement.

➤ SAS pédiluve

En complément des mesures de désinfection et de vide sanitaire, une autre pratique courante pour renforcer les mesures de biosécurité est l'utilisation de SAS pédiluve devant chaque locale.

Un SAS pédiluve est un dispositif contenant une solution désinfectante dans lequel les personnes entrent avant d'accéder à la zone d'élevage. Il est conçu pour désinfecter les semelles des chaussures et ainsi réduire le risque d'introduction d'agents pathogènes provenant de l'extérieur.

➤ **Vide sanitaire**

Après la désinfection, une période de vide sanitaire est mise en place. Cette période consiste à laisser les locaux vides, sans la présence de poules ni d'autres animaux, afin de permettre une élimination plus efficace des agents pathogènes résiduels. Le vide sanitaire contribue à réduire le risque de contamination entre les lots et favorise un environnement plus sain pour les futurs sujets de l'étude.

2. Animaux et échantillonnage

Quatre-vingts poules locales de race Fayoumi ont été soigneusement sélectionnées pour cette étude le 11 mars. Les sujets ont été choisis en fonction de leur âge, de leur santé pour s'assurer de l'uniformité de l'échantillon. Les sujets ont été répartis de manière équitable entre deux locaux distincts comme le montre la figure 35 :

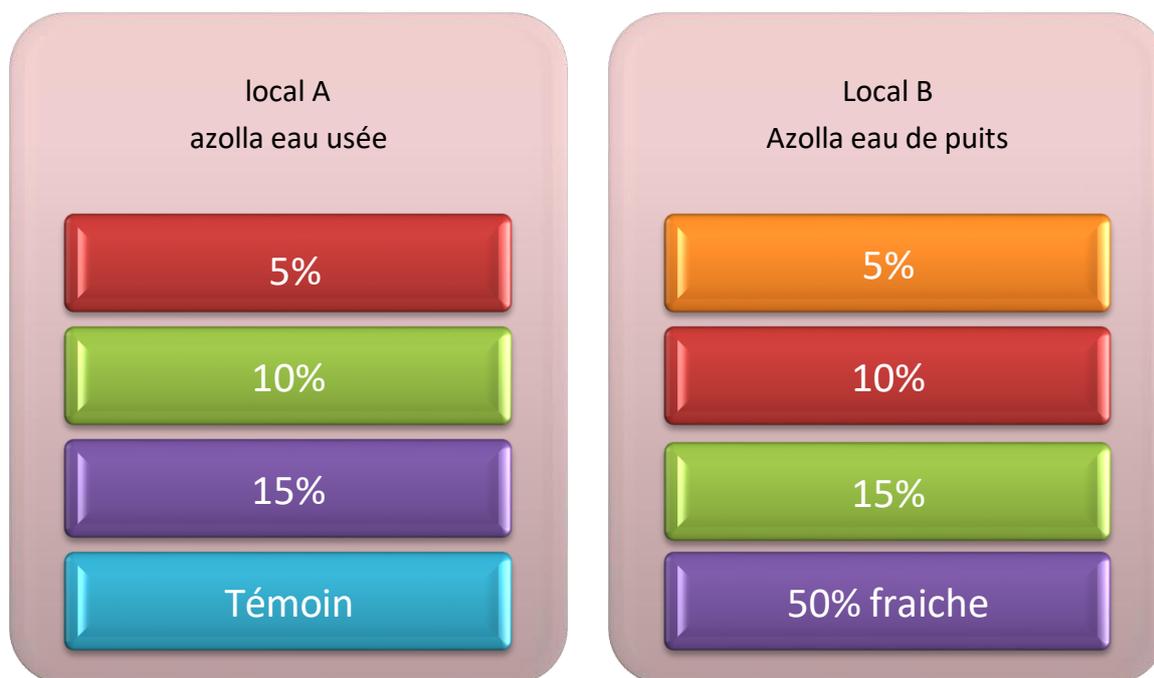


Figure 35 : Organigramme de séparation des locaux

Locale A son alimentation était basé sur l'azolla cultivée dans l'eau usée par rapport à l'alimentation de local B qui était cultivée dans l'eau témoin (culture standard d'azolla), chaque locale a été divisée en quatre lots dans chacun dix sujets qui ont été alimentés par différentes concentrations.

➤ **Resistance de la race**

Une stratégie a été mise en place pour prévenir les maladies et la mortalité sans utiliser de vaccins. Cette approche a été rendue possible grâce à l'utilisation de la race de poules Fayoumi, reconnue pour sa résistance naturelle aux maladies. L'élevage a été aménagé pour offrir un environnement optimal aux poules, en leur fournissant un espace adéquat, une alimentation équilibrée et des soins attentifs. Des mesures d'hygiène strictes ont également été mises en place pour prévenir la propagation de maladies. Grâce à cette combinaison de facteurs favorables à la santé et à la résistance naturelle de la race Fayoumi, les poules ont prospéré sans souffrir de maladies ni de mortalité significative.

3. Déroulement d'élevage

L'élevage a commencé avec des poussins âgés d'un mois et pesant en moyenne 180 g.

Selon les directives d'un manuel technique sur la production avicole à petite échelle (voir tableau), nous leur avons donné 40 g d'aliment par poussin, ce qui équivaut à un total de 3200 g pour l'ensemble du troupeau, la quantité est divisée en deux mangeoires.

Nous avons suivi l'alimentation des poules locales par le tableau ci-dessous qui désigne la quantité de nourriture donnée pour différents âges.

Tableau : Quantité de nourriture donnée et mangée par la volaille locale à divers âges.

Age : semaines	Quantité approximative donnée à chaque oiseau par jour (g poids sec)
1 semaine	10-15g poids sec
2 semaines	15-20
3 semaines	21-30g
4-6 semaines	30-40g
8 semaines	30-40g
16-27 semaines/ jeunes adultes	30-50g
28 semaines/ adultes	30-50g

De plus, nous avons fourni deux abreuvoirs contenant de l'eau de boisson dosée avec 1 g d'antistress pour chaque abreuvoir pendant les cinq premiers jours.

Au premier jour, nous avons maintenu la lumière allumée pendant 24 heures afin de favoriser leur adaptation à leur nouvel environnement.

Une stratégie a été mise en place pour prévenir les maladies et la mortalité sans utiliser de vaccins. Cette approche a été rendue possible grâce à l'utilisation de la race de poules Fayoumi, reconnue pour sa résistance naturelle aux maladies. Les poules Fayoumi sont

réputées pour leur système immunitaire robuste, ce qui les rend moins susceptibles de contracter des maladies courantes. L'élevage a été aménagé pour offrir un environnement optimal aux poules, en leur fournissant un espace adéquat, une alimentation équilibrée et des soins attentifs. Des mesures d'hygiène strictes ont également été mises en place pour prévenir la propagation de maladies. Grâce à cette combinaison de facteurs favorables à la santé et à la résistance naturelle de la race Fayoumi, les poules ont prospéré sans souffrir de maladies ni de mortalité significative.

➤ **Construction d'alimentation**

L'alimentation des poules a été réalisée en suivant une formule bien distincte en tenant compte à la fois de leur âge et de leur stade physiologique. Nous avons adapté l'alimentation en fonction de trois phases clés : le démarrage, la croissance et la finition.

Au stade de démarrage, nous avons fourni un aliment standard pour assurer une nutrition adéquate aux poussins. Cet aliment était équilibré en termes de protéines, vitamines et minéraux essentiels pour favoriser un bon développement initial.

Pendant la fin de phase de démarrage, nous avons introduit l'aliment expérimental à base d'*Azolla*, en variant les pourcentages.

➤ **Formule alimentaire**

La composition du régime expérimental a été élaborée de telle sorte que les niveaux énergétiques et protéiques se rapprochent au maximum du régime utilisé dans les élevages commerciaux avec une substitution de certains pourcentages de soja. Les régimes ont été élaborés en respectant les besoins des animaux pour les phases de croissance et finition. Ce tableau illustre la façon dont laquelle nous avons fabriqué notre alimentation

Tableau 08 : Les formules des différentes concentrations d'alimentation.

Ingrédient/ concentration	5%	10%	5%
Tourteaux de soja	25%	20%	15%
Azolla	5%	10%	15%
Mais	60%	60%	60%
Son de blé	5%	5%	5%
Phosphate bi-calcique	2%	2%	2%
CMV	1%	1%	1%
Méthionine	1%	1%	1%
Carbonate de calcium	1%	1%	1%

Enfin, lors de la phase de finition, nous avons fourni un aliment spécialement formulé pour atteindre la maturité et la qualité finale des poules Fayoumi.

Il est important de noter que nous avons veillé à distribuer l'aliment et l'eau simultanément afin de garantir une hydratation adéquate pour les poules tout en favorisant leur consommation alimentaire.

Cette intégration de l'aliment expérimental à base d'*Azolla microphylla*, nous a permis de répondre de manière optimale à leurs besoins nutritionnels tout au long de leur élevage.

La couleur de l'aliment à base d'Azolla est différente entre les concentrations.

4. Paramètres zootechniques

Nous avons mis en place un suivi régulier de leur poids. Au départ, nous avons effectué des pesées hebdomadaires jusqu'à l'introduction de l'aliment expérimental.

Après cette période intensive de pesée quotidienne, nous avons repris un rythme hebdomadaire pour le suivi du poids jusqu'à l'abattage des poules. Ce suivi nous a permis d'évaluer la croissance et le développement de chaque individu tout au long de l'élevage.

Les paramètres zootechniques qui ont été mesurés dans cet élevage sont :

➤ Poids vifs

Le poids vif individuel de 06 sujets par lot a été enregistré le jour 0 et ensuite mesuré tous les jours pendant une semaine, ensuite tous les 05 jours à une heure fixe (j1, j2, j3, j4, j5, j6, j7, j12, j22, j27) sur une balance électronique (0-5 kg).

➤ Consommation alimentaire

La quantité moyenne d'aliments consommée est comptabilisée chaque semaine par la formule suivante :

$$\text{Quantité moyenne} = \frac{\text{Quantité d'aliment consommé par semaine}}{\text{Nombre de sujets en vie}}$$

➤ **Détermination de l'indice de consommation (IC)**

L'indice de consommation a été déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Indice de consommation} = \frac{\text{Quantité d'aliment consommé par semaine}}{\text{Gain de poids par sujet sur cette semaine}}$$

➤ **Gain moyen quotidien**

Les gains moyens ont été calculés chaque semaine.

5. Paramètres pondéraux

Une fois parvenus à la fin de l'élevage qui a duré 22 semaines, nous avons procédé à l'abattage des six sujets, composés de cinq mâles et une femelle, par lot.

L'objectif était de suivre les paramètres pondéraux et de réaliser des analyses spécifiques sur certains organes. Nous avons effectué des pesées précises des organes tels que le gésier, le foie, le cœur, ainsi que du tissu adipeux. De plus, nous avons procédé à la pesée des cuisses et des filets de chaque sujet.

Dans chaque lot, nous avons conservé les organes d'un seul sujet (cœur, gésier, foie, testicules) afin de réaliser des coupes histologiques. Cette étape nous a permis d'analyser en détail la structure et la composition des tissus.

Les résultats obtenus à partir de ces analyses ont contribué à une meilleure compréhension des changements physiologiques et des caractéristiques spécifiques de chaque sujet.

Grâce à cette approche, nous avons pu obtenir des données détaillées sur la répartition du poids des organes et des tissus, ce qui a enrichi notre compréhension des caractéristiques individuelles de chaque sujet. Ces informations ont été essentielles pour évaluer l'impact de l'alimentation et du développement sur la croissance et la composition corporelle des poules Fayoumi.

Les paramètres pondéraux qui ont été mesurés dans cet élevage sont :

-Poids de la carcasse

-Rendement de la carcasse :

6. Analyses physico-chimiques

1) Dosage de lipides totaux (Soxhlet, 1879)

➤ **Principe**

L'extraction par Soxhlet est une méthode simple et convenable permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais jusqu'à l'épuisement complet du soluté dans la matière première. Le schéma de l'appareil Soxhlet est composé d'un corps en verre dans le quelle est placé une cartouche en papier filtre épais (une matière pénétrable pour le solvant, d'un tube siphon et d'un tube de distillation. Dans le montage l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction.

Le ballon est chauffé a fin de pouvoir faire bouillir son contenue. La cartouche contenant la viande à extraire est inséré dans l'extracteur, au dessus du quelle est placé un réfrigérant servant à liquéfier les vapeurs du solvant. L'extraction continue jusqu'à l'épuisement de la viande chargée dans la cartouche. La séparation du solvant de l'extrait est fait et l'aide de l'appareil appelé rota-vapeur. Dans cet appareil on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongée dans un bain liquide chauffé. L'appareil est munie d'un réfrigérant avec un ballon collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelé permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. Ou bien par d'autres méthodes, qui se font par la récupération du solvant éther de pétrole et l'étuvage des ballons.

➤ **Mode opératoire**

On a Placé un échantillon de 5g dans une cartouche après avoir pesé les ballons vides, puis on a mis 400ml de hexane dans chaque ballon avec la vésication d'installation d'eau et ensuite on a lancé l'opération, le temps d'extraction est environ de 4 heures. A la fin de l'extraction, on enlève les cartouches et on récupère le solvant brut, puis on pèse à nouveau les ballons.

➤ **Mode de calcul**

On a calculé le pourcentage de matière grasse extraite selon la formule suivante :

$$\text{Lipides totaux (\%)} = \frac{P1-P0}{5} \times 100.$$

P1 = ballon + extrait.

P2 = poids du ballon initiale.

2) **Détermination de la teneur en matière minérale (ARFNOR ; 1985)**

➤ **Principe**

La teneur en cendres de l'aliment est conventionnellement le résidu de la substance après destruction de la matière organique par l'incinération à 550 C dans un four à moufle pendant 2 heures, puis on met les creusets dans un dessiccateur pendant 45 min

➤ **Mode opératoire**

On a Prélevez environ 3g de viande, et on la mit dans un creuset avec un poids connue, puis dans une étuve à une température appropriée (généralement autour de 105 °C) pour éliminer toute humidité. Et on a laissez la viande sécher jusqu'à ce qu'elle atteigne un poids constant.

Une fois que la viande est complètement sèche, on a transférez les creusets dans un four a moufle à 550 C pendant 2 heures. Cette étape vise à brûler les composés organiques présents dans la viande, laissant derrière eux les minéraux. Après la calcination, on a laissez le creuset refroidir à température ambiante dans une atmosphère sèche et contrôlée. Une fois refroidi, on a pesée les creusets contenant les résidus minéraux. Toutes les étapes de l'opération sont illustrées par les figures suivantes :

➤ **Mode de calcul**

Calcul de la matière minérale en % :

$$MM (\%) = (MM(g) / M1 - M2) \times 100$$

Avec :

M1 : Masse totale du creuset contenant la prise d'essai (en gramme)

M2 : Masse totale du creuset et les minéraux bruts (en gramme).

Détermination de la matière organique :

$$MO (\%) = MS (\%) - MM$$

3) Détermination de la teneur en matière sèche (ARFNOR ; 1985)

➤ **Principe**

La teneur en matière sèche d'un échantillon est déterminée en séchant 5g de produits dans l'étuve à 105 C pendant 24h.

➤ **Mode opératoire**

La première étape consiste à peser la matière brute. Pour ce faire on pèse 3g de chaque échantillon à l'aide d'une balance de précision. L'aliquote est mise dans un creuset. Il faut noter que le creuset doit être pesé préalablement. La deuxième étape fera l'objet de déshydratation de l'aliquote à l'étuve pendant 24h. Après 24h, les creusets seront refroidis dans le dessiccateur pendant 45 minutes, la matière sèche restante est alors pesée par différence avec la masse initiale, la quantité d'eau évaporée est ainsi déduite.

➤ **Mode de calcul**

$$\%MS = M2/M1 \times 100$$

Avec :

M1 : Poids de la prise d'échantillon (en gramme) avant dessiccation ;

M2 : Poids de la prise d'échantillon (en gramme) après dessiccation ;

Le taux d'humidité est déterminé donc par déduction : %H₂O = 100% - % MS.

