

# RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE 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 :

**Melle. Diffalah halima**

Pour l'obtention du diplôme de MASTER

## SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Production Animale

### Thème :

**Valorisation de la biomasse d'Azolla issue de la phytoremédiation des eaux usées en tant qu'alternative protéique au soja pour l'élevage de poulets de chair :  
Caractérisation et enjeux.**

Soutenu publiquement le 10/10/2023

### DEVANT LE JURY

Président	M. ATTOU Sahnoune	MCA	U.Mostaganem
Examineur	M. BENGUENDOZ Abdenour	MCB	U.Mostaganem
Encadrant	M. BENABDELMOUMENE D	MCA	U.Mostaganem
Co-Encadrant	M. Benguennouna Noureddine	Doctorant	U.Mostaganem

Année universitaire : 2022/2023

Travail réalisé au laboratoire de physiologie animale appliquée

## Remerciements :

Tout d'abord, je tiens à adresser mes sincères remerciements à Monsieur Benabdelmoumene Djilali. Votre encadrement, vos conseils avisés et votre soutien constant m'ont été d'une aide précieuse tout au long de la réalisation de ce travail. Votre expertise et votre patience m'ont permis de surmonter de nombreux obstacles et d'atteindre mes objectifs.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Attou Sahnoun d'avoir accepté de présider le jury. Votre participation en tant que président renforce la valeur et la crédibilité de ce travail, et je suis honoré de vous avoir à la tête du jury.

Un grand merci à Monsieur Benguendouz Abdenour pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Vos retours et critiques constructives ont contribué à l'amélioration de la qualité de ma recherche.

Je suis également reconnaissant envers Monsieur Benguenouna Nourredine pour avoir accepté de co-encadrer ce travail. Votre collaboration et vos éclairages ont été essentiels pour la concrétisation de ce projet.

Enfin, je voudrais remercier l'ensemble des enseignants du département d'Agronomie. Une mention spéciale aux enseignants de la spécialité Production Animale pour leurs leçons, leurs orientations et pour avoir instillé en moi la passion de cette discipline.

A vous tous, merci du fond du cœur pour votre contribution inestimable à mon parcours académique et professionnel

**Résumés :**

L'objectif de cette étude était de déterminer l'efficacité de l'Azolla dans le traitement des eaux usées et d'évaluer son potentiel en tant que substitut du tourteau de soja dans l'alimentation des poulets de chair. L'Azolla a été cultivée à la fois dans des eaux usées et des eaux de puits. Les paramètres de qualité de l'eau, notamment la DBO5, la DCO, et les MES ont été analysés. De plus, le taux de protéine de l'Azolla a été comparé selon son milieu de culture. L'alimentation des poulets a été complétée avec de l'Azolla de ces deux sources à des concentrations de 5%, 10%, et 15%. Le traitement avec l'Azolla a abouti à une réduction significative de la DBO5 (85%), de la DCO (72,87%) et de MES (96,63%). L'Azolla cultivée dans les eaux usées a montré une teneur en protéines de 30,5% contre 23,5% pour celle des eaux de puits. Bien que l'incorporation d'Azolla ait amélioré le taux de protéines dans la viande de poulet, elle n'a pas eu d'impact significatif sur le poids vif. L'Azolla a démontré une efficacité notable dans le traitement des eaux usées et pourrait servir de substitut partiel au tourteau de soja, améliorant la qualité protéique de la viande de poulet sans affecter leur poids.

**Mot clés :** azolla, protéine, eau usée, traitement, alimentation, poulet de chair.

## المخلص:

عملنا في استخدام الأزولا لمعالجة مياه الصرف الصحي أسفر عن نتائج ممتازة تظهر فعالية هذا النهج الملحوظة. البيانات ، (التي تم الحصول عليها أظهرت معدل معالجة مذهل، مع انخفاض بنسبة 85% في الطلب البيولوجي على الأكسجين وانخفاض بنسبة 72.87% في الطلب الكيميائي على الأكسجين وانخفاض كبير بنسبة 96.63 في المواد العالقة.

بالإضافة إلى ذلك، تبين أن الأزولا المزروعة في مياه الصرف الصحي تتميز بجودة غذائية عالية (نسبة بروتينية بلغت 30.5%) مقارنة بتلك المزروعة في مياه الآبار (نسبة بروتينية بلغت 23.5%).

ركزت دراستنا بشكل رئيسي على تقييم استبدال جزء من د فول الصويا بالأزولا المزروعة في بيئات مختلفة، وهي مياه الصرف الصحي ومياه الآبار. قمنا بدراسة تأثير الأزولا المستمدة من هاتين المصادر المختلفتين باستخدام تراكيز متنوعة، بما في ذلك 5% و 10% و 15% من الأزولا المزروعة في مياه الصرف الصحي، بالإضافة إلى نفس النسب للأزولا المأخوذة من مياه الآبار.

وأظهرت إدراج الأزولا في تغذية الدجاج اللاحم تأثيرًا ملحوظًا على تحسين نسبة البروتين في اللحم، ومع ذلك، من المهم أن نلاحظ أن بحثنا لم يظهر تأثيرًا ملحوظًا على الوزن الحي للدجاج.

**الكلمات المفتاحية:** أزولا، بروتين، مياه الصرف الصحي، معالجة، تغذية، دجاج اللحم

**Abstract:**

The aim of this study was to determine the effectiveness of Azolla in wastewater treatment and to assess its potential as a substitute for soybean meal in broiler chicken feed. Azolla was cultivated in both wastewater and well water. Water quality parameters, including BOD5, COD, and TSS were analysed. Additionally, the protein content of Azolla was compared based on its cultivation environment. Chicken feed was supplemented with Azolla from these two sources at concentrations of 5%, 10%, and 15%. Treatment with Azolla resulted in a significant reduction in BOD5 (85%), COD (72.87%), and TSS (96.63%). Azolla grown in wastewater showed a protein content of 30.5% compared to 23.5% for that from well water. While the incorporation of Azolla improved the protein content in chicken meat, it did not have a significant impact on live weight. Azolla demonstrated notable effectiveness in wastewater treatment and could serve as a partial substitute for soybean meal, enhancing the protein quality of chicken meat without affecting their weight.

**Keywords:** azolla, protein, wastewater, treatment, feeding, broiler chicken

## **LISTE DES TABLEAUX :**

<b>Tableau 01</b> : composition chimique de viande de poulet de chair	07
<b>Tableaux02</b> : norme de température du poulet de chair	09
<b>Tableau 03</b> : besoins minimums de litière	11
<b>Tableau 04</b> : besoins quotidienne de poule de chair	12
<b>Tableau 05</b> : la répartition des espèces de l'azolla dans le monde	20
<b>Tableau 06</b> : synopsis de la classification de l'azolla	22
<b>Tableau 07</b> : composition chimique de l'azolla	23
<b>Tableau 08</b> : teneur en minéraux de l'azolla	24
<b>Tableau 09</b> : Les principe acide aminée de l'azolla	24
<b>Tableaux 10</b> : la tolérance a la température de 5 espèces d'azolla	25
<b>Tableau 11</b> : L'efficacité de l'élimination des nutriments par l'azolla	48
<b>Tableau 12</b> : résumé de matériel utiliser durant la période l'expérimentation	50
<b>Tableau 13</b> : suivi de la température	64
<b>Tableau 14</b> : la formule alimentaire	66
<b>Tableau 15</b> : la composition de l'eau commerciale ovitale	67
<b>Tableau 16</b> : le traitement utiliser durant la période d'élevage	68
<b>Tableau 17</b> : le nombre de mortalités durant les 3 phase d'élevage	70

## LISTE DES FIGURES :

<b>Figure 01</b> : consommation de viande par habitant	05
<b>Figure 02</b> : l'aspect de l'azolla	21
<b>Figure 03</b> : technologies conventionnelles d'enlèvement de métaux lourds	39
<b>Figure 04</b> : différents mécanisme de phytoremediation	41
<b>Figure 05</b> : <i>Typha latifolia</i> dans la zone humide flottant de traitement	45
<b>Figure 06</b> : Jacinthe d'eau dans la zone humide flottante de traitement	46
<b>Figure 07</b> : Laitue d'eau dans la zone humide flottant de traitement	47
<b>Figure 08</b> : différents types d'azote dans les eaux usées	48
<b>Figure 09</b> : creusement des bassins	51
<b>Figure 10</b> : toit en canne pour l'ombrage artificiel	51
<b>Figure 11</b> : mise en place du cartons	51
<b>Figure 12</b> : mise en place du bâche	52
<b>Figure 13</b> : la pesé de l'azolla	53
<b>Figure 14</b> : culture de l'azolla	53
<b>Figure 15</b> : 8 jours après la culture	53
<b>Figure 16</b> : préparation de la solution nutritive	54
<b>Figure 17</b> : l'ajout de la solution nutritive au bassin	54
<b>Figure 18</b> : fumier des équins	54
<b>Figure 19</b> : prélèvement des eaux usées brutes	54
<b>Figure 20</b> : Ajout des eaux usées	55
<b>Figure 21</b> : plantation de l'azolla	55
<b>Figure 22</b> : culture de l'azolla dans les bassins	55
<b>Figure 23</b> : prélèvement des échantillons	56
<b>Figure 24</b> : l'irrigation des bassins	56
<b>Figure 25</b> : agitations des bassins	56
<b>Figure 26</b> : la récolte de l'azolla	57
<b>Figure 27</b> : les bassins avant et après la récolte	57
<b>Figure 28</b> : le rendement de l'azolla	57
<b>Figure 29</b> : structure contre le courant d'aire	59

<b>Figure 30</b> : préparation des lots avant la réception	59
<b>Figure 31</b> : installation des éleveuse	60
<b>Figure 32</b> : installation des thermomètres	60
<b>Figure 33</b> : la réception des poussins	61
<b>Figure 34</b> : la pesé des poussins a ce réception	61
<b>Figure 35</b> : la répartition des poussins	61
<b>Figure 36</b> : identification individuelle sur les pattes	62
<b>Figure 37</b> : déplacement des poussins	62
<b>Figure 38</b> : consommation de l'aliments standard	64
<b>Figure 39</b> : consommation de l'aliments expérimental	64
<b>Figure 40</b> : distribution des poulets durant la période de finition	65
<b>Figure 41</b> : broyage de l'azolla	65
<b>Figure 42</b> : déroulement de fabrication de l'alimentation bétail	66
<b>Figure 43</b> : l'aliment expérimentale	67
<b>Figure 44</b> : les traitements utiliser durant la période d'élevage	69
<b>Figure 45</b> : la pesé des sujets	69
<b>Figure 46</b> : détermination de matière sèche	71
<b>Figure 47</b> : détermination de la matière minérale	72
<b>Figure 48</b> : dosage des protéines brute	74
<b>Figure 49</b> : dosage des lipides totaux par la méthode de soxhlet	75
<b>Figure 50</b> : mesure de la conductivité électrique	77
<b>Figure 51</b> : déterminations de l'OD	77
<b>Figure 52</b> : détermination du PH	78
<b>Figure 53</b> : Détermination de la MES par filtration	78
<b>Figure 54</b> : détermination de la MES par centrifugeuse	79
<b>Figure 55</b> : détermination de la DCO	80
<b>Figure 56</b> : détermination de la DBO5	80
<b>Figure 57</b> : teneur en matière sèche de l'azolla	82
<b>Figure 58</b> : teneur en matière minérale de l'azolla	82
<b>Figure 59</b> : teneur en humidité de l'azolla	83

<b>Figure 60</b> : teneurs en protéine de l'azolla	83
<b>Figure 61</b> : teneurs en lipide de l'azolla	84
<b>Figure 62</b> : l'évolution du poids de phase de démarrage par rapport au guide	85
<b>Figure 63</b> : l'évolutions pondéral du poids vif de poulet de chair	86
<b>Figure 64</b> : le gain moyen quotidien	87
<b>Figure 65</b> : poids vif à l'abattage	88
<b>Figure 66</b> : rendement de carcasse	89
<b>Figure 67</b> : poids de carcasse plein	90
<b>Figure 68</b> : poids de cuisse et de filet	91
<b>Figure 69</b> : poids de fois	91
<b>Figure 70</b> : poids de gésier	92
<b>Figure 71</b> : poids de cœur	92
<b>Figure 72</b> : longueur de l'intestin	93
<b>Figure 73</b> : poids de tissu adipeux	93
<b>Figure 74</b> : taux de matière sèche de cuisse et de filet	94
<b>Figure 75</b> : taux de matière minérale	95
<b>Figure 76</b> : taux de matière organique	96
<b>Figure 77</b> : teneurs en humidité de viande	96
<b>Figure 78</b> : teneur en protéine de viande	97
<b>Figure 79</b> : teneur en lipide de viande	98
<b>Figure 80</b> : oxydation des lipides de viande	98
<b>Figure 81</b> : les paramètres physiques des eaux usée avant et après le traitement	99
<b>Figure 82</b> : les paramètres chimiques des eaux usée avant et après le traitement	100

## **SOMMAIRE**

Page de garde	
Remerciement	
Résumé	
Liste d'abréviation	
Liste des tableaux	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
<b>Introduction</b>	<b>01</b>
<b>I- Partie bibliographique :</b>	
<b>Chapitre 01 : poulet de chair.</b>	
Aviculture	04
Filière avicole chair dans le monde	04
Production des viandes blanches en Algérie	05
La valeur nutritionnelle de la viande de poulet de chair	06
Les bâtiments d'élevage	07
Contrôle des facteurs d'ambiance	09
Protocole de l'alimentation	11
La formule alimentaire	13
<b>Chapitre 02 : alimentation animale</b>	
La matière première utilisée en alimentation animale	15
Sources alternatives en alimentation animale	16
<b>Chapitre 03 : Azolla.</b>	
Origine et la répartition de l'azolla dans le monde	20
Description et morphologie de l'azolla	20
Classification de l'azolla	21

Classification de l'azolla	22
Composition chimique de l'azolla	23
Écophysiologie de l'azolla	25
Procéder de culture de l'azolla	27
L'utilisation de l'azolla	28
L'effet de l'incorporation de l'azolla dans l'alimentation animale sur l'organisme	32
<b>Chapitre 04 : traitement des eaux usée.</b>	
Eaux usées	35
Origine des eaux usée	35
Composition des eaux usée	36
Traitements des eaux usée	36
Méthodes alternatives pour le traitement des eaux usées	39
Phytoremediation	40
Mécanismes de la phytoremédiation	41
Efficacités des plants dans le traitement des différents types des eaux usées	42
Traitements des eaux usée par les plants aquatiques	43
Sélection des espèces pour la phytoremédiation	43
Type des plantes aquatiques	44
<b>II- Partie expérimental :</b>	
<b>Matériel et méthode</b>	49
<b>Résultat et discussion</b>	82
<b>Conclusion</b>	103

## Introduction

---

En 2019, la volaille a été la viande la plus produite et consommée à l'échelle mondiale, atteignant 129 millions de tonnes (Mt), dépassant ainsi le porc (109 Mt), le bœuf (70 Mt) et l'agneau (15 Mt). De plus, la volaille affiche la croissance la plus rapide dans ce secteur, avec un taux de croissance annuel moyen de 3,3 % depuis l'an 2000. En comparaison, la croissance du porc est de 1,4 %, de l'agneau 1,5 %, et du bœuf 0,9 %. Cette expansion de la production de volaille est principalement attribuée à la production de poulet, qui représentait 90 % de la production mondiale en 2019 selon les données de l'OCDE. Bien que la production de dinde (5 %) et de canard (4 %) soit restée moins importante en termes de volume, elles ont également connu une croissance dynamique au cours des dix dernières années. Les principaux facteurs de succès de l'industrie avicole comprennent un prix attractif, l'absence de restrictions religieuses et la relative facilité de développement de cette production (OCDE, 2019).

Au cours de la dernière décennie, l'industrie avicole en Algérie a enregistré une croissance exceptionnellement rapide par rapport aux autres secteurs. La production de viande de volaille est passée de 292 000 tonnes en 2009 à presque 530 000 tonnes en 2017, marquant ainsi une augmentation de plus de 180 % (MADR, 2018).

Selon FAO, 2023 les coûts élevés de l'alimentation animale et de la main-d'œuvre ont constitué un défi majeur pour les producteurs de viande du monde entier. Les coûts de l'alimentation représentent une part importante du coût total de la production de viande, en particulier pour les animaux monogastriques tels que la volaille.

En effet, les ingrédients conventionnels riches en protéines et en énergie deviennent non seulement rares, mais également coûteux. La recherche et la valorisation de ressources alimentaires alternatives disponibles localement devraient permettre d'améliorer la productivité des volailles tout en maîtrisant les coûts des intrants (Ouédraogo, 2015)

L'utilisation des aliments locaux non conventionnels dans l'alimentation des animaux apparaît raisonnablement comme une alternative aux aliments commerciaux classiques (HEDJI *et al.*, 2015) parmi ces ressources alimentaires alternatives, on y trouve l'Azolla qui n'entre pas en concurrence avec l'alimentation humaine (Dahouda *et al.*, 2009)

Azolla est une petite fougère aquatique flottante appartient de la famille des Azollacées et l'ordre des Pteridophyta dans le monde au moins huit espèces d'Azolla sont connues, à savoir Azolla pinnata, Azolla nilotica, Azolla caroliniana, Azolla japonica, Azolla circinata, Azolla microphylla, Azolla rubra et Azolla Mexicana, dont la plupart Azolla pinnata est commune (Mathur *et al.*, 2013)

## Introduction

---

La valeur nutritive de l'azolla est bien documentée, ce qui montre qu'elle est une bonne source de Protéine avec presque tous les acides aminés essentiels nécessaires à l'alimentation animale (notamment la lysine). En outre, il fournit également des macronutriments comme le calcium, le magnésium, le potassium et les vitamines comme la vitamine A (précurseur bêta-carotène) et B12 (**Joysawal et al.**, 2018).

Les caractéristiques les plus cruciales de l'Azolla sont sa capacité à se développer rapidement, ce qui lui permet de doubler sa biomasse en seulement 2 à 4 jours. De plus, sa flottabilité naturelle est également une qualité essentielle. Ces deux atouts font de l'Azolla un excellent agent pour le traitement des eaux usées (**sood et al.**, 2012).

En raison de l'accélération de l'urbanisation et de l'industrialisation, près de 40 % de la population mondiale est confrontée à des problèmes de manque d'eau (**Ali et al.**, 2020 **Cauberghe et al.**, 2021) en outre, une étude a révélé que la mort de 1,8 million de personnes était liée à la pollution de l'eau en 2015 (**Obinna et Ebere**, 2019) Il est donc essentiel d'effectuer une révision régulière et une évaluation des politiques concernant les ressources en eau à tous les niveaux. La pollution de l'eau est associée à des problèmes de santé humaine graves, notamment des maladies infectieuses, des atteintes au système nerveux et même la mortalité (**afroz et al.**, 2014).

Différents types de méthodes de traitement, tel que l'échange d'ions, l'adsorption, l'osmose inverse, la précipitation chimique, le traitement électrochimique, etc., sont utilisés pour l'élimination des contaminants organiques et inorganiques. Cependant, les besoins énergétiques élevés, les émissions de carbone, les excès de rejet de boues et les coûts d'entretien élevés posent de sérieux défis à ces méthodes de traitement des eaux usées (**Mustafa et Hayder**, 2021).

Une technologie végétale connue sous le nom de phytoremédiation est une alternative verte et économique aux méthodes conventionnelles. Elle repose sur l'utilisation d'espèces végétales capables d'absorber, d'accumuler et de tolérer de fortes concentrations de métaux lourds (**emiliani et al.**, 2020).

La phytoremédiation consiste à sélectionner les racines des plantes qui peuvent accéder aux nutriments et aux ions métalliques par absorption, qui peuvent ensuite être séquestrées, immobilisées, mobilisées ou dégradées. Cette technique d'assainissement utilise directement l'énergie solaire, ce qui élimine le besoin d'équipement coûteux. Les plantes phytoremédiatrices partagent des propriétés communes telles qu'une croissance rapide

## Introduction

---

impliquant une production élevée de biomasse, des systèmes racinaires étendus, une tolérance élevée, la capacité d'accumuler des polluants et une adaptabilité (**Diaconu et al.**, 2023)

L'objectif de notre étude vise à combiner le traitement biologique des eaux usées par l'*Azolla* avec son utilisation dans l'alimentation animale pour créer une approche intégrée visant à améliorer la durabilité environnementale et économique de l'industrie avicole.

**RAPPELS  
BIBLIOGRAPHIQUES**

# Chapitre I :

## Poulet de chair

**Aviculture :**

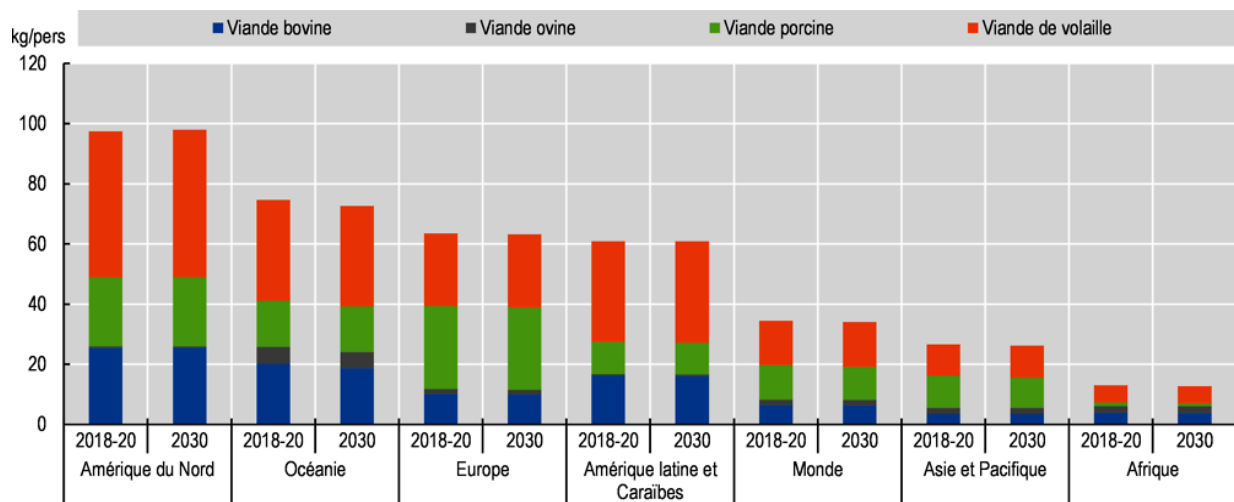
L'aviculture représente une catégorie d'oiseaux domestiqués élevés pour les œufs, viande et leurs plumes. Le terme englobe diverses espèces, notamment les poulets, les dindes, les pintades, les canards, les oies et d'autres variétés parfois classées comme gibier, telles que les cailles, les pigeons et les faisans. Parmi ces espèces, les poulets constituent environ 90% de la population avicole et demeurent largement les plus importantes à travers toutes les régions du globe (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2014).

**Filière avicole chair dans le monde :**

A l'échelle mondiale, la fabrication de viande des volailles affiche une croissance régulière (augmentation de plus de 2% par an). Cela représente une importante source de protéine d'origine animale très recherchée, car elle peut être produite rapidement et à faible coût (INRA, 2015).

En quelques décennies seulement, l'élevage avicole a connu une transition majeure, passant d'une activité agricole traditionnelle à une production industrielle structurée et spécialisée, intégrée dans un réseau économique complexe. Les installations avicoles contemporaines, qui augmentent continuellement en taille moyenne, s'orientent de plus en plus vers une expertise spécifique. C'est dû au développement de la production intensive, basée sur l'utilisation méthodique d'intrants et sur la réalisation de la production, ainsi que la maîtrise des aspects techniques et sanitaires de l'élevage et des avancées technologiques (comme la mécanisation, l'utilisation de souches génétiques sélectionnées et l'utilisation d'aliments industriels spécialement adaptés à ces souches (Boughedoudou, 2016)

Les volailles occupent une place grandissante dans la consommation de viande. Dans les pays en voie de développement à faible économie, ceci s'explique par le fait que la volaille constitue la forme de viande la plus économique, tandis que dans les pays à revenu élevé, les consommateurs manifestent une préférence croissante pour les viandes blanches, reconnues pour leur facilité de préparation et perçues comme un choix alimentaire plus sain. D'ici 2030, à l'échelle mondiale, la viande de volaille devrait représenter environ 41 % de toutes les sources de protéines animales, Cela dépasse la part de la viande de vache (20 %), de porc (34 %) et d'agneau (5 %) (FAO, 2021).



**Figure 01** : Consommation de viande par habitant : hausse continue de la volaille et recul de la viande bovine (FAO 2021).

Selon les données de la **FAO**, (2019) les États-Unis d'Amérique se placent en tête de liste des producteurs mondiaux de volaille avec une production évaluée à 20 millions de tonnes. Ils sont suivis par la Chine, qui enregistre une production de 14 millions de tonnes, puis le Brésil avec 13 millions de tonnes. Les pays suivants dans le classement sont la Russie, l'Inde, l'Indonésie, le Mexique, le Japon, l'Iran, et enfin l'Argentine.

**Production des viandes blanche en Algérie :**

En Algérie, l'élevage de volailles est considéré comme l'un des secteurs stratégiques capables de répondre aux besoins en protéines animales, tout en diminuant les dépenses d'importation de viandes (FAO, 2018).

La filière avicole algérienne, dominée à 90 % par le secteur privé, a connu en moins d'une décennie, un bond significatif avec un effectif considérable de 240 millions de poulet de chair et de dinde, soit une croissance de 10.3 %. La production nationale en viande blanche a connu une évolution considérable en 2017, atteignant 5,3 millions de quintaux (Mqt), contre 2,1 Mqt en 2009, soit une augmentation de 153%, réalisant ainsi une autosuffisance en ce produit alimentaire (MADRP, 2017).

▪ **L'évolution de l'aviculture en Algérie :**

Selon **Alloui**, (2011) Historiquement, l'évolution de l'élevage avicole national peut être divisée en Troie période distinctes :

- La première, qui s'étend de l'indépendance jusqu'à 1968, se caractérise par des avancées limitées. Essentiellement, cela impliquait la transformation d'anciennes porcheries en installations d'élevage intensif de volailles à des fins d'engraissement.
- La deuxième phase, couvrant la période de 1969 à 1989, a vu l'émergence d'une grande entreprise publique (ONAB), chargée entre autres du développement de l'élevage avicole. Dans le cadre de divers plans de développement nationaux, plusieurs complexes modernes ont été établis. Pendant cette période, la gestion des éléments de production tels que les reproducteurs, les aliments et les jeunes poules relevait des organismes publics, tandis que la production de produits finis tels que les œufs de consommation et les poulets était assurée par le secteur privé. Cette phase est marquée par les efforts exceptionnels déployés par l'ONAB pour former des techniciens à l'étranger, qui ont ensuite diffusé les techniques d'élevage et assuré la supervision générale de l'activité sur le terrain.
- La troisième période, qui s'étend de 1990 à nos jours, fait suite à la levée du monopole étatique constitue une étape où des avancées notables ont été enregistrées dans le secteur privé, tandis que les investissements dans la filière du secteur public ont pratiquement cessé.

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)

Selon les estimations de ministère de l'Agriculture, l'algérien consomme en moyenne 12 kg de viandes blanches par an constitue essentiellement de poulet et dinde (**Abachi**, 2015). La demande est très forte sur la viande de poulet durant les fêtes religieuses (Moharrem, achoura, mouloud et aïd el fitr), le mois de Ramadhan est également caractérisé par une forte demande de la viande en général et de la viande de poulet en particulier. Pour les fêtes sociales de fin d'années (premier moharrem, Yenaair...) se caractérisent aussi par des pics de la demande de viande de poulet (**Kirouani**, 2015).

### **La valeur nutritionnelle de la viande de poulet de chair :**

Les viandes de volailles jouent un rôle significatif dans l'alimentation humaine car elles offrent une source intéressante de protéines avec une faible teneur en matières grasses, (**Brunelet et al.**, 2010).