4) Dosage des protéines brutes (Méthode de Lowry : 1951)

➤ **Principe**

Les protéines réagissent avec le réactif Folin-Ciocalteu pour donner des complexes colorés. La couleur ainsi formée est due à la réaction du phosphomolybdate par la tyrosine et tryptophane. L'intensité de la coloration dépend donc de la quantité d'acides aminés aromatiques présents et varie selon les protéines. Les densités optiques sont mesurées à 550 nm avec le spectrophotomètre contre un blanc qui contient tous les réactifs à l'exception des protéines.

➤ **Mode opératoire**

1. La gamme étalon a été faite avec la solution albumine bovine préparée à 25mg par 100ml d'eau distillée. On utilise la même solution pour doser les échantillons.
2. broyer 1g de viande + 25ml d'eau physiologiques, avec le mortier sous un accumulateur de glace pour préserver les protéines puis filtrer. Solution X.
3. 1ml de solution X dans un bécher de 100ml et compléter avec d'eau distillée en ajustant jusqu'à 100ml. Solution Y.
4. prendre les tubes et mettre 1ml de solution Y dans chaque tube (préserver à T=4°C pour ne pas dénaturer les protéines).
5. Réactif de Lowry (A+B) :

Solution A : 1g de la soude (NAOH) +5g de Bicarbonate de sodium (NA₂CO₃) compléter avec l'eau distillée jusqu'à 250ml.

Solution B : 0.125g de Copper de sulfate (CuSO₄) +0.25g de Tartrate double NA⁺, K⁺ complétait jusqu'à 25ml d'eau distillée.

Le réactif de Lowry est composé de solution C (50ml de solution A+5ml de solution B) à mélanger au moment de la manipulation.

Prendre 1ml de solution Y + 5ml de réactif de Lowry (pour chaque tube) agiter et laisser 10 minutes puis ajouter 0.5ml de Folin Cyocateu dilué a moitié (5ml de Folin +5ml d'eau distillée) agiter avec le vortex et laisser 30 minutes a l'obscurité au réfrigérateur.

La lecture a spectrophotomètre a 550nm.

Expression des résultats déterminer la concentration de l'échantillon a partir de la droite d'étalonnage et de la densité optique mesurée par la formule (a): $Y=aX$

avec:

Y: densité optique

X: concentration de l'échantillon

a : constante

5) Détermination de l'indice TBARS (genot, 1996)

Les produits secondaires de l'oxydation des lipides les plus couramment dosées sont les aldéhydes. L'acide thiobarbiturique (TBA) réagit avec le malonaldéhyde (MDA) pour former un complexe de couleur rose et/ou jaune possédant un maximum d'absorption a une longueur d'onde de 532nm. I réagit également avec d'autres aldéhydes résultants de l'oxydation des AGPI (l'acide gras polyinsaturé) a longue chaine. La concentration des substances réactives au TBA (sr-TBA), exprimée en équivalent MDA est évaluée par la lecture de l'absorbances au spectrophotomètre visible des sr-TBA extraite des échantillons par l'acide trichloracétique (TCA).

➤ Mode opératoire

Un échantillon de viande de 2g est placé dans un tube de 25ml contenant 16ml d'acide trichloracétique TCA a 5%(p/v) et éventuellement 100µl d'acide ascorbique (vitamine C). Le mélange est homogénéisé 3 fois pendant 15 secondes à l'aide d'un homogénéisateur (ultra-Turax) 21 une vitesse d'environ 20000tpm le broyat est passé à travers un papier filtre afin d'obtenir un filtrat. Puis de ce filtrat 2ml sont additionnés a 2ml d'acide thiobarbiturique (TBA).

Les tubes fermés sont plongés dans un bain marie a 70°C pendant 30 minutes et placé dans un bain d'eau froide. La dernière étape consiste à l'aide d'un spectrophotomètre. L'absorbance du

mélange réactionnel a 532nm et les résultats sont exprimés en mg équivalent MDA (malonaldéhyde)/kg. La coloration reste stable pendant une heure.

Expression des résultats : les résultats dégagés au cours de ces expériences sont obtenu par la formule suivante :

$$\text{Mg équivalent MDA/kg} = (0.72/1.56) \times (A_{532} \text{ cor} \times V \text{ solvant} \times vf) / PE$$

Avec : A₅₃₂cor : l'absorbance.

V solvant : volume de solution de dilution

TCA en ml

Résultats

et

Discussions

1. Paramètres zootechniques

➤ Poids vifs

Le poids vifs des sujets a été mesuré depuis leurs arrivés, et d'une façon régulière et quotidienne

-Phase de démarrage

La phase de démarrage de poussin a duré environ 12 semaines avec une alimentation de démarrage standard (voir figure 36).

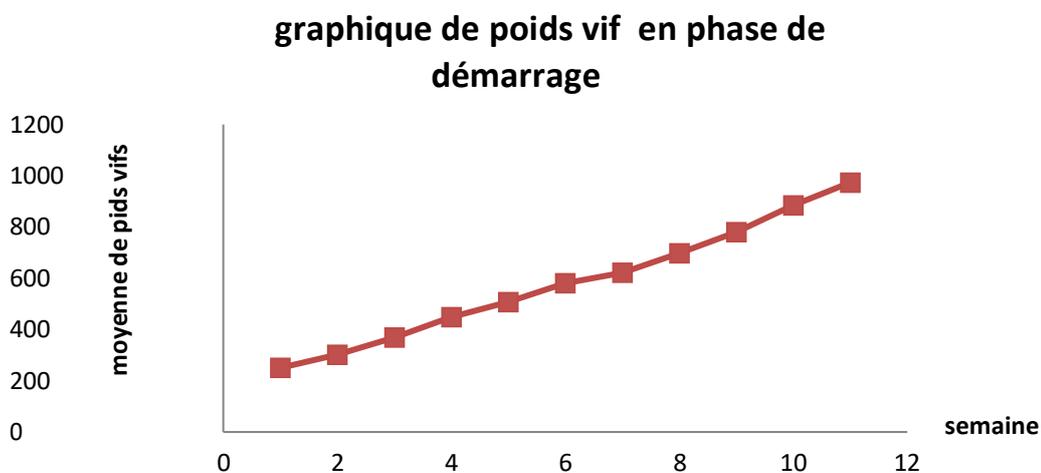


Figure 36 : Variation des poids vifs de la phase de démarrage.

Ces résultats indiquent que, en moyenne, les poussins Fayoumi ont connu une croissance régulière pendant leur phase de démarrage. La moyenne des poids augmente progressivement d'une semaine à l'autre, avec des augmentations plus importantes observées à certaines semaines. Les augmentations de poids les plus importantes ont été observées entre la sixième et la septième semaine, ainsi qu'entre la neuvième et la dixième semaine, ce qui indique l'approche de la phase de croissance avec une moyenne de poids vifs de 1000g.

-Phase de croissance

Cette phase a duré environ 10 semaines. Les 08 lots étaient alimentés par un régime expérimental avec des différentes concentrations d'Azolla (5%, 10%, 15%) de deux milieux de culture différentes (eaux usées(1), eaux de puits(2)). Un lot était soumis à un régime à base

d'Azolla comme un complément alimentaire (50% Azolla, 50% aliment standard), et pour finir le lot témoin.

L'objectif était de mesurer les poids vifs de chaque lots pour voir l'impact de cette alimentation sur leurs poids vifs par rapport au lot témoin, les résultats son illustré dans la (Figure 37).

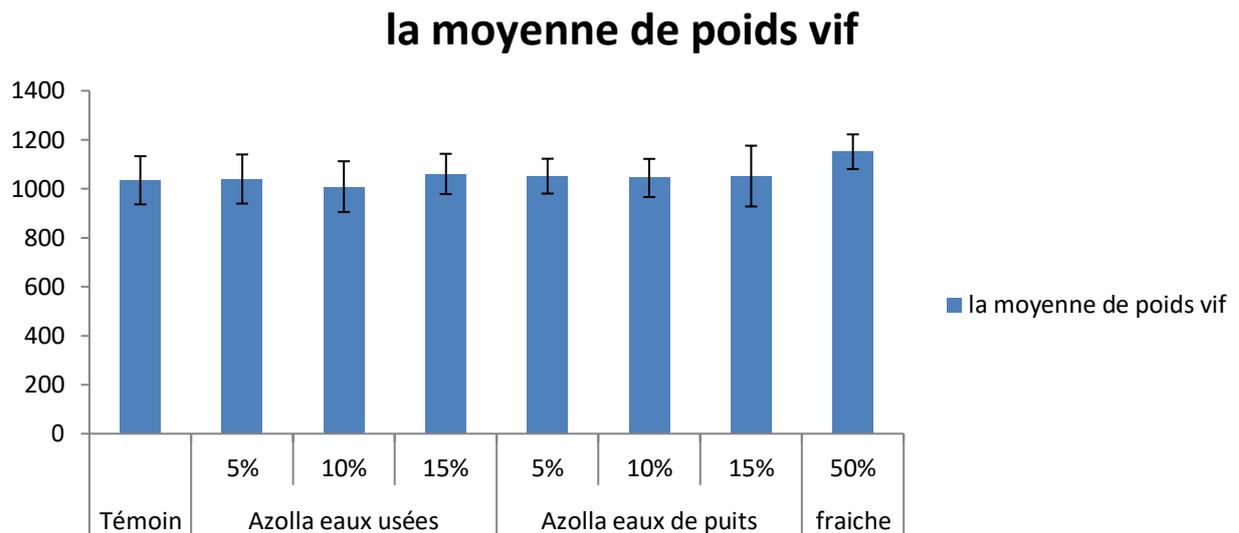


Figure 37 : Variation des poids vifs de phase de croissance.

Les résultats de notre étude indiquent que la concentration de 50% d'Azolla fraîche est significativement différente ($p < 0.05$) des autres concentrations. L'analyse statistique des données a révélé que la concentration de 50% présente la plus haute moyenne de poids vif par rapport au groupe témoin (1150.90g vs 1034.63g), avec une différence de 10%. De plus, notre étude montre que la concentration de 10% (régime 1) présente la moyenne la plus basse en poids vif (1008.08g).

En ce qui concerne la comparaison entre les régimes 1 et 2, nous avons constaté que la concentration de 15% dans le régime 1 a conduit à la plus haute moyenne de poids vif par rapport aux autres concentrations.

Nos résultats démontrent que la concentration de 50% d'Azolla fraîche est la plus efficace en termes de poids vif, par rapport au groupe témoin, tandis que la concentration de 10% (régime 1) présente la moyenne la plus faible. De plus, la concentration de 15% dans le régime 1 se distingue des autres concentrations en termes de poids vif.

L'incorporation de l'*Azolla* dans l'alimentation des animaux d'élevage a été étudiée pour ses effets potentiels sur le poids vif des animaux. Dans une étude menée par (**Kumar et al.**, 2011), il a été démontré que l'*Azolla*, en tant que source de protéines, peut améliorer le gain de poids chez les animaux d'élevage. Cependant, il est important de noter que l'effet de l'*Azolla* sur le poids vif peut varier en fonction de la quantité incorporée dans l'alimentation et du type d'animal.

Dans une autre étude, (**Sirohi et al.**, 2013) ont examiné l'effet de l'*Azolla* sur le poids vif des chèvres. Ils ont constaté que l'*Azolla*, lorsqu'elle est utilisée comme complément alimentaire, peut augmenter le poids vif des chèvres, ce qui suggère que l'*Azolla* peut être utilisée pour améliorer la productivité des animaux d'élevage.

En outre, une étude menée par (**Smith et al.**, 2012) a montré que l'*Azolla* peut également avoir un effet sur le poids vif des porcs. Dans cette étude, les porcs qui ont reçu une alimentation supplémentée en *Azolla* ont montré un gain de poids inférieur à celui des porcs qui n'ont pas reçu de supplément d'*Azolla*. Cela suggère que l'*Azolla* peut avoir un effet modulateur sur le gain de poids, possiblement en augmentant le taux métabolique des animaux.

Il est important de noter que bien que ces études indiquent que l'*Azolla* peut avoir un effet sur le poids vif des animaux, d'autres recherches sont nécessaires pour déterminer les mécanismes exacts par lesquels l'*Azolla* influence le poids vif et pour établir les meilleures pratiques pour l'utilisation de l'*Azolla* dans l'alimentation des animaux d'élevage.

1. Paramètres pondéraux

➤ **Poids vif**

Le poids vif revêt une importance significative dans l'évaluation des paramètres pondéraux chez les poules Fayoumi, Les résultats de poids vif sont représentés par la figure 38.

Nos résultats révèlent que le complément alimentaire d'Azolla fraîche est significatif ($p < 0.05$) par rapport aux autres régimes. L'analyse statistique des résultats a montré que la concentration du 50% d'azolla fraîche est plus élevée par rapport au témoin (1461g vs 1352g) respectivement, avec une différence de 7%. La même étude révèle que la concentration de 10% (1) a mené à une baisse significative en poids vif (1232,5g).

La comparaison entre les différents lots a montré que le complément alimentaire d'Azolla fraîche et le régime du traitement (1) ont une meilleure moyenne de poids vif.

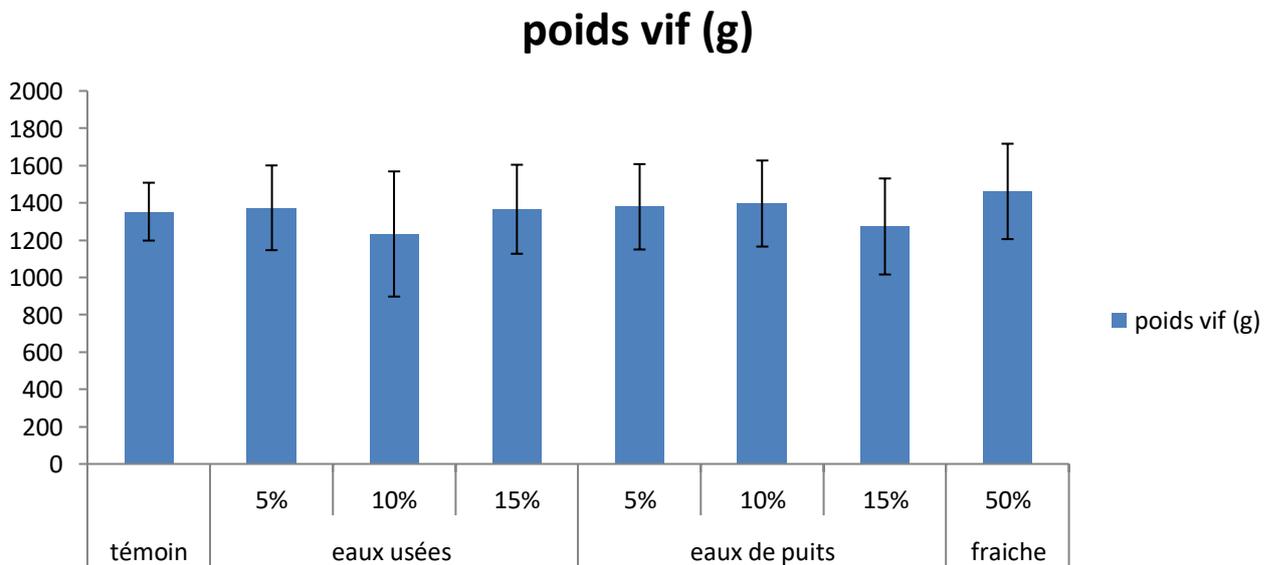


Figure 38 : les variations de poids vif de poule Fayoumi avant l'abattage

➤ **Rendement de la carcasse**

Les rendements des carcasses de poule Fayoumi dans différentes concentrations est présenté dans le tableau 09 suivant :

Tableau 11: Le rendement de la carcasse dans les différentes concentrations d'Azolla

	Témoin	Azolla eau usée			Azolla eau de puits			Azolla fraîche
		5%	10%	15%	5%	10%	15%	50%
Rendement de la carcasse	69.61%	68.11%	69.41%	69.88%	68%	66,46%	67.41%	68,76%

Le rendement de la carcasse est comparable dans chaque concentration comme le montre le tableau 09 ci-dessus que le rendement de la carcasse de 15% du régime (1) et du témoin est légèrement similaire d'environ (69,88% et 69,61%) respectivement avec différence de 0.27%. Cela suggère que la concentration de 15% du régime (1) a un effet significatif sur le rendement de la carcasse. Par contre, la concentration de 10% du régime (2) a un effet indésirable sur le rendement de la carcasse de moyenne de 66,46%.

➤ Carcasse plaine

Les analyses statistiques ($p < 0.05$) montrent que le complément alimentaire de 50% d'Azolla fraîche possède des carcasses plaines supérieures à celles des autres régimes (figure), et même par rapport au témoin avec une différence de 8.15% (1189 vs 1092) respectivement. La même étude a mis en valeur les différentes concentrations d'Azolla par rapport au rendement du témoin.

Contrairement à la concentration du 10% (1) qui a donné le rendement le plus faible soit (995,66g).

La figure 39 ci-dessous illustre les résultats.

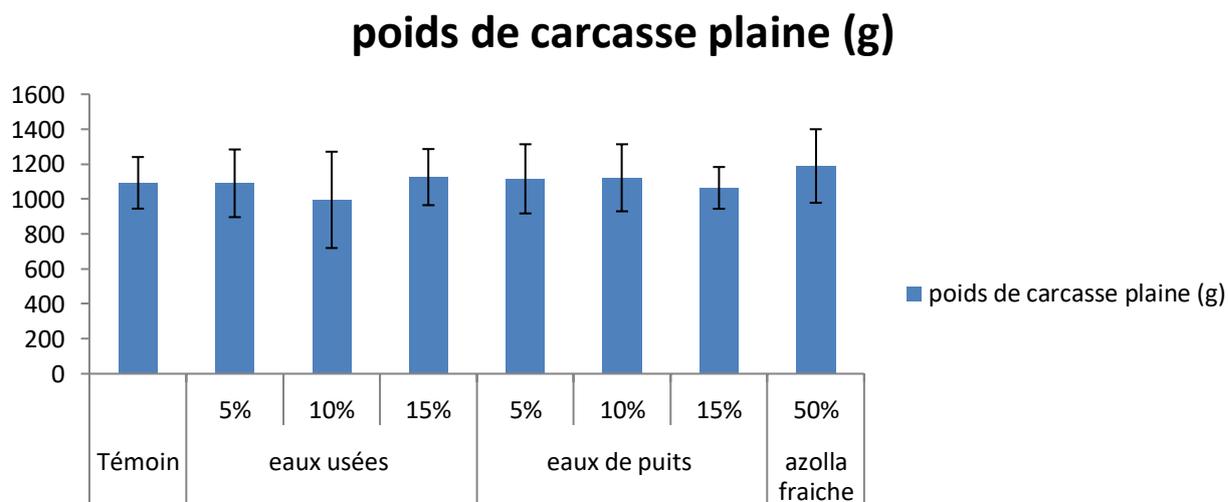


Figure 39 : Variance du poids de carcasse chez la poule Fayoumi.

➤ **Poids de cuisse et de filet**

D’après nos résultats, (figure 40) le poids de cuisse et filets des poulets nourris avec un régime alimentaire de 5% du régime (1) sont significativement ($p < 0.05$) par rapport aux autres lots. L’analyse statistique des résultats a montré que la cuisse possède un poids supérieur par rapport au filet (254,16g vs 214g) respectivement. La même étude révèle que les cuisses du régime 1 (5% d’Azolla) ont montré les moyennes les plus importantes en poids vif par rapports aux différents lots des différentes parties.

Contrairement au complément alimentaire, le poids du filet est supérieur a celui de la cuisse (201,66g vs 186,66g) respectivement.

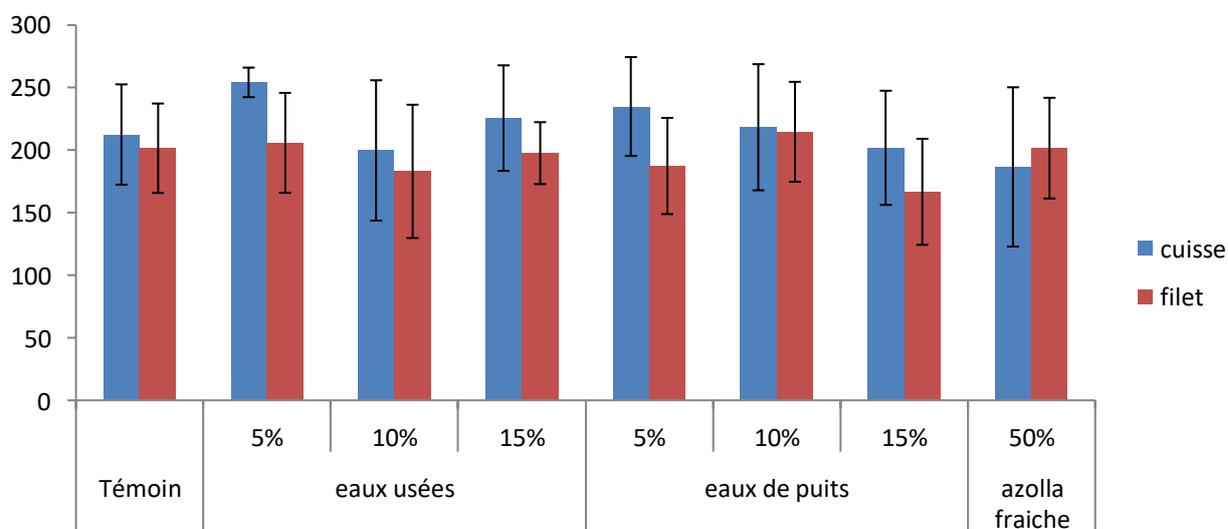


Figure 40 : variation du poids de la cuisse chez la poule Fayoumi.

➤ Poids du foie

Les données des résultats montrent (figure 41) que le poids du foie le plus élevé est de 50% d'Azolla fraîche sont significatif ($p < 0.05$) par rapport aux autres lots. Avec une différence de 43% par rapport au témoin en représentant le poids le plus bas (38.66g vs 21,66g) respectivement.

L'étude statistique a montré qu'entre les deux régimes alimentaires (1,2) la concentration de 5% du régime (1) représente le poids du foie le plus élevé du cheptel.

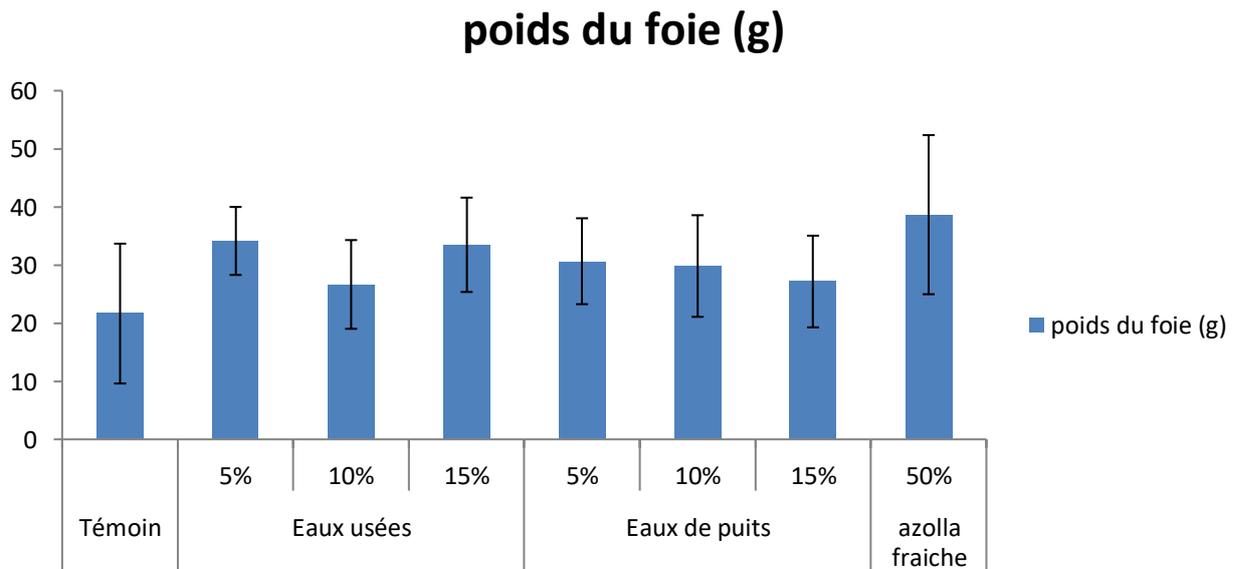


Figure 41 : variation du poids du foie chez la poule Fayoumi dans différents régimes alimentaires.

➤ Poids du cœur

L'étude statistique (figure 42) a révélé que la concentration de 5% du régime (1) est significative ($p < 0.05$) par rapport aux autres régimes. La même étude a démontré une différence de 66,3 entre 5% du régime (1) et du lot témoin (13,16g vs 10,5g) respectivement. Contrairement aux concentrations de 10% du régime (2) et 50% d'Azolla fraîche qui ont donné le rendement le plus faible avec une valeur de 8.66g.

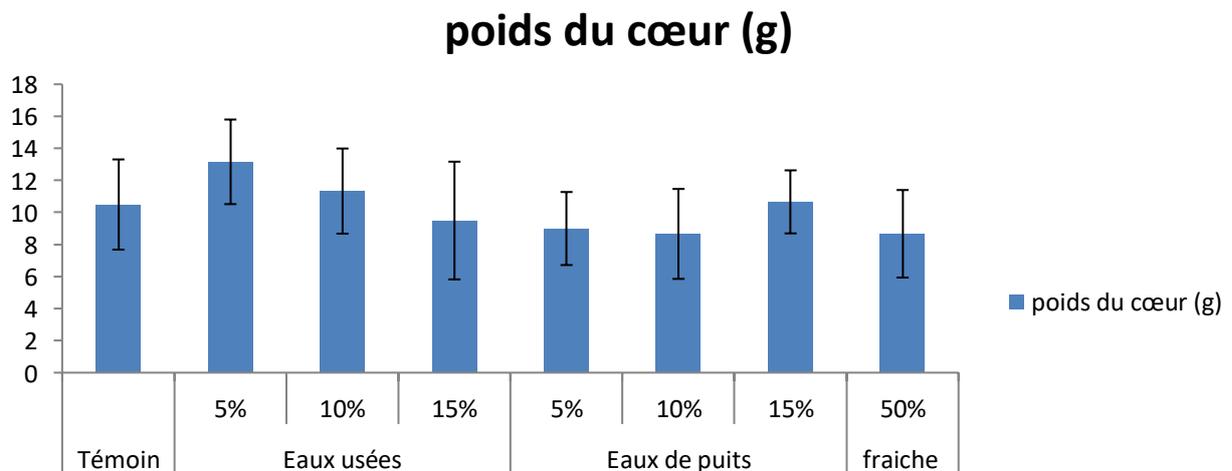


Figure 43 : Variation du poids du cœur chez la poule Fayoumi.

➤ **Poids du gésier**

Nos résultats et l'étude statistique (Figure 43) démontrent que le poids du gésier le plus élevé correspond à la concentration de 15% du régime (1) et au 50% d'Azolla fraîche avec une valeur de 22g est significative ($p < 0.05$) par rapport aux autres concentrations.

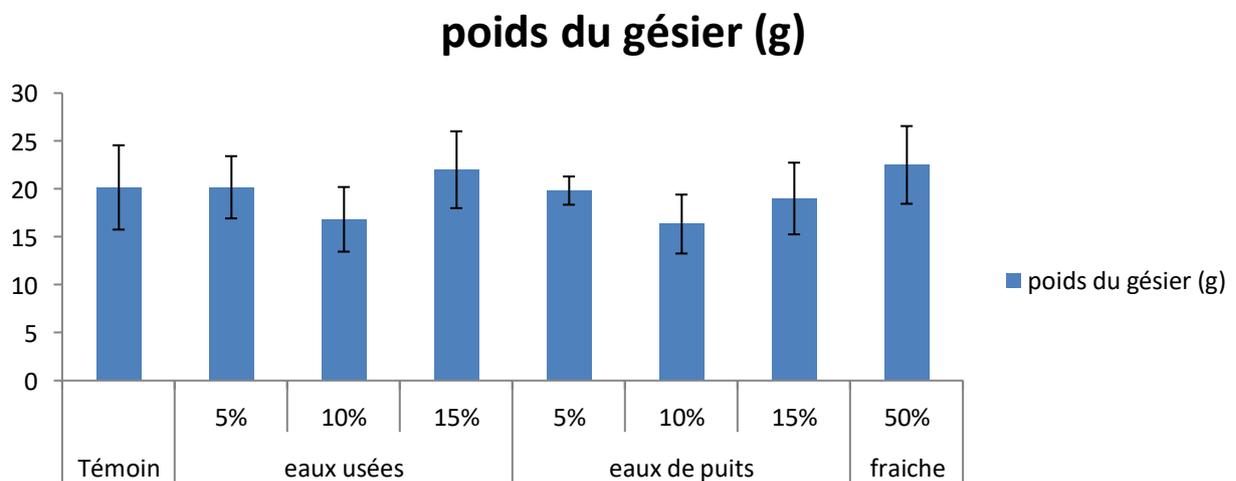


Figure 43 : variation du poids du gésier chez la poule Fayoumi.

➤ **Tissu adipeux**

Le tissu adipeux est presque absent chez la poule Fayoumi comme le montre figure 44 ci-dessous.

L'étude statistique a montré que la concentration de 15% du régime (1) a un poids du tissu adipeux plus élevé significatif ($p < 0.05$) que les autres lots. En revanche, la même étude révèle l'absence du tissu adipeux dans les deux lots de 10% (1) et 50%.

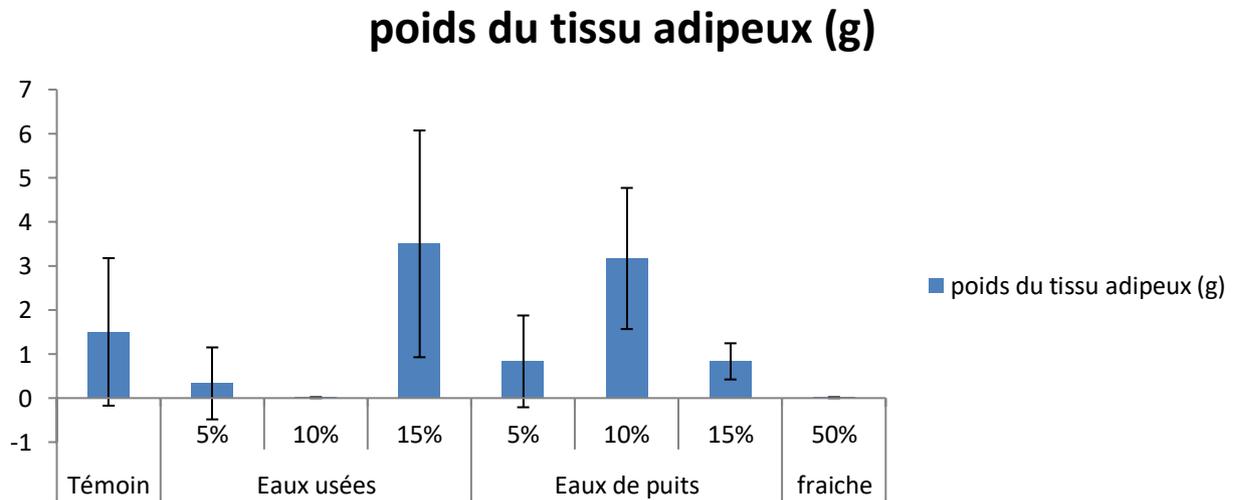


Figure 44 : variation du poids tissu adipeux chez la poule Fayoumi.

3. Qualité nutritionnelle de la viande

La viande est une source importante de protéines, de vitamines et de minéraux dans notre alimentation. Cependant, la qualité nutritionnelle de la viande peut varier en fonction de plusieurs facteurs.