En particulier, une fois débarrassée de sa peau, la viande de poulet se distingue par sa faible teneur en lipides et sa richesse naturelle en vitamines et minéraux, ce qui en fait l'une des

viandes les plus équilibrées sur le plan nutritionnel. Elle est considérée comme véritablement bénéfique pour la santé, étant caractérisée par une teneur énergétique très modérée et une faible quantité de lipides (ces derniers étant principalement concentrés sous la peau), ainsi qu'une réduction notable du cholestérol. De plus, les lipides présents dans les volailles sont pauvres en acides gras saturés. En fait, les experts en nutrition s'accordent pour dire que le profil en acides gras de la volaille se rapproche de l'équilibre idéal, avec environ 25% d'acides gras saturés (AGS), 55% d'acides gras mono-insaturés (AGMI) qui ont un effet positif sur la réduction du mauvais cholestérol LDL, et environ 20% d'acides gras poly-insaturés (AGPI). De plus, la viande de volaille apporte des quantités appréciables d'acides gras poly-insaturés, de vitamines telles que la B3, B5, B6, B12, ainsi que de minéraux et d'oligo-éléments (Roger, 2011).

### La composition de la viande de poulet de chair

**Tableau 01** : Composition chimique de viande de poulet de chair (Ouali, 1991).

Composition chimique	Teneur en (%)
Eau	75
Protéine totale	20
Lipide	2.5
Glucide	1.2
Substance soluble non protéique	1.3

### Les bâtiments d'élevage :

#### Intérêt des bâtiments d'élevage :

La structure abritant représente l'espace où les animaux se mettent à l'abri de tout élément perturbateur, offrant ainsi les conditions optimales de bien-être aux animaux. Par conséquent, il est essentiel de prendre en compte tous les éléments internes et externes qui influencent l'environnement du bâtiment (Mahma, 2016).

#### L'implantation et l'orientation du site d'élevage :

Le choix du lieu et de l'orientation du bâtiments d'élevage doit garantir un niveau maximal de protection contre les risques de contamination (FAO et al., 2017). L'exploitation doit respecter plusieurs critères, notamment :

- doit être située dans des zones non polluées en dehors des zones urbaines, (stipulé dans l'Article 04 du décret exécutif Algérien No 04-82)
- disposer d'un approvisionnement en eau potable et en électricité, (l'Article 04 du décret exécutif Algérien No 04-82)
- maintenir une distance considérable par rapport aux autres fermes d'élevage pour minimiser la propagation des agents pathogènes, tout en respectant une séparation minimale de 500 m
- être éloignée des routes principales utilisées par les véhicules de transport de volailles ou d'aliments, avec une distance minimale de 300 m
- Eloignée d'un couvoir d'une distance minimale de 100 m, si ce dernier est situé dans

La même exploitation.

- maintenir une distance minimale de 30 m entre les bâtiments voisins, en particulier entre les structures abritant des volailles de différents âges, afin de limiter au maximum les risques de propagation des germes.
- choisir un emplacement loin des sources de nuisances sonores telles que les aérodromes, les lignes de chemin de fer et les routes à grande circulation
- Tenir compte de l'orientation des vents dominants pour obtenir une ventilation

Homogène et maîtrisable

- éviter la construction dans des zones sujettes aux inondations, marécages et cours d'eau pour prévenir les remontées capillaires
- éviter de construire dans des zones humides fréquentées par les oiseaux migrateurs, potentiellement porteurs de germes (FAO et al., 2017).

### **Dimension du bâtiment :**

Selon **alloui (2006)** les dimensions du bâtiment liée directement au :

- **Surface et densité :**

La surface et la densité d'élevage dépendent étroitement à l'effectif de la bande à installer, on se base sur une densité de 10 à 15 poulets/m<sup>2</sup>

- **Largeur :**

Liée aux possibilités de bonne ventilation.

- Varie entre 8-15 m de largeur
- De -6-8 m : envisagé à un poulailler à une pente.
- De – 8-15m : envisagé à un poulailler a doublé pente avec lanterneau d'aération à la partie supérieure.

- **Longueur**

Elle dépend de l'effectif des bandes à loger : Pour 8 m de large par 10 m de De long dépend 1200 poulets avec une partie servant de magasin pour le stockage des aliments. Synthèse bibliographie

- **Hauteur** :

Dépend du système de chauffage, elle varie de 5 à 6 m.

### Control dès Les facteurs d'ambiance :

#### Température :

La température est le facteur qui a la plus grande influence sur la qualité de vie des animaux, ainsi que sur leurs performances. La bonne température est déterminée par la capacité de chauffage du matériel, et les erreurs dans ce processus sont l'une des principales raisons de la mortalité des poussins (**alloui et al.**, 2006).

Les poussins ne peuvent pas réguler leur température corporelle avant l'âge de 12 à 14 jours environ. Cette température corporelle optimale est atteinte grâce au maintien d'une température optimale de l'environnement. La température du sol et de la litière au moment de la mise en place des poussins est aussi importante que la température de l'air. Il est donc essentiel de préchauffer le bâtiment (**Arbor acres**, 2018).

**Tableaux 02** : normes de température du poulet de chair (**alloui** 2006)

Age en jours	Température ambiants	Evolution du plumage
0-3	33 à 31 °C	Duvet
3-7	32 à 30 °C	Duvet + ailes
7-14	30 à 28 °C	Duvet + ailes
14-21	28 à 26 °C	Ailes + dos
18-28	26 à 23 °C	Ailes + do + bréchet
28-35	23 à 20 °C	
>35	20 à 18 °C	

#### Humidités :

L'humidité représente une donnée cruciale qui impacte la zone de confort thermique des animaux, ce qui peut affecter leur bien-être. Dans les régions à climat chaud, une humidité élevée limite la capacité de l'organisme à évacuer la chaleur par la respiration, ce qui entraîne

des performances zootechniques inférieures par rapport à des conditions de chaleur modérée et d'humidité modérée. En plus de son rôle dans le confort thermique des animaux, le taux d'humidité influence également l'humidité des litières, ce qui, à son tour, impacte la survie des micro-organismes (**alloui**, 2006).

### **Ventilation :**

Selon le guide d'élevage de poulets de chair **COBB**, (2012), la principale raison d'avoir une ventilation minimale est de garantir une qualité d'air optimale. Il est essentiel que les animaux aient en permanence un approvisionnement adéquat en oxygène, ainsi que des niveaux bas en ce qui concerne le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et la poussière.

### **Éclairage :**

Durant les deux premiers jours, il est essentiel de maintenir une période d'éclairage prolongée (environ 23-24 heures par jour) avec une intensité d'environ 5 watts par mètre carré pour encourager la consommation d'eau et d'aliments par les poussins.

Pour cette fête On disposera une guirlande électrique à 1.5m du sol à raison d'une ampoule de 75 w/éleveuse, ensuite l'intensité devra être progressivement réduite à partir de 7eme jour

Pour atteindre une valeur d'environ 0.7w/m<sup>2</sup>. (**Hubbard**, 2015)

### **Laitier :**

La principale fonction de la litière est de garantir le bien-être des animaux en maintenant une isolation thermique adéquate, en absorbant l'humidité et en prévenant les problèmes de santé (**ITAVI et al.**, 2012).

Selon le guide d'élevage de poulets de chair **COBB** (2012), l'état de la litière est un autre aspect crucial de la gestion de l'environnement. Maintenir une température adéquate dans la litière revêt une importance fondamentale pour la santé, les performances des poussins et la qualité finale de la carcasse,

Les fonctions essentielles de la litière comprennent sa capacité à :

- ✓ Absorber l'humidité,
- ✓ Diluer les excréments, réduisant ainsi le contact des animaux avec leurs déjections,
- ✓ Fournir une isolation contre les températures froides du sol.

**Tableau 03** : Besoins minimums de litière

Type de litière	L'épaisseur minimale ou volume
Copeaux de bois	2.5 cm
Sciure sèche	2.5 cm
Paille broyée	1 kg / m <sup>2</sup>
Cosses de riz	5 cm
Ecorce de tourneso	5 cm

Source (Cobb, 2010)

**Protocole de l'alimentation :**

Selon la **FAO**, 2009 L'élevage de poulet de chair passe par trois phase :

**La phase de démarrage** : du 1<sup>er</sup> au 15<sup>ème</sup> jours (20 à 30 poulets/m<sup>2</sup>).

La phase de démarrage représente une phase critique et délicate pour de jeunes poussins qui sont encore en train de développer leurs fonctions digestives et immunitaires au cours de ces premiers jours de vie. Le poids qu'ils atteignent à l'âge de 7 jours s'avère être le meilleur indicateur pour prédire leur poids au moment de l'abattage. La mortalité est particulièrement élevée pendant la phase de démarrage. On outre cette période a été identifiée comme une période à risque en ce qui concerne l'utilisation d'antibiotiques (**ITAVI**, 2017).

Au cours de cette phase, la prise alimentaire est à son plus bas niveau tandis que les besoins nutritionnels sont à leur maximum. Non seulement la concentration en nutriments fournis doit être adéquate, mais les conditions ambiantes doivent être idéales pour susciter et développer un bon appétit du poussin (**Arbor acres**, 2018).

**La phase de croissance** : du 15<sup>ème</sup> au 30<sup>ème</sup> jour ((15 à 20 poulets/m<sup>2</sup>).

Durant cette période d'élevage l'aliment démarrage sera remplacé par une ration moins riche en protéine (**Bouhedou et al.**, 2020)

Pendant la phase d'aliment de croissance, les taux de croissance journaliers des poulets de chair continuent d'augmenter rapidement. Cette phase de croissance doit être soutenue par une prise adéquate de nutriments. Pour obtenir des performances biologiques optimales, l'apport d'une densité nutritionnelle correcte (voir Spécifications nutritionnelles des poulets de chair pour plus d'informations), notamment en énergie et en acides aminés, est essentiel. La transition entre

L'aliment de démarrage et l'aliment de croissance doit être bien gérée pour éviter toute réduction de la consommation alimentaire ou de la croissance (**Arbor acres**, 2018).

**La phase de finition** : à partir de 30<sup>ème</sup> jours (10 poulets /m<sup>2</sup>).

L'aliment de croissance sera remplacé durant cette période, par un aliment finition moins concentré en protéine et plus riche en énergie toute en respectant l'équilibre énergétique/protéique, Il est a noté que Toute déficience nutritionnelle en un ou plusieurs acides aminés durant les deux premières phases d'élevages se traduit par une diminution du rendement en filet à la fin de cette période (**TABTI**, 2014).

**Tableau 04** : Besoins quotidiens de poulet de chair (**huart**, 2004)

Période en jour	Démarrage	Croissance	Finition
Protéine brute %	22	21	19
Energie métabolisable (kcal / kg )	2900	3000	3100
Lysine totale digestible (%)	1,26-1,10	0,09-0,95	1,03-0,95
Méthionine totale digestible (%)	0,51-0,48	0,45-0,42	0,39-0,37
Acide aminée soufrés digestible (%)	0,93-0,82	0,82-0,72	0,70-0,62
Phosphore totale digestible (%)	0,78-0,43	0,78-0,43	0,67-0,37
Calcium (%)	1	0,95	0,90
Sodium (%)	0,15-0,18	0,15-0,18	0,15-0,18

#### **La formule alimentaire :**

La formulation d'aliment consiste à rassembler plusieurs matières premières disponibles, quantifier leur taux d'incorporation et les mettre ensemble pour former un mélange uniforme (aliment) (**Almasad et al.**, 2011) en vue de satisfaire tous les besoins nutritionnels de la volaille en accord avec les objectifs de production (**Pratiksha**, 2011).

Le nombre d'éléments nutritifs à considérer pour la formulation varie, mais les plus utilisés pour la formulation et le suivi des performances sont l'énergie métabolisable, les protéines brutes, les acides aminés, le calcium et le phosphore. Ces éléments doivent être de même nature que ceux considérés dans la définition des besoins nutritionnels des volailles à nourrir (**BRAH et al.**, 2015).

En plus de la composition chimique et des valeurs nutritives des ingrédients, des connaissances sur le seuil d'incorporation de chaque ingrédient et les facteurs de variation de la valeur nutritive sont déterminants pour la réussite de la formulation d'aliment. Les limites maximale et minimale de chaque ingrédient doivent être connues afin d'éviter la toxicité.

On outre, il est important de prendre en compte les facteurs de variation liés au mélange ; spécifiquement, la somme des facteurs antinutritionnels qui peuvent s'y trouver. En effet, leurs présences réduisent la digestibilité et l'absorption des nutriments (**Moughan et al.**, 2000).

Il existe plusieurs Méthodes manuelles de Formulation d'aliment dont :

- **Méthode carré de Pearson.**
- **Méthode d'équations algébriques simultanées.**
- **Méthode matricielle.**
- **Méthode des essais et erreurs :** Cette méthode est la plus populaire et Utilisée pour la

Formulation des aliments volailles (**Afolayan et Afolayan**, 2008). Elle permet de satisfaire le besoin de la volaille en manipulant les valeurs nutritives des ingrédients en fonction des pourcentages fixés (**Olusayo et al.**, 2013). Elle peut se faire manuellement ou en utilisant les tableurs de calcul comme Excel, Lotus123 ou Quattro pro (**Rosshairy et al.**, 2010).

# Chapitre II :

## Alimentation animale

Les dépenses totales de production de poulet à chair ont augmenté de manière significative, atteignant une hausse des coûts des aliments pour animaux allant jusqu'à 70%. (**Kuzniacka et al.**, 2014) En raison de cela, les aliments à base de protéines et d'énergie provenant de sources alternatives, ainsi que les sous-produits de l'agro-industrie disponibles localement, sont de plus en plus perçus comme des options moins coûteuses pour les ingrédients végétaux utilisés dans l'alimentation des volailles (**Ciurescu et al.**, 2019).

Les éléments nutritifs responsables de la fourniture d'énergie représentent une part significative de l'alimentation des animaux et ont un impact considérable sur les dépenses liées à la production animale. Le maïs occupe la première place en termes de contribution énergétique dans l'alimentation animale, suivi de près par le blé, l'orge et le sorgho. Cependant, en raison de l'augmentation des coûts du maïs et d'autres céréales, a conduit à l'évaluation d'autres ingrédients alimentaires comme source potentielle d'énergie (**Babatunde et al.**, 2021).

Les protéines issues de sources alternatives telles que les végétaux, les micro-organismes et les insectes ont suscité un intérêt considérable dans la création de nouveaux produits alimentaires innovants. Ces produits visent à réduire l'impact environnemental et à proposer des solutions pour nourrir une population mondiale en croissance (**Grossmann1 et Weiss**, 2021).

**I - La matière première utiliser en alimentation animale :****I – 1 - Les céréales :**

Les matières énergétiques qui composent l'aliment de poulets de chair sont des matières d'origine végétale comprenant : les céréales (maïs, orge, blé, seigle, ...), les sous-produits des céréales (sons, farines basses, ...), les fruits de certains arbres (caroube, ...), les sous-produits de l'industrie agro-alimentaire (drêches de brasserie, marcs de raisin, pulpes des fruits et légumes, ...), etc. L'aliment est composé aussi des additifs : Vitamines, minéraux, antioxydants, anticoccidiens et autres produits médicamenteux incorporés selon le cas (**Medjenah**, 2014).

**I – 2 - Les protéagineux :**

Les protéagineux sont des légumineuses cultivées pour leurs graines riches en protéines, récoltées à maturité et vendues comme produit sec. Ces graines sont utilisées pour l'alimentation animale ou la consommation humaine. Le pois, la féverole et le lupin sont les principaux protéagineux cultivés en France. Bien qu'il produise des graines riches en protéines, le soja est classé dans la catégorie des oléagineux car ses graines sont également riches en huile (**UNIP**, 2012).

**I – 3 - Les oléo protéagineux**

Les oléo protéagineux regroupent les plantes dont les graines sont riches en protéines, que l'on appelle les protéagineux, mais également les plantes dont les graines sont riches en lipide, appelées oléagineux. La trituration des graines oléagineuses produit de l'huile et un coproduit appelé tourteau utilisé en alimentation animale. Les oléagineux regroupent le colza, le tournesol, le soja, le lin, les arachides mais aussi des arbres comme le palmier à huile (**Le Jeune**, 2015).

## Sources alternatives en alimentation animale

### 1- Insectes

Les insectes constituent une composante naturelle du régime alimentaire des volailles. Des recherches récentes suggèrent que l'utilisation de farines d'insectes dans la composition des aliments pourrait contribuer à accroître la durabilité de la chaîne d'approvisionnement de la volaille (**Abd-el-hack et al.**,2020).

En évaluant l'importance de la composition nutritionnelle des insectes, il est essentiel de mettre en avant la concentration en protéines en tant qu'un des éléments nutritifs les plus précieux dans l'alimentation des volailles en raison de son coût élevé. (**Abd-el-hack et al.**,2020), en outre leur richesse en acides aminés indispensables, matières grasses, les minéraux et vitamines (**Józefiak et al.**, 2016, **Sogari et al.**, 2019).

#### ❖ Mouche soldat noire BSF :

Mouche soldat noire *Hermetia illucens* Les larves de cet insecte sont utilisées dans diverses régions de monde en tant que nourriture pour les animaux, notamment les poissons, les volailles et les porcs (**Kenis et al.**, 2014). Elle renferme une teneur en protéines de 42% (**Hénault-Ethier et al.**, 2015),

#### ❖ Vers de farine :

Les larves de *Tenebrio molitor* sont élevées en quantités considérables et sont reconnues comme étant l'une des sources de protéines animales les plus exceptionnelles. Divers chercheurs ont établi que les jeunes larves de vers de farine jaune présentent une teneur en matières grasses de 15 % et une teneur en protéines de 20 % (**Liu et al.**, 2020 ; **Rumbos et al.**, 2020). Du point de vue économique, l'élevage de vers de farine a été répertorié comme une méthode économique et rapide, en raison de la courte durée de leur cycle de vie (**Machona et al.**, 2022).

#### ❖ Vers de terre (*Eisenia fetida*).

Les vers de terre de l'espèce *Eisenia fetida* peuvent être identifiés comme une excellente source de protéines. Ces vers, riches en protéines, sont utilisés pour alimenter divers animaux tels que les volailles, les porcs et les lapins, ainsi que comme complément alimentaire pour différentes espèces de poissons. *Eisenia fetida* est très riche en protéines, avec une teneur allant de 58 % à 71 %, et une quantité de matières grasses variant entre 5 % et 20 %. De plus, ils

présentent une teneur élevée en vitamines, ce qui en fait un élément précieux dans l'alimentation des volailles (**Gunya et Masika**, 2021)

#### ❖ **Mélasse :**

La mélasse est un résidu épais de couleur brune, possédant une texture sirupeuse, qui est le reste après l'extraction du sucre (**Mordenti et al.**, 2021)

Concernant certaines caractéristiques physico-chimiques et sa valeur nutritionnelle, la mélasse est considérée comme un aliment riche en énergie en raison de sa concentration élevée en sucres qui peuvent être facilement fermentés. Cependant, il contient également une quantité importante de minéraux essentiels qui sont facilement absorbés par l'organisme. En raison de son prix abordable, il est largement utilisé comme substitut partiel des céréales dans l'alimentation animale (**mordenti et al.**, 2021)

#### ❖ **Lactosérum :**

Des divers sous-produit agroalimentaire sont rejeté dans l'environnement, constituent de ce fait un facteur de pollution en raison de leur grande quantité. Chaque fois qu'un kilogramme de fromage est fabriqué, un excédent de 4 à 12 kg de lactosérum est déversé. Ce sous-produit possède une composition chimique très important (lactose, des protéines, des vitamines, etc.) (**Gana et Touzi**, 2001).

L'utilisation la plus connue de lactosérum liquide se réalise à travers l'alimentation des animaux et la fertilisation des sols (**De Souza et al.**, 2010 ; **Macwan et al.**, 2016)

#### ❖ **Pulpe de caroube :**

La teneur en énergie de la caroube peut varier en fonction des conditions de croissance et de la variété de la plante. En général, la caroube a une teneur en énergie allant jusqu'à 3300 Kcal, légèrement inférieures à celle du maïs, l'une des principales sources d'énergie dans l'alimentation animale (**INRAE**,2021), de plus il y a une augmentation de l'intérêt pour l'intégration de la pulpe de caroube (Cp, *Ceratonia siliqua* L.) dans l'alimentation des animaux en raison de sa concentration élevée de composés bioactifs tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes, les saponines et les tanins condensés.

Plusieurs composés intéressants peuvent être extraits de la pulpe du caroube (sucres, polyphénols) ou des graines (protéines, vitamines et acides aminés) et utilisés dans l'industrie pharmaceutique et nutraceutique (**Nasar-Abbas et al.**, 2016 ; **Goulas et al.**, 2016)

### ❖ Pulpe d'agrumes :

Ces dernières décennies ont vu croître l'intérêt pour l'utilisation des sous-produits issus de la transformation des fruits et légumes dans l'alimentation des animaux d'élevage. Cette tendance s'explique par les pressions sociales et environnementales auxquelles la société moderne est confrontée (**Kajikawa**, 1996 ; **Kasapidou et al.**, 2015 ; **Sahoo et al.**, 2021 ; **Ominski et al.**, 2021). De plus, l'utilisation des déchets de fruits dans l'alimentation animale permettrait de réduire les coûts d'alimentation supportés par les agriculteurs (**Wadhwa**, 2015

Les pulpes d'agrumes possèdent une faible valeur protéique, mais ont une valeur énergétique élevée riche en glucides et matières azotées égale aux céréales (1,10 UFL ; 1,10 UFV/Kg de MS) et peuvent substituer celle-ci notamment le maïs et l'orge (**Sansoucy**, 1991).

### ❖ Plants aquatiques

L'incorporation des plantes aquatiques dans l'alimentation du bétail est devenue une source alternative intéressante. Cette approche novatrice présente plusieurs avantages, tant sur le plan environnemental que nutritionnel. Les plantes aquatiques peuvent être une source abondante de nutriments essentiels pour les animaux d'élevage. Elles sont riches en protéines, en fibres, en vitamines et en minéraux, ce qui en fait un complément alimentaire potentiellement précieux.

### ❖ Spiruline :

La spiruline (*Arthrospira platensis*), une algue bleu-vert, tire son nom de sa structure en spirale. Elle se développe dans des eaux saumâtres riches en bicarbonate de sodium. Elle détient le statut d'aliment le plus riche en protéines, avec une teneur comprise entre 60% et 70%. Elle est deux fois plus riche en protéines que le soja. Les protéines de la spiruline sont de haute qualité, car elles contiennent tous les acides aminés essentiels et sont facilement assimilées par l'organisme (**kana et al.**, 2015) de plus, elle renferme des quantités comparables de calcium, de phosphore et de magnésium par rapport aux céréales. En outre, elle contient 15% de glucides, 6% de lipides, 7% de minéraux et une teneur en eau variant de 3 à 6% (**Niangoren**, 2017).

### ❖ Lentille d'eau :

La lentille d'eau *Lemna minor* contient environ 35% protéine, 17% des fibre, 5% des graisses, les micros et les macronutriments, ainsi que des vitamines (A, E et E) et les acides aminés (voir le tableau 1), (**Al-Snafi**, 2019 ; **Vladimirova et Georgiyants**, 2014 ; **Petrova-Tacheva et al.**, 2020)

❖ **Azolla :**

La plante aquatique Azolla, représente un aliment non conventionnel. Il s'agit d'une fougère d'eau douce qui fait partie de la famille des Azollacées. Azolla peut être considérée comme un ingrédient alimentaire prometteuse pour les volailles, en raison de sa richesse en protéines, avec un taux total de protéines variant entre 25% et 30%. Cette plante peut servir de source de protéines végétales et de provitamines pour l'alimentation volaille, de plus, elle représente une source potentielle d'azote et peut être envisagée comme un ingrédient alimentaire pour le bétail.

L'utilisation d'Azolla peut améliorer la souplesse de l'alimentation animale, permettant ainsi une production moins coûteuse dans l'élevage de volailles. Ces plantes sont réputées être parmi les sources de protéines les moins chères et les plus abondantes (**Kathirvelan et al.**, 2015).

# Chapitre III :

## Azolla

Azolla, est une petite plante aquatique appartenant à la famille des Azollacées, est originaire des régions tempérées. Cette plante présente une importance agronomique et alimentaire en raison de sa relation symbiotique avec *Anabaena-azollae*, une cyanobactérie diazotrophe capable d'assimiler l'azote atmosphérique (N<sub>2</sub>). Cette association se distingue par une haute productivité en azote et une teneur élevée en protéines. Ces protéines confèrent à l'Azolla des propriétés fertilisantes, notamment en tant qu'engrais vert dans les cultures du riz, ainsi que dans l'alimentation du bétail, des porcs et particulièrement des poissons. Cette pratique d'utilisation a été empiriquement éprouvée pendant de nombreux siècles en Chine et au Vietnam (**KOUAME** *et al.*, 2018)

En comparaison avec la plupart des cultures fourragères vertes et des plantes aquatiques symbiotiques, l'Azolla se distingue par sa forte teneur en protéines, qui varie entre 19% et 30%. De plus, sa composition en acides aminés essentiels, en particulier la lysine, en fait un complément protéique précieux pour de nombreuses espèces, notamment les ruminants, la volaille, les porcs et les poissons. (**KOUAME** *et al.*, 2018)

### 1- Origine et la répétition de l'azolla dans le monde :

Selon (Mocha, 2018), la domestication de l'azolla remonte au 11e siècle apr. J.-C. au Vietnam, et le genre a été botaniquement établi par Lamarck en 1783. Les espèces de l'azolla sont réparties dans le monde entier, dans les écosystèmes d'eau douce des régions tempérées et tropicales. Plusieurs publications ont montré que les espèces du genre *Euzozolla* sont originaires d'Amérique du Nord et du Sud, tandis que les espèces du genre *Rhizosperma* sont originaires d'Afrique, d'Asie et d'Australie, comme le montre le Tableau 01.

**Tableau 05** : la répartition des espèces de l'azolla dans le monde Selon (Mocha.,2018)

Genre	Espèce	Répartition dans le monde
Euzozolla	<i>A.filiculiodes</i>	Sud de l'Amérique du Sud et ouest de l'Amérique du Nord jusqu'en Alaska
	<i>A. caroliniana</i>	Est de l'Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Nord du Sud, Caraïbes, Mexique et Antilles
	<i>A.mexicana</i>	Nord de l'Amérique du Sud à la Colombie-Britannique, Ouest de l'Amérique du Nord et vers l'Est jusqu'à l'Illinois
	<i>A.microphylla</i>	De l'Ouest et du nord de l'Amérique du Sud au Sud de l'Amérique du Nord et aux Antilles
Rhizosperma	<i>A. pinnata</i>	Afrique tropicale et Afrique australe, Asie du Sud-Est, Japon et Australie
	<i>A.nilotica</i>	Afrique centrale, Haut-Nil Soudan, Ouganda, Tanzanie, Congo et Namibie

### 2–Description et morphologie de l'azolla :

L'Azolla est un genre de fougères aquatiques. Il s'agit d'une petite plante flottante que l'on trouve dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes d'Afrique, d'Asie et d'Amérique (Mocha, 2018). Elle possède une tige principale qui pousse à la surface de l'eau, avec des feuilles alternes et des racines adventices disposées de manière régulière le long de la tige. Des tiges supplémentaires poussent à partir de l'intersection de certaines feuilles. Les feuilles d'Azolla présentent une forme triangulaire ou polygonale et se trouvent à la surface de l'eau, soit de manière individuelle, soit sous forme de tapis (Kathirvelan *et al.*, 2015).

Chaque feuille d'*Azolla* est composée de deux lobes : un lobe supérieur (dorsal) à l'air libre, de couleur vert grâce au pigment de la chlorophylle, et un lobe inférieur (ventral) partiellement immergé, incolore et en forme de coquille, qui assure la flottabilité. Le lobe supérieur contient une cavité foliaire où se trouve la cyanobactérie symbiotique *Anabaena Azollae* (Roy *et al.*, 2016)."



**Figure 02** : l'aspect de l'azolla (Cabi,2008)

La fougère entretient une relation symbiotique naturelle avec une algue bleu-vert, *Anabaena azollae*, responsables de la fixation de grandes quantités d'azote atmosphérique dans ses feuilles (Saruga et Sivashanthini, 2022). Dans l'association *Anabaena – Azolla*, le partenaire *Azolla* offre un abri à *Anabaena Azollae* en lui permettant de se loger dans ses cavités foliaires. De plus, *Azolla* fournit également une source de carbone. En retour, *Anabaena* fixe l'azote atmosphérique et fournit de l'ammoniac à l'azolla (Ana, 2018).

### 3 - Classification de l'azolla :

Selon Nath *et al.* (2023), l'azolla a été classée par Lamarck en 1783 dans la famille des Salviniaceae et l'ordre des Salviniales. Cependant, *Azolla* est actuellement classée dans la famille monotypique des Azollaceae, comprenant sept espèces : *A. pinnata*, *A. filiculoides*, *A. rubra*, *A. microphylla*, *A. mexicana*, *A. nilotica* et *A. caroliniana*.

*Azolla* est classifiée en deux sous-genres, *EuAzolla* et *Rhizosperma*.

#### ➤ Sous-genre *EuAzolla* :

Le sous-genre *EuAzolla* est caractérisé par la présence de trois flotteurs de mégasporocarpes et comprend les espèces suivantes : *A. caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. mexicana*, *A. rubra* et *A. microphylla*.

➤ **Sous-genre Rhizosperma :**

Le sous-genre Rhizosperma est caractérisé par la présence de mégasporocarpes avec neuf flotteurs et comprend les espèces suivantes : *A. pinnata* et *A. nilotica*.

**Tableau 06 :** Synopsis de la classification d'Azolla (**Saunders et Fowler, 1993**).

Division	Ptéridophyte		
Classe	Filicopsida		
Ordre	Salviniales		
Famille	Azollaceae		
Genre	Azolla		
Sous-genre	Euazolla		Tetrasporocarpia
Sections	Azolla	Rhizosperma	
Espèce	<i>A. caroliniana</i> <i>A. filiculoides</i> <i>A. mexicana</i> <i>A. microphylla</i> <i>A. rubra</i>	<i>A. pinnata</i>	<i>A. nilotica</i>
Sous-espèces		<i>A. pinnata</i> subsp <i>africana</i> <i>A. pinnata</i> subsp. <i>asiatica</i> <i>A. pinnata</i> subsp. <i>Pinnata</i>	

**4 - Reproduction de l'azolla :**

Azolla présente deux méthodes de reproduction : la reproduction sexuée (reproduction générative) et la reproduction asexuée (multiplication végétative) (**Rahagarison, 2005**).

Lors de la reproduction végétative, lorsque la fougère atteint environ 1 à 2 cm de diamètre, les feuilles les plus âgées se séparent pour donner naissance à des frondes isolées plus petites. Pendant cette période, l'*Anabaena* se reproduit de manière synchrone avec l'hôte. Dans des conditions idéales de croissance végétative, le temps de doublement (poids sec) est de 2,5 jours pour *A. pinnata* (**Reynaud et Franche, 1986<sup>2t</sup>**).

Lorsque les conditions environnantes deviennent défavorables, le cycle de reproduction sexuée est initié. La fougère produit des spores mâles, également appelées mégaspores, ainsi que des spores femelles, connues sous le nom de microspores, qui constituent des formes de survie d'Azolla. La fécondation du gamète femelle par le gamète mâle donne naissance à une jeune plantule. Durant cette phase, la continuité de l'association entre la ptéridophyte et la

cyanobactérie est assurée par la présence de spores *Anabaena* (ou akinètes) dans les mégaspores d'*Azolla* (**Reynaud et Franche, 1986**).

### 5- Composition chimique de l'azolla

La variation de la teneur en éléments nutritifs de l'azolla dépend d'un certain nombre de facteurs, y compris des différences dans les interactions avec les conditions environnementales, telles que la température, la lumière, les engrais et le sol (**Tarif, 2021**).

La teneur en protéines brutes varie de 15,4 % à 27,93 %, tandis que la quantité de fibres brutes se situe entre 9,07 % et 22,25 %. En ce qui concerne l'extrait d'éther, il présente une variation moyenne de 1,60 % à 5,05 % selon les différentes espèces. La teneur en cendres totales, elle varie de 10,15 % à 36,10 % (**Chatterjee et al., 2013**)

**Tableau 07** : composition chimique de l'azolla (**roy et al., 2016**).

Analyse principale	Unité	Moy	Min	Max
Matière sèche	%comme nourriture	6.7	5.1	8.7
Protéine brute	%MS	20.6	13.9	28.1
Fibre brute	%MS	15.0	11.3	22.8
ACNP	%MS	43.8	35.4	52.3
ADF	%MS	31.8	24.0	38.9
Lignine	%MS	11.4	9.3	13.5
Extrait d'éther	%MS	3.8	1.9	5.1
Cendre	%MS	15.9	9.8	21.6
Amidon (polarimétrie)	%MS	4.1	2.7	5.5
Énergie brute	MJ/KJ MS	17.0		

L'*Azolla* est très riche en minéraux, tels que le calcium, le phosphore, le potassium, le fer, le cuivre, le magnésium et le zinc. Le taux de calcium contenu dans l'*Azolla* varie entre 0,8 % et 4,99 %, tandis que la quantité de phosphore varie de 0,3 % à 1,3 % (**Chatterjee et al., 2013**)

**Tableau 08** : teneur en minéraux de le l'azolla (**roy et al.**, 2016).

Minéraux	Unité	Moy	Min	Max
Calcium	g/kg MS	11.0	5.8	17.0
Phosphore	g/kg MS	6.1	0.3	15.5
potassium	g/kg MS	17.4	10.9	22.5
sodium	g/kg MS	9.0	2.8	12.5
Magnésium	g/kg MS	5.0	3.9	6.1
Manganèse	mg/kg MS	762	208	1426
zinc	mg/kg MS	38	11	77
Le cuivre	mg/kg MS	16	10	28
Le fer	mg/kg MS	3900	711	8200

Selon l'étude d'**Alalade et Lyayi** (2006), les acides aminés les plus présents dans l'azolla étaient la lysine, l'arginine, l'isoleucine, la leucine, la phénylalanine, la glycine et la valine. L'azolla est une excellente source de protéines, contenant tous les acides aminés essentiels, en particulier une quantité élevée de lysine, d'arginine et de méthionine (**Mandal et al.**, 2012).

**Tableaux 09** : les principaux acides aminés dans l'azolla (**roy et al.**, 2016).

Acide aminé	Unité	Moy	Min	Max
Alanine	% de protéines	6.4	5.3	7.4
Arginine	% de protéines	5.9	5.1	6.6
Acide aspartique	% de protéines	9.3	8.2	10.3
Cystine	% de protéines	1.6	0.7	2.3
Acide glutamique	% de protéines	12.6	11.6	13.5
Glycine	% de protéines	5.6	4.5	6.6
Histidine	% de protéines	2.1	1.6	2.4
Isoleucine	% de protéines	4.5	3.7	5.4
Leucine	% de protéines	8.4	7.0	9.2
Lysine	% de protéines	4.7	3.5	6.5
Méthionine	% de protéines	1.4	1.2	1.9
Phénylalanine	% de protéines	5.4	5.2	5.6
Proline s	% de protéines	4.9	3.5	1.9
Sérine	% de protéines	4.5	3.9	5.6
Thréonine	% de protéines	4.7	4.0	5.3
Tryptophane	% de protéines	1.8	1.5	2.0

Tyrosine	% de protéines	3.6	3.2	4.1
Valine	% de protéines	5.5	3.8	6.8

## 6 - Écophysiologie de l'azolla :

L'association Azolla-Anabaena, tout comme d'autres plantes soumises à l'influence de nombreux facteurs environnementaux, y compris l'eau qui est le facteur le plus limitant pour la croissance et le développement de l'Azolla, la disponibilité des nutriments, la température, la lumière, ainsi que des aspects de la qualité de l'eau tels que le pH, la salinité et la turbulence (**Prusty et Satapathy, 2020**).

### 6 - 1- Besoins en eau :

Une couche d'eau fraîche allant de 10 à 15 cm dans les bassins de l'Azolla est nécessaire pour favoriser la croissance et la multiplication (**Trada et Malam, 2020**). Cela assure également une bonne nutrition minérale, car les racines se trouvent à proximité du sol. Cette plante est extrêmement sensible au manque d'eau. Le maintien d'un niveau d'eau adéquat est essentiel (**Rajesh, 2020**).

Une couche n'excédant pas quelques centimètres d'eau peut réduire les effets du vent, qui peuvent accumuler l'Azolla d'un côté du bassin, créant un surpeuplement et ralentissant la croissance (**Van Hove, 1989**). Bien qu'Azolla puisse pousser sur des surfaces de boue humide ou des fosses humides, il préfère pousser dans un état flottant (**Becking, 1979**)."

### 6 - 2 - la température :

La température idéale se situe entre 20°C et 32°C, que ce soit en journée ou pendant la nuit. Azolla se développe de manière idéale dans des températures situées entre 25 et 30°C (**Trada et Malam, 2020**).

**Tableaux 10** : la tolérance à la température de 5 espèces d'azolla (**Cagauan et Pullin, 1991**)

Sous-genre	Espèce	La température de l'eau (°C)		
		Minimum	maximum	Optimale pour la croissance
<i>Euazolla</i>	<i>A. caroliniana</i>	0-10	38-42	20-25
	<i>A. filiculoides</i>	0-10	45	20-30
	<i>A. mexicana</i>	-	-	30-33
	<i>A. microphylla</i>	5-8	45	25-30

<i>Rhisosperma</i>	<i>A. pinnata</i>			
	<i>A. pinnata subsp. Imbricata</i>	5	40	16-33
	<i>A. pinnata subsp pinnta</i>	0	45	20-30

### 6 - 3 - l'humidité :

Les espèces de l'*Azolla* poussent bien lorsque le taux d'humidité relative se situe entre 70 et 75 %. La fougère devient sèche et fragile lorsque l'humidité relative est inférieure à 70 %. De plus, un taux d'humidité supérieur à 75 % entraîne une croissance négative en raison de la faible transpiration et de la diminution de l'absorption des nutriments (**Sebastian et al.**, 2021).

*Azolla*, une plante exclusivement aquatique, ne peut pas survivre avec une humidité inférieure à 60 % (**Kathirvelan et al.**, 2015).

### 6 - 4 - lumière :

L'*Azolla* a besoin de 25 à 50 % de plein soleil pour une croissance normale (**Liu et al.**, 2008). La meilleure intensité lumineuse pour favoriser la croissance de l'*Azolla* est de 15 à 18 lux. Lorsque l'intensité lumineuse est élevée, la croissance et la photosynthèse de l'*Azolla* sont inhibées. En été, sa couleur vire au rouge brunâtre en raison d'une exposition prolongée à la lumière intense, mais elle redevient verte lorsqu'elle est à nouveau à l'ombre. *Azolla* montre une croissance maximale lorsqu'elle est exposée à une photopériode d'environ 20 heures (**Sebastian et al.**, 2021).

### 6 - 5 - pH :

En général, l'*Azolla* favorise un pH neutre ou légèrement acide (**Sebastian et al.**, 2021). *Azolla* a la capacité de survivre dans une gamme de pH de l'eau allant de 3,5 à 10, sa croissance maximale se produit avec un pH de l'eau compris entre 4,5 et 7 (**Kathirvelan et al.**, 2015).

### 6 – 6 - besoins nutritionnels de l'azolla :

Comme toutes les autres plantes, *Azolla* a besoin de tous les macro et micronutriments pour un bon fonctionnement, ainsi que pour la croissance et la multiplication végétative (**Sherief et James**, 1994). La croissance d'*Azolla* est favorisée par la présence de micronutriments tels que le fer, le manganèse, le cuivre, le cobalt, le zinc, le bore et le molybdène. Parmi ces éléments nutritifs, le molybdène et le cobalt augmentent l'efficacité de la fixation de l'azote. Une accumulation excessive de cuivre, de cobalt, de plomb et de zinc entraîne un effet toxique sur

Azolla, tandis que l'accumulation de fer et de manganèse n'est pas toxique pour la plante (**Sebastian et al.**, 2021).

#### 7- Procéder de culture de l'azolla :

Selon l'étude de **Devi Lal Dhaker et al.**, (2021), la création d'une zone de culture pour l'Azolla ne nécessite pas de compétences particulières, les agriculteurs eux-mêmes peuvent s'en charger facilement, Le processus se déroule de la manière suivante :

- Un plan d'eau artificiel a été créé, de préférence à l'ombre d'un arbre, à l'aide de feuilles de sipauline.
- Creusez d'abord un trou de dimensions 2 m x 2 m x 0,2 m.
- Cette fosse est tapissée d'un plastique pour empêcher les racines des arbres voisins de pénétrer dans la feuille de sipauline étalée sur le plastique.
- Environ 10 à 15 kg de sol tamisé sont uniformément répartis sur la feuille de sipauline.
- Des boues constituées de 2 kg de bouse de vache et de 30 g de Super Phosphate dans 10 litres d'eau ont été versées sur la feuille.
- Ajoutez plus d'eau jusqu'à ce que le niveau d'eau atteigne environ 10 cm.
- Environ 500 g à 1 kg d'inoculum frais et pur d'Azolla sont inoculés dans la fosse.
- L'Azolla se développera rapidement et remplira la fosse en 10 à 15 jours, et environ 500 à 600 g d'Azolla pourront être récoltés quotidiennement par la suite.
- Il est recommandé d'ajouter un mélange de 20 g de Super Phosphate et d'environ 1 kg de bouse de vache tous les 5 jours.
- Cela est fait pour maintenir l'Azolla dans la phase de multiplication rapide et maintenir un rendement quotidien de 500 g par fosse.
- Un mélange de micronutriments contenant du magnésium, du fer, du cuivre, du soufre, etc., peut également être ajouté à intervalles hebdomadaires pour améliorer la teneur en minéraux d'Azolla (**Kathirvelan et al.**, 2015).

**7 – 1 - Mesures de précaution :**

Salon **Kathirvelan et al., 2015** les Précautions à adopter lors de la réalisation du procédé de culture de l'Azolla sont les suivantes :

1 - Un endroit ombragé, de préférence sous un arbre, doit être choisi, avec suffisamment de lumière solaire pour la production d'Azolla (placer à l'abri de la lumière directe du soleil).

2 - Il est nécessaire que tous les coins de la fosse soient plats pour garantir un niveau d'eau uniforme.

3 - Une biomasse d'environ 300 g à 350 g doit être récoltée quotidiennement pour éviter le surpeuplement et maintenir la fougère dans sa phase de multiplication rapide.

4 - Il est essentiel de fournir les nutriments adéquats au fur et à mesure que des carences en nutriments sont identifiées.

5 - Des mesures phytosanitaires sont nécessaires afin de lutter contre les organismes nuisibles et les maladies.

6 - Environ 5 kg de terre de lit doivent être remplacés par de la terre fraîche tous les 30 jours pour éviter l'accumulation d'azote et prévenir les carences en micronutriments.

7 - Il est également recommandé de changer 25 à 30% de l'eau par de l'eau fraîche tous les 10 jours pour éviter l'accumulation d'azote dans le lit.

8 - Après un changement d'eau et de sol, une nouvelle Azolla doit être transplantée au moins tous les six mois.

**7 – 2 - Récolte de l'Azolla :**

Azolla doit être récoltée avec un plateau en plastique ayant des trous de 1 cm<sup>2</sup> pour permettre l'écoulement de l'eau. Il est nécessaire de garder le plateau contenant Azolla dans un seau contenant environ la moitié d'eau, afin de se débarrasser de l'odeur de la bouse de vache. Le lavage permet également la séparation des petits plants qui s'écoulent du plateau (**Kathirvelan et al., 2015**).

## **8 - L'utilisation de l'azolla :**

### **8 - 1 – l'utilisation de l'azolla en agriculture :**

Grâce à sa croissance rapide, sa capacité de fixation de l'azote et à sa décomposition rapide, Azolla offre des bénéfices significatifs en tant qu'engrais écologique et économique rentable. L'azolla est utilisée comme engrais vert dans les rizières, où il améliore non seulement la fertilité du sol mais également sa santé globale. De plus, il joue un rôle en inhibant la croissance des mauvaises herbes. Cette méthode peut conduire à une diminution des dépenses de production du riz tout en favorisant une amélioration durable de la productivité et de la santé des sols (**Muhammad et al.**, 2020). En raison de sa capacité à augmenter la production mondiale de riz, Azolla joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire.

### **8 – 2 – l'utilisation de l'azolla en alimentation humaine :**

Certains chercheurs ont expérimenté l'utilisation d'Azolla dans des soupes ou sous forme de « boulettes de viande Azolla » comme alimentation humaine. (**Sjodin et al.**, 2012) ont signalé que le traitement traditionnel de la toux s'est avéré efficace en Tanzanie lorsqu'Azolla est utilisé (**Rahal et al.**, 2019). Et en raison de sa teneur élevée en protéines, Azolla est couramment utilisé comme un complément alimentaire bénéfique (**Divya et al.**, 2020).

### **8 – 3 – l'utilisation de l'azolla en alimentation animale**

Azolla est utilisée comme complément alimentaire pour divers types d'animaux tels que les bovins, les chèvres, les porcs, les lapins, les poulets, les canards et les poissons (**Roy et al.**, 2016). Azolla présente une faible teneur en glucides et en lipides, ce qui en fait une collation nutritive. Grâce à sa composition biologique avantageuse, Azolla est considérée comme l'un des meilleurs choix alimentaires pour les vaches en termes de rentabilité et d'efficacité. De plus, sa richesse en protéines et son faible taux de lignine en font un aliment facilement digestible pour les animaux (**Bhatt et al.**, 2020).

#### **8 – 3 – 1 - Pour les ruminants :**

L'azolla fraîche ou séchée peut être utilisée comme aliment pour les bovins, ovins et caprins, des essais réalisés en Inde montrent que l'utilisation de l'azolla fraîche ou séchée représente un excellent substitut pour les sources de protéines (**Feedipedia**, 2019).

➤ **En alimentation des vaches laitières :**

Selon **El Naggari** et **El Mesery** (2022), l'incorporation quotidienne de 1,5 à 2 kg d'azolla frais dans l'alimentation des vaches laitières peut augmenter la production jusqu'à 15 % tout en permettant une économie de 20 à 25 % sur l'aliment commercial.

Pour les vaches laitières, le remplacement de 15 à 20 % des aliments commerciaux par de l'azolla dans leur régime alimentaire a entraîné une augmentation de 15 à 20 % de la production laitière en raison de la faible teneur en lignine et de la teneur élevée en protéines de l'azolla (**Gouri et al.**, 2012). De plus, **Khare et al.** (2014) ont constaté une augmentation de la production laitière chez les vaches en lactation lorsque le régime alimentaire est complété par de l'azolla par rapport au témoin.

Pour les vaches croisées, l'ajout de l'azolla comme complément alimentaire a entraîné une augmentation de 11,85 % de la production laitière (**Rawat et al.**, 2015).

➤ **En alimentation des veaux :**

**Bhatt et al.** (2020) ont constaté que le remplacement de 15 % de l'aliment concentré par de l'azolla améliore le gain moyen quotidien des veaux. De plus, l'incorporation de l'azolla en quantités de 150 g, 250 g et 350 g dans l'alimentation des veaux améliore le gain moyen de 21,13 %, 29,34 % et 22,59 % respectivement, et le rapport de conversion alimentaire a été amélioré de 13,3 %, 17,38 % et 12,82 % respectivement. Selon les résultats, le meilleur complément d'azolla est de 250 g (**Sharma et al.**, 2021).

➤ **En alimentation des ovins et le caprin :**

Le remplacement de l'aliment concentré par l'azolla sèche, à raison de 20 % et 30 %, a augmenté le gain moyen quotidien des chèvres de 56,5 % et 60 % respectivement (**Adake**, 2015). De même, le remplacement de 25 % du tourteau de graine de lin par 6 % d'azolla dans l'alimentation des moutons améliore le poids corporel, la digestibilité et le rapport de conversion alimentaire (**Ahmed et al.**, 2016).

**8 – 3 – 2 - pour les volailles :****➤ En alimentation du Poulet de chair :**

Plusieurs recherches ont montré l'efficacité de l'utilisation de l'azolla avec différentes concentrations dans l'alimentation des poulets de chair sur le poids corporel, et elle est similaire à celle qui reçoit une alimentation à base de farine de maïs-soja (**Abd El-Ghany,**

2020). **Ouedraogo et al.,** 2021, ont montré que la substitution partielle du soja par la farine d'*Azolla pinnata* n'a pas eu d'effet significatif sur le poids corporel et les gains moyens quotidiens.

De plus, des études ont montré que les poulets nourris avec une alimentation classique supplémentée avec 5 % d'azolla présentaient une croissance plus rapide que ceux qui consommaient uniquement l'aliment commercial standard. Ainsi, la conversion alimentaire des animaux et l'efficacité énergétique ont été considérablement améliorées (**Rajesh,** 2020).

**➤ En alimentation de la poule pondeuse :**

L'incorporation de l'azolla dans l'alimentation de la poule pondeuse a montré une amélioration de la couleur du jaune d'œuf grâce à la richesse de la plante en pigment de  $\beta$ -carotène, ce qui a conduit à la formation de coquilles d'œufs plus épaisses et a augmenté la production d'œufs (**Abd El-Ghany,** 2020). De plus, des études menées par **Lakshmanan et al.,** (2017), ont montré que l'inclusion d'*Azolla* à raison de 100 g par oiseau par jour a entraîné une augmentation significative du rendement en œufs."

**➤ En alimentation des cailles :**

Selon **Abd El-Ghany** (2020), l'incorporation de l'azolla dans la ration de base des cailles à un taux de 5 % améliore la croissance et l'efficacité de la conversion alimentaire. En revanche, la supplémentation en azolla n'a aucun effet significatif sur la consommation alimentaire de la caille japonaise.

**➤ En alimentation des canards :**

Certaines recherches ont également examiné l'impact de l'*Azolla* en tant que complément alimentaire pour les canards. L'*Azolla*, considérée comme une source de nutriments non traditionnelle, pourrait être intégrée à hauteur de 10 % dans l'alimentation de base des canards de chair (**Acharya et al.,** 2015). De plus, il est mentionné qu'un remplacement de 15 % du

tourteau de soja par l'azolla a conduit à une augmentation des gains de poids quotidiens chez les canards (Abd El-Ghany, 2020).

### **8 – 3 – 3 - En alimentation du lapin :**

La substitution de 10 % et 20 % des régimes protéiques par l'azolla dans l'alimentation des lapins blancs néo-zélandais a montré une amélioration du gain moyen quotidien plus élevé pour le groupe à 10 % (Sireesha *et al.*, 2017). En revanche, des doses plus élevées ont un impact négatif sur les performances de production, la qualité de la viande et l'efficacité alimentaire des lapins en croissance (Abdelatty *et al.*, 2021).

### **8 – 3 – 4 - En alimentation des poissons :**

L'Azolla offre la possibilité d'être directement ou indirectement utilisée dans les étangs piscicoles en raison de sa teneur plus élevée en éléments nutritifs tels que les minéraux, la chlorophylle, les caroténoïdes, les acides aminés et les vitamines (Umalatha *et al.*, 2018). Elle peut servir de nourriture pour les poissons dans les élevages d'étangs piscicoles à base d'Azolla, ce qui favorise directement la prise de poids des poissons macrophytophages (Hasan et Chakrabart, 2009).

### **8 – 4 - l'utilisation de l'Azolla comme répulsif anti moustique :**

La disposition d'une couche épaisse d'azolla à la surface de l'eau peut empêcher efficacement l'éclosion des moustiques et l'apparition des adultes (Hossain *et al.*, 2021). Des recherches effectuées sur différents types de plans d'eau tels que les étangs, les puits, les champs de riz et les égouts ont démontré que la présence d'Azolla réduisait considérablement la reproduction des moustiques Anophèles spp. (Sumitha *et al.*, 2021). Il est intéressant de noter que la survie des larves de moustiques n'était pas affectée, mais il y avait une réduction dans le taux d'éclosion des œufs.

### **8 – 5 - l'utilisation de l'azolla en production de biogaz :**

Le processus de fermentation anaérobie de l'Azolla (ou d'une combinaison d'Azolla et de paille de riz) engendre la production de méthane, qui a la possibilité d'être exploitée comme source d'énergie, tandis que le résidu résultant, contenant les éléments nutritifs originellement présents dans les tissus végétaux, peut être utilisé comme fertilisant (Thiruvengkatachari *et al.*, 2021).

## **9 - L'effet de l'incorporation de l'azolla dans l'alimentation animale sur l'organisme :**

### **9 - 1 - l'effet sur le métabolisme :**

L'ajout de farine de feuilles d'azolla en raison de 5 % a conduit à une augmentation des villosités intestinales et d'un pourcentage accru de mucine dans le duodénum. (**Abdelatty et al.**, 2021). L'augmentation de la longueur ou de la surface des villosités a un effet bénéfique sur l'absorption intestinale, en plus d'apporter des avantages supplémentaires grâce aux modifications de la flore microbienne caecale (**Liu et al.**, 2021).

### **9 - 2 - Effets sur la digestibilité des nutriments :**

L'incorporation d'azolla dans l'alimentation des poulets de chair a entraîné une amélioration de la digestibilité des nutriments, en raison de l'augmentation de l'épaisseur du duodénum et d'une augmentation du contact entre les nutriments et les enzymes impliquées dans la digestion (**Rana et al.**, 2017).

### **9 - 3 - L'effet de l'azolla comme hépato protecteur :**

L'extrait éthanolique d'Azolla a montré sa capacité à réduire l'hépatotoxicité provoquée par l'acétate de plomb en diminuant le stress oxydatif, l'expression pro-apoptotique des protéines et la production de cytokines pro-inflammatoires dans le tissu hépatique. Par ailleurs, cet extrait éthanolique a également stimulé la production de cytokines anti-inflammatoires et augmenté la capacité antioxydante dans les tissus hépatiques, suggérant ainsi qu'il pourrait être utilisé comme un agent hépato protecteur contre les hépatotoxiques (**Elrasoul et al.**, 2020 ; **Attia et al.**, 2021).

### **9 - 4 - L'activité antioxydante :**

Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) a été employé pour évaluer le pouvoir antioxydant des nanoparticules de sélénium extraites d'Azolla (NPs Ap-Se), avec l'acide ascorbique comme référence. Lorsque la concentration des nanoparticules a été augmentée à 500 µg/ml, l'activité de piégeage des radicaux des NPs Ap-Se a été accrue, indiquant une encapsulation plus importante avec un meilleur potentiel antioxydant (**Rajagopal et al.**, 2021).

## **10 - l'azolla dans le traitement des eaux usées**

Certaines plantes ont la capacité d'absorber et d'accumuler des contaminants, ainsi que des nutriments et des métaux lourds, dans un processus connu sous le nom de phytoremédiation. Cette approche peut être utilisée dans le traitement des eaux usées. De nombreux chercheurs ont constaté que les macrophytes aquatiques ont la capacité d'absorber les nutriments et les métaux lourds dans l'eau avec un rendement élevé en biomasse. Parmi les différentes plantes utilisées dans les milieux humides artificiels, telles que la lentille d'eau ou les quenouilles,

l'azolla s'est avérée la plus efficace. Pendant des décennies, l'azolla a été utilisée comme engrais vert dans les rizières en raison de son habitat et de ses capacités de fixation de l'azote. En raison de sa capacité à extraire le phosphore et l'azote du milieu aqueux, il y a un intérêt croissant pour l'utilisation de l'azolla comme décontaminant dans les systèmes de traitement des eaux usées à faible coût (**Jayasundara, 2022**).

# Chapitre IV :

## Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est essentiel afin d'éliminer les substances contaminants qu'elles contiennent avant de les rejeter dans l'environnement. Il existe différentes techniques pour éliminer les nutriments tels que le phosphore et l'azote des eaux usées, par exemple le traitement chimique et la méthode biologique classique (**Ruzhitskaya et Gogina, 2017**). Cependant l'utilisation du procédé est limitée en raison de ses coûts élevés et de la production de la boue (**Li et al., 2013 ; Ungureanu et al., 2019**).

La phytoremédiation est le terme utilisé pour décrire le processus de purification des polluants en utilisant les mécanismes métaboliques des plantes (**Pandey et al., 2021**).

La phytoremédiation représente une approche écologique qui constitue une alternative ou un complément aux procédures coûteuses, envahissantes et énergivores de nettoyage de l'environnement. Dans cette méthode, les éléments métalliques et les polluants hautement persistants peuvent être éliminés de l'écosystème en utilisant des plantes adaptées (**Shahbaz Akhtar et al., 2023**)

## 1 - Eaux usées :

Les eaux usées englobent toute forme d'eau ayant été modifiée par l'intervention humaine et nécessitant un traitement spécifique avant d'être rejetée dans les eaux de surface ou souterraines (Samer, 2015). Les eaux usées proviennent des domaines industriel, domestique, commercial et agricole (Harun et Hanafiah, 2018 ; Hanafiah *et al.*, 2019)

## 2 - Origine des eaux usée :

### ○ Origine domestique (EUD) :

Les eaux usées municipales ou domestiques : il s'agit des eaux usées évacuées par les habitations, les établissements tels que les écoles et les cliniques médicales, ainsi que les locaux commerciaux tels que les centres commerciaux, les restaurants, etc. (Hanafiah *et al.*, 2018).