➤ Taux de lipide

Des analyses ont été réalisées dans le but d'évaluer la qualité nutritionnelle de la viande de poulet. Parmi ces analyses, nous avons effectué des dosages du taux de protéines dans les cuisses et les filets de poulet provenant de différents groupes alimentaires. Chaque dosage a été répété trois fois. Les résultats de ces analyses sont présentés dans la figure 45 suivante

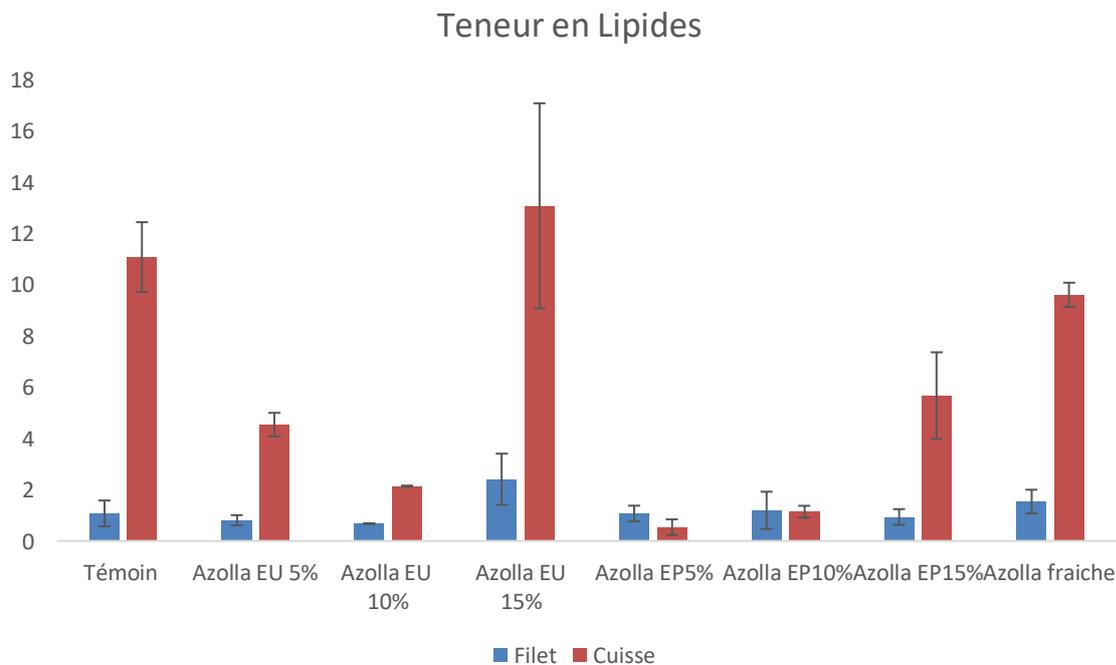


Figure 45 : Taux de lipide de cuisse et filet.

Selon nos résultats, les teneurs en lipides des poulets nourris avec un régime alimentaire contenant 15% d'Azolla sont significativement différentes ($p < 0.05$) des autres groupes. L'analyse statistique des résultats indique que les cuisses présentent une teneur en matière grasse plus élevée par rapport aux filets (5.96 g vs 1.2 g) respectivement. Les mêmes études révèlent que la concentration de 10% (1) présente la teneur en matière grasse la plus faible.

➤ Taux de protéine

L'amélioration de la quantité et de la qualité des protéines dans les produits animaux est l'un des paramètres les plus recherchés dans la production animale. Afin d'évaluer l'impact de l'azolla sur l'amélioration de ces paramètres, des analyses ont été réalisées sur les taux de protéines présentes dans les cuisses et les filets de poulet provenant de différents régimes alimentaires. Les résultats de ces analyses sont présentés dans la figure 46 suivante.

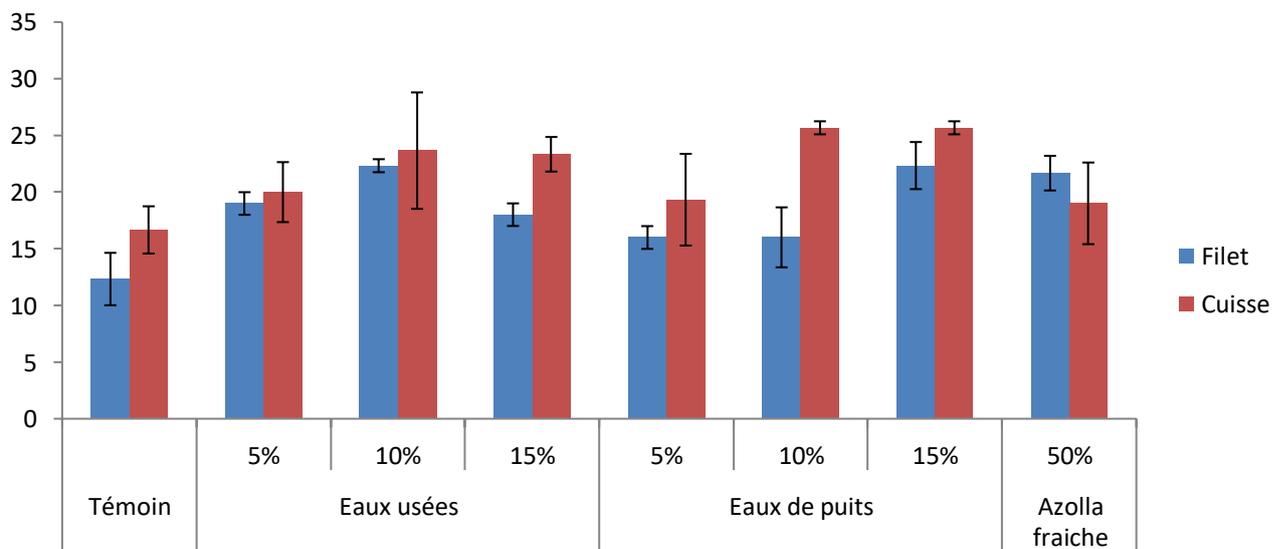


Figure 46 : Taux de protéine de cuisse et filet.

L'analyse statistique des résultats a révélé une tendance générale : la teneur en protéines des cuisses est plus élevée que celle des filets. De plus, cette étude a démontré que les régimes alimentaires contenant 15% (2) et 10% (1) d'Azolla sont significativement différents ($p < 0.05$) des autres groupes et présentent les teneurs en protéines les plus élevées dans les cuisses. Ces régimes ont atteint un pourcentage de protéines de 22.3%, ce qui représente une différence de 10% par rapport au groupe témoin.

➤ Teneur en matière sèche

Les analyses de matière sèche dans la viande fournissent des informations essentielles sur sa composition, sa qualité et sa valeur nutritionnelle. Pour cela des analyses de MS en était faite sur des cuisses et des filets de la poule Fayoumi avec trois répétitions, les résultats sont présenté dans la figure 47 suivante

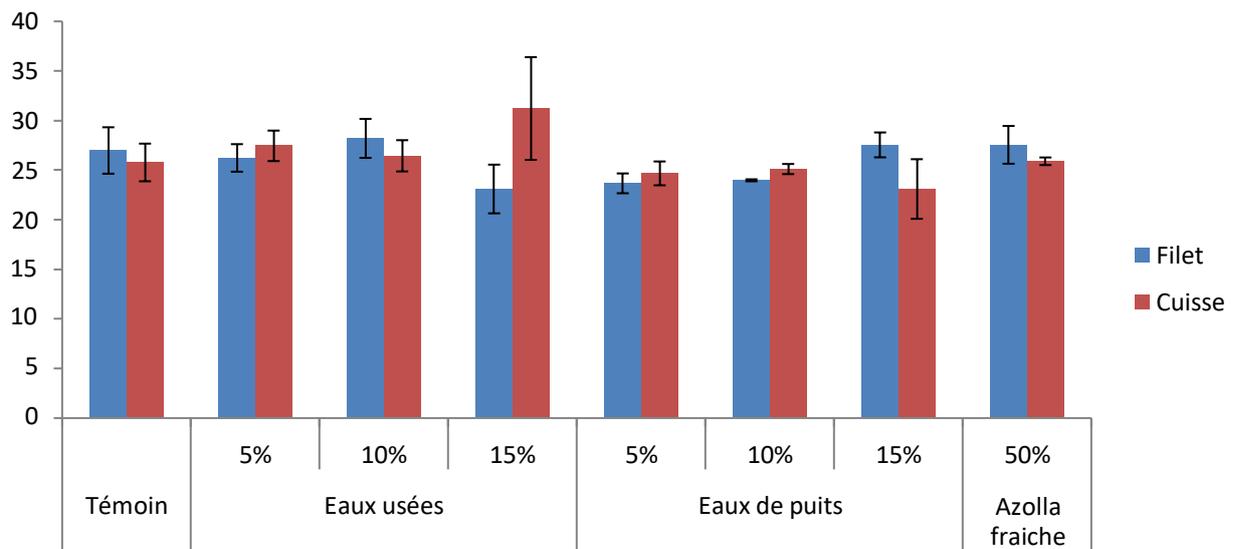


Figure 47 : Taux de Matière sèche de la viande de poule Fayoumi.

Les résultats de l'analyse statistique ont révélé que la concentration de 15% (1) présentait une teneur en matière sèche (MS) dans les cuisses significativement plus élevée ($p < 0.05$) par rapport aux autres groupes. La différence par rapport au groupe témoin était de 5,44%. De plus, cette étude a montré que les cuisses avaient une teneur en MS plus élevée que les filets.

En revanche, la concentration de 15% (2) a présenté la teneur en MS la plus faible avec un pourcentage de 23,10%, par rapport aux deux autres régimes.

En ce qui concerne le complément alimentaire, la teneur en MS diffère entre le filet et la cuisse. La teneur en MS du filet est supérieure à celle de la cuisse, avec des valeurs respectives de 27,55% et 25,89%.

➤ **Teneur en matière minérale**

L'évaluation du taux de matière minérale dans la viande revêt une importance cruciale pour apprécier sa valeur nutritionnelle, sa qualité, contrôler la production et contribuer à la prévention des carences nutritionnelles. Dans cette optique, des analyses ont été réalisées sur des échantillons de cuisses et de filets provenant de différents régimes alimentaires afin de déterminer leur taux de matière minérale. Les résultats de ces analyses sont présentés dans la figure 48 ci-dessous.

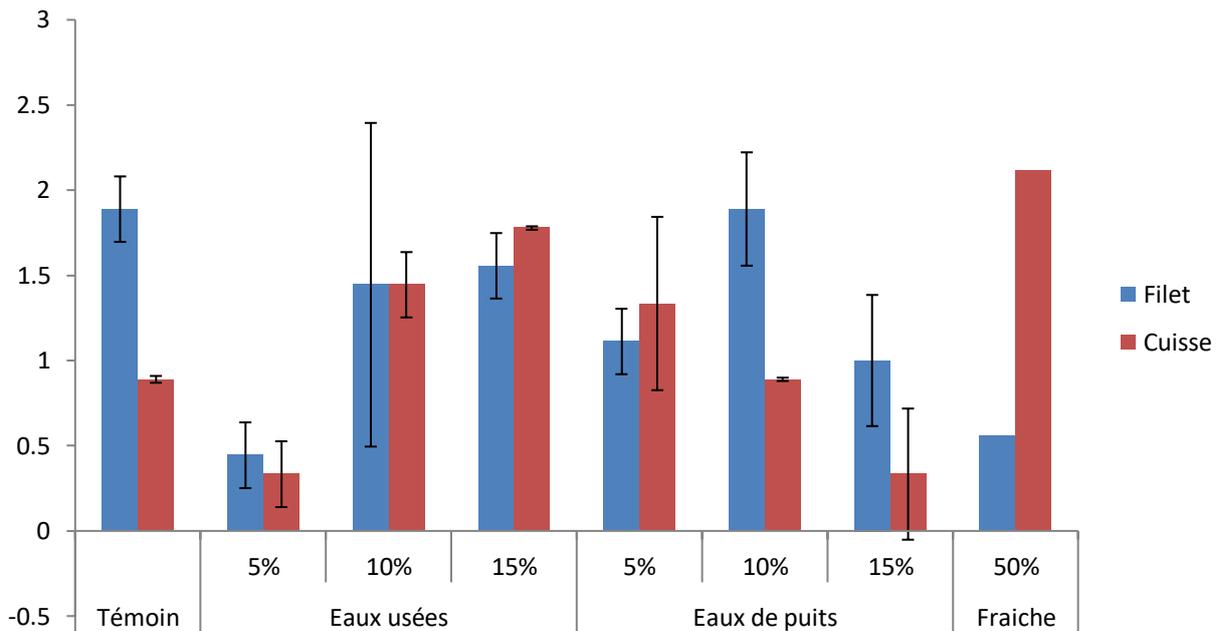


Figure 48 : La teneur en matière minérale des cuisses et filets.

L'analyse statistique a révélé une teneur significativement élevée en minéraux dans la cuisse du complément alimentaire à base d'Azolla fraîche, atteignant 2,11% ($p < 0,05$) par rapport aux autres régimes. De plus, cette même étude a démontré que le pourcentage le plus élevé de minéraux se trouve dans le filet avec une concentration de 10% (2), qui présente une valeur similaire à celle du groupe témoin, soit 1,88%.

L'analyse statistique a confirmé la présence significative de minéraux dans la cuisse du complément alimentaire à base d'Azolla fraîche par rapport aux autres régimes. De plus, le filet avec une concentration de 10% (2) a montré le pourcentage le plus élevé de minéraux, comparable à celui du groupe témoin (1,88%).

➤ **Teneur en eau**

L'analyse de la teneur en eau de la viande est cruciale pour garantir la sécurité alimentaire, maintenir la qualité du produit, contrôler la production et respecter les réglementations en matière d'étiquetage. Les résultats de teneur en eau sont présentait dans la figure 49 suivante :

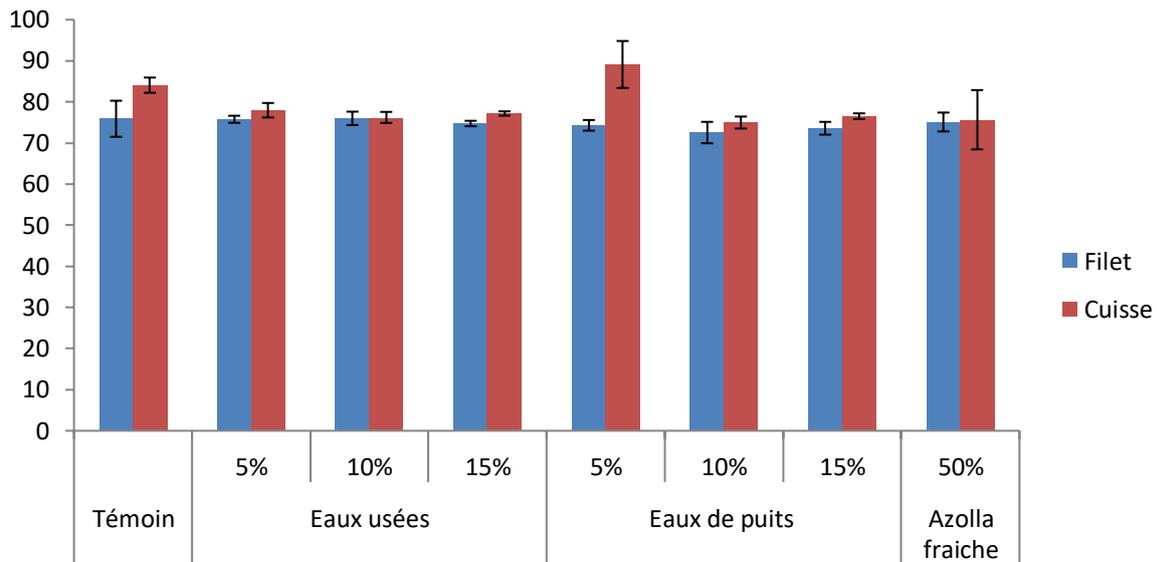


Figure 49 : Teneur en eau des filets et cuisses.

L'analyse statistique a révélé une teneur significativement élevée en minéraux dans la cuisse du complément alimentaire à base d'Azolla fraîche, atteignant 2,11% ($p < 0,05$) par rapport aux autres régimes. De plus, cette même étude a démontré que le pourcentage le plus élevé de minéraux se trouve dans le filet avec une concentration de 10% (2), qui présente une valeur similaire à celle du groupe témoin, soit 1,88%.