Les EUD peuvent être catégorisées en fonction de leur composition : jaunes (contenant de l'urine), brunes (composées de matières fécales et d'eau de rinçage), noires (comprenant des urines, des matières fécales et une activité bactérienne) et eaux grises (comportant de l'eau provenant de la cuisine, de la lessive, de la douche et du lavage des mains) (Bhupendra *et al.*, 2022).

### ○ Origine agricole :

Est fondamentalement l'excès d'eau qui s'écoule des champs vers les réservoirs, les sillons, les zones tampons et les zones inondées pendant l'irrigation. On les désigne également sous le nom d'"eaux d'irrigation de retour". Une autre source d'eaux usées agricoles provient de la récolte et de la préparation des cultures destinées à la transformation alimentaire, comprenant généralement des graisses/huiles, des nutriments, des bactéries et des virus pathogènes, une demande biochimique importante en oxygène et des particules en suspension (Samer, 2015).

### ○ Origine industrielle :

Les eaux d'origine industrielle, qui sont très différentes des eaux usées domestiques, proviennent de différentes usines de fabrication ou de transformation. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. Il est possible qu'elles renferment des composés toxiques difficilement dégradables, ce qui exige une approche de traitement spécifiquement adaptée (Rodier *et al.*, 2009).

### 3- Composition des eaux usées :

La composition des eaux usées varie considérablement selon leur origine (qu'elle soit industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir une diversité de substances, qu'elles soient solides ou dissoutes, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et de leur impact sur la santé, ces substances peuvent être regroupées en quatre catégories distinctes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces, qu'ils soient minéraux ou organiques, et les substances nutritives (**Jayakumar et al.**, 2017 ; **Logroño et al.**, 2017).

Les trois quarts du carbone organique présent dans les eaux usées se composent de glucides, de graisses, de protéines, d'acides aminés et d'acides volatils, Ainsi que des polluants inorganiques tels que le sodium, le calcium, le potassium, le magnésium, le chlore, le soufre, le phosphate, le bicarbonate, les sels d'ammonium et les métaux lourds (**Bong et al.**, 2020).

### 4 - Traitement des eaux usées :

Le processus de traitement des eaux usées englobe une série de méthodes visant à réduire et/ou éliminer les agents polluants présents dans l'eau, permettant ainsi sa réutilisation dans le secteur agricole ou son rejet dans l'environnement sans engendrer d'effets négatifs (**Ahammad et al.**, 2013 ; **Zajda et Aleksander-Kwaterczak**, 2019). Pour évaluer la qualité de l'eau traitée, divers paramètres sont sous surveillance, notamment la demande chimique en oxygène (DCO), le carbone organique total (COT), la demande biochimique en oxygène (DBO5), les matières en suspension totales (MES) et la turbidité (**Rita Beltrão et al.**, 2022).

Le traitement des eaux usées est traditionnellement composé de quatre étapes successives : les procédés de prétraitement, le traitement primaire, le traitement biologique (secondaire) et un traitement tertiaire sont utilisés pour éliminer le phosphore (**Ternes et al.**, 2004).

- **Les étapes de traitement des eaux usées**

Généralement, le processus de traitement des eaux usées comprend trois étapes principales : traitements primaire, secondaire et tertiaire (**Chan et al.**, 2009). Les méthodes de traitement primaire et secondaire sont employées pour éliminer la majorité des particules de grande taille et des déchets organiques. Après les processus initiaux et ceux qui suivent, il reste certains éléments indésirables présents dans l'eau traitée ; le traitement tertiaire agit comme une étape supplémentaire pour éliminer ces substances. En général, ces étapes comprennent un mélange d'activités physiques, chimiques et biologiques (**Gedda et al.**, 2021)

### ✓ Prétraitements :

La première étape du processus de traitement des eaux usées est le traitement préliminaire. Le processus consiste à enlever mécaniquement les matériaux solides de différentes tailles. Le processus de tamisage des eaux usées vise à capturer divers éléments tels que des morceaux de bois, des chiffons, des particules de plastique, ainsi que du fil, parmi d'autres (**Suzenet et al** 2002 ; **Choudhary et al.**, 2011 ; **Liang et al.**, 2017 ; **Kalair et al.**, 2021) La première étape du processus élimine plus de 60 % des matières solides présentes dans les eaux usées (**Łuczkiwicz et al.**, 2010 ; **Chaudhry et al.**, 2011 ; **Mao et al.**, 2015 ; **Demirbas et al.**, 2017 ; **EPA**, 2023).

### ✓ Traitements primaires

Ce processus, se divise en deux étapes successives : une étape de prétraitement et une étape de sédimentation (**Gupta et al.**, 2012 ; **Brix**, 2020) Dans la phase de prétraitement, on recourt au tamisage, aux chambres remplies de gravier et aux réservoirs de dégraissage pour effectuer une première élimination des grosses particules, des débris, des huiles et des graisses présentes dans les eaux usées. De plus, les eaux usées subissent une sédimentation ou une précipitation chimique dans des bassins de décantation primaires, ce qui entraîne l'élimination des matières organiques solides, des particules colloïdales et des particules en suspension plus fines sous forme de boues.

### ✓ Traitements secondaires

Les molécules organiques solubles biodégradables subissent une dégradation par les microorganismes lors de la phase de traitement secondaire, En présence d'oxygène, les microorganismes appropriés se développent en se nourrissant des eaux usées, augmentant ainsi leur population en utilisant la matière organique comme source de nourriture. En règle générale, la demande biochimique en oxygène (DBO) est utilisée comme indicateur pour évaluer les eaux usées ; à mesure que la matière organique est éliminée, le niveau de DBO diminue

Cette phase de traitement biologique est subdivisée en deux catégories : les systèmes de croissance en suspension et les systèmes de croissance attachés. Dans les systèmes de croissance en suspension, les eaux usées circulent autour et à travers les microorganismes en suspension, formant des agrégats biologiques qui se déposent au fond. Ces agrégats de décantation contiennent des microorganismes qui sont réintroduits dans le processus de

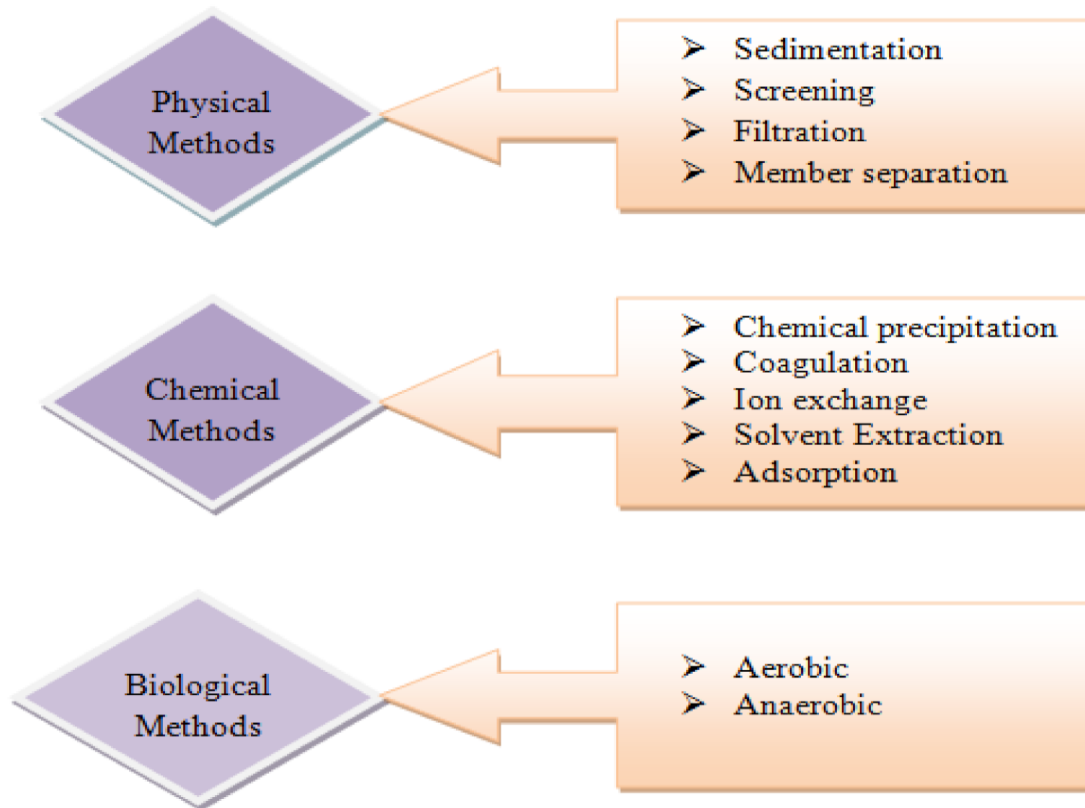
traitement des eaux usées. Les systèmes de croissance en suspension comprennent les processus de boues activées et les lagunes aérées.

En revanche, les systèmes de croissance attachés utilisent des supports tels que des lits fixes de gravier, de céramique ou de plastique pour abriter et cultiver des microorganismes. Les eaux usées s'écoulent sur ces supports, formant un biofilm qui s'épaissit à mesure que les microorganismes se développent, puis se détache ou est éliminé sous forme de boue. Cela comprend également les filtres à ruissellement et les contacteurs biologiques rotatifs (RBC). Comparés aux systèmes de croissance en suspension, les procédés de croissance attachée sont plus simples à entretenir, nécessitent moins d'entretien de l'équipement et consomment moins d'énergie. Cependant, ils nécessitent davantage d'espace, peuvent entraîner des problèmes d'odeurs et présentent des limitations en ce qui concerne leur capacité à traiter de grands volumes d'eaux usées (**El-batouti et al.**, 2021).

✓ **Traitements tertiaires :**

Les techniques de traitement tertiaire sont parfois désignées sous le terme d'approches de traitement de pointe. Cette méthode permet de retirer une quantité significative de phosphore, d'azote, de matières organiques biodégradables, de métaux lourds, de virus et de bactéries pathogènes. Parmi les procédures thérapeutiques les plus avancées qui ont été élaborées, on peut citer la désinfection, la séparation membranaire et l'électrodialyse (**El-batouti et al.**, 2021).

Le but principal du traitement tertiaire est de s'assurer que le produit final ne contient aucun composé toxique qui peut être nocif pour les êtres humains ou les plantes, surtout si les eaux usées sont utilisées pour l'irrigation (**Jamrah et al.**, 2008). Les différents outils utilisés dans le traitement tertiaire sont conçus pour traiter des composés chimiques spécifiques contenus dans les eaux usées. Le produit final est également soumis à un examen approfondi pour s'assurer qu'il est exempt de tout composé chimique ou potentiellement nocif (**Kamali et al.**, 2019).



**Figure 03** : technologies conventionnelles d'enlèvement de métaux lourds (**Thanh et al.**, 2005).

- **Méthodes alternatives pour le traitement des eaux usées**

Les méthodes traditionnelles de traitement des eaux usées sont associées à des coûts environnementaux élevés, principalement en raison de leur utilisation d'agents chimiques qui peut engendrer une pollution secondaire susceptible de causer des dommages aux écosystèmes (**Wang et al.**, 2005 ; **Chan et al.**, 2009). Au cours des récentes années, la phytoremédiation, qui repose sur l'utilisation de plantes aquatiques présentant une productivité élevée et des capacités d'élimination des nutriments, a suscité un intérêt croissant au sein du public (**Brix**, 2020 ; **Gedda et al.**, 2021). La phytoremédiation consiste à exploiter le potentiel des plantes pour atténuer, transférer, stabiliser ou décomposer les polluants présents dans le sol, les sédiments et l'eau. Cette approche a trouvé une large application dans divers environnements, notamment les rivières (**Gupta et al.**, 2012) et les zones humides artificielles (**Ranade et Bhandari**, 2014 ; **Serra et al.**, 2014).

### 1- Phytoremédiation :

La phytoremédiation est une technique ou une approche qui utilise des plantes naturelles ou génétiquement modifiées afin d'éliminer, transférer, stabiliser ou diminuer divers polluants présents dans le sol ou les milieux aquatiques (**Al-Thani** et **Yasseen**, 2020). En d'autres mots, la technique de la phytoremédiation exploite la capacité d'une plante à fonctionner comme une pompe photosynthétique pour éliminer efficacement les substances polluantes telles que les métaux lourds et les métalloïdes présents dans l'environnement et l'eau (**Tangahu et al.**, 2011 ; **Prasad**, 2018). Les agents de phytoremédiation ont la capacité d'éliminer à la fois les polluants organiques et inorganiques et d'interagir avec les micro-organismes (**Nur Izzah Hamna et al.**, 2020).

La phytoremédiation représente une méthode en plein essor, économiquement abordable, fiable et moins coûteuse (**Ekambaram et al.**, 2018). À l'heure actuelle, la phytoremédiation est une approche de décontamination de l'eau, particulièrement appropriée pour les petites installations de traitement des eaux usées domestiques. À l'origine, les végétaux étaient utilisés pour éliminer les métaux lourds présents dans les environnements contaminés et pour améliorer différents paramètres tels que le pH, la conductivité électrique, la teneur en matières en suspension, les produits chimiques et la demande biologique en oxygène, la quantité totale de carbone organique ainsi que sa forme dissoute, le taux d'azote total et d'azote dissous, le taux de phosphore total ainsi que sa forme orthophosphorique, et autre (**Chaudhry et Sharma**, 2014).

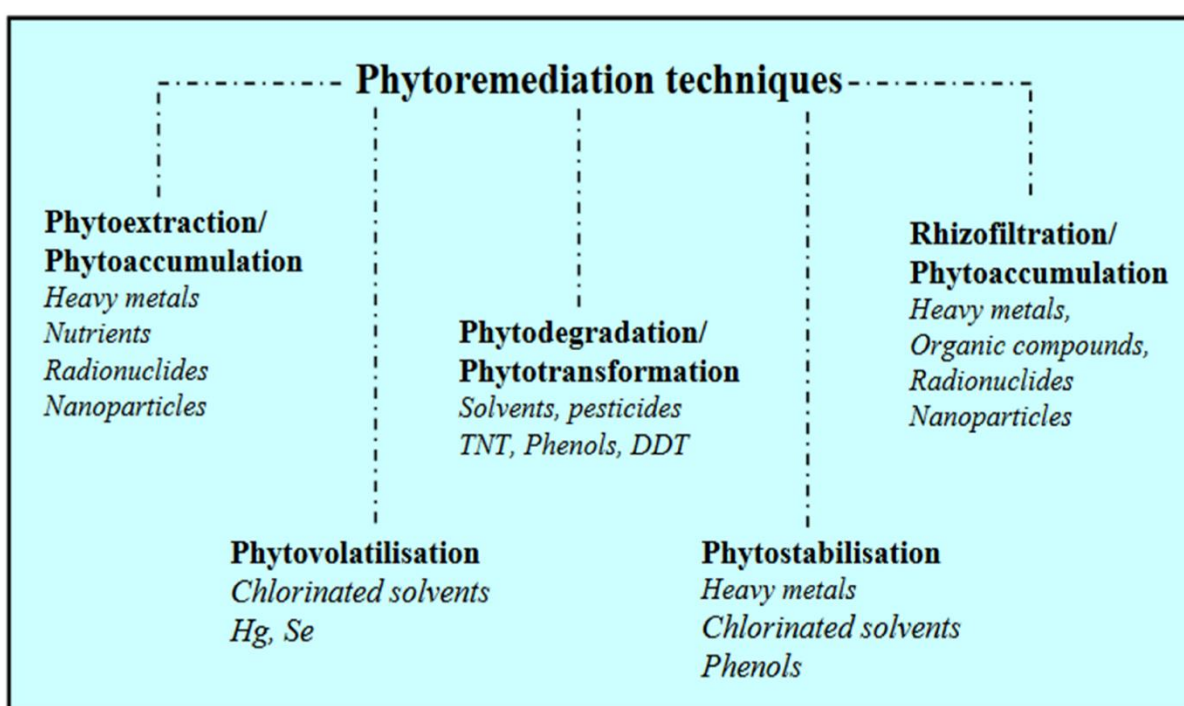
### 2 - Mécanismes de la phytoremédiation :

La phytoremédiation comprend diverses méthodes (tableaux 00) notamment la phytoextraction, la phytostabilisation, la phytovolatilisation et la rhizofiltration, qui sont utilisées pour absorber ou accumuler des métaux lourds dans les plantes (**Rahman et Hasegawa**, 2011 ; **sarwar et al.**, 2017)

Les différents mécanismes impliqués dans le processus de phytoremédiation sont décrits ci-dessous :

- **Phytostabilisation** : les impuretés inorganiques sont retenues et immobilisées dans les racines de la plante, sans être éliminées.
- **Phytoaccumulation ou phytoextraction** : les polluants s'accumulent dans diverses parties de la plante. Ce processus, qui repose sur le mécanisme de l'hyperaccumulation, est d'une grande importance pour l'élimination des métaux lourds

- **Phytodégradation ou phytotransformation** - les plantes métabolisent les polluants organiques provenant de l'eau ou du sol à l'intérieur de la plante, en utilisant le mécanisme de dégradation, les transformant ainsi en substances généralement moins toxiques
- **Phytovolatilisation** : les polluants organiques et inorganiques sont absorbés par les plantes et éliminés par les processus de transpiration ;
- **Rhizofiltration** : les racines de la plante créent des conditions propices à la biodégradation des polluants organiques et inorganiques présents dans le système racinaire, grâce à l'action des microorganismes.



**Figure 04** : les différents mécanismes de phytoremédiation (Oladoye *et al.*, 2021).

L'efficacité globale de l'élimination des xénobiotiques est influencée par la contribution des processus biotiques et abiotiques, laquelle dépend de divers facteurs tels que le type de composé à éliminer, sa concentration, la composition de sa matrice, ainsi que le type de plante et son exposition à la lumière (Carter *et al.*, 2014 ; Pandey *et al.*, 2021). Il est clair que différentes parties d'une même plante traitent les contaminants de manière variée. Par ailleurs, l'absorption des micropolluants organiques par une plante spécifique est grandement conditionnée non seulement par les propriétés physicochimiques de ce composé chimique en particulier, mais également par sa concentration (Zhang *et al.*, 2013).

### 3- Efficacités des plants dans le traitement des différents types des eaux usées :

La méthode de phytoremédiation des métaux lourds à l'aide de plantes aquatiques a été examinée attentivement en raison de son attrait et de ses avantages économiques (**Sharma et al.**, 2015 ; **Tusief et al.**, 2019). Les plantes aquatiques éliminent les métaux lourds en les absorbant ou en les adsorbant à leur surface, puis les intègrent dans leur système, où ils sont stockés sous différentes formes liées (**Shafaqat et al.**, 2020). Différentes plantes aquatiques, telles que la laitue d'eau, les lentilles d'eau géantes et *Azolla sp*, ont montré leur efficacité dans la dépollution de différents types d'eaux usées (**Soda et al.**, 2012 ; **Rodriguez et al.**, 2015).

- **Phytoremédiation des eaux usées municipales**

La phytoremédiation des eaux usées municipales est une approche cruciale pour atténuer les risques environnementaux associés à ces eaux, étant donné qu'elles représentent une source majeure de contamination par les métaux lourds (Zn, Cu, Ni, Pb, Hg). L'utilisation de plantes aquatiques dans le but d'éliminer ces métaux lourds a démontré leur capacité à accumuler une quantité maximale de ces métaux dans leur biomasse. Plus spécifiquement, il a été observé que les tissus des racines et des pousses de la plante *Typha domingensis* ont atteint une accumulation maximale de métaux tels que le zinc (Zn), le cadmium (Cd), le nickel (Ni), le fer (Fe) et le manganèse (Mn) au cours des premières 48 heures de l'étude (**Shafaqat et al.**, 2020).

- **Phytoremédiation des eaux usées industrielles :**

La phytoremédiation offre une solution efficace pour l'élimination des métaux lourds présents dans les eaux usées industrielles grâce à des techniques telles que la phytostabilisation et la phytoextraction. Une étude a évalué douze espèces de plantes aquatiques pour leur capacité à remédier aux métaux lourds provenant des eaux usées industrielles. Les résultats ont révélé que ces plantes aquatiques ont réussi à éliminer de manière significative les métaux lourds des eaux usées industrielles, avec des taux d'élimination excellents, notamment pour le cadmium (90 %), le chrome (89 %), le fer (74,1 %), le plomb (50 %), le cuivre (48,3 %) et le nickel (40,9 %) (**Shafaqat et al.**, 2020).

- **Phytoremédiation des eaux usées textiles :**

La phytoremédiation des eaux usées issues de l'industrie textile représente un domaine crucial, car ces eaux usées sont généralement considérées comme parmi les plus polluées de tous les secteurs industriels (**Awomeso et al.**, 2010). Le processus de teinture et d'impression dans cette industrie génère une gamme de contaminants organiques et inorganiques. Parmi ces

contaminants, les métaux lourds présents dans les eaux usées textiles sont particulièrement préoccupants en raison de leur toxicité accrue (Soares *et al.*, 2017). Mahmood *et al.*, (2005) ont étudié la faisabilité d'E. crassipes pour l'éradication des différents types de métaux lourds. Au cours de la période d'étude de 96 heures, l'E. crassipes a réussi à éliminer de manière significative, soit 94,78 % de Cr, 96,88 % de Zn et 94,44 % de Cu des échantillons d'eaux usées industrielles.

#### 4 - Traitements des eaux usées par les plants aquatiques :

Les contaminants et les métaux lourds sont naturellement absorbés par les plantes aquatiques (Pratas *et al.*, 2014). La méthode la plus performante et économique pour se débarrasser de différentes substances toxiques, y compris les métaux lourds (Ali *et al.*, 2013 ; Guittony-Philippe *et al.*, 2015).

Les macrophytes aquatiques ont démontré un potentiel prometteur pour le traitement des eaux usées en raison de leur aptitude à absorber et à métaboliser les contaminants (Ansari *et al.*, 2020)

##### ➤ Sélection des espèces pour la phytoremédiation :

Il est essentiel que les plantes possèdent certaines caractéristiques pour que la phytoremédiation puisse être considérée comme une technologie respectueuse de l'environnement. Celles-ci incluent une croissance naturelle et rapide, une production élevée de biomasse, la capacité d'absorber de grandes quantités de métaux lourds, la capacité de transporter ces métaux dans les parties aériennes de la plante, ainsi qu'un mécanisme pour supporter la toxicité des métaux (Cunningham et Ow, 1996 ; Ali *et al.*, 2013 ; Arslan *et al.*, 2017 ; Burges *et al.*, 2018). D'autres éléments tels que le niveau de pH, l'exposition au soleil, l'apport en nutriments et le taux de salinité jouent un rôle crucial dans le potentiel de phytoremédiation et le développement de la plante (Reeves *et al.*, 2018 ; Tewes *et al.*, 2018)

#### 5 - Type des plants aquatiques :

##### ➤ Plantes submergées :

Dans les végétaux immergés dans l'eau, les feuilles jouent un rôle primordial dans l'absorption des métaux. L'absorption de métaux lourds est provoquée par le mouvement inactif de la cuticule. L'acide polygalacturonique de la paroi cellulaire et les polymères de cutine et de pectine chargés négativement de la cuticule entraînent l'aspiration vers l'intérieur des minéraux. Le déplacement des ions positifs métalliques se produit en raison de l'augmentation de la densité

de charge interne (**Prasad et al.**, 2005). Ils sont capables de retirer les métaux lourds présents dans l'eau et les sédiments (**Shafaqat et al.**, 2020).

Certains végétaux aquatiques célèbres tels que la plume de perroquet (*Myriophyllum spicatum*), coontail ou hornwort (*Ceratophyllum demersum*), potamot (*Potamogeton Crispus*), potamot américain (*Potamogeton pectinatus*), Mentha Aquatica, Vallisneria spiralis et menthe d'eau sont réputés pour leur capacité à absorber et stocker les métaux lourds tels que le zinc, le chrome, le fer, le cuivre, le cadmium, le nickel, le mercure et le plomb (**Shafaqat et al.**, 2020).

➤ **Plantes émergées :**

Les plantes aquatiques émergentes sont généralement situées dans des zones où la nappe phréatique se trouve à environ 0,5 mètre sous le sol. L'accumulation de métaux lourds dans ces plantes peut varier d'une espèce à l'autre. Elles sont capables de concentrer la plupart des métaux dans les racines souterraines provenant de l'eau et des sédiments, tandis que certaines de ces plantes répartissent la charge de métaux dans les parties aériennes. Par exemple la graminée douce (*spartinaalterniflora*) absorbe les métaux lourds dans ses feuilles (**Hempel et al.**, 2008) tandis que le roseau commun (*Phragmites australis*) accumule la majorité des métaux lourds dans ses racines (**Ha et Anh**, 2017).

La quenouille (*Typha latifolia*), le scirpe (*Scirpus spp.*), le roseau commun (*Phragmites*) et l'asclépiade (*Polygonumhydropiperoides*) sont les meilleures plantes aquatiques émergentes qui peuvent être utilisées efficacement pour la phytoremédiation de plusieurs métaux lourds tels que le cadmium, le fer, le plomb, le chrome, le zinc, le nickel et le cuivre (**Sasmaz et al.**, 2008 ; **Kutty et Al-Mahaqeri**, 2016 ; **Rudin et al.**, 2017).

• **Roseau commun :**

Le roseau commun *Phragmites australis* (*P. australis*), est un macrophytes qui peut phytoextraire e accumule les substances polluantes dans ses tissus grâce au processus de Phytoaccumulation. Il est employé à travers le monde pour le traitement des eaux usées industrielles (**Mulkeen et al.**, 2017), Selon **Vymazal et Březinová** (2016), le *P. australis* est capable de créer des conditions favorables pour l'élimination des polluants. Ils ont également souligné que le rôle des plantes ne se limite pas à l'absorption de nutriments et de métaux lourds, mais qu'elles favorisent également la croissance des micro-organismes, ce qui augmente l'efficacité globale du système de purification

• **Quenouille (*Typha latifolia*) :**

Les espèces de *Typha*, notamment *T. domingensis*, *T. angustifolia* et *T. latifolia*, sont les plus employées dans la phytoremédiation (**Zhang et al.**, 2008), Ils peuvent pousser dans des sites pollués qui contiennent des eaux usées proviennent de sources minières, domestiques ou industrielles (**Bonanno et Cirelli** 2017) , Par conséquent, on les emploie couramment dans le cadre du traitement tertiaire des eaux usées en raison de leur aptitude à éliminer et à accumuler des métaux lourds tels que le cadmium (Cd), l'arsenic (As) et le plomb (Pb), principalement au niveau de leurs systèmes racinaires ( **Ali et al .**, 2020)



**Figure 05** : *Typha latifolia* dans la zone humide flottant de traitement (image **Youns et J. Shafiq** 2022).

➤ **Plantes aquatiques flottantes :**

Il s'agit de végétaux caractérisés par leurs feuilles flottantes et leurs racines submergées. Certaines de ces plantes aquatiques flottantes sont reconnues pour leur capacité à éliminer les métaux lourds présents dans des environnements contaminés. (**Maine et al.**,2001 ; **Olguin et al.**, 2002 ; **Muthusaravanan et al.**, 2018).

Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) (**Gunathilakae et al .**, 2018), fougères aquatiques (*Salvinia minima*) (**iha et al.**,2015), lentilles d'eau (*Lemna minor*, *Spirodela intermedia*), (**da-Silva et al.**, 2017 **Daud et al.**, 2018), laitue aquatique (*Pistiastratoites*), (**Abbas et al.**, 2019), cresson (*Nasturtium officinale*) ( **shi et al .**, 2020) , Le mécanisme de transport actif des métaux lourds dans ces plantes se déroule à partir de leurs racines, d'où les métaux sont ensuite transférés vers d'autres parties de la plante. Par ailleurs, le transport passif s'effectue lorsque le corps végétal entre en contact direct avec le milieu pollué, conduisant à une accumulation principalement dans les parties supérieures de la plante (**Maine et al.**, 2004)

- **Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) :**

La jacinthe d'eau, une plante aquatique de la famille des Pontedriacées, est connue pour sa capacité exceptionnelle à absorber les nutriments, sa résistance à la pollution et sa croissance rapide. Cela en fait la plante aquatique la plus nocive (Yan *et al.*, 2020), Cette variété démontre une grande capacité d'absorption pour les métaux lourds tels que le chrome, le plomb, le cuivre, etc., éliminant efficacement jusqu'à 90% de ces métaux de l'eau (González-Tavares *et al.*, 2023)



**Figure 06 :** Jacinthe d'eau dans la zone humide flottante de traitement (image Youns et Shafiq, 2022).

- **Laitue aquatique (*Pistiastratoites*) :**

La laitue aquatique se présente comme un candidat exceptionnel pour la phytoremédiation des polluants, car elle se montre plus d'efficacité que d'autres plantes aquatiques ( Forni *et al.* , 2006 ; Yasar *et al.* , 2018) cette plante a la capacité de réduire ou d'éliminer divers éléments nutritifs, notamment la demande biologique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), l'oxygène dissous (OD), le pH, l'azote total de Kjeldahl (TKN), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), le nitrite (NO<sub>2</sub>), le nitrate (NO<sub>3</sub>), et le phosphate (PO<sub>4</sub>), présents dans l'eau potable, les eaux de surface, les eaux de pluie, les eaux d'égout et les eaux usées industrielles.



**Figure 07 :** Laitue d'eau dans la zone humide flottant de traitement (Youns et Shafiq 2022).

- **L'azolla :**

La fougère aquatique Azolla s'avère être une approche excellente dans les essais expérimentaux de traitement des eaux usées. Sa principale fonction est de réduire le métabolisme et la demande chimique en oxygène. Cette méthode peut également réduire d'autres variables telles que l'azote, le phosphore et le potassium (tableau 06). Azolla a la capacité de stocker les contaminants dans ses tissus en absorbant l'eau pour son développement (**Amuda et Ibrahim**, 2006). **Muvea et al.**, (2019)

Ont étudié les capacités d'absorption de l'azote et la fixation du phosphore par Azolla, comme le montre le tableau 11.

- **Tableaux 11 :** Efficacité de l'élimination des Nutriments Par le Azolla (**Muvea et al.**, 2019)

<b>Le nutriment</b>	<b>L'efficacité de l'élimination des éléments en %</b>
Nitrate	63.16
Nitrite	89.89
Ammoniac	16.29
Phosphore total	46.45
Réactif soluble de phosphore	69.66
Azote total	25.57
La moyenne	68.67

L'azote et le phosphore sont les principaux nutriments présents dans les eaux usées et qui causent l'eutrophisation. L'Azolla a la capacité d'absorber et d'accumuler l'azote et le phosphore provenant des eaux usées. **Forni et al.**, (2001) ; **Amuda et Ibrahim**, (2006) ; **Golzary et al.**, (2018), Soman et **Arora**, (2018).

La figure 08 illustre les différentes formes d'azote dans les eaux usées qu'Azolla peut éliminer

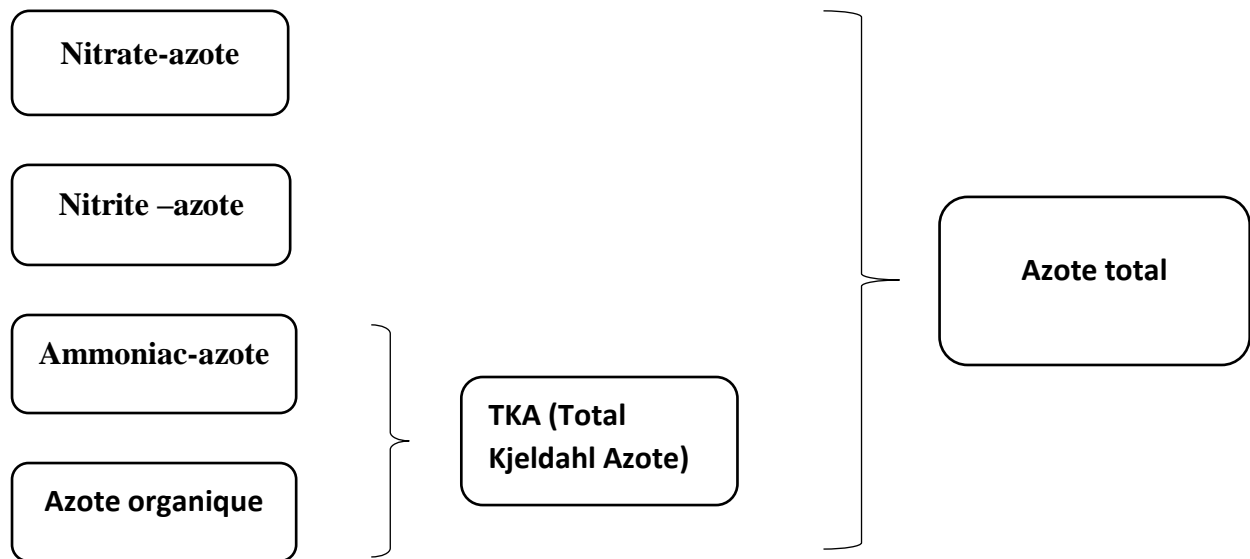


Figure 08 : différents types d'azote dans les eaux usées (Jayasundara, 2022)

# Partie expérimentale

# Matériels et méthodes

**I- Matériels et méthodes :****L'objectif de notre étude :**

Cette recherche vise à étudier l'impact de l'utilisation de l'*Azolla*, cultivée dans deux conditions différentes, comme alternative au soja dans l'alimentation des poulets de chair. Le premier bassin de culture d'*Azolla* utilise de l'eau normale tandis que le deuxième emploie des eaux usées, mettant en évidence le potentiel de l'*Azolla* en tant qu'agent de phytoremédiation. L'étude évaluera les performances de croissance des poulets, la qualité de la viande, ainsi que les avantages environnementaux de l'utilisation des eaux usées pour la culture de l'*Azolla*.

**1 - Zone et durée de l'expérimentation :**

La mise en place des deux bassins a été effectuée entre avril et juillet au niveau d'une parcelle qui se situe à l'Institut de Technologie agricole (ITA) de Mostaganem. L'expérience et son suivi ont été réalisés sur une période de 11 semaines.

**2 - Présentation du site :**

L'Institut de Technologie agricole (ITA) de Mostaganem possède une ferme expérimentale située dans la région de Mazagan, qui fonctionne comme un site d'apprentissage pratique et englobe une variété de productions animales, telles que les bovins, les ovins, les volailles ainsi que des élevages apicoles.

**I- Matériel utiliser :****I - 1 - Matériel végétal**

L'espèce de l'*azolla* cultivé est *l'azolla microphylla*, provient de la région de sidi Lakhdar la wilaya de Mostaganem, après sa récolte, le plant a été transférés vers la zone de culture en 24 h.

**I - 2 – Matériel animal**

Un total de 200 poussins de la souche Arbor âcres a été mis en place pour l'élevage collectif durant la période de démarrage.

## I -3 Autre matériel

Tableaux 12 : résume le matériel utilisé durant la période de l'expérimentation

Période	Matériel utiliser
<b>Préparation des locaux</b>	Les détergents, les sacs de la chaux, les grillages, matériel pour le nettoyage, le chaulage, la séparation et la désinfection
<b>Du 1<sup>er</sup> à 17<sup>e</sup> jour</b>	Les cartons des œufs commerciaux, les abreuvoirs, les éleveuses, thermomètre, balance électronique, les bouteilles à gaz.
<b>du 17<sup>ème</sup> jour à l'abattage</b>	Les mangeoires, les abreuvoirs, thermomètre, balance électronique, Et autre matériel pour l'abattage
<b>La construction des bassins et la culture de l'azolla</b>	Sol fertile, bouse de cheval, bâche blanche, cartons, bidons, passoire pour la récolte, balance électronique, matériel de jardinage pour la fauche et la construction des bassins.

## II - Méthodes

## II – 1 - Culture de l'azolla

➤ **Préparation du terrain :**

La parcelle où les bassins ont été installés a été fauchée. Cette étape revêt une importance cruciale, car la présence de végétation pourrait potentiellement perturber l'expérience en perforant la bâche, entraînant ainsi des fuites d'eau. Pour prévenir ce risque, il est recommandé, après la coupe, d'utiliser des cartons pour couvrir la surface délimitée des bassins.

➤ **Construction du bassin :**

La construction des deux bassins a été réalisée en suivant les étapes suivantes :

- Délimitation de la taille des bassins, le Creusement des troue museront 2 mètres de longueur et de largeur, avec une profondeur de 20 cm



**Figure 9** : creusement des bassins (photo originale)

Afin de protéger l'azolla contre une exposition directe au soleil, une structure d'ombrage artificiel a été mise en place à l'aide d'un toit en canne. Pour renforcer la sécurité et prévenir la chute de corps étrangers tels que des feuilles, un filet simple a été mis en place sous ce toit en canne.



**Figure 10** : toit en canne pour l'ombrage artificiel (photo originale)

- Une fois que les bassins ont été formés, des cartons ont été disposés sur la surface des bassins étant donné que la parcelle était précédemment recouverte d'herbes, il existe un risque que l'herbe repousse, le carton agit comme une barrière physique qui empêche la croissance des mauvaises herbes dans les bassins de culture de l'Azolla.



**Figure 11** : mise en place du carton (photo originale)

- La mise en place d'une double couche de bâche, la superposition de deux bâches crée une couche de protection supplémentaire, ce qui réduit considérablement le risque de fuite d'eau.



**Figure 12** : mise en place de la bâche (photo originale)

➤ **La culture de l'azolla :**

▪ **Dans le bassin alimenté par l'eau de puits :**

Pour le bassin alimenté par l'eau de puits, une fois que la bâche a été placée, un remplissage d'une couche d'environ 15 cm d'eau a été effectué. Ensuite, une quantité de sol agricole tamisé a été ajoutée au bassin pour former une couche mince de 2-3 cm. Le sol agricole renferme des nutriments essentiels. Ces derniers peuvent être progressivement libérés dans l'eau, fournissant une source continue de nourriture pour l'Azolla. Cela contribue à favoriser la croissance et la nutrition des plantes.

Après avoir rempli les bassins d'eau et ajouté le sol, il est important de laisser le tout reposer pendant quelques heures à une journée. Cela permet aux nutriments de se dissoudre correctement et aux conditions de l'eau de se stabiliser.

L'étape suivante consiste à mesurer environ 2 kg d'Azolla pour chaque bassin, comme le montre clairement la Figure. Cette quantité a été calculée avec précaution afin de favoriser la croissance optimale de l'Azolla, tout en évitant une surpopulation qui pourrait entraver son développement.



**Figure 13** : la pesé de l'azolla  
(Photo originale)



**Figure 14** : plantation de l'azolla  
(Photo originale)



**Figure 15** : 8 jours après la culture (photo originale)

Après avoir planté l'azolla, la préparation d'une solution nutritive est essentielle pour fournir aux Azolla les nutriments nécessaires à leur croissance, dans un seau de 12 L d'eau 2 kg de bouse de cheval ont été mis à l'intérieur, elles ont été mélangées. La solution nutritive obtenue après 24 h a été filtrée et versée de manière homogène à l'intérieur des bassins.

La solution nutritive est ajoutée une fois par semaine pour le bassin alimenter par les eaux de puits.

\*L'origine de la bouse de cheval de cheval est le centre d'élevage équin « haras sidi ben dhiba » situé dans la région de mazagran la wilaya de Mostaganem.

\*La bouse de cheval est souvent considérée comme l'un des meilleurs types de fumier à cause de ces compositions équilibrées en éléments nutritifs. La bouse de cheval contient une proportion équilibrée d'éléments nutritifs essentiels pour les plantes, notamment de l'azote, du phosphore et du potassium. Cela en fait un engrais naturel polyvalent.



**Figure 16** : préparation de la solution nutritive (photo originale)



**Figure 17** : l'ajout de la solution nutritive au bassin  
(Photo originale)



**Figure 18** : fumier des équins  
(photo originale)

- Dans les bassins alimentés d'eau usée :

L'origine des eaux usées brute est l'ONA (l'office national d'assainissement) station d'épuration située dans la région de salamandre la wilaya de Mostaganem



**Figure 19** : prélèvement des eaux usées brutes (photo originale)

Le processus de culture de l'Azolla dans des bassins alimentés par des eaux usées est relativement simple. On commence par l'ajouter de l'eau usée à une profondeur d'environ 15 cm, puis on laisse reposer pendant quelques heures. Ensuite, on procède à la plantation de l'Azolla.



**Figure 20 :** Ajout des eaux usées  
**(Photo originale)**



**Figure 21 :** plantation de l'azolla  
**(Photo originale)**

Les paramètres tels que la DBO5, la DCO et la MES des eaux usées brutes provenant de la station d'épuration pour la culture de l'azolla sont bien documentés au moment de leur sortie de la station, cela permet de surveiller ces paramètres après avoir cultivé l'azolla.

La culture de l'Azolla dans des eaux usées pour le prélèvement d'échantillons en vue d'analyses est réalisée dans des bassins dédiés afin de créer un environnement contrôlé où aucun élément extérieur ne peut affecter le déroulement de l'expérience



**Figure 22 :** culture de l'azolla dans les bassins **(Photo originale)**

Une semaine après le début de la culture de l'Azolla, un échantillon est prélevé pour évaluer l'impact de cette plante sur les paramètres clés tels que la DBO5, la DCO, et la MES.

Lors de la collecte d'échantillons, les flacons en plastique utilisés pour le prélèvement ont été préalablement nettoyés, afin d'éviter toute contamination croisée. Chaque flacon était équipé d'un ticket précis, portant la date du prélèvement ainsi que la dénomination de l'échantillon.



**Figure 23** : prélèvement des échantillons (Photo originale)

L'ajout d'eau dans les bassins de culture de l'Azolla (en utilisant soit de l'eau propre soit de l'eau usée, selon le cas) est une étape essentielle pour maintenir un niveau d'eau adéquat.

En outre, il est essentiel de maintenir une agitation régulière des bassins d'Azolla, toutes les 2 à 3 jours, afin de garantir un niveau adéquat d'oxygénation de l'eau tout en prévenant l'accumulation de nutriments dans le fond des bassins.



**Figure 24** : l'irrigation des bassins  
(Photo originale)



**Figure 25** : agitation des bassins  
(Photo originale)

La récolte de l'Azolla a été planifiée avec soin dans notre processus de culture. Après avoir débuté la culture début le 15 avril, nous avons effectué notre première récolte le 24 avril.



**Figure 26** : la récolte de l'azolla  
(Photo originale)



**Figure 27** : les bassins avant et après la récolte  
(Photo originale)

Lors de notre première récolte, nous avons obtenu une quantité significative d'Azolla, totalisant 1 kg et 500 g. Cette première récolte reprisant un indicateur prometteur de la productivité de notre culture. Par la suite, nous avons maintenu un rythme régulier en récoltant entre 800 et 900 grammes d'Azolla tous les 3 à 4 jours.



**Figure 28** : le rendement de l'azolla (Photo originale)

### ➤ Séchage de l'azolla

Le processus de séchage de l'Azolla a été soigneusement orchestré pour préserver sa qualité et ses propriétés nutritionnelles. Après la récolte, nous avons opté pour un séchage progressif qui prend environ 2 à 3 jours. L'Azolla a été disposée à l'aire libre, à l'abri d'une exposition directe à la lumière du soleil.

**II - 2 - Élevage de poulet de chair.****➤ Description du bâtiment :**

Notre poulailler mesure 6 mètres de longueur, 3 mètres de largeur, environ 2,5 mètres de hauteur, et dispose d'un système de ventilation naturelle avec une seule porte à l'avant, devant laquelle se trouve un pédiluve, ainsi que 4 fenêtres (2 de chaque côté).

**➤ Préparation des bâtiments d'élevage**

La préparation adéquate du bâtiment d'élevage de poulets de chair revêt une importance cruciale dans la réussite d'élevage. Ce processus implique plusieurs étapes clés :

- Le nettoyage approfondi des installations à l'aide d'eau pour éliminer les débris et les résidus.
- nettoyage avec des détergents est effectué pour éliminer toute saleté persistante et les contaminants, avec une mise en place de la bâche sur le toit
- Une désinfection à la chaux est réalisée pour tuer les agents pathogènes potentiellement présents dans l'environnement.
- Les locaux sont ensuite séparés en 7 lots distincts par un grillage. Cette division vise à séparer les animaux qui recevront des pourcentages différents d'alimentation.
- Après la séparation des locaux, une deuxième couche de chaux est appliquée pour assurer une désinfection complète et maintenir un environnement propre et sain. De plus, un sas ou un pédiluve est installé devant chaque local.
- une désinfection finale à l'aide de produits désinfectants spécifiques est réalisée pour éliminer tout risque résiduel.
- la dernière étape est le vide sanitaire qu'il s'agit d'une période durant laquelle les bâtiments d'élevage sont vidés de toute présence de volaille pendant 15 jours.
- Pour minimiser les courants d'air indésirables à chaque ouverture de porte des locaux d'élevage, une approche préventive a été mise en place. Une petite parcelle de 2 mètres de largeur sur 4 mètres de longueur a été soigneusement préparée par utilisation d'un grillage solide et une bâche bien fixée, créant ainsi une barrière efficace contre les infiltrations d'air.



**Figure 29** : structure contre les courants d'air (photo originale)

- Réception des poussins et déroulement d'élevage
  - Avant la réception des poussins :

La préparation des locaux avant la réception des poussins est une étape cruciale pour assurer un bon démarrage, les étapes suivantes sont suivies :

-Les locaux sont équipés de quatre fenêtres, où les deux petites sont habilement grillagées pour garantir une excellente aération tout en empêchant l'entrée de prédateurs indésirables, tandis que les deux autres fenêtres sont soigneusement fermées pour maintenir une température constante.

-Un lit de litière d'environ 10 cm d'épaisseur a été méticuleusement étalé et tassé pour éviter les blessures potentielles aux poussins à leur arrivée. Il est crucial que la litière soit mise en place au moins 24 heures avant la réception des poussins afin qu'elle atteigne la température ambiante optimale.



**Figure 30** : préparation des lots avant la réception (Photo originale)

-La vérification du bon fonctionnement de tout équipement surtout les mangeoires et les abreuvoirs afin d'éviter tout fuit d'eaux ou d'aliment.

-Les éleveuses sont soigneusement positionnées et maintenues à une température constante d'environ 34°C avant l'arrivée des poussins.

- 2 thermomètres sont placés de manière écartée dans le bâtiment afin de contrôler la température ambiante.



**Figure 31** : installation des éleveuses

**(Photo originale)**



**Figure 32** : installation des thermomètres

**(Photo originale)**

-Les lampes sont ensuite installées pour assurer un éclairage adéquat, et une vérification de l'alimentation électrique est effectuée pour garantir que tout fonctionne de manière fiable.

-Trois heures avant la réception, une étape cruciale est entreprise pour assurer le bien-être des animaux. Le dispositif d'une solution sucrée est méticuleusement positionné dans les abreuvoirs.

▪ **À l'arrivée des poussins :**

Le 15 mai vers 11 un effectif de 200 poussins a été mis en place pour l'élevage collectif.

\*L'origine de notre poussin est la **GAO** (groupe avicole ouest), située dans la région de Hassi mameche la wilaya de Mostaganem

Une série de vérifications essentielles a été effectuée lors de la réception

Tout d'abord, il est crucial de compter avec précision le nombre total de poussins afin d'assurer qu'aucun ne soit manquant ou en excès.

Ensuite, des échantillons représentatifs des poussins sont pesés pour déterminer le poids initial moyen des poussins, ce qui permet de surveiller leur croissance de manière efficace.



**Figure 33** : la réception des poussins

(Photo originale)



**Figure 34** : la pesée des poussins

(Photo originale)

De plus, il est primordial de vérifier que les poussins se déplacent activement, car tout signe de fatigue pourrait indiquer des problèmes de santé.

Après environ 1 heure de la réception, la distribution de l'aliment a été effectuée dans des cartons des œufs commerciaux.



**Figure 35** : la répartition des poussins (Photo originale)

Les cartons d'œufs commerciaux étaient utilisés comme des mangeoires temporaires qui étaient changées chaque matin pour éviter tout risque de contamination.

Pendant la période de démarrage, une rigueur sanitaire exemplaire a été maintenue. Le sas, un point d'entrée crucial, était soumis à un changement quotidien, où des produits désinfectants ou de l'eau de Javel étaient utilisés, de plus, une procédure de chaulage a été rigoureusement mise en œuvre dans les alentours des bâtiments d'élevage à trois reprises. Cette pratique consiste à

appliquer de la chaux sur le sol et les surfaces environnantes pour maintenir un environnement sain et hygiénique pour les animaux.

➤ **Déplacement de la poussinière vers les bâtiments d'élevage :**

Après le 16<sup>e</sup> jour, les jeunes poussins sont déplacés de la poussinière vers les bâtiments d'élevage. Ce processus est effectué avec une grande précision, les 105 poussins sélectionnés pour l'expérimentation sont identifiés individuellement par des tickets fixés qui portent des numéros sur leurs pattes. Cette méthode d'identification permet un suivi méticuleux de chaque poussin durant toute la période d'expérimentation.



**Figure 36** : l'identification individuelle  
(Photo originale)



**Figure 37** : déplacements des poussins  
(Photo originale)

Il est essentiel de noter qu'avant et après le déplacement des poussins, nous avons administré Un traitement antistress. De plus, nous sommes assurés que les cartons utilisés pour les déplacements sont bien désinfectés et parfaitement fermés afin d'éviter tout courant d'air potentiellement nocif pour ces jeunes animaux fragiles.

➤ **Constitution des lots expérimentaux :**

Après une période de 16 jours de démarrage collectif, un groupe de 105 poussins de la souche ARBOR ÂCRES a été sélectionné pour la construction de 7 lots expérimentaux distincts. Chaque lot recevrait 15 sujets, durant une période de 52 jours.

Les mesures ont été effectuées à partir 17<sup>e</sup> jour :

➤ **Dispositif expérimental :**

▪ **Du 1<sup>er</sup> au 16<sup>e</sup> jour**

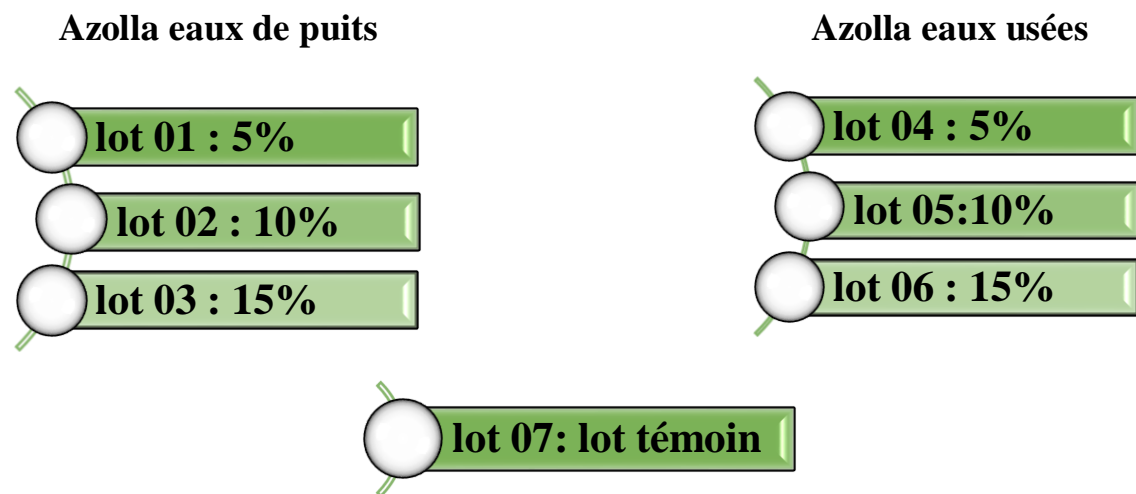
Les animaux ont reçu un même aliment type poulet de chair démarrage.

- **Du 17<sup>e</sup> jour à 35<sup>e</sup> jour :** nous avons fourni un aliment spécialement formulé dont :

Les trois premiers lots 1, 2 et 3 ont été soumis à un régime alimentaire spécifique caractériser par la substitution partielle du tourteau de soja par différent pourcentage d'azolla eaux de puits.

Les lots 4, 5, et 6 ont été soumis à un régime alimentaire spécifique caractériser par la substitution partielle du tourteau de soja par différent pourcentage d'azolla eau usée.

Le lot 07 : utiliser comme un témoin recevait un aliment standard type poulet de chair croissance durant tout la période de l'expérimentation.



- **Du 36<sup>e</sup> à l'abattage :**

Tous les animaux ont reçu un même aliment type poulet de chair finition.

➤ **Déroulement de l'élevage :**

Après la mise en lot et pendant une période de deux à trois jours, nous avons procédé à une période d'adaptation à leur nouveau régime alimentaire expérimental. En effet, chaque aliment a été distribué progressivement et avec des quantités limitées.

Après la période d'adaptation, la quantité d'aliments distribuée est déterminée en suivant les recommandations fournies par le guide d'élevage de la souche utiliser (**voir annexe 01**).

La distribution de l'aliment se fait une fois par jour durant la période de démarrage, et 2 fois (matin et soirs) durant la période de Croissance et de finition en utilisant des mangeoires de 1.5 kg de capacité.

Pendant toute la durée de notre expérimentation, nous avons maintenu un éclairage constant, 24h/24h. Dans le but de stimuler la consommation d'aliments et d'eau.

Au cours de notre élevage, une surveillance minutieuse de la température a été maintenue tout au long des trois phases : le démarrage, la croissance et la finition.

**Tableaux 13** : suivie de la température

**\*Phase de démarrage**

Jours	Température
1-2-3-4	35°C
5-6-7	33°C
8-9	31°C
10-11	30°C
12-13-14	29°C
15-16-17	28°C

**\*Phase de croissance**

Jours	Température
18-19	29°C
20	28°C
21-22	27°C
23-24	26°C
25-26-27	25°C
28-29-30	26°C
31-32-33	27°C
34-35	28°C

**\* phase de finition**

Jours	Température
36-37	30°C
38-39	31°C
40-41-42	32
43	33°C
44	34°C
45	35°C
46-47-48	33°C
49	32°C
50-51	33°C

La couleur de l'aliment varier considérablement en fonction des taux d'incorporation de l'azolla.



**Figure 38** : l'aliment standard  
(Photo originale)



**Figure 39** : l'aliment expérimental  
(Photo originale)

À mesure que nos poulets grandissent, la litière a été changée tous les deux jours. En parallèle, les mangeoires et des abreuvoirs sont lavés quotidiennement.



**Figure 40** : distribution des poulets durant la période de finition (**Photo originale**)

Les paramètres tels que la température, le nombre de sujets morts, poids vif, les quantité d'aliments distribuée, consommée et rejetées etc., ont été rigoureusement contrôlés grâce à l'utilisation d'une fiche de suivi imprimée tout au long de la période d'élevage (**voir annexe 2**).

➤ **Construction de l'alimentation :**

Avant de préparer l'aliment de croissance pour notre expérimentation, une étape essentielle est la préparation de l'azolla, qui comprend les étapes suivantes :

- Tout d'abord, il faut procéder au séchage de l'azolla,
- Ensuite, l'azolla séchée est soumise au processus de broyage facilitant ainsi son incorporation dans l'alimentation.
- Une autre étape importante consiste à déterminer les quantités à utiliser en fonction des pourcentages prévus dans notre formule alimentaire, garantissant ainsi un équilibre nutritionnel adéquat dans l'alimentation finale.



**Figure 41** : broyage de l'azolla (**Photo originale**)

\*L'origine de notre alimentation pour les trios phase (démarrage, croissance et finition) est **THAGHDIA COMPANY**, unité de fabrication de l'alimentation bétail situé dans la région de sayada la wilaya de Mostaganem.



**Figure 42** : déroulement de fabrication de l'alimentation bétail « **THAGHDIA COMPANY** » (Photo originale)

➤ **La formule alimentaire :**

Le tableau suivant représente la formule alimentaire adoptée dans notre expérience

**Tableau 14** : la formule alimentaire

Ingrédients	Les rations alimentaires						
	Témoin	Lot 1	Lot2	Lot3	Lot4	Lot5	Lot6
<b>Mais</b>	62%	62%	62%	62%	62%	62%	62%
<b>tourteau de soja</b>	30%	25	20%	15%	28.5%	27%	25.5%
<b>Son de blé</b>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<b>Azolla eau de puits</b>	0%	5%	10%	15%	0%	0%	0%
<b>Azolla eau usée</b>	0%	0%	0%	0%	5%	10%	15%
<b>CMV</b>	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
<b>Calcium/ phosphore</b>	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
<b>Totale</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



**Figure 43 :** l'aliment expérimental (Photo originale)

➤ **La consommation de l'eau :**

Durant toute la période d'élevage, nous avons maintenu une qualité d'eau constante en utilisant de l'eau commerciale **OVITALE**, dont la composition est bien connue éliminant ainsi toute variable non souhaitée liée à la qualité de l'eau.

Le tableau suivant représente la composition de l'eau commerciale **OVITALE** utiliser dans notre expérience :

**Tableaux :** la composition de l'eau commerciale **OVITALE**

<b>Composition</b>	<b>Teneur en (mg/l )</b>
<b>Calcium</b>	80
<b>Magnésium</b>	14
<b>Potassium</b>	1.00
<b>Sodium</b>	30
<b>Chlorure</b>	50
<b>Sulfate</b>	75
<b>Bicarbonates</b>	214
<b>Nitrite</b>	0.00
<b>Nitrate</b>	5.10
<b>Résidu sec à 180°</b>	360
<b>pH 6.92</b>	

➤ **Plan prophylaxie :**

Le plan prophylaxie appliqué durant la période d'élevage est le suivant :

**Vaccin contre les bronchites :** a été distribué au 11<sup>e</sup> jour d'élevage.

**Vaccin antiGumboro** a été distribué au 15<sup>e</sup> jour d'élevage.

**Vaccin contre la maladie de Newcastle :** Au jour 22 d'élevage.

Afin d'assurer une bonne utilisation des médicaments et des vaccins, les animaux ont été soumis à une privation temporaire d'eau d'abreuvement. Ceci engendre une certaine soif chez les animaux, avec l'utilisation de l'anti-stressant avant et après la distribution du vaccin (protocole de vaccination **voir annexe 03**).

**Autres traitements**

**Tableaux 16 :** les traitements utilisés durant la période d'élevage

Traitement	Date et l'Âge par jour	Posologie et durée de traitement
<b>Érythromycine (vigal X2)</b>	Antistress : 16-19/5/2023 Jours 2-3-4-5 ➤ la réception 24-25/5/2023 jours 10-11 ➤ vaccin contre les Bronchites 29-30/5/2023 jours 14-15 ➤ vaccin antiGumboro 4-5 /6/2023 jours 21-22 ➤vaccin contre la Newcastle	*1 g dans un litre d'eau
<b>AL-COX</b>	1-2-3/6/2023 jours 18-19-20 ➤ Traitement contre la Coccidiose 6-8/6/2023 jours 23-24-25	*Traitement curatif :1g/l pendant 3 jours successifs, arrête du traitement pendant 2 jours, puis reprendre 3 jour.
<b>Sucotytr AL-4</b>	13-17/8/2023 jours 30-34 ➤ antibiotique contre les infections bactériennes	*1.5 g /l pendant 5 jours
<b>Carnitol</b>	30-4/7/2023 jours 47-51 ➤ La combinaison des deux traitements, la vitamine C administrée pendant la journée pour protection contre les fortes chaleurs et le Carnitol administré la nuit en tant qu'hépatoprotecteur	*6ml dans 6 litres d'eau
<b>Vitamine C</b>		*1g /2l d'eau de boissons pendant 4



Figure 44 : Les traitements utilisés durant la période d'élevage (Photo originale)

**Performance zootechnique :**

Les paramètres zootechniques suivis dans notre élevage sont les suivants :

✓ **Poids vif :**

Pendant la phase de croissance de notre expérimentation, qui s'étend du 17<sup>e</sup> au 35<sup>e</sup> jour, des pesés ont été effectués chaque jour sur tous les sujets des lots (15 sujets), à une heure fixe en utilisant une balance électronique d'une capacité de (0-5kg).

La peser durant la phase de finition qui s'étend du 36<sup>e</sup> aux jours 52 et effectuée jours par jours.



Figure 45 : la pesée des sujets (Photo originale)

✓ **Consommation alimentaire :**

Toutes les quantités distribuées ont été entièrement consommées. Aucun refus n'a été observé durant toute la durée de l'expérimentation sauf :

- Un refus d'environ 80g par le 2<sup>e</sup> lot expérimental 10% azolla eau de puits le 1<sup>er</sup> jour de l'expérimental

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

Quantité moyenne = Quantité d'aliment consommé par semaine / nombre de sujets en vie

✓ **Détermination de l'indice de consommation (IC) :**

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

Indice de consommation = Quantité d'aliment consommé par semaine / Gain de poids par sujet sur cette semaine

✓ **Gain moyen quotidien**

Les gains moyens ont été calculés chaque semaine.

✓ **Le taux de mortalité :**

Pendant la période de notre élevage, nous avons enregistré un total de 12 cas de mortalité

**Le tableau :** le nombre de mortalités dans les 3 phases d'élevage

<b>La phase</b>	<b>Le nombre des sujets</b>
<b>Démarrage</b>	00
<b>Croissance</b>	04
<b>Finition</b>	08

Après chaque mortalité une autopsie a été réalisée afin de déterminer la cause de mortalité

**Paramètres pondéraux :**

Après une période d'élevage de 52 jours, nous avons entrepris l'abattage de 6 sujets par lot afin de suivre de près les paramètres pondéraux. Après avoir déterminé le poids vif des sujets à abattre, la saignée a été réalisée selon la méthode islamique.

Ensuite, suivant un processus d'échaudage et de plumaison, la tête et les pattes ont été éliminées permettant ainsi de déterminer le poids de la carcasse pleine.

Après l'éviscération, une nouvelle pesée a été entreprise pour évaluer le poids de la carcasse vide puis nous avons effectué des pesées précises des organes tels que le gésier, le foie, le cœur, l'intestin, tissu adipeux, ainsi que la longueur de l'intestin

**Analyses physico-chimiques****1) - Détermination de la teneur en matière sèche (AFNOR ; 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 en % :  $MS = M2/M1 \times 100$** 

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 en % :  **$H2O = 100 - \% MS$**



**Figure 46 : détermination du matière sèche (Photo originale)**

## 2) - Détermination de la teneur en matière minérale (AFNOR ; 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 prélevé environ 3g de viande, et on la mit dans un creuset avec un poids connu, puis dans une étuve à une température appropriée (généralement autour de 105 °C) pour éliminer toute humidité. Et on a laissé la viande sécher jusqu'à ce qu'elle atteigne un poids constant.

Une fois que la viande est complètement sèche, on a transféré 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 laissé le creuset refroidir à température ambiante dans une atmosphère sèche et contrôlée. Une fois refroidi, on a pesé 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).

## 3 - Détermination de la matière organique (ARFNOR ; 1985)

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



Figure 47 : détermination de la matière minérale (Photo originale)

**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  $T=4^{\circ}\text{C}$  pour ne pas dénaturer les protéines).

**5. Réactif de Lowry (A+B) :**

Solution A : 1g de la soude (NaOH) +5g de Bicarbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) compléter avec l'eau distillée jusqu'à 250ml.

Solution B : 0.125g de Copper de sulfate ( $\text{CuSO}_4$ ) +0.25g de Tartrate double  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  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 à moitié (5ml de Folin +5ml d'eau distillée) agiter avec le vortex et laisser 30 minutes à l'obscurité au réfrigérateur.

La lecture a spectrophotomètre à 550nm

Expression des résultats déterminer la concentration de l'échantillon à 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



**Figure 48** : dosage de protéine bute par la méthode de Lowry (**Photo originale**)

## 5) - 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 jusque 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 afin de pouvoir faire bouillir son contenu. La cartouche contenant la viande à extraire est insérée 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 faite 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 plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grand 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 d'hexane dans chaque ballon avec la véscitation d'installation d'eau et ensuite on a lancé l'opération, le temps d'extraction est environ de 4 heures. À 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 initial.



**Figure 49** : Dosage de lipides totaux par la méthode Soxhlet (**Photo originale**)

## 6 - Détermination de l'indice TBARS (genot, 1996)

Les produits secondaires de l'oxydation des lipides les plus couramment dosés 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 à une longueur d'onde de 532nm. Il réagit également avec d'autres aldéhydes résultants de l'oxydation des AGPI (l'acide gras polyinsaturé) à longue chaîne. La concentration des substances réactives au TBA (sr-TBA), exprimée en équivalent MDA est évaluée par la lecture de l'absorbance au spectrophotomètre visible des (sr-TBA) extraites 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 à 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 20000 tpm le broyat est passé à travers un papier filtre afin d'obtenir un filtrat. Puis de ce filtrat 2ml sont additionnés à 2ml d'acide thiobarbiturique (TBA). Les tubes fermés sont plongés dans un bain-marie à 70°C pendant 30 minutes et placés 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 obtenus par la formule suivante :

$$\text{Mg équivalent MDA/kg} = (0.72/1.56) \times (A532 \text{ cor } X \text{ v solvant } x \text{ vf}) / \text{PE}$$

Avec :

A532cor : l'absorbance.

V solvant : volume de solution de dilution TCA en m

## **II – analyse physicochimique des eaux usées :**

### **II – 1 – Température :**

La mesure de la température est réalisée à l'aide d'un thermomètre en plongeant l'électrode dans l'eau pendant 10 minutes. la valeurs affichées sur le thermomètre est relevée ensuite. Ce résultat est exprimé en degrés Celsius (°C)

### **II – 2 - Mesure de la conductivité électrique :**

La mesure de la conductivité électronique est effectuée à l'aide d'un conductimètre. On introduit l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser. Le résultat est donné directement en uS/cm ou en mS/cm.



**Figure 50** : Mesure de la conductivité électrique (**Photo originale**)

### II – 3 - Détermination de l'oxygène dissous (OD) :

L'oxygène dissous a été mesuré directement à l'aide un oxymétrie (OX 192). Après avoir immergé l'électrode dans l'échantillon d'eau à analyser pendant quelques minutes, nous avons enregistré la valeur affichée en mg/l.



**Figure 51** : détermination d'OD par oxymètre (**Photo originale**)

### II – 4 -potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est lié à la quantité d'ions hydrogène ( $H^+$ ) présents dans un environnement donné. Il sert à déterminer si une solution est acide, basique ou neutre. Pour mesurer le pH, on utilise un pH-mètre.



**Figure 52 : Détermination du pH (Photo originale)**

## II – 4 - Détermination des matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension ont obtenu soit par filtration des effluents peu chargés, soit par centrifugation des solutions, séchages jusqu'à l'évaporation totale d'eau. Dans la méthode par la filtration. Les MES sous des pressions, sur disque filtrant en fibres de verre, elles sont déterminées par pesée après séchage à 105°C (**Rodier et al., 2009**) (**mode opératoire, voire annexe, 04**)

### ➤ Par filtration

La calcul de la teneur en MES se fait par l'expression suivante :

$$[\text{MES}] = 1000 (M1 - M0) / V$$

**[MES]** : est la teneur en MES en mg /l.

**M1** : est la masse de la capsule contenant l'échantillon après l'étuvage à 105°C.

**M0** : est la masse de la capsule vide (en mg).

**V** : le volume de la prise d'essai



**Figure 53 : détermination de la MES par filtration (Photo originale)**

➤ **Par centrifugation**

La calcul de la teneur en MES se fait par l'expression suivante :

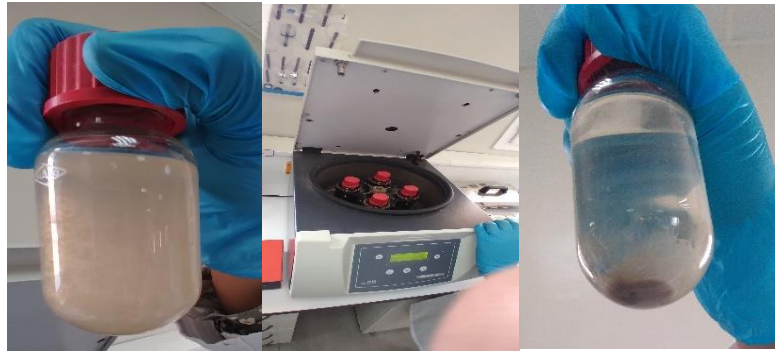
$$[\text{MES}] = (\text{M2} - \text{M1}) \cdot 1000/\text{VE}$$

**MES** : est la teneur en MES en mg /l.

**M2** : est la masse de la capsule contenant l'échantillon après l'étuvage à 105°C.

**M1** : est la masse de la capsule vide (en mg).

**VE** : le volume de l'échantillon introduire les pots de la centrifugeuse (en ml).



**Figure 54** : détermination de la MES par centrifugation (**Photo originale**)

## II – 5 - Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) : (Rodier *et al.*, 2009).

La demande chimique en oxygène (DCO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant, des composés organiques présents dans l'eau. Elle permet de mesurer la teneur en matières organiques totales (excepté quelques composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les bactéries. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques

➤ **Principe :**

Ébullition à reflux en milieu acide et dichromate de potassium et sulfate d'argent jouant un rôle d'un catalyser d'oxydation. Sulfate de mercure permettant de complexer l'ion chlorures. La mesure de DCO doit être faite simultanément sur les échantillons et sur l'eau pure qui est utilisée pour faire les différentes dilutions. Cette mesure constitue ce que l'on appelle un 'blanc'. (**Mode opératoire voir Annexe 05**).



Figure 55 : détermination de DCO (Photo originale)

## II – 6 - Détermination de la demande biologique en oxygène :

La demande biochimique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau et qui constituent leur source de carbone (graisses, hydrates de carbone, tensioactifs, etc.). Ce prélèvement d'oxygène se fait au détriment des autres organismes vivants du milieu aquatique. En ce qui concerne les eaux domestiques, environ 70% des composés organiques sont généralement dégradés après 5 jours la dégradation est pratiquement complétée au bout de 20 jours. L'indicateur utilisé est généralement la DBO5 qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée. (Rodier *et al.*, 2005) (mode opératoire voir Annexe 06).

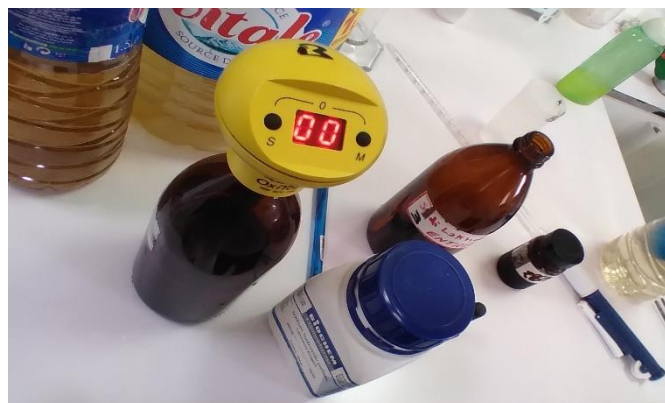


Figure 56 : détermination de DBO5 (Photo originale)

## Analyses statistiques des résultats

# Conclusion générale

## Conclusion

---

En conclusion, le traitement des eaux usées par l'Azolla et son incorporation dans l'alimentation du poulet de chair représentent une approche novatrice et prometteuse pour résoudre deux problèmes majeurs : la dépollution de l'eau et l'amélioration de la ration des volailles. Les résultats de cette étude montrent que l'Azolla peut non seulement absorber efficacement les contaminants présents dans les eaux usées, contribuant ainsi à leur purification, mais qu'elle peut également enrichir l'alimentation des poulets de chair en protéines et en éléments nutritifs essentiels.

Le traitement des eaux usées par l'Azolla a mis en lumière l'efficacité remarquable de cette plante aquatique dans la réduction des paramètres tels que la MES, la DCO, la DBO5, l'OD, le pH et la conductivité électrique. Les résultats obtenus ont démontré que l'Azolla peut être utilisée comme une option viable et respectueuse de l'environnement pour le traitement des eaux usées, contribuant ainsi à la préservation de nos ressources en eau et à la réduction de la pollution. Cette approche offre des avantages multiples, notamment une amélioration de la qualité de l'eau, la réduction des coûts de traitement, l'utilisation durable des ressources naturelles. En revanche, cette approche ouvre des perspectives prometteuses pour la réutilisation des eaux usées traitées par l'Azolla dans l'irrigation des cultures.

De plus, cette étude sur l'incorporation de l'Azolla dans l'alimentation animale a montré des résultats prometteurs sur son efficacité potentielle sur le gain de poids, la santé animale et la qualité nutritionnelle de la viande. L'Azolla, en tant que source alimentaire alternative riche en protéines et en nutriments, offre des avantages significatifs pour l'industrie de l'alimentation animale, notamment la réduction des coûts alimentaires, une meilleure qualité de viande et une empreinte environnementale réduite.

En globale, notre travail s'inscrit dans une démarche résolument axée sur la durabilité, en abordant deux aspects essentiels de la gestion des ressources naturelles et de l'agriculture. D'une part, nous nous sommes concentrés sur le traitement biologique des eaux usées en utilisant l'Azolla, une approche respectueuse de l'environnement qui favorise la réduction des polluants et la préservation de nos ressources hydriques. Cette approche contribue à préserver la qualité de l'eau et à réduire les impacts néfastes sur les écosystèmes aquatiques, s'inscrivant ainsi dans une perspective globale de protection de l'environnement.

D'autre part, notre étude explore l'utilisation de l'Azolla comme ressource alimentaire alternative pour les poulets de chair, visant à réduire le coût total de production dans l'industrie avicole. Cette démarche s'inscrit dans une perspective de durabilité économique en offrant une

## **Conclusion**

---

option alimentaire locale, riche en protéines, qui peut contribuer à réduire les coûts d'alimentation pour les éleveurs tout en maintenant la qualité nutritionnelle de la viande produite.

A

**Abachi, L. (2015).** Le soir d'Algérie le 26/10/2015. Page consultée le 15 avril 2022, depuis (Tenebrio Molitor) Fed on Fresh Plant Materials-Supplemented Diets. *Foods*;9(2):151.

<https://www.lesoirdalgerie.com>

**Abbas, Z.; Arooj, F.; Ali, S.; Zaheer, I.E.; Rizwan, M.; Riaz, M.A. (2019).** Phytoremediation of landfill leachate waste contaminants through floating bed technique using water hyacinth and water lettuce. *Int. J. Phytoremediat*, 21, 1356–1367.

**Abd El-Ghany, W. A. (2020).** A Review on the Use of Azolla Species in Poultry Production. *Journal of World's Poultry Research*, 10(2), 378–384. doi:10.36380/jwpr.2020.44

**Abd El-Hack, M. E., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Abdelnour, S. A., Shehata, A. M., Noreldin, A. E., ... Ragni, M. (2020).** Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Meal as a Promising Feed Ingredient for Poultry: A Comprehensive Review. *Agriculture*, 10(8), 339. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080339>

**Abdelatty, A.M., Mandouh, M.I., Mohamed, S.A., Busato, S., Badr, O.A.M., Bionaz, M., AlMokaddem, A.K., Moustafa, M.M.A., Farid, O.A.A., & Al-Mokaddem, A.K. (2021).** Azolla Leaf Meal at 5% of the Diet Improves Growth Performance, Intestinal Morphology and p70S6K1 Activation, and Affects Cecal Microbiota in Broiler Chicken. *Animal*, 15(10), 100362. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100362

**Abdelatty, A.M., Mandouh, M.I., Mousa, M.R., Mansour, H.A., Ford, H., Shaheed, I.B., and Bionaz, M. (2021).** Sun-dried Azolla leaf meal at 10% dietary inclusion improved growth, meat quality and increased skeletal muscle Ribosomal protein S6 kinase  $\beta$ 1 abundance in growing rabbit. *Animal*, 15(10), 100348.

**Acharya, P., Mohanty, G. P., Pradhan, C. R., Mishra, S. K., Beura, N. C., & Moharana, B. (2015).** Exploring the effects of inclusion of dietary fresh Azolla on the performance of White Pekin broiler ducks. *Veterinary World*, 8, 1293–1299. DOI: <http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1293-1299>

**Acharya, P., Mohanty, G.P., Pradhan, C.R., Mishra, S.K., Beura, N.C., & Moharana, B. (2015).** Exploring the effects of inclusion of dietary fresh Azolla on the performance of White Pekin broiler ducks. *Veterinary World*, 8, 1293-1299. DOI: <http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2015.1293-1299>.

**Adake, J. S. (2015).** Effect of Azolla (*Azolla pinnata*) feeding on growth performance of Osmanabadi goat kids. M.Sc. Unpb Thesis at-COA Nagpur submitted to Dr. PDKV, Akola. [www.faunajournal.com](http://www.faunajournal.com)

**Adeel Younas, Love Kumar, Matthew J. Deitch, Sundus Saeed Qureshi, Jawad Shafiq, Sohail Ali Naqvi, Avinash Kumar, Arjmand Qayyum Amjad, Sabzoi Nizamuddin. (2022).** "Traitement des eaux usées industrielles dans un marais flottant : Une étude de cas de la tannerie de Sialkot." *Sustainability* 2022, 14(19), 12854. DOI : <https://doi.org/10.3390/su141912854>.

**Adhikari, K., Bhandari, S., & Acharya, S. (2021).** An overview of Azolla in rice production: A review. *Reviews in Food and Agriculture*, 2(1), 4-08.

**Afolayan MO, Afolayan M. (2008).** Nigeria Oriented Poultry Feed Formulation Software Requirements. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(11): 1596-1602.

**Afroz, R.; Masud, M.M.; Akhtar, R.; Duasa, J.B. (2014).** Water pollution: Challenges and future direction for water resource management policies in malaysia. *Environ. Urban. ASIA* , 5, 63–81.

**Ahammad, S.Z., Graham, D.W., Dolfing, J. (2013).** Encyclopedia of Environmental Management. In *Wastewater Treatment: Biological*. IWA Publishing.

**Ahmed, H. A., Ganai, A. M., & Beigh, Y. A. (2016).** Performance of growing sheep on Azolla-based diet. *Indian Journal of Animal Research*, 50(5), 721–724. DOI: 10.18805/ijar.9642

**Alalade, M., & Lyayi, E.A. (2006).** Chemical composition and the feeding value of Azolla (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. *Int. J. Poult. Sci.*, 5, 137-141.

**Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013).** Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91, 869–881.

**Ali, S.; Abbas, Z.; Rizwan, M.; Zaheer, I.E.; Yavaş, İ.; Ünay, A.; Abdel-DAIM, M.M.; Bin-Jumah, M.; Hasanuzzaman, M.; Kalderis, D. (2020).** Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A Review. *Sustainability*, 12, 1927.

**Ali, S.; Abbas, Z.; Rizwan, M.; Zaheer, I.E.; Yavaş, İ.; Ünay, A.; Abdel-DAIM, M.M.; Bin-Jumah, M.; Hasanuzzaman, M.; Kalderis, D. (2020).** Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A Review. *Sustainability* , 12, 1927.

**Alloui, N. (2011).** Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 29 et 30 mars 2011. LRESPA, Service des Sciences Avicoles, Département Vétérinaire, Université Hadj Lakhdar de Batna, Algérie.

**ALLOUI, N, 2006.** Cours zootechnie aviaire, université - Elhadj Lakhdar- Batna, département de vétérinaire, 60 p.

**Almasad M, Altahat E, AL-Sharafat A. (2011).** Applying Linear Programming Technique to Formulate Least Cost Balanced Ration for White Eggs Layers in Jordan. *International Journal of Empirical Research*, 1(1): 112-120. DOI: 10. 5897/AJAR

**Al-Snafi, A.E. (2019).** Lemna minor: Traditional Uses, Chemical Constituents and Pharmacological Effects—A Review. *IOSR J. Pharm*, 9, 6–11.

**Al-Thani, R.F.; Yasseen, B.T. (2020).** Phytoremediation of polluted soils and waters by native Qatari plants: Future perspectives. *Environ. Pollut*, 259, 113694.

**Amuda, O. S., and Ibrahim, A. O. (2006).** Industrial wastewater treatment using natural material as adsorbent. *African journal of Biotechnology*, 5(16).

**Ana, L.P. (2018).** The Unique Symbiotic System between a Fern and a Cyanobacterium, Azolla-Anabaena azollae: Their Potential as Biofertilizer, Feed, and Remediation. In E.C. Rigobelo (Ed.), *Symbiosis*. DOI: 10.5772/intechopen.70466.

**Ana, L.P., (2018).** The Unique Symbiotic System between a Fern and a Cyanobacterium, Azolla-Anabaena azollae: Their Potential as Biofertilizer, Feed, and Remediation. In Everlon Cid Rigobelo Ed. *Symbiosis*. DOI: 10.5772/intechopen.70466.

**Ansari, A. A., Naeem, M., Gill, S. S., & AlZuaibr, F. M. (2020).** Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46, 371–376.

Approaches: An Overview and Potential Solution. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 70: 467-475.

**Arbor acres. (2018).** Guide d'élevage du poulet de chair. <https://pdfslide.tips/documents/arbor-acres-guide-dalevage-du-poulet-de-daun-levage-de-poulets-de-chair.htm>

**Arslan, M., Imran, A., Khan, Q. M., & Afzal, M. (2017).** Plant–bacteria partnerships for the remediation of persistent organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 4322–4336.

**Attia, A. A., El-Saadawy, H. A., El-Belbasi, H. I., & Abd El-Hameed, S. A. A. (2021).** Ameliorative Effect of *Azolla Pinnata* on Imidacloprid Induced Hepatorenal Toxicity, Oxidative Stress, and Immunosuppression in Nile Tilapia. *Journal of Animal Health and Production*, 9(s1), 1–6. doi: 10.17582/journal.jahp/2021/9. s1.1.6

**Awomeso, J.; Taiwo, A.; Gbadebo, A.; Adenowo, J. (2010).** Studies on the pollution of water body by textile industry effluents in Lagos, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Sanit*, 5, 353-359.

### **B**

**Babatunde, O. O, Chan S.P, Olayiwola, A. (2021).** "Nutritional Potentials of Atypical Feed Ingredients for Broiler Chickens and Pigs." *Animals* 11, no. 5 (2021): 1196. <https://doi.org/10.3390/ani11051196>

**Bhatt, N., Chandra, R., Kumar, S., Singh, K., Singh, N. P., Rajneesh, et al. (2020).** Nutritive Analysis of *Azolla pinnata* and its Cultivation during Winter Season. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 9(3), 2012–2018. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.233>

**Bhupendra Koul, Dhananjay Yadav, Swati Singh, Manoj Kumar et Minseok Song. (2022).** Perspectives sur les régimes de traitement des eaux usées domestiques (EUD) *Water* 2022, 14(21), 3542 ;

**Bonanno, G.; Cirelli, G.L. (2017)** Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* , 143, 92–101.

**Bong, P., Malek, M., Mardi, N., Hanafiah, M.M. (2020).** Cradle-to-Gate Water-Related Impacts on Production of Traditional Food Products in Malaysia. *Sustainability*, 12, 5274.

**Bouhedou, Y., Boussekra, K., & Bounouri, Y. (2020).** Analyses physico-chimiques de l'aliment de poulet de chair Conformité aux normes. Université Abderahmane MIRA de Bejaia,

**BRAH, N., HOUNDONUGBO, M. F., & ISSA, S. (2015).** Etapes et méthodes de formulation d'aliment de volaille : Une synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 2924-2931. DOI <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs>

**Brix, H. (2020).** Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Performance. In *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement* (pp. 9–22). CRC Press.

**Burges, A., Alkorta, I., Epelde, L., & Garbisu, C. (2018).** From phytoremediation of soil contaminants to phytomanagement of ecosystem services in metal contaminated sites. *International Journal of Phytoremediation*, 20, 384–397.

### C

**Cagauan, A.G., & Pullin, R.S.V. (1991).** Azolla in aquaculture: Past, present, and future. In J. Muir & R.J. Roberts (Eds.), *Recent Advances in Aquaculture* (pp. 104-130). Oxford: Blackwell Science.

**Carter, L.; Harris, E.; Williams, M.J.M.; Ryan, J.J.; Kookana, R.; Boxall, A.B.A. (2014).** Fate and Uptake of Pharmaceuticals in Soil–Plant Systems. *J. Agric. Food Chem*, 62, 816-825.