L'analyse statistique a confirmé la présence significative de minéraux dans la cuisse du complément alimentaire à base d'Azolla fraîche par rapport aux autres régimes. De plus, le filet avec une concentration de 10% (2) a montré le pourcentage le plus élevé de minéraux, comparable à celui du groupe témoin (1,88%)

➤ **Teneur en matière organique**

L'analyse de la matière organique de la viande est importante pour évaluer sa qualité, détecter les fraudes alimentaires, assurer la sécurité alimentaire et se conformer aux réglementations en vigueur. Ces analyses contribuent à garantir que la viande est sûre, authentique et conforme aux attentes des consommateurs en matière de qualité nutritionnelle. Les résultats de teneur en matière organique sont présentés dans la figure 50 suivante :

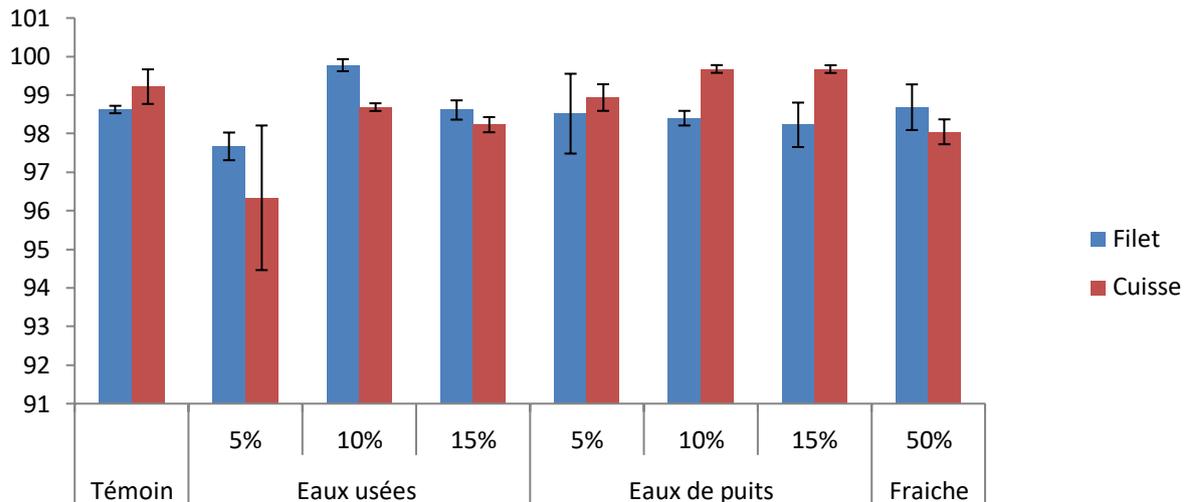


Figure 50 : La teneur en matière organique des filets et cuisses.

Nos résultats sont traités statistiquement ($p < 0.05$) et ils ont montré que la cuisse contient plus de matière organique par rapport au filet. La même étude a révélé que la teneur la plus élevée en matière organique est celle du filet de régime (1) de 10% par rapport aux autres concentrations y compris le témoin avec une différence de 0.56%.

La teneur la plus faible en matière organique s'est manifestée à la concentration de 5% du régime (1) dans les deux parties des deux régimes alimentaires.

➤ Oxydation des lipides

Le dosage de l'oxydation des lipides dans les viandes permet d'évaluer la qualité sensorielle, la stabilité, la durée de conservation, ainsi que les aspects liés à la santé et à la sécurité alimentaire. Ces informations sont essentielles pour l'industrie alimentaire afin de fournir des produits de qualité et sûrs aux consommateurs. Les résultats sont présentés dans la figure 51 suivante :

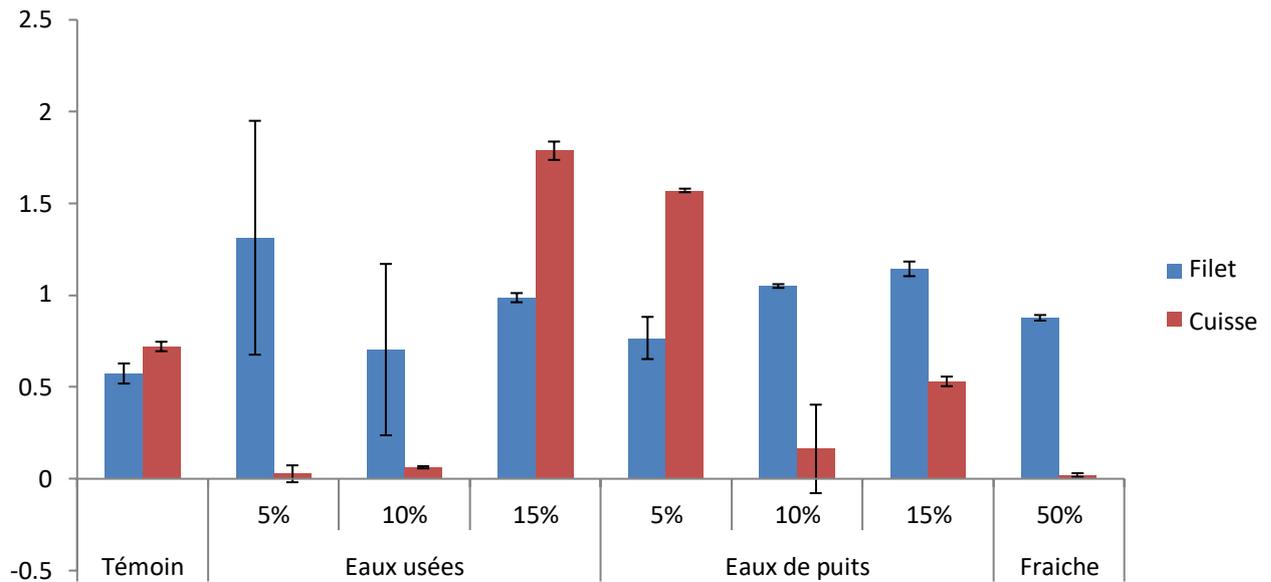


Figure 51 : Oxydation des lipides de viande de poule Fayoumi.

Nos résultats ont montré que les poules nourries avec le régime 1 de 15% ont un degré d'oxydation significativement ($p < 0.05$) plus élevé par rapport aux autres concentrations y compris le témoin d'une différence de 0.74% (1.78% vs 0.72%). La même étude a montré que les filets ont un degré d'oxydation supérieur à celui de la cuisse (0.92% vs 0.60%).

La comparaison entre les lots a démontré que le degré d'oxydation de la cuisse de 15% du régime (1) est le plus élevé par rapport aux autres parties des différentes concentrations de moyenne de 1.78%. Par contre le lot de 50% d'Azolla fraîche a marqué le degré le plus faible dans les deux parties (cuisse et filet) par rapport aux autres lots.

L'Azolla est une fougère aquatique qui a été étudiée pour son potentiel en tant que source de protéines pour l'alimentation animale. Elle est riche en protéines, en acides aminés essentiels, en vitamines et en minéraux, ce qui en fait un complément alimentaire potentiel pour améliorer la qualité nutritionnelle de la viande (**Kumar et al.**, 2020).

Une étude de 2020 a examiné l'effet de l'incorporation de l'Azolla dans l'alimentation des poulets de chair sur la qualité de la viande. Les résultats ont montré que l'incorporation de l'Azolla dans l'alimentation a amélioré la qualité de la viande en termes de teneur en protéines, de profil en acides aminés et de teneur en minéraux. Cela suggère que l'Azolla pourrait être utilisée comme source de protéines alternative et durable dans l'alimentation des volailles pour améliorer la qualité nutritionnelle de la viande (**Kumar et al.**, 2020).

En outre, une étude de 2021 a comparé la qualité nutritionnelle des produits à base de viande et des produits à base de plantes, y compris ceux enrichis en Azolla. Les résultats ont montré que les produits à base de plantes avaient généralement une densité énergétique plus faible, une teneur en matières grasses totales plus faible, une teneur en graisses saturées significativement plus faible et une teneur en fibres significativement plus élevée que les produits à base de viande. Cependant, la teneur en sel était significativement plus élevée dans la plupart des catégories de produits à base de plantes. Ces résultats suggèrent que les produits à base de plantes, y compris ceux enrichis en Azolla, pourraient être une alternative plus saine à la viande, mais des efforts sont nécessaires pour réduire leur teneur en sel (**Alae-Carew et al.**,2021) .

L'incorporation de l'Azolla dans l'alimentation animale a montré des effets positifs sur la qualité nutritionnelle de la viande. L'Azolla est une fougère aquatique riche en protéines, vitamines et minéraux, ce qui en fait un complément alimentaire potentiel pour l'élevage de volailles et de porcs.

Une étude réalisée par **Kumar et Gupta** (2019) a montré que l'incorporation de l'Azolla dans l'alimentation des poulets de chair améliore la qualité de la viande en augmentant la teneur en protéines et en réduisant la teneur en lipides. De plus, l'Azolla a également montré des effets positifs sur le profil en acides gras de la viande, avec une augmentation des acides gras polyinsaturés bénéfiques pour la santé humaine.

Une autre étude menée par **Sogbesan et Ugwumba** (2008) a montré que l'Azolla peut être utilisée comme source de protéines dans l'alimentation des poissons, ce qui peut améliorer la qualité nutritionnelle de la viande de poisson.

En ce qui concerne l'effet de l'Azolla sur les protéines de la viande, une étude réalisée par **El-Deep et al.**, (2020) a montré que l'incorporation de l'Azolla dans l'alimentation des poulets de chair a entraîné une augmentation significative de la teneur en protéines de la viande.

En conclusion, l'Azolla semble être une source de nutriments prometteuse pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle de la viande. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les mécanismes exacts par lesquels l'Azolla améliore la qualité de la viande et pour optimiser les régimes alimentaires pour différents types d'animaux.

4. Azolla

➤ Protéine

Les résultats montrent que le taux de protéine d'Azolla sèche cultivée dans l'eau usée (2) est plus élevé par rapport à l'Azolla fraîche (1) d'environ (27,36 % vs 25,667%) (Une différence de 6%), en comparant avec le lot témoin d'Azolla cultivée dans l'eau de puits (3) qui est moins importante.

Les résultats sont présentés dans la figure 52

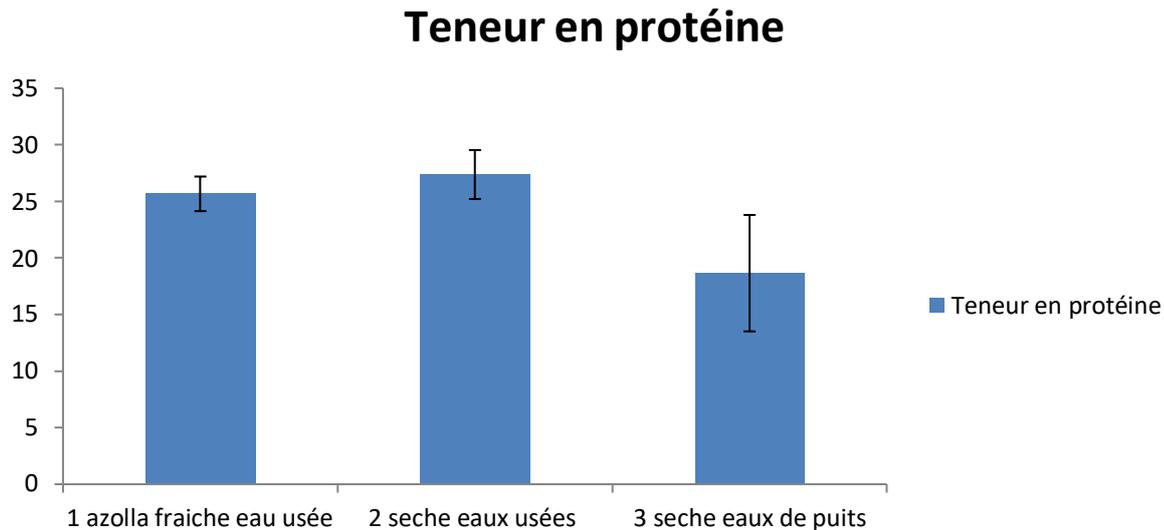


Figure 52 : variation du taux de protéine de l'Azolla

➤ Lipide

D'après notre analyse statistique des résultats, il a été observé que les niveaux de lipides dans l'Azolla fraîche (1) sont significativement plus élevés que dans l'Azolla sèche (1), avec une différence d'environ 7g par rapport à 5.16g respectivement. De plus, le groupe témoin présente un taux de lipides équivalent à 2.7%.

Les résultats des analyses sont présentés dans la figure 53.

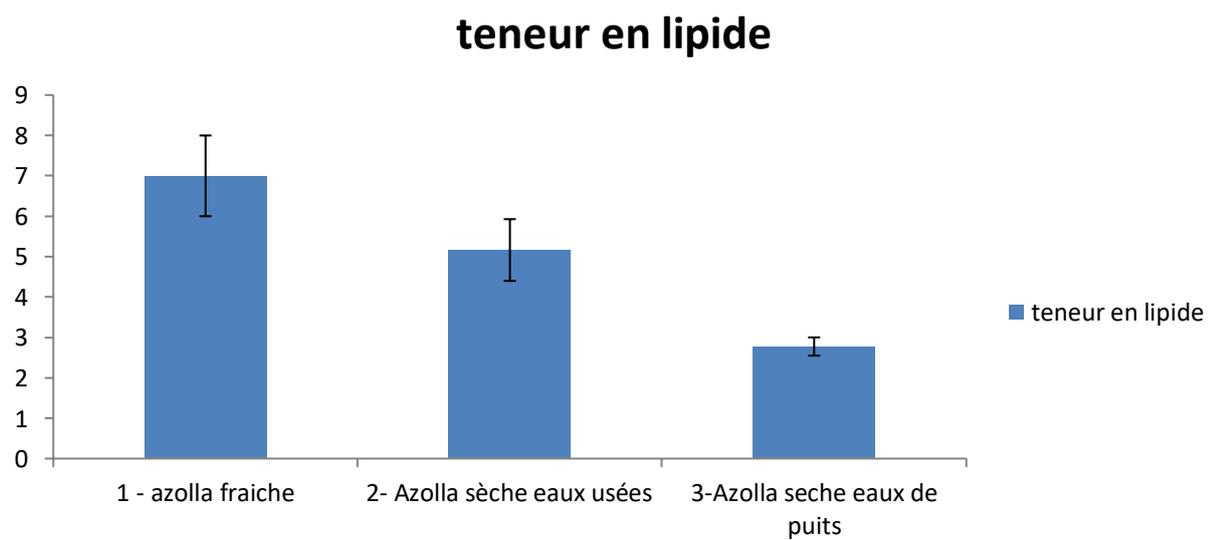


Figure 53 : variation du tût de lipide de l'Azolla.

Traitement des eaux usées

Nos analyses sur l'eau usée ont montré une différence significative ($p < 0.05$) (voir la figure) avant et après le traitement par l'*Azolla*. D'après l'étude statistique nous avons constaté une diminution remarquable de (DCO5, DCO, MES, PH et l'oxygène dissous) qui est d'une moyenne de 214.39%.