**Cauberghe, V.; Vazquez-Casaubon, E.; Van de Sompel, D. (2021).** Perceptions of water as commodity or uniqueness? The role of water value, scarcity concern and moral obligation on conservation behavior. *J. Environ. Manag.*, 292, 112677

**Chan, Y.J., Chong, M.F., Law, C.L., Hassell, D.G. (2009).** A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chem. Eng. J.*, 155, 1–18.

**Chan, Y.J.; Chong, M.F.; Law, C.L.; Hassell, D.G. (2009).** A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chem. Eng. J.*, 155, 1-18.

**Chatterjee, A., Sharma, P., Ghosh, M.K., Mandal, M., & Roy, P.K. (2013).** Utilization of Azolla Microphylla as Feed Supplement for Crossbred Cattle. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(3), 207-214.

**Chaudhary, E.; Sharma, P. (2014).** Duckweed as eco-friendly tool for phytoremediation. *IJSR*, 3, 1615-1617.

**Choudhary, A.K., Kumar, S., & Sharma, C. (2011).** Constructed wetlands: An approach for wastewater treatment. *Elixir Pollut*, 37, 3666–3672.

**Ciurescu, G.; Vasilachi, A.; Grigore, D.; Grosu, H. (2019).** Growth performance, carcass traits, and blood biochemistry of broiler chicks fed with low-fibre sunflower meal and phytase. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 2019, 49, 735–745.

**COBB, 2010.** Guide d'élevage poulet de chair, performances et recommandations nutritionnelles. P65. Edition 2010, P1, 49,10.

**COBB.2012.** Guide de gestion poulet de chair.

**Cunningham, S. D., & Ow, D. W. (1996).** Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology*, 110, 715.

**D**

**Dahouda M., Toléba S.S., Senou M., Youssao A.K.I., Hambuckers A. et Hornick J.L., (2009).** Les ressources alimentaires non-conventionnelles utilisables pour la production aviaire en Afrique : valeurs nutritionnelles et contraintes. *Ann. Méd. Vét.*, 2009, 153, 5-21

**Dahouda M., Toléba S.S., Senou M., Youssao A.k.I., Hambuchkers A., Hornick JI . (2009).** Les ressources alimentaires non-conventionnelles utilisables pour la production aviaire en Afrique : valeurs nutritionnelles et contraintes. *Annales de Médecine Vétérinaire*.153.PP. 5-2.

**da-Silva, C.J.; Canatto, R.A.; Cardoso, A.A.; Ribeiro, C.; Oliveira, J.A. (2017).** Arsenic-hyperaccumulation and antioxidant system in the aquatic macrophyte *Spirodela intermedia* W. Koch (Lemnaceae). *Theor. Exp. Plant Physiol*, 29, 203–213.

**Daud, M.; Ali, S.; Abbas, Z.; Zaheer, I.E.; Riaz, M.A.; Malik, A.; Zhu, S.J. (2018).** Potential of Duckweed (*Lemna minor*) for the Phytoremediation of Landfill Leachate. *J. Chem*, 1–9.

**De Souza, R. R., Bergamasco, R., da Costa, S. C., Feng, X., Faria, S. H. B., & Gimenes, M. L. (2010).** Recovery and purification of lactose from whey. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(11), 1137–1143. <http://doi.org/10.1016/j.cep.2010.08.015> .

**Demirbas, A., Edris, G., & Alalayah, W.M. (2017).** Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39, 999–1006.

**Devi Lal D., Rayapati K., Shivam M., (2021).** Cultivation of Azolla- A Proteinaceous Fodder for Livestock. *Agriculture and Environment*, 2, 50-52.

**Diaconu, L. I., Covaliu-Mierlă, C. I., Păunescu, O., Covaliu, L. D., Iovu, H., & Paraschiv, G. (2023).** Phytoremediation of Wastewater Containing Lead and Manganese Ions Using Algae. *Biology*, 12(6), 773. <https://doi.org/10.3390/biology120607>

**Divya, P., Kanimozhi, K., Poornima, S., & Tamilarasu, S. (2020).** Shelf life and physicochemical evaluation of Azolla pinnata incorporated yogurt. *Journal of Critical Reviews*, 7(7), 770–773.

**E**

**Ekambaram, S.P.; Perumal, S.S.; Rajendran, D.; Samivel, D.; Khan, M.N. (2018).** New approach of dye removal in textile effluent: A cost effective management for cleanup of toxic dyes in textile effluent by water hyacinth. In Toxicity and Biodegradation Testing; Bidoia, E., Montagnolli, R., Eds.; Humana Press, 241-267.

**El Batouti, M., Al-Harby, N. F., & Elewa, M. M. (2021).** A Review on Promising Membrane Technology Approaches for Heavy Metal Removal from Water and Wastewater to Solve Water Crisis. *Water*, 13(22), 3241. <https://doi.org/10.3390/w13223241>

**El Naggar, S., & El-Mesery, H. S. (2022).** Azolla pinnata as unconventional feeds for ruminant feeding. *Bulletin of the National Research Centre*, 46(66), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00752-W>

**El-batouti, al – harby, N.F., elewa, M.M. (2021).** Promising Membrane Technology Approaches for Heavy Metal Removal from Water and Wastewater to Solve Water Crisis, 13(22), 3241.

**Elrasoul, A. S. A., Mousa, A. A., Orabi, S. H., Mohamed, M. A. E. G., Gad-Allah, S. M., Almeer, R., ... Eldaim, M. A. A. (2020).** Antioxidant, Anti-inflammatory, and Anti-Apoptotic Effects of Azolla Pinnata Ethanolic Extract against Lead-induced Hepatotoxicity in Rats. *Antioxidants*, 9(10), 1014. Doi :10.3390/antiox9101014

**Emiliani, J., Llatance Oyarce, W. G., Bergara, C. D., Salvatierra, L. M., Novo, L. A. B., & Pérez, L. M. (2020).** Variations in the Phytoremediation Efficiency of Metal-polluted Water with *Salvinia biloba*: Prospects and Toxicological Impacts. *Water*, 12(6), 1737. <https://doi.org/10.3390/w12061737>

**F**

**FAO stat (2018).** Données statistiques de la FAO, domaine de la production agricole : Division de la statistique, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Site web : <http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx#ancor>.

**FAO STAT, 2021.** L'organisation des Nations Unies pour l'alimentation

**FAO, khaled kaboudi, gipac. 2017** Guide de Biosécurité dans les élevages avicoles au Moyen Orient et en Afrique du Nord <https://ussec.org/wpcontent/uploads/2017/05/Biosecurity-Guide-FRENCH-12>

**FAO. (2023).** Perspectives agricoles de l'OCDE et de la Fao 2023-2032

**Feedipedia.** Typologie et usage des ressources protéiques INRAE. Production animale. <https://productions-animales.org/article/download/2338/6102?inline=1>

**Forni, C., Chen, J., Tancioni, L., and Caiola, M. G. (2001).** Evaluation of the fern *Azolla* for growth, nitrogen and phosphorus removal from wastewater. *Water research*, 35(6), 1592-1598.

**Forni, C.; Patrizi, C.; Migliore, L. (2006).** Floating aquatic macrophytes as a decontamination tool for antimicrobial drugs. In *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*; Springer: Dordrecht, The Netherlands; pp. 3–23

## G

**Gana, S., & Touzi, A. (2001).** Valorisation du lactosérum par la production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue. *Revue Énergies Renouvelables : Production et Valorisation - Biomasse*, 5158 51.

**Gedda, G., Balakrishna, K., Devi, R.U., Shah, K. (2021).** Introduction to Conventional Wastewater Treatment Technologies: Limitations and Recent Advances. In *Advances in Wastewater Treatment I*.

**Gedda, G.; Balakrishna, K.; Devi, R.U.; Shah, K. (2021).** Introduction to Conventional Wastewater Treatment Technologies: Limitations and Recent Advances. In *Advances in Wastewater Treatment I*; Gandh, V., Shah, K.L., Eds.; Materials Research Forum, 1-36.

**Golzary, A., Tavakoli, O., Rezaei, Y., and Karbassi, A. (2018).** Wastewater treatment by *Azolla filiculoides*: A study on color, odor, COD, nitrate, and phosphate removal. *Pollution*, 4(1), 69-76.

**González-Tavares, C.; Salazar-Hernández, M.; Talavera-López, A.; Salgado-Román, J.M.; Hernández-Soto, R.; Hernández, J.A. (2023).** Removal of Ni(II) and Cu(II) in Aqueous Solutions Using Treated Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as Bioadsorbent. *Separations*, 10, 289.

**Goulas, V.; Stylos, E.; Chatziathanasiadou, M.V.; Mavromoustakos, T.; Tzacos, A.G.(2016).** Functional Components of carob Fruit: Linking the Chemical and Biological Space. *Int. J. Mol. Sci*, 17, 1875.

**Gouri, M. D., Sanganal, J. S., Gopinath, C. R., & Kalibavi, C. M. (2012).** Importance of *Azolla* as a sustainable feed for livestock and poultry—a review. *Agric Rev*, 33, 93–103.

**Grossmann, L., & Weiss, J. (2021).** Alternative Protein Sources as Technofunctional Food Ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12, 93-117.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-062520-093642>

**Guittouy-Philippe, A., Petit, M.-E., Masotti, V., Monnier, Y., Malleret, L., Coulomb, B., & Laffont-Schwob, I. (2015).** Selection of wild macrophytes for use in constructed wetlands for phytoremediation of contaminant mixtures. *Journal of Environmental Management*, 147, 108–123.

**Gunathilakae, N.; Yapa, N.; Hettiarachchi, R. (2018).** Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the cadmium phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms. *Groundw. Sustain. Dev*

**Gunya, B., & Masika, P. J. (2021).** Eisenia fetida worm as an alternative source of protein for poultry: a review. *International Journal of Tropical Insect Science*. Advance online publication. doi: <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00531-6>

**Gupta, V.K., Ali, I., Saleh, T.A., Nayak, A., & Agarwal, S. (2012).** Chemical treatment technologies for wastewater recycling—An overview. *RSC Advances*, 2, 6380.

## **H**

**Ha, N. T. H., & Anh, B. T. K. (2017).** The removal of heavy metals by iron mine drainage sludge and *Phragmites australis*. In *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 71, p. 012022). IOP Publishing

**Hanafiah, M.M., Ghazali, N.F., Harun, S.N., Abdulaali, H., AbdulHasan, M.J., Kamarudin, M.K.A. (2019).** Assessing water scarcity in Malaysia: A case study of rice production. *Desalin. Water Treat.*, 149, 274–287.

**Hanafiah, M.M., Yussof, M.K.M., Hasan, M., Abdulhasan, M.J., Toriman, M.E. (2018).** Water Quality Assessment of Tekala River, Selangor, Malaysia. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 16, 5157–5174.

**Harun, S.N., Hanafiah, M.M. (2018).** Estimating the country-level water consumption footprint of selected crop production. *Appl. Ecol. Environ*, 16, 5381–5403.

**Hasan, M. R., & Chakrabarti, R. (2009).** Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review. *FAO Fisheries and Aquaculture technical paper*, 531. FAO, Rome, Italy.

**Hedji, C. C., Houinato, M., Houndonougbo, F. et Fiogbe, E. (2015).** Assainissement de l'environnement par la valorisation des ressources non conventionnelles en alimentation de porcs en croissance. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(4), 1929-1936. <http://www.ifg-dg.org>

**Hempel, M.; Botté, S.E.; Negrin, V.L.; Chiarello, M.N.; Marcovecchio, J.E. (2008).** The role of the smooth cordgrass *Spartina alterniflora* and associated sediments in the heavy metal biogeochemical cycle within Bahía Blanca estuary salt marshes. *J. Soils Sediments*, 8, 289

**Hénault-Ethier, L., Cabrera, P., Lefebvre, B., Tcham-Tchouwo's, A (2015).** La faisabilité des élevages d'insectes pour la consommation humaine ou animale en milieu urbain

**Hossain, M. A., Shimu, S. A., Sarker, M. S. A., Ahsan, M. E., & Banu, M. R. (2021).** Biomass growth and composition of *Azolla* (*Azolla pinnata* R. BR.) supplemented with inorganic phosphorus in outdoor culture. *SAARC Journal of Agriculture*, 19(1), 177–184.

**Hossain, M.A., Shimu, S.A., Sarker, M.S.A., Ahsan, M.E., & Banu, M.R. (2021).** Biomass growth and composition of *Azolla* (*Azolla pinnata* R. BR.) supplemented with inorganic phosphorus in outdoor culture. *SAARC Journal of Agriculture*, 19(1), 177-184.

**Huart A. (2004).** Alimentation. Les besoins du poulet de chair. *Eco-Congoagriculture*, Centre agronomique et Vétérinaire tropical de Kinshasa. P5.

## **I**

**Iha, D.S ; Bianchini, I., Jr. (2015).** Phytoremediation of Cd, Ni, Pb and Zn by *Salvinia minima*. *Int. J. Phytoremediat*, 17, 929–935.

**INRA Prod. Anim. (2015).** La viande de volaille : des attentes pour la qualité qui se diversifient et des défauts spécifiques à corriger. INRA, UR83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France. Courriel : [cecile.berri@tours.inra.fr](mailto:cecile.berri@tours.inra.fr) , 28(2), 115-118.

**INRAE (2021).** Fiche Technico-économique de la caroube. Centre de recherche agronomique d'Avignon, France. Disponible à l'adresse : <https://www6.paca.inrae.fr>

**ITAVI 2017.** Conditions de démarrage des poulets de chair influençant l'utilisation d'antibiotiques et le taux de mortalité dans les 10 premiers jours. Douzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 05 et 06 avril 2017.

**J**

**Jacob, M.M., Jom, M., Sherin, A., Shahla, B. (2020).** Azolla pinnata: Potential Phytoremediation, Antimicrobial, and Antioxidant Applications. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 9(4), 1673-1679. DOI : 10.33263/LIANBS94.16731679.

**Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Prathapar, S., & Harrasi, A.A. (2008).** Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman. *Environmental Monitoring and Assessment*, 137, 315–327

**Jayasundara, P. (2022).** Wastewater Treatment by Azolla: A review. *Diyala Agricultural Sciences Journal*, 14(1), 40-46. <https://dx.doi.org/10.52951/dasj.22140105>

**Józefiak, D; Józefiak, A; Kierończyk, B ; Rawski, M. ; Świątkiewicz, S. ; Długosz, J. ; Engberg, R.M. (2016).** Insects—A natural nutrient source for poultry—A review. *Ann. Anim. Sci*, 16, 297–313.

**K**

**Kajikawa, H. (1996).** Utilization of by-products from food processing as livestock feed in Japan. In *Extension Bulletins of Food and Fertilizer Technology Center; ASPAC Food & Fertilizer Technology Center: Taipei, Taiwan*; pp. 1–8.

**Kalair, A.R., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., Abas, N., & Khan, N. (2021).** Waste to energy conversion for a sustainable future. *Heliyon*, 7, e08155.

**Kana, J. R., Hassan, A. D., Ngouana, T. R., Mube, K. H., Tegua, A., Tefack, Y., & Zambou, H. R. (2015).** Performances zootechniques du poulet de chair soumis à un régime à base de résidus de semoule de manioc supplémenté par la spiruline (*Spirulina platensis*). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(5), 2607-2616. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.30>

**Kasapidou, E ; Sossidou, E ; Mitlianga, P. (2015).** Fruit and Vegetable Co-Products as Functional Feed Ingredients in Farm Animal Nutrition for Improved Product Quality. *Agriculture*, 5, 1020–1034

**Kathirvelan, C., Banupriya, S., & Purushothaman, M.R. (2015).** Azolla - An Alternate and Sustainable Feed for Livestock. *International Journal of Science, Environment, and Technology*, 4(4), 1153-1157. ISSN 2278-3687, ISSN 2277-663X.

**Kenis, M., Koné, N., Chrysostome, C.M., Devic, E., Koko, G.K.D., Clottey, V. A., Nacambo, S. et Mensah, G. A. (2014).** Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia*, 2(2), 107-114.

**Khare, A., Baghel, R. P. S., Gupta, R. S., et al. (2014).** Milk production of indigenous cattle fed supplements of mustard oil cake or Azolla meal (*Azolla filiculoides*). *Livest Res Rural Dev* 26 :65

**KIROUAN L., 2015.** Structure et organisation de la filière avicole en Algérie Cas de la wilaya de Bejaia : El-Bahith Review 15/2015, Université A. Mira, Bejaia, 199 p.

**Kouame, K. T., GROGA, N., AKEDRIN, T. N., AKAFFOU, D. S., & KOUADIO, Y. (2018).** Évaluation de la croissance végétative de *Azolla caroliniana* et *Azolla filiculoides* à l'aide du filtrat de la bouse de vache ; Haut Sassandra, Daloa, Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 14(5), 1-9. ISSN 1813-548X. URL: <http://www.afriquescience.net>

**Kutty, A.A.; Al-Mahaqeri, S.A. (2016).** An Investigation of the Levels and Distribution of Selected Heavy Metals in Sediments and Plant Species within the Vicinity of Ex-Iron Mine in Bukit Besi. *J. Chem*, 2016, 2096147.

**Kuzniacka, J.; Adamski, M.; Czarnecki, R.; Banaszak, M. (2014).** Results of rearing broiler chickens under various systems. *J. Agric. Sci*, 6, 19–25.

### L

**Lakshmanan, A., Kumar, K., & Latha, P. (2017).** Azolla - a low cost and effective feed supplement to poultry birds. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 6, 3622-3627. Available at: <https://www.ijcmas.com>.

**Lakshmanan, A., Kumar, K., & Latha, P. (2017).** Azolla - a low cost and effective feed supplement to poultry birds. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 6, 3622–3627. Available at: <https://www.ijcmas.com>

**Le Jeune C. (2015).** Les oléoprotéagineux dans la lutte contre le changement climatique. *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2015. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01256129/document>.

**Li, C., Yang, H., Xia, X., Li, Y., Chen, L., Zhang, L., & Wang, W. (2013).** High efficient treatment of citric acid effluent by *Chlorella vulgaris* and potential biomass utilization. *Bioresource Technology*, 127, 248–255.

**Liang, Y., Zhu, H., Banuelos, G., Yan, B., Zhou, Q., Yu, X., & Cheng, X. (2017).** Constructed wetlands for saline wastewater treatment: A review. *Ecological Engineering*, 98, 275–285.

**Liu C, Masri J, Zhao J .(2020).** Growth Performance and Nutrient Composition of Mealworms

**Liu, L., Zhou, Z., Hong, Y., Jiang, K., Yu, L., Xie, X., & Li, J. (2021).** Transplantation of Predominant Lactobacilli from Native Hens to Commercial Hens Could Indirectly Regulate Their ISC Activity by Improving Intestinal Microbiota. *Microbial Biotechnology*. DOI: 10.1111/1751-7915.13917.

**Logroño, Washington, Mario Pérez, Gladys Urquiza, Abudukeremu Kadier, Magdy Echeverría, Celso Recalde, and Gábor Rákhely. (2017).** Single Chamber Microbial Fuel Cell (SCMFC) with a Cathodic Microalgal Biofilm: A Preliminary Assessment of the Generation of Bioelectricity and Biodegradation of Real Dye Textile Wastewater. *Chemosphere*, 176, 378–88.

**Luczkiewicz, A., Jankowska, K., Fudala-Książek, S., & Olańczuk-Neyman, K. (2010).** Antimicrobial resistance of fecal indicators in municipal wastewater treatment plant. *Water Research*, 44, 5089–5097.

## M

**Machona O, Matongorere M, chidzondo , F ,mangoyi R, .(2022):** evaluation of nutritional content of the larve of *Tenebrio molitor* , and formulation of broiler stockfeed . *Entomol appl sci lett* ;9(4) : 44-56 <http://doi.org/10.51847/1WgQiAHwJ4>

**Macwan, S. R., Dabhi, B. K., Parmar, S. C., & Aparnathi, K. D. (2016).** Whey and its utilization. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(8), 134- 155.

**MADR. (2018).** Statistiques agricoles- Ministère de l’Agriculture, du Développement Rural

**MADR, 2021.** Statistiques agricoles- Ministère de l’Agriculture, du Développement Rural

**Mahmood, Q., Zheng, P., Islam, E., Hayat, Y., Hassan, M., Jilani, G., & Jin, R. (2005).** Lab scale studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Martens Solms) for biotreatment of textile wastewater. *Caspian Journal of Environmental Science*, 3, 83–88.

**Maine, M.A; Duarte, M.V. ; Suñé, N.L. (2001).** Cadmium uptake by floating macrophytes. *Water Res*, 35, 2629–2634.

**Maine, M.A.; Suñé, N.L.; Lager, S.C. (2004).** Chromium bioaccumulation: Comparison of the capacity of two floating aquatic macrophytes. *Water Res*, 38, 1494–1501.

**Mandal, R.N., Pandey, B.K., Chattopadhyay, D.N., & Mukhopadhyay, P.K. (2012).** Azolla – an aquatic fern of significance to small-scale aquaculture. *Aquaculture Asia*, XVII (1), January-March.

**Mao, D., Yu, S., Rysz, M., Luo, Y., Yang, F., Li, F., Hou, J., Mu, Q., & Alvarez, P.J. (2015).** Prevalence and proliferation of antibiotic resistance genes in two municipal wastewater treatment plants. *Water Research*, 85, 458–466.

**Medjenah F. (2014).** Impact des additifs alimentaires sur les performances zootechniques des poulets de chair. Chapitre II. Alimentation du poulet de chair <http://dspace.univmsila.dz>

**Medjenah, F. (2014).** Impact des additifs alimentaires sur les performances zootechniques des poulets de chair. In Chapitre II. Alimentation du poulet de chair. Retrieved from <http://dspace.univ.msila.dz>.

**Mordenti, A.L.; Giaretta, E.; Campidonio, L.; Parazza, P.; Formigoni, A. (2021).** A Review Regarding the Use of Molasses in Animal Nutrition. *Animals* 2021, 11, 115

**Mosha, S. S. (2018).** A Review on Significance of Azolla Meal as a Protein Plant Source in Finfish Culture. *Aquaculture Research and Development*, 9(7), 10.4172/2155-9546.1000544.

**Moughan PJ, Verstegen MWA, Visser-Reyneveld MI. (2000).** Feed Evaluation: Principles and Practice. Wageningen Press: Wageningen, Netherlands

**Muhammad, A., Nadeem, S., Arooba, A., Amjad, E., Shafaqat, A., & Muhammad, R. (2020).** Beneficial role of Azolla sp. in paddy soils and their use as bioremediators in polluted aqueous environments: implications and future perspectives. *Archives of Agronomy and Soil Science*. DOI: 10.1080/03650340.2020.1786885.

**Muhammad, A., Nadeem, S., Arooba, A., Amjad, E., Shafaqat, A., & Muhammad, R. (2020).** Beneficial role of Azolla sp. in paddy soils and their use as bioremediators in polluted aqueous environments: implications and future perspectives. *Archives of Agronomy and Soil Science*. DOI: 10.1080/03650340.2020.1786885

**Mulkeen, C.J.; Williams, C.D.; Gormally, M.J.; Healy, M.G. (2017).** Seasonal patterns of metals and nutrients in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in a constructed wetland in the west of Ireland. *Ecol. Eng*, 107, 192–197.

**Mustafa, H. M., & Hayder, G. (2021).** Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 355–365.

**Muthusaravanan, S.; Sivarajasekar, N.; Vivek, J.; Paramasivan, T.; Naushad, M.; Prakashmaran, J.; Al-Duaij, O.K. (2018).** Phytoremediation of heavy metals: Mechanisms, methods and enhancements. *Environ. Chem. Lett*, 16, 1339–1359.

**Muvea, F. M., Ogendi, G. M., and Omondi, S. O. (2019).** Nutrient removal efficiency by floating macrophytes; *Lemna minor* and *Azolla pinnata* in a constructed wetland. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(4), 415-430.

### **N**

**Nasar-Abbas, S.M; Huma, Z.E.; Thi-Huong, V. ; Khan, M.K. ; Esbenshade, H. ; Jayasena, V. (2016).** Carob kibble: A bioactive-rich food ingredient. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*, 15, 63–72.

**Nath, K., Das, R., Sarkar, P. K., Chakrabarti, A., Das, B., Suklabaidya, A., & Singh, V. (2023).** Prospects of *Azolla* for sustainable use in agriculture. *Indian Farming Digest*, 2(2), 23-25. Retrieved from <http://www.indianfarmingdigest.com>

**Niangoran n'goran u. F., (2017) :** Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : Eclairage et Estimation de la Biomasse, Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse, Université Toulouse 3, Paul Sabatier, p 39.

**Nur Izzah Hamna Abdul Aziz, Marlia Mohd Hanafiah, Nasrun Hisyam Halim, and Putri Amylin Sofea Fidri. (2020).** *Appl. Sci*, 10(16), 5397; <https://doi.org/10.3390/app10165397> .

### **O**

**Obinna, I.B.; Ebere, E.C. A.(2019).** Review: Water pollution by heavy metal and organic pollutants: Brief review of sources, effects and progress on remediation with aquatic plants. *Anal. Methods Environ. Chem. J*, 2, 5–38.

**OCDE/FAO. (2021).** Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2021-2030. © OCDE/FAO.

**Oladoye, P.O.; Olowe, O.M.; Asemoloye, M.D. (2021).** Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature. *Chemosphere*, 228 Pt 2, 132555.

**Olguín, E.; Hernández, E.; Ramos, I. (2002).** The effect of both different light conditions and the pH value on the capacity of *Salvinia minima* Baker for removing cadmium, lead and chromium. *Acta Biotechnol*, 22, 121–131.

**Olusayo OE, Olusesan AB, Adesola AG. (2013).** Review of Livestock Feed Formulation Techniques. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(4): 60-77

**Ominski, K.; McAllister, T.; Stanford, K.; Mengistu, G.; Kebebe, E.G.; Omonijo, F.; Cordeiro, M.; Legesse, G.; Wittenberg, K. (2021).** Utilization of by-products and food waste in livestock production systems: A Canadian perspective. *Anim. Front*, 11, 55–63.

**Ouedraogo, B., Nikiema, Z. S., Zoundi, J. S., & Sawadogo, L. (2021).** Effets de l’incorporation de la biomasse d’azolla (*Azolla pinnata*) séchée dans les rations du poulet en aviculture traditionnelle améliorée. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(1), 212–223.

## P

**Pandey, N., Chandra, J., Xalxo, R., & Sahu, K. (2021).** Concept and Types of Phytoremediation. In *Approaches to the Remediation of Inorganic Pollutants*, Hasanuzzaman, M., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; pp. 281–302.

**Pandey, N.; Chandra, J.; Xalxo, R.; Sahu, K. (2021).** Concept and Types of Phytoremediat. In *Approaches to the Remediation of Inorganic Pollutants*, Hasanuzzaman, M., Ed.; Springer, 281-302.

**Petrova-Tacheva, V ; Ivanov, V ; Atanasov, A. (2020).** *Lemna minor*, L. As a Source of Antioxidants. *Trakia J. Sci*, 18, 157–162

**Prasad, M., Greger, M., & Aravind, P. (2005).** Biogeochemical cycling of trace elements by aquatic and wetland plants: Relevance to phytoremediation. *Trace Elements in Environmental Biogeochemistry and Biotechnology for Bioremediation*, 1, 451–474.

**Prasad, M.N.V. (2018).** Prospects for manipulation of molecular mechanisms and transgenic approaches in aquatic macrophytes for remediation of toxic metals and metalloids in wastewaters. In *Transgenic Plant Technology for Remediation of Toxic Metals and Metalloids*; Elsevier, 395-428.

**Pratas, J., Paulo, C., Favas, P. J., & Venkatachalam, P. (2014).** Potential of aquatic plants for phytofiltration of uranium-contaminated waters in laboratory conditions. *Ecological Engineering*, 69, 170–176.

**Pratiksha S. (2011).** Comparaison of Linear and Nonlinear Programming Techniques for Animal Diet. *Applied Mathematics*, 1(2) : 106-108. DOI : 10.5923/j.am. 20110102.17

**Prusty, P. K., & Satapathy, K. B. (2020).** Phytoremediation of wastewater by using Azolla-Anabaena consortium and its aquatic associates: A review. *Plant Archives*, 20(1), 1933–1943. ISSN: 0972-5210, e-ISSN: 2581-6063.

### **R**

**Rahagarison, K. (2005).** Etude bibliographique de l'Azolla ou la "ramilamina" plante fertilisatrice d'Azote (N<sub>2</sub>). *Mada revues*, 287-29 p.