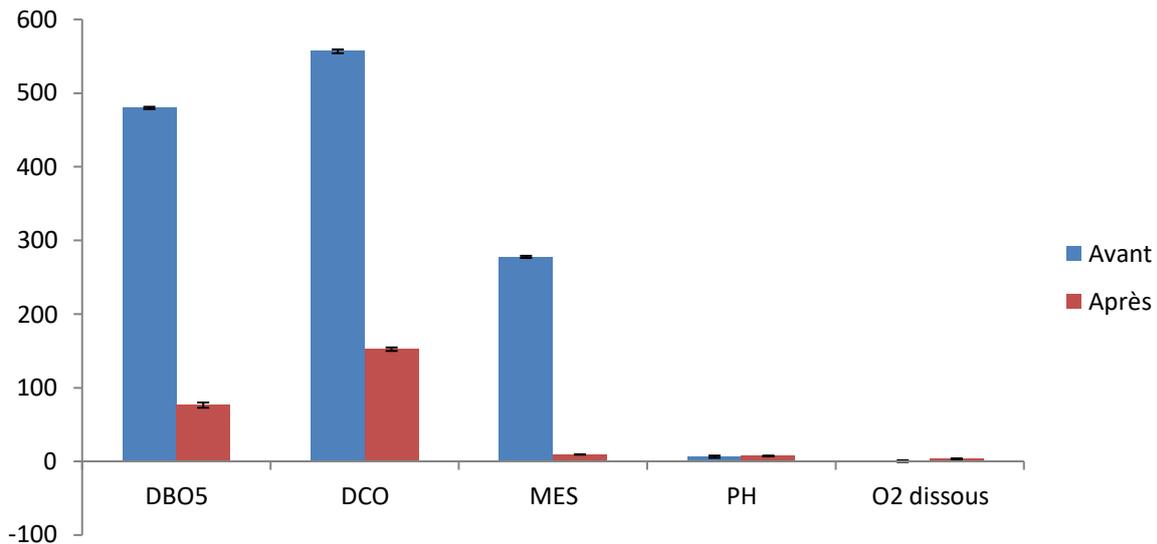


Figure 54: la variation avant et après le traitement.

L'utilisation de fougères aquatiques dans le traitement des eaux usées est une approche qui gagne en popularité. Par exemple, *Azolla Filiculoides*, une fougère aquatique, a démontré une capacité à éliminer divers polluants des eaux usées municipales. Dans une étude, *Azolla Filiculoides* a éliminé jusqu'à 83% de SO_4^{2-} , 76% de Cl, 84% de PO_4^{3-} , 76% de NO_3^- , 79% de COD, 63% de BOD et 49% de EC en 21 jours (**Palomino Seguil et al.**, 2022).

Cependant, il est important de noter que l'efficacité de ces fougères peut être affectée par la présence de certains produits chimiques dans les eaux usées. Par exemple, le triclosan, un biocide couramment utilisé dans les produits de soins personnels, a été montré pour inhiber la germination des spores et la croissance des gamétophytes de certaines fougères, y compris *Onocleasensibilis* et *Osmundaclaytoniana* (**Watson et al.**, 2020).

En somme, alors que les fougères aquatiques offrent un potentiel prometteur pour le traitement des eaux usées, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement leur efficacité et les facteurs qui peuvent l'affecter.

Conclusion

Conclusion

En conclusion, notre travail sur le traitement des eaux usées par l'Azolla et son incorporation dans l'alimentation des poules Fayoumi a démontré des résultats positifs sur plusieurs aspects. Tout d'abord, l'utilisation de l'Azolla a permis un bon traitement des eaux usées, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.

De plus, l'incorporation de l'Azolla dans l'alimentation des poules a conduit à une amélioration significative de leur qualité nutritionnelle, ainsi que de leurs paramètres zootechniques et pondéraux.

L'Azolla a agi comme un complément alimentaire bénéfique pour les poules, fournissant des nutriments essentiels et favorisant leur croissance et leur développement sain.

En outre, cette approche a permis d'économiser des ressources en utilisant les eaux usées comme milieu de croissance pour l'Azolla, transformant ainsi un déchet en une ressource valorisée.

Les résultats obtenus mettent en évidence le potentiel de l'utilisation de l'Azolla dans le domaine du traitement des eaux usées et de l'amélioration de la qualité de l'alimentation animale.

Notre travail contribue à la recherche sur des solutions durables pour résoudre les problèmes environnementaux et améliorer la productivité agricole.

Il est important de souligner que notre étude ouvre la voie à de nouvelles possibilités de recherche et d'application pratique dans le domaine de la gestion des eaux usées et de l'agriculture durable.

Les conclusions positives de notre travail soutiennent l'idée que l'utilisation de l'Azolla peut être une approche prometteuse pour une meilleure utilisation des ressources, la protection de l'environnement et l'amélioration de la productivité agricole.

Références bibliographique

- El-Sayed et al. (2019). "Barley (*Hordeum vulgare* L.) in Animal Nutrition." In: Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. Woodhead Publishing. DOI: 10.1016/B978-0-08-100719-8.00009-6.
- A.H. Buschmann, C. Camus, J. Infante, A. Neori, Á. Israel, M.C. Hernández-González, S.V. Pereda, J.L. Gomez-Pinchetti, A. Golberg, N. Tadmor-Shalev. Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *Eur. J. Phycol.*, 52 (2017), pp. 391-406
- A.H. Buschmann, S. Prescott, P. Potin, S. Faugeron, J.A. Vasquez, C. Camus, J. Infante, M.C. Hernández-González, A. Gutierrez, D.A. Varela. The status of kelp exploitation and marine agronomy, with emphasis on *Macrocystis pyrifera*. *Advances in Botanical Research*, Elsevier, Chile (2014), pp. 161-188.
- Abdelatty M.I., Mandouh S.A., Mohamed S., Busato O., Badr M., Bionaz A.A., Elolimy M.M.A., Moustafa O.A.A., Farid A.K., Al-Mokaddem. Azolla leaf meal at 5% of the diet improves growth performance, intestinal morphology and p70S6K1 activation, and affects cecal microbiota in broiler chicken. *Animal*. 2021.
- Abdel-Moneim, A. M. E., Mohammed, H. A., & Mahmoud, F. F. (2017). Phenotypic and genetic characterization of Fayoumi chicken breed in Egypt. *Asian Journal of Poultry Science*, 11(1), 7-15.
- Abdel-Moneim, A. M. E., Mohammed, H. A., & Mahmoud, F. F. (2017). Phenotypic and genetic characterization of Fayoumi chicken breed in Egypt. *Asian Journal of Poultry Science*, 11(1), 7-15.
- Achrine, S., Serkhane, I. (2020). Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et microbiologique du cachir de poulet (pâté). Mémoire de fin d'étude. Université Akli Mohand oulhadj-Bouira.
- AFSSA., (2003). Evaluation nutritionnelle et sanitaire des aliments issus de l'agriculture biologique France.
- Ahcène, K. (2022, mars 9 et 10). LA FILIERE AVICOLE EN ALGERIE. ACQUIS, CONTRAINTES ET ENJEUX. Quatorzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras.
- Ait Addik, S., Ait Oufella, L. (2015) : étude des paramètres physicochimiques et microbiologiques du pâté de volaille en boîte métallique produit à l'unité ORAC de TABOUKERT. Mémoire de fin d'étude. Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Références bibliographique

- Alae-Carew, C., et al. (2021). Nutritional Quality of Plant-Based Meat Alternatives: A Cross-Sectional Survey of UK Supermarket Products. *Nutrients*, 13(12), 4225.
- Alalade O.A. and Eustace I. Chemical Composition and the Feeding Value of Azolla(*Azolla pinnata*) Meal for Egg-Type Chicks. *International Journal of Poultry Science*.2006. 137-141.
Basak, B. ;Pramanik, A. H. ; Rahman, M. S. ; Tarafdar, S. U. ; Roy, B. C., 2002. Azolla (*Azolla pinnata*) as a feed ingredient in broiler ration. *Int. J. Poult. Sci.*, 1 (1/3): 29-34
- Al-Antably, A. M. A., El-Magd, M. A., & Osman, S. A. M. (2017). Genetic diversity among Egyptian Fayoumi chicken populations using microsatellite markers. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 7(2), 303-307.
- Al-Antably, A. M. A., El-Magd, M. A., & Osman, S. A. M. (2017). Genetic diversity among Egyptian Fayoumi chicken populations using microsatellite markers. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 7(2), 303-307.
- Amroune N. 2020. Alimentation du lapin : Valorisation de l'Azolla dans l'alimentation des lapins étude bibliographique. Mémoire de master. Université Akli Mohand Oulhadj.
- ASFOURI, N. Y. (2019). Production en masse de microalgue: optimisation des paramètres physico-chimique. oran.
- *Azolla filiculoides* (water or fairy fern); sample on human index finger, showing scale. UK, 2008. CABI.<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendum.8119>
- Becking J.H. Environmental requirements of Azolla for use in tropical rice production, Nitrogen and rice symposium proceedings. (1979). 345-373.
- Betraoui, M. (2021). « L'Algérie consomme 50.000 tonnes de viande blanche par mois ». *Algeri Eco*.
- BUJAK JONATHAN, A. B. (2019). Récupéré sur the azolla foundation: <http://theazollafoundation.org/azolla/the-west-discovers-azolla/>
- Serghini-Caid et al. (2013). "Wheat in Animal Nutrition." In: *Encyclopedia of Food Grains*. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00559-0.
- C.I.V. (2010). *Valeurs Nutritionnelles des Viandes*, Paris.
- Carlsson, B. L., Jacobsson, L., & Andersson, L. (2006). Genetic regulation of feather development in the chicken. *Animal Genetics*, 37(3), 217-224. Veuillez consulter ces

Références bibliographique

références pour obtenir plus d'informations détaillées sur les caractéristiques phénotypiques et génotypiques de la poule cou-nu.

- Chander H., Kumar G. A Study on the Potential of *Azolla pinnata* as Livestock Feed Supplement for Climate Change Adaptation and Mitigation. 2017
- Chanel, E. H. (2016). Identifier des microalgues pour le traitement des eaux. UNIVERSITE LIBANAISE FACULTE DE GENIE .
- CNIS. (2021). Statistiques du commerce extérieure de l'Algérie. Services des douanes . Centre Nationale de l'Informatique et de statistiques .
- CNRC. (2020). Traitement statistique du fichier du CNRC relatif aux inscriptions du registre de commerce.
- Liu et al. (2019). "Corn (Maize) in Animal Nutrition." In: Feed and Feeding Practices in Aquaculture. Woodhead Publishing. DOI: 10.1016/B978-0-12-812812-7.00006-6.
- Diomande M., Grogga N. & Kouame K.B. (2017). Effet des filtrats de fiente de poulet et bouede vache sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de farine d'algues vertes (*Azolla filiculoidales* et *Azolla caroliniana*). International Journal of Scientific & Engineering Research, 8(10) : 1535 - 1548.
- Dommergues Y.R., Diem H.G. Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity. Developments in plant and soil science. (1982). 5. 329p.
- Molina-Alcaide, M.D. Carro, M.Y. Roleda, M.R. Weisbjerg, V. Lind, M. Novoa-Garrido. In vitro ruminal fermentation and methane production of different seaweed species. Anim. Feed Sci. Technol., 228 (2017), pp. 1-12.
- El-Deep MH, Amber KA, El-Kholy MS, et al. Effect of partial replacement of protein in broiler chicken diets with *Azolla pinnata* meal on the performance, carcass yield, and immune response. Vet World. 2020;13(5):914-920. [Lien vers l'article](#)
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2022. L'Etat des ressources en terre et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde des systèmes au bord de la rupture. Rapport principale. Rome, FAO.
- FAO. (2022). L'Annuaire statistique de l'alimentation et de l'agriculture mondiales 2022.
- FAO. (2022). L'Annuaire statistique de l'alimentation et de l'agriculture mondiales 2022.
- FEEDIPEDIA. (2019). Récupéré sur <https://www.feedipedia.org/node/565>.
- fertilisatrice d'Azote (N₂). 301p

Références bibliographique

- Frenot, M., Vierling, E. (2001). *Biochimie des Aliments : Diététiques du Sujet Bien Portant*. Biosciences et Techniques. Ed ; Doin, Paris
- GAIDI, M. (2023). Pour face au stress hydrique en Algérie les chercheurs du CRE tranchent: "La solution est le recyclage et le traitement des eaux usées". *EL Watan*
- Godoy, M. P., et al. (2020). Inclusion of *Eisenia fetida* meal in the diet of broiler chickens: effect on performance, carcass characteristics, and economic viability. *Poultry Science*, 99(1), 49-57.
- Guldhe A., Ansari F.A., Singh P., et al. (2020). Microalgae-Based Wastewater Treatment for Nutrient Recovery and High-Value Biomolecule Production. In: Pant D., Das D., Korres N. (Eds.) *Microalgal Biotechnology for Development of Biofuel and Wastewater Treatment*. Springer.
- Guo, J., Bao, W., He, Y., Huang, Z., Wang, K., Zhou, T., ... & Tang, Q. (2019). Transcriptome analysis reveals differentially expressed genes and pathways for intramuscular fat deposition in pectoralis muscles between local chicken breeds and commercial chicken lines. *Poultry Science*, 98(12), 6282-6295.
- Gupta, A., et al. (2021). Disease incidence in indigenous chicken reared under backyard system. *Poultry Science*, 100(5), 101210.
- <https://jeanneemard.wordpress.com/2019/08/22/lutilisation-des-cereales-de-1983-a-2028/>.
- Hussain, J., El-Gendy, H., Kadochová, Š., & El-Sayed, M. (2015). Conservation status and population structure of the Egyptian Fayoumi chicken breed. *Poultry Science*, 94(3), 456-462.
- Hussain, J., El-Gendy, H., Kadochová, Š., & El-Sayed, M. (2015). Conservation status and population structure of the Egyptian Fayoumi chicken breed. *Poultry Science*, 94(3), 456-462.
- Indian Dairy & Poultry industry. 2020. 43p.
Dhumal MV., Siddiqui MF., Siddiqui MBA., Avari PE. Performance of broilers fed on different levels of *Azolla* meal. *Indian J. Poult. Sci.* 2009. 44: 65-68.
- Johansson, M., & Lantto, R. (2006). Efficiency of phosphorus removal from wastewater using the water fern *Azolla*. *Water Research*, 40(4), 721-726.
- Józefiak, D., Biasato, I., Gatlin III, D. M., & Rawski, M. (2016). Effects of dietary inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal on growth performance, nutrient

Références bibliographique

- digestibility and caecal microbiota composition of broiler chickens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(1), 1-10.
- K. P. Ramesh Kumar et al. (2019). "Sorghum in Animal Nutrition." In: *Sorghum: Methods and Protocols*. Springer. DOI: 10.1007/978-1-4939-8819-1_37.
 - KACI Ahcène 1 1 Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Hassan Badi, El Harrach , 16200, Alger, Algérie, kaciahcne@gmail.com
 - Kanginakudru, S., Metta, M., Jakati, R. D., Nagaraju, J., & Gupta, V. S. (2019). Genetic diversity and population structure of indigenous chicken breeds from Madagascar, Egypt, and India. *Animal Genetics*, 50(4), 386-391.
 - Kanginakudru, S., Metta, M., Jakati, R. D., Nagaraju, J., & Gupta, V. S. (2019). Genetic diversity and population structure of indigenous chicken breeds from Madagascar, Egypt, and India. *Animal Genetics*, 50(4), 386-391.
 - Karlsson, A. C., & Jensen, P. (2020). Genetic background affects welfare assessment of naked neck chickens. *Poultry Science*, 99(4), 2172-2181.
 - KIROUANI, L. (2015). Structure et organisation de la filière avicole en Algérie. El-Bahith .
 - Kumar G. and Chander H. A Study on the Potential of *Azolla pinnata* as Livestock Feed Supplement for Climate Change Adaptation and Mitigation. *Asian J. Adv. BasicSci.* (2017). 5(2). 65-68.
 - Kumar S, Gupta K. Effect of azolla incorporation in diet on the performance of broiler chicken. *Vet World*. 2019;12(1):144-149. [Lien vers l'article↔](#)
 - Kumar, R., et al. (2020). Effect of Azolla-based diet on the meat quality of broiler chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(2), 611-620.
 - Kumar, R., Gupta, K., Saharia, K., Prasad, R., & Singh, M. (2011). Nutritional evaluation of azolla (*Azolla pinnata*) meal in the diet of commercial broilers. *Journal of Applied Animal Research*, 39(2), 183-186. [Lien vers l'article](#)
 - Kumari, N., Kumar, A., & Kumar, V. (2020). Indigenous chicken: A sustainable and climate-resilient choice for small-scale poultry production. *Animal Frontiers*, 10(3), 19-25.
 - Kutluyer, F., Aksu, T., &Yıldız, A. O. (2017). Effects of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) supplementation on growth performance, blood parameters, and oxidative stress in broilers. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 168(11), 548-554.]

Références bibliographique

- L. M. Lawrence (2012). "Oats in Animal Nutrition." In: Oats: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists. ISBN: 9781891127720.
- Lalander, C., et al. (2018). Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms - Kampala case study. *Applied Energy*, 209, 298-308.
- L'Algerie: Les précipitation ont diminué de 30% ces 20 dernieres annees. (2023). *Algerie Eco* .
- Li Y., Zhang X., Yin X. (2020). Microalgae for Biological Wastewater Treatment. In: Singh V., Singh P., Prasad S., et al. (Eds.) *Microalgal Biotechnology: Recent Advances, Market Potential, and Sustainable Applications*. Springer.
- Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J. K., & Yu, Z. (2017). Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *Waste management*, 67, 315-321.
- Lukiwati DR, Ristiarso P, Wahyuni HI (2008). Azolla Microphylla as Protein Source for Rabbits. Mekarn Workshop.
- Lumpkin, T. A., & Plucknett, D. L. (1980). Azolla: Botany, physiology, and use as a green manure. *Economic Botany*, 34(2), 111-153.
- M. A. Ayenew et al. (2017). "Millet in Animal Nutrition." In: *Millets and Sorghum: Biology and Genetic Improvement*. John Wiley & Sons. DOI: 10.1002/9781119130765.ch11.
- M. H. Prabu and T. Veerabahu Ramasamy, "Azolla: A potential feed supplement in aquaculture," *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, vol. 3, no. 5, pp. 108-112, 2015.
- Madr (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2021. Statistiques agricoles, séries A et B. Alger, Algérie.
- MADR, M. d. (2021). Statistiques agricoles séries A et B . Alger, Algérie.
- MAGDELAINE, P. (2021, Février). Encyclopédie de l'acadimie d'agriculture de france. Production, consommation et échanges de viande de volaille, dans le monde . france .
- -Mahammi F.Z., Gaouar S., Tabet Aoul N., Saidi Mehtar N. (2012). 2eme Symposium de la Recherche Avicole, 17- 18 Oct. Batna
- Mahendra, K.P. Importance of indigenous breeds of chicken for rural economy and their improvements for higher production performance. *Scientifica* 2016, 2016, 9. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]

Références bibliographique

- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33.
- Mario Jodoin (2019). L'utilisation des céréales de 1983 à 2028. Jeanne Emmerdworpress :
- Martin, P. J., Hauser, C. A., & Baker, D. D. (1982). *Azolla filiculoides* Lam. (Azollaceae) in Africa, south of the Sahara: A threat to freshwater resources. *South African Journal of Science*, 78(4), 162-164.
- Martinez, X., & et al. (2012). Title of the study. *Journal Name*, Volume(Issue), Page range.
- Maurya R., et al. (2021). Microalgae-Based Wastewater Treatment Systems: Advances and Challenges. *Frontiers in Energy Research*, 9, 663213.
- Mebanga SA, Gapelbe SA, Mingoas JP. 2020. Effets du chaponnage sur les performances zootechniques du poulet local dans la ville de Ngaoundéré au Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14(3): 788-799. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i3.12>
- Mehdaoui A. (2010). 1er Symposium de la Recherche Avicole, 9-11 Nov. Batna
- Moula N, Antoine-Moussiaux N, Farnir F, Detilleux J et Leroy P. 2009 Réhabilitation socioéconomique d'une poule locale en voie d'extinction: la poule Kabyle (Thayazitlekvayel). *Annal de Médecine Vétérinaire* 153: 178-186.
- Nguyen, T. H., et al. (2022). Heat tolerance of local chicken breeds in a hot-humid climate. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 35(6), 922-929.
- Nisa, R., Ramay, S. M., & Sohail, M. U. (2020). Evaluation of water lentils (*Lemna minor*) as a partial replacement of soybean meal in broiler chicken diets. *Tropical Animal Health and Production*, 52(1), 519-525.
- Nuraini, Mirzah H (2021). *Azolla fermentasi untuk unggas*. Sukabina Press. Padang
- Nurhidayati, T., Hariyadi, T., & Safitri, R. (2020). Effect of *Azolla pinnata* Biofertilizer Application on Growth and Yield of Mustard (*Brassica juncea* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 423(1), 012026.
- Oon, Y. L., Lim, L. Y., & Yu, Y. M. (2018). Potential of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) in Organic Waste Management through Conversion to High-Value Protein Feed and Organic Fertilizer. *Sustainability*, 10(9), 3034.
- Oonincx, D. G. A. B., van Iterbeek, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A., & van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia

Références bibliographique

production by insect species suitable for animal or human consumption. PloS one, 5(12), e14445.

- Ouedraogo B., Nikiema S.Z., Zoundi S.J., Sawadogo L.F. et Ouedraogos S. Effets del'incorporation de la biomasse d'azolla séchée dans les rations du poulet en agriculturetraditionnels amélioré. 2021.
- Palomino Seguil, Y., Vilchez Garay, L., Matencios Cortez, C., CornejoTueros, J. C., Camargo Hinostroza, S., & Canales Guerra, V. (2022). Systematic Review of the Efficiency of Aquatic Plants in the Wastewater Treatment.
- Pan, G., & et al. (2011). Title of the study. Journal of Animal Science and Biotechnology, Volume (Issue), Page range.
- Patel, R., et al. (2023). Livelihood perspectives of indigenous chicken farming: A case study in rural communities. International Journal of Poultry Science, 22(1), 30-36.
- Pereira, S., et al. (2019). Treatment of urban wastewater using Azolla filiculoides: Effects on the wastewater effluent and the receiving water body. Water Research, 165, 114989.
- Piccolo, A. (2011).Spirulina: a livehood and a business venture.FAO
- Pierre Harlaut. Cultiver l'azolla caroliana en aquaponie.Aquaponie.2019
- PNUE(Programme des nations Unies pour l'environnement).2019.L'Avenir de l'environnement mondial-Ge06.Nairobi,PNUE.
- Qiu, L., & et al. (2013). Title of the study. Journal Name, Volume(Issue), Page range.
- Raeolina B.A. 1995. L'utilusation de l'Azolla dans l'alimentation Du poulet de chair.Mémoire de fin d'étude, université d'Antananarivo.
- Rahagarison. 2005. Etude bibliographique de l'Azolla ou la « ramilamina » plante
- Rajasulochana, P., &Preethy, V. (2018). Azolla–Anabaena as a bio-filtration system for treatment of domestic sewage. Journal of Environmental Management, 218, 437-445.
- Rajesh S. Production of Azolla as livestock feed supplement in India. Pashudhan prepare.
- Rasoloarivony R. 2003. Contribution a l'étude de l'influence des conditions climatiques sur la sporulation d'azolla, en pepinière, dans la région d'Antananarivo. Thèse pourl'obtention du diplôme de doctorat de troisieme cycle option : physiologie végétale.173p.
- NtendeleBikela A. 2007. Essai comparatif de la qualité fertilisante d'Azolla cristata

Références bibliographique

et d'autres fumures (fiente, lisier et urée). Mémoire licence. Institut supérieur pédagogique de la Gombe Kinshasa.

- Regula Bickel et Matthias Meie (2017). Des lentilles d'eau pour les truites. Bioactualité.
- Reynouda P.A., Franche C. 1985. *Azolla Pinnata* Var. *Pinnata*, Dakar: ORSTOM. 15p
- Reynouda P.A., Franche C. 1985. *Azolla Pinnata* Var. *Pinnata*, Dakar: ORSTOM. 15p
- Ritchie, H. et Roser, M. 2017. Water Use and stress. OurWorldInData
- Rogers, L. J., et al. (2008). Genes, chromosomes, and behavior. In : *Avian Biology* (pp. 369-414). CRC Press.
- Dessi-Fulgheri, F., et al. (2003). Genetic and environmental variation in resistance of the Japanese quail to immobilization stress : effects of adrenocortical function and heat shock protein. *Journal of Evolutionary Biology*, 16(2), 316-325.
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition & food research*, 57(5), 802-823.
- Russ Kleinman & Danielle Walkup, Burro Mtns., Pancho Canyon, July 17, 2008. *Azolla mexicana*, photo : Vascular Plants of the Gila Wilderness Presented in Association with the Western New Mexico University Department of Natural Sciences
- *Azolla mexicana* Schlechtendal & Chamisso ex K. Presl
- S. Bhanu, V. Bhaskara Rao, and K. Veeranjanyulu, "Azolla as a feed supplement in livestock and fish production," *Journal of Applied Phycology*, vol. 23, no. 5, pp. 697-703, 2011.
- S. C. Sahoo, K. K. Mahapatra, and N. K. Sing, "Feeding Azolla (*Azolla pinnata*) in animal production: A review," *Livestock Research for Rural Development*, vol. 29, no. 6, 2017.
- Saurav Saha (2022). Implications and future prospects of Azolla as a low – cost organic input in agriculture
- Schmid, M., & et al. (2014). Title of the study. *Journal Name*, Volume(Issue), Page range.
- Sebastian A., Deepa P. and 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 Ltd. 517-532pp.

Références bibliographique

- Shamna T.P., Peethambaran P.A., Jalaludeen A., Joseph L. and. Muhammad Aslam M.K. Broiler characteristics of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) at different levels of diet substitution with *Azolla pinnata*. *Animal Science Reporter*, Volume 7, Issue 2. 2013.
- -Shapiro, M. D., et al. (2013). Genomic diversity and evolution of the head crest in the rock pigeon. *Science*, 339(6123), 1063-1067.
- Sirohi, S. K., Goel, N., Pandey, P., & Singh, B. (2013). Nutritional evaluation of azolla (*Azolla pinnata*) as feed in goats. *LivestockResearch for Rural Development*, 25(8). [Lien vers l'article](#)
- Smith, J., et al. (2019). Genetic mapping of quantitative trait loci associated with body weight and shape in chickens. *Poultry Science*, 98(2), 587-593.
- -Smith, J., Jones, A., & Brown, C. (2018). Morphological characteristics of local chicken ecotypes in three agro-ecological zones of Ghana. *World's Poultry Science Journal*, 74(1), 65-78.
- Smith, R. K., Stenzler, L., & Bhatnagar, K. P. (2012). Effect of diet on the incidence of and mortality owing to gastritis and renal disease in captive hispid cotton rats (*Sigmodonhispidus*). *Laboratory Animals*, 46(3), 247-255. [Lien vers l'article](#)
- Sogbesan AO, Ugwumba AA. Nutritional values of some non-conventional animal protein feedstuffs used as fishmeal supplement in aquaculture practices in Nigeria. *Turk J Fish AquatSci*. 2008;8(2):159-164. [Lien vers l'article↵](#)
- SOLAGRO (avril2022) Les céréales dans l'alimentation animale p. 2 sur 9
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Tomberlin, J. K., Newton, L., ... & Sealey, W. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the world aquaculture society*, 38(2), 309-313.
- Surendra, K. C., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R., Khanal, S. K., & Hwang, S. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197-202.
- Triest, L., &Stiers, I. (2013). *Azolla pinnata* as a biofertilizer for wetland rice. *International Journal of Environmental Studies*, 70(6), 962-971.
- United Nations, d.o.e.a.s.a., population division. *World Population Prospects: the 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248* (2017).

Références bibliographique

- USDA. (2021). FoodData Central. Récupéré le 30 juin 2023.
- Van Hove C. Azolla et ses emplois multiples (publié à la demande de la FAQ) SaintEtienne, Biologique, E, Oleffe, 1989, 52 p.
- Van Hove C., 1989. Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa. FAO, Rome,FAO. 53p
- Varadharajan A., Gnanasekar R. and Kothandaraman S. Studies on feeding value of Azolla in quails in relationship to its carcass traits. The pharma innovations. 2019.
- Watson, M. B., Blackmon, M., Williams, D., & Wyatt, A. (2020). Effects of the biocide triclosan on multiple life stages of ferns *Onocleasensibilis* and *Osmunda claytoniana*.
- Weimann C, El Tayeb N, Brandt IA, Yousif S, Abdel Hamid MM, Erhardt G. 2016. Genetic diversity of domesticated and wild Sudanese Guinea fowl (*Numida melangris*) based on microsatellite markers. *Archiv. Anim. Breed.*, 59: 59-64. DOI:10.5194/aab-59-59-2016.
- WWAP(Programme mondial de l'UNESCO pour l'evaluation des ressources en eau).2017. Rapport mondial des Nations unies su la mise en valeur des ressources en eau 2017: Les Eaux Usées: une ressources inexploitée. Paris, UNESCO
- WWAP/ONU-Eau(programme mondial de l'UNESCO pour l'évaluation des ressources en eau / ONU-Eau).2018. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2018: Les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau. Paris, UNESCO.
- Xie, S., Liu, P., Yang, Y., Li, X., Wang, C., Li, D., ... &Jin, J. (2018). Partial substitution of fish meal with water lentil protein concentrate in diets for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*): Effects on growth performance, body composition, and intestinal morphology. *Aquaculture*, 495, 854-860.
- Y. Greenwood, C.G. Orpin, I.W. Paterson. Digestibility of seaweeds in Orkney sheep *Proceedings of Physiological Society* (1983). June 1983, p 120.
- Yu, G., Cheng, Z., Liu, C., Yu, Y., & Sun, H. (2020). *Hermetia illucens* larvae meal improves growth performance, antioxidant capacity and immune response of *Litopenaeusvannamei*. *Aquaculture*, 516, 734582.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Ministère de l'éducation et de la recherche scientifique

Université Abdelhamid Ibn badiss Mostaganem

Incubateur de Mostaganem



Annexe sur le modèle économique

Fiche technique du projet

Nom et prénom : Hadjeba Chaimaa et Benessalah Batoul

Nom commercial de projet : AQUAZOOLLA : Traitement des eaux usées par l'azolla et son incorporation dans l'alimentation des volailles

Numéro de téléphone : 1-0794473686

2-0656852437

E-mail : aquazoolla@gmail.com

Commune d'activité : Mostaganem

Nature de projet : Vente de marchandises

Ce projet est supervisé par DJILALI BENABDELMOUMENE maître de conférences au département d'agronomie de l'université de Mostaganem.

Numéro de téléphone: 0555523518

E-mail: benabdelmoumenedjilali@hotmail.com

1. Problématique



AQUAZOOLLA est un projet innovant qui tire parti des propriétés uniques de l'azolla pour résoudre de manière durable les défis liés au traitement des eaux usées et à l'alimentation animal. En utilisant l'azolla comme un système de filtration écologique, nous améliorons la qualité des eaux usées en absorbant efficacement les nutriments indésirables tels que les nitrates et les phosphates. En parallèle, nous valorisons cette plante aquatique riche en nutriments essentiels pour les animaux de bétail, offrant ainsi une solution alimentaire abordable et locale qui réduit la dépendance aux importations de matières premières. Notre approche en économie circulaire nous permet de créer une boucle vertueuse, en minimisant les coûts d'exploitation liés au traitement des eaux usées, tout en fournissant aux éleveurs des aliments de haute qualité pour leurs animaux d'élevage. Par le biais de partenariats stratégiques, d'une production à grande échelle et d'une sensibilisation ciblée, AQUAZOOLLA aspire à contribuer à la durabilité environnementale tout en améliorant la rentabilité des élevages locaux.