**Rahal, A. (2019).** Azolla-emerging animal feed. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*.

**Rahman, M.A.; Hasegawa, H. (2011).** Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere*, 83, 633-646.

**Rajagopal, G., Nivetha, A., Ilango, S., Muthudevi, G. P., Prabha, I., & Arthimanju, R. (2021).** Phytofabrication of Selenium Nanoparticles Using Azolla Pinnata: Evaluation of Catalytic Properties in Oxidation, Antioxidant, and Antimicrobial Activities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105483. doi: 10.1016/j.jece.2021.105483

**Rajesh, S. (2020).** Production of Azolla as livestock feed supplement in India. *Pashudhan praharee. Indian Dairy & Poultry industry*, 43 p.

**Rana, D., Katoch, S., Mane, B. G., Rani, D., & Sankhyan, V. (2017).** Carcass Characteristic and Physico-chemical Properties of Broiler Chicken Meat Supplemented with Azolla Pinnata. *Journal of Animal Research*, 7(6), 1035–1041. doi:10.5958/2277-940X.2017.00155.3

**Ranade, V.V. ; Bhandari, V.M. (2014).** Industrial Wastewater Treatment, Recycling, and Reuse—Past, Present and Future. In *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*; Elsevier, 521-535.

**Rawat, N., Kumari, K., Singh, F., & Gilhare, V. R. (2015).** Effect of Azolla-supplemented feeding on milk production of cattle and production performance of broilers. *Appl Biol Res*, 17, 214–218.

**Reeves, R. D., Baker, A. J., Jaffré, T., Erskine, P. D., Echevarria, G., & van der Ent, A. (2018).** A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytologist*, 218, 407–411.

**Reynaud, P., & Franche, C. (1986).** *Azolla pinnata* var. *Africana* "de la biologie moléculaire aux Applications Agronomiques." Dakar Sénégal: ORSTOM, 15 p.

**Rita Beltrão Martins, Nuno Jorge, Marco S. Lucas, Anabela Raymundo, Ana I. R. N. A. Barros, & José A. Peres. (2022).** *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(7), 4134; <https://doi.org/10.3390/ijerph19074134> .

**Rodríguez, M.; Brisson, J. (2015).** Pollutant removal efficiency of native versus exotic common reed (*Phragmites australis*) in North American treatment wetlands. *Ecol. Eng*, 74, 364-370.

**Rosshairy AR, Chooi-Leng A, Razamin R. (2010).** Investigating Feed Mix Problem

**Roy, D. C., Pakhira, M. C., & Bera, S. (2016).** A Review on Biology, Cultivation and Utilization of *Azolla*. *Advances in Life Sciences*, 5(1), 11-15. ISSN 2278-3849.

**Rudin, S.M.; Murray, D.W.; Whitfeld, T.J. (2017).** Retrospective analysis of heavy metal contamination in Rhode Island based on old and new herbarium specimens. *Appl. Plant Sci*, 5, 1600108.

**Rumbos CI, Karapanagiotidis IT, Athanassiou CG. (2020).** Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Sci Rep* ;10(1):11224.

**Ruzhitskaya, O., & Gogina, E. (2017).** Methods for removing phosphates from wastewater. SPbWOSCE-2016 7006. In: MATEC Web of Conferences 106, p. 07006.

## S

**Sahoo, A.; Sarkar, S.; Lal, B.; Kumawat, P.; Sharma, S.; De, K. (2021).** Utilization of fruit and vegetable waste as an alternative feed resource for sustainable and eco-friendly sheep farming. *Waste Manag* , 128, 232–242.

**Samer, M. (2015).** Biological and chemical wastewater treatment processes. *Wastewater Treat. Eng*.

**Sarwar, N.; Imran, M.; Shaheen, M.R.; Ishaque, W.; Kamran, M.A.; Matloob, A.; Hussain, S. (2017).** Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171, 710-721.

**Sasmaz, A.; Obek, E.; Hasar, H. (2008).** The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecol. Eng*, 33, 278–284

**Saunders, R.M.K., & Fowler, K. (1993).** The supraspecific taxonomy and evolution of the fern genus *Azolla* (Azollaceae). *Plant Systematics & Evolution*, 184, 175-193.

**Sebastian, A., Deepa, P., & Prasad, M. N. V. (2021).** *Azolla* Farming for Sustainable Environmental Remediation. In *Handbook of Assisted and Amendment: Enhanced Sustainable Remediation Technology* (pp. 517-533).

**Serra, T.; Colomer, J.; Pau, C.; Marín, M.; Sala, L. (2014).** Tertiary treatment for wastewater reuse based on the *Daphnia magna* filtration—Comparison with conventional tertiary treatments. *Water Sci. Technol*, 70, 705-711.

**Shafaqat Ali; Zohaib Abbas 1, Muhammad Rizwan; Ihsan Elahi Zaheer; İlkay Yavaş; Aydın Ünay; Mohamed M. Abdel-DAIM; May Bin-Jumah; Mirza Hasanuzzaman; Dimitris Kalderis (2020).** Application of Floating Aquatic Plants in Phytoremediation of Heavy Metals Polluted Water: A Review. *Sustainability*, 12(5), 1927.

**Sharma, N. K., Joshi, M., & Sharma, S. K. (2021).** Effect of feeding green *Azolla* (*Azolla pinnata*) on growth performance in Sirohi male Kids. *Int J Livest Res*, 11(4), 56–62.

**Sharma, S.; Singh, B.; Manchanda, V. (2015).** Phytoremediation: Role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 22, 946-962.

**Shi, J.; Xiang, Z.; Peng, T.; Li, H.; Huang, K.; Liu, D.; Huang, T. (2020).** Effects of melatonin-treated *Nasturtium officinale* on the growth and cadmium accumulation of subsequently grown rice seedlings. *Int. J. Environ. Anal. Chem*

**Sireesha, A., Kalyana Chakravarthi, M., Naveen, Z., Naik, B. R., Tirupathi Reddy, E., & Ramesh Babu, P. (2017).** Carcass characteristics of New Zealand white rabbits fed with graded levels of *Azolla* (*Azolla pinnata*) in the basal diet. *Int J Livest Res*, 7(9), 2277–1964. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170619042936> ///

**Sjodin, E. (2012).** The *Azolla* cooking and cultivation project. Erik Sjodin.

**Soares, P.A. ; Souza, R. ; Soler, J. ; Silva, T.F. ; Souza, S.M.G.U. ; Boaventura, R.A. ; Vilar, V.J. (2017).** Remediation of a synthetic textile wastewater from polyester-cotton dyeing combining biological and photochemical oxidation processes. *Sep. Purif. Technol*, 172, 450-462.

**Soda, S.; Hamada, T.; Yamaoka, Y.; Ike, M.; Nakazato, H.; Saeki, Y.; Sakurai, Y. (2012).** Constructed wetlands for advanced treatment of wastewater with a complex matrix from a

metal-processing plant: Bioconcentration and translocation factors of various metals in *Acorus gramineus* and *Cyperus alternifolius*. *Ecol. Eng.*, 39, 63-70.

**Sogari, G.; Amato, M.; Biasato, I.; Chiesa, S.; Gasco, L. (2019).** The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals*, 9, 119.

**Sood, A., Uniyal, P. L., Prasanna, R., & Ahluwalia, A. S. (2012).** Phytoremediation Potential of Aquatic Macrophyte, *Azolla*. *Environmental Management*, 41(2), 122-137. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0159-z>

**Sumitha, V., Mini, I. and Laija, S.N. (2021).** Larvicidal efficacy of *Hyptis capitata* Jacq. Against *Culex quinquefasciatus* mosquito (Culicidae). *International Journal of Mosquito Research*, 8(4), 42-46.

**Sumitha, V., Mini, I., & Laija, S. N. (2021).** Larvicidal efficacy of *Hyptis capitata* Jacq. Against *Culex quinquefasciatus* mosquito (Culicidae). *International Journal of Mosquito Research*, 8(4), 42–46.

**Suzenet, G., Tal, A., Boymanns, D. (2002).** Sustainable water management for the city: Technologies for improving domestic water supply. *Built Environ.*, 28, 138–151.

## T

**Tabti A. (2014).** Mémoire du diplôme master II. Le Soja dans l'Alimentation du Poulet de Chair. Université Abou-Bakr-Belkaid Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Et des Sciences de la Terre et l'Univers.P 60.

**Tangahu, B.V.; Sheikh Abdullah, S.R.; Basri, H.; Idris, M.; Anuar, N.; Mukhlisin, M. (2011).** A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int. J. Chem. Eng.*, 2011, 939161.

**Tarif, S.T.O. (2021).** Use of *Azolla* as a Substitute Poultry Feed and Its Effect on Growth and Production: A Review. *Plant Archives*, 21(S1), 947-950. DOI: <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.147> .

**Ternes, T.A. (2004).** Assessment of technologies for the removal of pharmaceuticals and personal care products in sewage and drinking water facilities to improve indirect potable water reuse. EU project POSEIDON.

**Tewes, L. J., Stolpe, C., Kerim, A., Krämer, U., & Müller, C. (2018).** Metal hyperaccumulation in the Brassicaceae species *Arabidopsis halleri* reduces camalexin induction after fungal pathogen attack. *Environmental and Experimental Botany*, 153, 120–126.

**Thanh, N.; Puentes, V.; Tung, L.; Fernig, D. (2005).** Fifth international conference on fine particle magnetism. In *Journal of Physics: Conference Series*; IOP Publishing.

**Thiruvengkatachari, S., Saravanan, C. G., Geo, V. E., Vikneswaran, M., Udayakumar, R., & Aloui, F. (2021).** Experimental investigations on the production and testing of Azolla methyl esters from Azolla microphylla in a compression ignition engine. *Fuel*, 287, 119448.

**Thiruvengkatachari, S., Saravanan, C.G., Geo, V.E., Vikneswaran, M., Udayakumar, R., & Aloui, F. (2021).** Experimental investigations on the production and testing of Azolla methyl esters from Azolla microphylla in a compression ignition engine. *Fuel*, 287, 119448.

**Trada, N. N., & Malam, K. V. (2020).** Azolla (Aquatic Fern) as Bio Fertilizer (Eco-Friendly Agriculture) Article ID: AEN-2020-01-01-008

**Tusief, M.Q.; Malik, M.H.; Asghar, H.N.; Mohsin, M.; Mahmood, N. (2019).** Bioremediation of Textile Wastewater through Floating Treatment Wetland System. *Int. J. Agric. Biol*, 22, 821-826.

#### U

**Ungureanu, N., Vlăduț, V., Biris, S. S., & Zăbavă, B. S. (2019).** Microalgal systems for wastewater treatment. *Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences*, 12–15 June 2019, Lozenec, Bulgaria.

**UNIP : Union Nationale Interprofessionnelle Des Plantes Riches En Protéines. (2012).** Paris. Les atouts des protéagineux pour les systèmes de culture, l'élevage et l'environnement. [http://www.terresuniviva.fr/sites/default/files/Actus/Plaquette\\_proteagineux-1.pdf](http://www.terresuniviva.fr/sites/default/files/Actus/Plaquette_proteagineux-1.pdf) (consulté : 26.08.2020)

#### V

**Van Hove C., (1989).** Azolla and its multiples uses with emphasis on Africa. Rome, Italy: FAO.

**Vladimirova, I.N.; Georgiyants, V.A. (2014).** Biologically Active Compounds from *Lemna minor* S. F. Gray. *Pharm. Chem. J*, 47, 599–601

**Vymazal, J.; Březinová, T. (2016).** Accumulation of heavy metals in aboveground biomass of *Phragmites australis* in horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Chem. Eng. J*, 290, 232–242.

W

**Wadhwa, M.W.M. (2015).** Waste to worth: Fruit wastes and by-products as animal feed. *CAB Rev.* **2015**, *10*, 1–26.

**Wang, C.; Hu, X.; Chen, M.; Wu, Y. (2005).** Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants. *J. Hazard. Mater.*, *119*, 245-249.

**Yan, A.; Wang, Y.; Tan, S.N.; Mohd Yusof, M.L.; Ghosh, S.; Chen, Z. (2020).** Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Front. Plant Sci.*, *11*, 359.

**Yasar, A.; Zaheer, A.; Tabinda, A.B.; Khan, M.; Mahfooz, Y.; Rani, S.; Siddiqua, A. (2018).** Comparison of Reed and Water Lettuce in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water Environ. Res.*, *90*, 129–135.

Z

**Zajda, M., Aleksander-Kwaterczak, U. (2019).** Wastewater Treatment Methods for Effluents from the Confectionery Industry—An Overview. *J. Ecol. Eng.*, *20*, 293–304.

**Zhang, D.Q. ; Gersberg, R.M. ; Hua, T. ; Zhu, J. ; Goyal, M.K. ; Ng, W.J. ; Tan, S.K. (2013).** Fate of pharmaceutical compounds in hydroponic mesocosms planted with *Scirpus validus*. *Environ. Pollut* , *181*, 98–106

**Zhang, X.H.; Tapia, M.; Webb, J.B.; Huang, Y.H.; Miao, S. (2008).** Molecular signatures of two cattail species, *Typha domingensis* and *Typha latifolia* (Typhaceae), in South Florida. *Mol. Phylogenetics Evol* , *49*, 368–376.

# Listes des Annexes

**\*Annexe N° : 01 protocole de l'alimentation selon le guide Arbor Acres 2018**

Protocole de l'alimentation selon le guide de la souche utiliser pour notre expérience.

**Poulet de Chair ARBOR ACRES Plus Performance en Tout Venant**



Jour	Poids corporel (g) <sup>1</sup>	Gain poids vif / jour (g)	Moyenne gain de poids journalier/ semaine (g)	Consommation journalière (g)	Consommation cumulée (g) <sup>2</sup>	I.C. <sup>3</sup>	Jour	Poids corporel (g) <sup>1</sup>	Gain poids vif / jour (g)	Moyenne gain de poids journalier/ semaine (g)	Consommation journalière (g)	Consommation cumulée (g) <sup>2</sup>	I.C. <sup>3</sup>
0	42						36	2197	92		192	3545	1.614
1	55	13		14	14	0.251	37	2290	93		196	3741	1.634
2	70	15		17	31	0.441	38	2382	93		200	3941	1.654
3	87	17		20	51	0.588	39	2475	93		203	4145	1.675
4	106	20		24	75	0.701	40	2567	92		207	4352	1.695
5	129	22		27	102	0.790	41	2660	92		210	4562	1.715
6	154	25		31	132	0.861	42	2751	92	92.43	213	4775	1.735
7	182	28	19.94	35	167	0.920	43	2843	91		216	4991	1.756
8	213	31		39	206	0.968	44	2934	91		219	5210	1.776
9	247	34		43	249	1.009	45	3024	90		222	5432	1.796
10	284	37		48	297	1.045	46	3113	89		224	5656	1.817
11	325	41		53	350	1.077	47	3202	89		226	5882	1.837
12	369	44		58	408	1.105	48	3289	88		228	6110	1.858
13	417	47		64	472	1.132	49	3376	87	89.23	230	6340	1.878
14	467	51	40.84	69	541	1.157	50	3462	86		232	6571	1.898
15	521	54		75	616	1.180	51	3546	85		233	6804	1.919
16	579	57		81	696	1.203	52	3630	83		234	7039	1.939
17	639	60		87	783	1.225	53	3712	82		235	7274	1.959
18	703	63		93	876	1.247	54	3793	81		236	7510	1.980
19	769	66		99	975	1.268	55	3873	80		237	7747	2.000
20	838	69		105	1080	1.289	56	3951	78	82.12	237	7984	2.021
21	910	72	63.18	111	1191	1.310	57	4028	77		237	8221	2.041
22	984	74		118	1309	1.330	58	4103	75		238	8459	2.062
23	1061	77		124	1433	1.351	59	4177	74		237	8696	2.082
24	1140	79		130	1562	1.371	60	4249	72		237	8933	2.103
25	1220	81		136	1698	1.391	61	4319	70		237	9170	2.123
26	1303	83		142	1839	1.412	62	4388	69		236	9406	2.143
27	1388	84		147	1987	1.432	63	4455	67	72.02	235	9641	2.164
28	1474	86	80.54	153	2140	1.452	64	4520	65		234	9874	2.184
29	1561	87		158	2298	1.472	65	4584	63		232	10107	2.205
30	1649	89		164	2462	1.492	66	4645	62		231	10338	2.225
31	1739	90		169	2630	1.513	67	4705	60		229	10567	2.246
32	1829	90		174	2804	1.533	68	4762	58		227	10794	2.266
33	1921	91		179	2983	1.553	69	4818	56		225	11019	2.287
34	2012	92		183	3166	1.573	70	4872	54	59.56	223	11242	2.307
35	2104	92	90.13	188	3354	1.594							

<sup>1</sup>Poids Vif (non à jeun)

<sup>2</sup>Conso aliment par sujet présent

<sup>3</sup>L'indice de consommation comprend le poids corporel initial à la mise en place et ne tient pas compte de la mortalité

**Fiche de suivi d'un élevage de poulet de chair ARBOR ACRES :**

- Période du..... Au.....
- Numéro de la semaine.....
- Effectif en début de la semaine.....
- Additif alimentaire.....
- Nature de l'aliment.....
- L'âge des animaux.....

Jour de semaine	lundi	mardi	mercredi	Jeudi	vendredi	Samedi	Dimanche
Poids							
Qu. d'aliment distribué							
Qu. D'aliment rejeté							
Qu. D'aliment consommé							
Eau distribué							
Eau rejeté							
Eau bu							
Comportement							
Mortalité							
Température							
Humidité							
Durée d'éclairage							

### **\*Annexe N° 03 : protocole de la vaccination.**

Notre protocole de vaccination est soigneusement conçu pour assurer une administration efficace et sûre du vaccin aux poussins. Tout d'abord, nous avons initié le processus en exposant les poussins à une période de soif contrôlée, où une quantité limitée d'eau leur a été fournie. Cette mesure permet de s'assurer que les poussins sont assoiffés et plus susceptibles de consommer l'eau contenant le vaccin.

Ensuite, nous avons veillé à la propreté en effectuant un lavage minutieux du matériel utilisé, garantissant ainsi des conditions sanitaires optimales pour l'administration du vaccin. Le vaccin a ensuite été préparé en le mélangeant à de l'eau dans des seaux, contient environ 8 litre d'eau

L'étape cruciale du processus consiste à distribuer le vaccin aux poussins. Cela a été réalisé en ouvrant le flacon du vaccin et en l'immergeant dans l'eau préparée. Environ 1/2 litre de cette solution a ensuite été distribué aux poussins. Il est important de noter que cette étape doit être minutieusement contrôlée pour garantir que chaque poussin reçoive la dose nécessaire de vaccin.

Après l'administration du vaccin, nous avons surveillé attentivement les poussins pendant 45 minutes, en nous assurant qu'ils consomment le vaccin. Il est essentiel que tous les poussins aient accès au vaccin pour garantir une protection efficace.

Enfin, étant donné que le vaccin est de nature vivante, nous avons pris des mesures pour éliminer correctement le contenu de seaux, en creusant un trou et en y ajoutant de l'eau de javel pour désactiver tout virus résiduel.

Ce protocole rigoureux vise à assurer une vaccination réussie et à maintenir la santé des poussins tout en minimisant les risques pour l'environnement.



**Figure** : protocole du vaccin

**\*Annexe N° 04 : protocole de la MES**

**\* DETERMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION :**

**1- DOSAGE DE LA MATIERE EN SUSPENSION PAR CENTRIFUGATION :**

**APPAREILLAGES :**

- Balance de précision électronique (STATORIUS CP 224S OCE).
- Centrifugeuse (ALG)
- Etuve (MEMMERT)

**MODE OPERATOIRE :**

**CENTRIFUGATION DE L'ECHANTILLON :**

- Attendre que les échantillon sois à température ambiante.
- Homogénéisation le contenu du flacon par agitation.
- Introduire la totalité de l'échantillon dans le pot de la centrifugeuse (volume de 200ml)
- Centrifuger 20 minutes environ.
- Eliminer l'eau surnageant. Recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement sécher à 105°C et pesé.
- Rincer le pot de centrifugeuse deux fois avec de l'eau distillée et recueillir les eaux d'entraînement dans les capsule
- Sécher la capsule et son contenu à 105 °C.
- Laisser refroidir dans un dessiccateur
- Peser

- Renouveler ces opérations jusqu'à l'obtention d'un poids constante (la différence entre 02 pesés consécutives ne diffère pas plus de 0.5 mg)

**EXPRESSION DES RESULTATS :**

La calcul de la teneur en MES se fait à partir de l'expression suivante :

$$\text{MES} = (\text{M2} - \text{M1}) \cdot 1000/\text{VE}$$

**MES :** est la teneur en MES en mg /l.

**M2 :** est la masse de la capsule contenant l'échantillon après l'étuvage à 105°C.

**M1 :** est la masse de la capsule vide (en mg).

**VE :** le volume de l'échantillon introduire les pots de la centrifugeuse (en ml).

<b>*Annexe N° 05 : protocole de DCO</b>
---

**\* DETERMINATION DE LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE :**

**DOMAINE D'APPLICATION :**

- Cette norme est pour tous les eaux dont la DCO est compris entre 30mg /l et 700 mg/l.
- La concentration en chlorure ne doit pas dépasser 1000g/l

**PREPARATION DES REACTIFS :**

**ACIDE SULFURIQUE + SULFATE D'ARGENT :**

- Sulfate d'argent (Ag<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) .....10g.
- Acide sulfurique (H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) .....965ml.
- L'eau distillée .....35ml.

**DICHROMATE DE POTASSIUM (K<sub>2</sub>CRO<sub>7</sub>) = 0.040MOL/L :**

- Sulfate de mercure (HgSO<sub>4</sub>) .....80g.
- Acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) .....100ml.
- Dichromate de potassium séché à 105°C (20h) .....11.768g.
- L'eau distillée .....1000ml.

La solution est stable pendants au moins 01 mois

**SULFATE DE FER ET D'AMMONIUM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>), 6 H<sub>2</sub>O à 0.12mol / l :**

- Sulfate de fer (11) et d'ammonium ..... 47g.
- Acide sulfurique (d=1.84g/ml) .....20ml.

- L'eau distillée .....1000ml.

**HYDROGENOPHTALATE DE POTASSIUM (KC8H5O4) a 2.0824mmol/l :**

- Hydrogenophtalate de potassium séché à 105°C (2h) .....0.4251g.
- L'eau distillée (H2O) .....1000ml.

**FERROINE :**

- Sulfate de fer (2) et d'ammonium .....1g.
- Phénantroline -1, 10 monohydratée.....1.50g.
- L'eau distillée (H2O) .....100ml.

**ACIDE SULFURIQUE A 04 mol/l :**

- Acide sulfurique (d =1,84) .....220ml.
- L'eau distillée .....500ml.
- L'eau distillée ..... q s p1000ml.

**APPAREILLAGES :**

- Appareil à reflux : il est constitué d'un tube, surmonté d'un réfrigèrent
- Bloc chauffant
- Burette graduée

**METHODE INSTRUMENTALES :**

**Mode opératoire :**

**Préparation de l'essai :**

- avant le prélèvement de la pris d'essai, l'échantillon doit être homogénéisé par agitation du flacon

- dans un tube de DCO, introduire :

- 10ml d'eau à analyser (DCO) + 700mg /l, procéder à une dilution).
- 05ml de (K2Cr2O7).
- Ajoute quelque granuler régulateurs d'ébullition.
- Homogénéisé
- Ajouter lentement et avec précaution 15ml d'acide sulfurique plus le sulfate d'argent.
- Agiter le tube soigneusement
- Mettre le réfrigèrent et porter à l'ébullition 02 heur a une température de 150°C.

### Détermination de la DCO :

- Refroidissement, lavage des parois interne du réfrigèrent à l'eau distillée
- Sortir le réfrigérant, laisser refroidir
- Compléter à 70 ml, avec de l'eau distillée dans un bécher.
- Ajouter 1 à 2 gouttes de ferroïne.
- Titrer l'excès de  $K_2Cr_2O_7$  par la solution de sel de mohr (virage bleu – vert au brun-rouge) noter VECH.

### Essai à blanc :

- Introduire 10 ml d'eau distillée dans le tube à essai.
- suivre le même protocole que pour l'essai, V blanc.

### Essai témoin :

- Introduire 10ml de solution hydrogénéphthalate de potassium.
- suivre le même protocole.

**Remarque :** La DCO théorique de cette solution est de 500 mg /l, le protocole expérimental est satisfaisant si l'on obtient au moins 96%.

### Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium :

- Introduire 10ml de la solution de dichromate de potassium dans un bécher.
  - Ajouter 90ml de l'acide sulfurique 04mol/l.
  - Refroidissement
- suivre le même protocole que pour la détermination de la DCO.

### EXPRESSION DU RESULTAT :

La demande chimique en oxygéné, exprimée en mg d'O<sub>2</sub>/L est donnée par formule norme :

$$DCO = 8000T (V \text{ BLAN} - VECH) / P \text{ D'ESSAI}$$

8000 : est la masse molaire, en milligramme par litre de 1/2O<sub>2</sub>.

T : est la concentration en qualité de matière, exprime en mol /l, de la solution de sulfate de fer (2) et d'ammonium, calculez par la formule suivante :

$$T (10.0 * 0.04 * 6) / V \quad \text{titre} = 2,4 / V$$

**\*Annexe N° 04 : protocole de la DBO5**

**\*DETERMINATION DE LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE**

**INSTRUMENT NECESSAIRE :**

- Armoire thermostatique température 20° (modèle TS 606).
- Système de l'agitation à induction.
- Système de mesure Oxi Top.
- Flacon échantillon brun (volume nominal 510ml).
- Barreaux magnétique.
- Godet caoutchouc.

**REACTIFS**

Pastilles de soude (NaOH)

**METHODE INSTRUMENTALES :**

**MODE OPERATOIRE**

**Prise d'essai :**

Elle dépend à la charge de l'échantillon, celle –ci dépend de l'origine de l'échantillon industrielle ou urbaine, de la couleur de l'odeur et de la charge en matière en suspension.

**Sélection du volume de l'échantillon :**

- Estimer la valeur de DBO5 80% de la valeur DCO
- Vérifie la plage de mesure correspondante dans le tableau ci-dessous et calculer les valeurs correctes pour le volume de l'échantillon et le facteur

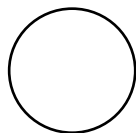
<b>Volume de l'échantillon (ml)</b>	<b>Plage de mesure ( mg /l )</b>	<b>Facteurs</b>
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43,5	0-2000	50
22.7	0-4000	100

**Remarque :**

- Avec une plage de mesure très haute (+ de 2000mg /l), il est recommandé de pré-diluer
- Des plages de Mesure trop large entraîneraient des résultats inexploitable

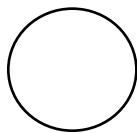
**MESURE :**

- Rincer le flacon avec de l'échantillon.
- Mesure exactement la quantité souhaitée d'échantillon saturé en oxygène (homogénéiser avec précaution).
- Mettre le barreau magnétique dans le flacon.
- Insérer le godet caoutchouc dans le goulot du flacon
- Mettre 02 pastilles de soude dans le godet caoutchouc à l'aide d'une pince.
- Visser l'Oxi Top directement sur le flacon échantillon (de manière étanche).



**S**

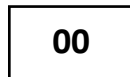
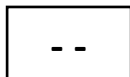
+



**M**

lancer la mesure :

- Appuyer sur S et M simultanément jusqu'à ce que l'afficheur indique 00



- Maintenir le flacon de mesure avec l'Oxi Top à 20°C pendant 05 jours (par ex dans un incubateur).
- L'échantillon est agité en continu pendant 05 jours pour connaître la valeur courante, appuyer sur la touche **M**.
- Lire les valeurs mémorisées à la fin des 05 jours

### Fiche d'analyse échantillon particulier

Date de prélèvement :

lieu de prélèvement :

Date d'analyse :

heure de prélèvement :

Paramètre	Unité	Résultats
Spécificité ( couleur , odeur ....)	/	
Température	°C	
PH	/	
Conductivité	Us/cm	
O2 dissous	mg /l	
MES	mg /l	m0
		V=
		M1=
		MES=
DCO	mg /l	VBLANC =
		V Echant=
		DCO=
DBO5	mg /l	
Sulfate	mg /l	

	DBO5	01	02	03	04	05	Résultat
DBO5=      v=      f=	Echant						