2. Proposition de valeur

- **Solution de biofiltrage des eaux usées** : Nous proposons une approche innovante et durable pour le traitement des eaux usées en utilisant la culture d'Azolla. L'Azolla est une plante aquatique flottante à croissance rapide qui présente d'énormes avantages en matière de biofiltrage des eaux. En cultivant l'Azolla dans des bassins de traitement, nous pouvons efficacement capturer et éliminer les nutriments tels que l'azote et le phosphore, ainsi que les métaux lourds et les polluants, qui sont souvent présents dans les eaux usées. Cette approche naturelle permet d'améliorer considérablement la qualité de l'eau tout en réduisant les coûts de traitement traditionnels.
- **Alimentation naturelle et riche en nutriments pour les volailles** : L'Azolla est également une source d'alimentation naturelle et hautement nutritive pour les volailles. Elle est riche en protéines, vitamines et minéraux essentiels pour la croissance et la santé des oiseaux. En intégrant la culture d'Azolla dans l'alimentation des volailles, les éleveurs peuvent réduire leur dépendance vis-à-vis des aliments conventionnels coûteux et souvent importés. Cela permet non seulement de réaliser des économies, mais aussi d'améliorer la qualité des produits de volaille grâce à une alimentation plus saine et équilibrée.
- **Réduction des coûts de traitement des eaux usées** : En adoptant notre solution de biofiltrage à base d'Azolla, les municipalités et les industries peuvent réduire considérablement leurs coûts de traitement des eaux usées. Contrairement aux méthodes de traitement traditionnelles qui nécessitent des installations coûteuses et une consommation énergétique élevée, notre approche naturelle et écologique utilise la capacité intrinsèque de l'Azolla à éliminer les contaminants sans recourir à des processus complexes. Cela permet aux clients de réaliser des économies tout en respectant les normes environnementales.
- **Contribution à la réduction de l'empreinte carbone** : Notre solution s'inscrit dans une approche écologique globale visant à réduire l'empreinte carbone. La culture d'Azolla a un impact environnemental faible, car elle consomme peu d'eau et n'a pas besoin de produits chimiques ou d'engrais coûteux. De plus, en capturant les nutriments et en améliorant la qualité de l'eau, nous contribuons à réduire la pollution et à protéger les écosystèmes aquatiques. En adoptant notre solution, les clients peuvent prendre part activement à la préservation de l'environnement tout en bénéficiant d'une approche économiquement viable.



3. *Les segments de clientèle*

● **Entreprises de traitement des eaux usées** : Les entreprises de traitement des eaux usées fournissent des solutions pour le nettoyage et la purification des eaux usées provenant de différentes sources. Elles ont principalement trois segments de clientèle :

A. Municipalités : Les municipalités sont l'un des principaux clients des entreprises de traitement des eaux usées. Elles gèrent les systèmes d'égouts et les infrastructures liées aux eaux usées des villes et des zones urbaines. Les entreprises de traitement collaborent avec les municipalités pour concevoir, construire et entretenir des installations de traitement des eaux usées municipales. Leurs services comprennent l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles avant leur rejet dans l'environnement ou leur recyclage.

B. Usines de traitement des eaux : Les usines de traitement des eaux sont généralement situées près de sources industrielles ou de grands centres urbains. Ces clients ont des besoins spécifiques en matière de traitement des eaux usées en raison de la nature de leurs activités industrielles. Les entreprises de traitement des eaux usées travaillent en étroite collaboration avec ces usines pour concevoir des solutions de traitement sur mesure qui répondent aux normes environnementales et réglementaires en vigueur.

C. Installations industrielles : Certaines industries produisent des eaux usées contenant des contaminants spécifiques, tels que les industries chimiques, pharmaceutiques ou pétrochimiques. Les entreprises de traitement des eaux usées offrent des services de consultation et de conception d'installations de traitement adaptées aux besoins de chaque industrie. Ces solutions permettent aux installations industrielles de se conformer aux réglementations environnementales tout en minimisant leur impact sur l'environnement.

● **Éleveurs de volailles** : Les éleveurs de volailles sont des professionnels de l'élevage et de la production de volailles pour la viande et les œufs. Ils peuvent être regroupés en trois segments de clientèle :

A. Fermes avicoles : Les fermes avicoles sont des exploitations agricoles spécialisées dans l'élevage de volailles pour la production de viande et d'œufs. Les éleveurs de volailles fournissent des poussins ou des œufs à couver aux fermes avicoles, et ces dernières élèvent les volailles jusqu'à leur maturité. Les éleveurs de volailles jouent un rôle essentiel en fournissant des conseils techniques, des programmes d'alimentation et des protocoles de santé pour assurer la bonne croissance et le bien-être des oiseaux.

B. Exploitations agricoles : Certains éleveurs de volailles exploitent leurs propres fermes avicoles et gèrent tout le processus d'élevage, de la naissance à la commercialisation des volailles. Ces exploitations agricoles peuvent se concentrer sur l'élevage de poulets de chair, de dindes, de canards, etc. Les éleveurs de volailles qui dirigent leurs propres exploitations agricoles sont responsables de la gestion quotidienne du bétail, de la nutrition, de la santé et de la commercialisation des produits avicoles.

C. Producteurs d'aliments pour animaux : Certains éleveurs de volailles sont également impliqués dans la production d'aliments pour leurs propres oiseaux. Ils peuvent avoir des installations pour produire des aliments composés spécialement formulés pour répondre aux besoins nutritionnels des volailles à différentes étapes de leur vie. Ces producteurs d'aliments pour animaux peuvent également vendre leurs produits à d'autres éleveurs de volailles, créant ainsi un marché spécialisé pour les aliments destinés aux volailles.

● **Producteurs d'aliments pour animaux :** Les entreprises spécialisées dans la fabrication d'aliments pour volailles ont principalement deux segments de clientèle :

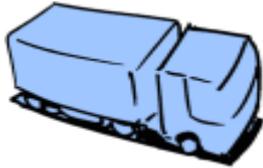
A. Éleveurs de volailles : Les producteurs d'aliments pour animaux fournissent des aliments composés adaptés aux différentes étapes de croissance des volailles (poussins, poulets de chair, dindes, etc.). Ces aliments sont formulés pour répondre aux besoins nutritionnels spécifiques de chaque espèce et pour favoriser leur croissance, leur santé et leur productivité. Les éleveurs de volailles sont donc des clients importants pour ces entreprises, car la qualité de l'aliment joue un rôle crucial dans la réussite de leur activité.

B. Distributeurs et détaillants : Les entreprises de fabrication d'aliments pour volailles peuvent vendre leurs produits en gros à des distributeurs et des détaillants spécialisés dans les produits agricoles. Ces distributeurs et détaillants peuvent proposer une gamme d'aliments pour volailles aux éleveurs, aux propriétaires d'animaux domestiques et aux exploitants agricoles. Les entreprises de fabrication d'aliments pour animaux doivent entretenir des relations solides avec ces partenaires de distribution pour atteindre un large public et accroître leur présence sur le marché.



4. Relations client

- **Assistance personnalisée :**
 - Nous sommes disponibles pour répondre aux questions des clients par le biais de divers canaux de communication, tels que le téléphone, l'e-mail, le chat en ligne, et éventuellement les réseaux sociaux.
 - Notre équipe est formée pour être amicale, patiente et compréhensive, afin de créer une relation de confiance avec nos clients et de les aider à mieux comprendre la culture de l'Azolla et son utilisation dans l'alimentation des volailles.
 - Nous sommes en mesure de fournir des informations spécifiques et adaptées aux besoins individuels de chaque client.
- **Formation sur la culture de l'Azolla :** Nous offrons des ressources de formation complètes sur la culture de l'Azolla, y compris les étapes de démarrage, les meilleures pratiques pour l'entretien, les facteurs environnementaux à prendre en compte, etc.
 - Ces ressources de formation peuvent être sous forme de guides écrits, de vidéos explicatives, de webinaires ou de sessions de formation en direct, selon les préférences de nos clients.
 - Nous sommes prêts à répondre à toutes les questions supplémentaires que les clients pourraient avoir concernant la culture de l'Azolla.
- **Utilisation de l'Azolla comme aliment pour les volailles :**
 - Nous fournissons des informations détaillées sur l'utilisation de l'Azolla comme aliment pour les volailles, en mettant en évidence ses avantages nutritionnels et ses effets positifs sur la santé des animaux.
 - Nos experts peuvent aider à élaborer des régimes alimentaires équilibrés qui intègrent l'Azolla de manière efficace et sûre pour les volailles.
 - En cas de préoccupations ou de problèmes liés à l'utilisation de l'Azolla, notre équipe technique est là pour fournir un support supplémentaire et des solutions adaptées.
- **Suivi continu :**
 - Nous croyons en une relation à long terme avec nos clients. C'est pourquoi nous offrons un suivi continu pour nous assurer que nos clients réussissent dans la culture de l'Azolla et l'utilisation de cet aliment pour leurs volailles.
 - Les clients peuvent toujours nous contacter pour obtenir de l'aide, des conseils ou des mises à jour supplémentaires.



5. canaux de distribution

- **Vente directe en ligne via le site web et l'application** : Votre site web et l'application serviront de plateformes principales pour permettre aux clients de commander des quantités spécifiques d'Azolla et de planifier des livraisons régulières. Les clients pourront passer leurs commandes directement en ligne, choisir les quantités désirées, les dates de livraison, et effectuer les paiements en ligne. Vous pouvez proposer différentes options de conditionnement, par exemple, des sacs, des cartons ou des grands contenants en fonction des besoins des clients.
- **Vente en gros aux entreprises de traitement des eaux usées** : Vous pouvez établir des partenariats avec des entreprises de traitement des eaux usées qui pourraient utiliser l'Azolla pour le processus de traitement. L'Azolla est réputée pour absorber les nutriments dans les eaux usées, contribuant ainsi à la dépollution. Vous pouvez vendre l'Azolla en gros à ces entreprises pour une utilisation à grande échelle dans leurs installations.
- **Partenariats avec des producteurs d'aliments pour animaux** : L'Azolla a également une valeur nutritive élevée et peut être utilisée comme aliment pour animaux, notamment pour les poissons, les volailles et les animaux d'élevage. Établissez des partenariats avec des producteurs d'aliments pour animaux pour leur fournir de l'Azolla à des fins d'alimentation animale. Vous pouvez envisager des conditionnements spécifiques adaptés aux besoins de ces partenaires pour faciliter l'intégration de l'Azolla dans leur chaîne de production.
- **Points de vente physiques spécialisés** : Outre la vente en ligne, vous pouvez envisager d'établir des partenariats avec des magasins d'aquariophilie, des animaleries, des fermes agricoles, et d'autres points de vente spécialisés dans l'alimentation animale et les produits écologiques. Proposez-leur des conditionnements appropriés pour la vente au détail et offrez des marges bénéficiaires intéressantes pour encourager la promotion de votre produit.
- **Programmes gouvernementaux et projets environnementaux** : Renseignez-vous sur les programmes gouvernementaux liés à la protection de l'environnement, à la gestion des eaux usées et à l'agriculture durable. Vous pouvez participer à des appels d'offres ou des projets spécifiques liés à l'utilisation de l'Azolla dans ces domaines. La participation à des initiatives environnementales contribuera à renforcer la crédibilité de votre produit et à

sensibiliser davantage à ses avantages.

- **Campagnes de sensibilisation et de marketing** : Organisez des campagnes de sensibilisation pour informer les gens sur les avantages de l'Azolla, que ce soit en matière de traitement des eaux usées, d'alimentation animale ou d'agriculture. Utilisez des canaux de marketing numériques tels que les médias sociaux, les publicités en ligne et le marketing d'influence pour toucher un public plus large et promouvoir l'utilisation de l'Azolla.



6. Les partenaires clés

- Fourniture d'Azolla : En collaborant avec une entreprise de traitement des eaux usées, nous pouvons proposer de leur fournir de l'Azolla pour une utilisation dans leurs systèmes de biofiltrage. L'Azolla agit comme une solution naturelle et durable pour éliminer les nutriments excédentaires des eaux usées avant leur rejet dans l'environnement.
- Biofiltrage : Le biofiltrage est un processus de purification de l'eau qui utilise des micro-organismes, des plantes et des systèmes de filtration biologique pour éliminer les polluants. nous pouvons collaborer avec l'entreprise de traitement des eaux usées pour concevoir et mettre en place des systèmes de biofiltrage qui intègrent l'Azolla comme élément clé du processus. Ces systèmes pourraient être installés dans les étangs de traitement des eaux usées ou d'autres infrastructures appropriées pour améliorer l'efficacité du traitement.



7. Activités clé

- **Sélection et entretien des souches d'Azolla** : Choisir les souches appropriées d'Azolla est essentiel pour obtenir des rendements optimaux. Il est important de s'assurer que les souches sélectionnées sont adaptées aux conditions locales et ont une croissance rapide. De plus, un bon entretien de ces souches est nécessaire pour garantir leur qualité et leur performance.
- **Contrôle des conditions de culture** : Veiller à ce que l'environnement de culture de l'Azolla soit optimal est primordial. Cela comprend le contrôle de la température, de la lumière, du pH de l'eau et des niveaux de nutriments. Des conditions idéales garantiront une croissance rapide et saine de l'Azolla.
- **Gestion de la qualité** : Mettre en place un système de contrôle de la qualité est essentiel pour garantir que l'Azolla cultivée répond aux normes de qualité requises. Des échantillonnages réguliers et des tests doivent être effectués pour vérifier la pureté de la culture, l'absence de contaminants et la concentration en éléments nutritifs.
- **Récolte efficace** : La récolte de l'Azolla doit être effectuée de manière efficace pour éviter toute détérioration de la qualité du produit. Une méthode de récolte appropriée doit être mise en place pour permettre une récolte régulière sans endommager les plantes.
- **Logistique et gestion des stocks** : Assurer une gestion appropriée des stocks d'Azolla est essentiel pour répondre aux besoins des clients en temps opportun. Une planification efficace des livraisons et une coordination avec les clients permettront d'éviter les retards et les ruptures de stock.
- **Contrôle des nuisibles et maladies** : Surveiller régulièrement la culture d'Azolla pour détecter tout signe de nuisibles ou de maladies est essentiel. La mise en place de mesures de contrôle biologique ou d'autres méthodes écologiquement durables est préférable pour éviter l'utilisation excessive de produits chimiques.
- **Gestion des déchets** : Mettre en place un système approprié pour gérer les déchets d'Azolla, tels que les parties non utilisées de la récolte ou les plantes excédentaires, est essentiel pour maintenir une production durable. En mettant l'accent sur ces activités clés, il est possible de maintenir une infrastructure de production d'Azolla efficace, durable et répondant aux normes de qualité requises. Cela permettra de satisfaire les besoins des clients tout en préservant l'environnement.



8. Ressources clés

ressources	Sources(locale/importation)	Fournisseurs
Eaux usée	Locale	Les stations d'épuration des eaux usées.
Azolla	Locale	Unité de production d'azolla
Matière première	Locale	Unité de fabrication d'aliment de betai

- Ressource humaine :

Classe ressources humaines	nombre
Directeur général	01
Directeur des finance ressource humaine	01
Directeur finance	01
Commercial	01
Responsable technique (veto, zoot)	02
Agent de saisie	02
Ouvrier	05
Gardien	01
Chauffeur	01
Technicien technique	02

- Ressources financiers

Ressources financiers	Besoin
Eau/électricité/gaz	1 000 000,00
Location	3 500 000,00
Bureautique	1 500 000,00

Camion citerne	4 500 000,00
Bassin en géo-membrane	5 000 000,00
Camion livreur	4 500 000,00
Emballage	2 500 000,00



9. Structure des coûts

● Coûts variée

Frais d'établissement	25 000,00
Frais d'ouverture de compteurs (eaux-gaz-....)	100 000,00
Formations	100 000,00
Dépôt marque, brevet, modèle	10 000,00
Droits d'entrée	50 000,00
Achat fonds de commerce ou parts	/
Droit au bail	10 000,00
Caution ou dépôt de garantie	150 000,00
Frais de dossier	50 000,00
Frais de notaire ou d'avocat	80 000,00
Enseigne et éléments de communication	50 000,00
Achat immobilier	/
Travaux et aménagements	500 000,00
Matériel	100 000,00
Matériel de bureau	/
Stock de matières et produit	/
trésorerie de départ	2 000 000,00
Total	3 360 000.00

● Coûts fixes

Assurance	200 000,00
Téléphone/internet	40 000,00
Transport	100 000,00
Entretien matériel et vêtement	70 000,00
Budget publicité et communication	350 000,00
TOTAL	670000 ,00

● **Salaire des employeurs et des agents de l'entreprise**

Salaires des employés	10 536 000,00
Rémunération nette dirigeant	4 800 000,00



10. Structure des revenus

- **Recettes totales**

Billan	Valeur
Le nombre d'unités produites	10 Qx/Jour
Prix de vente	8 000.00
Total des revenue=Le nombre d'unités produites*Prix de vente	80 000.00 DA/Jour