

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des sciences Agronomiques**  
**Département des Sciences Agronomiques**



## *Mémoire de fin d'étude*

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Agronomiques

**Spécialité : Production et Nutrition Animal**

**Recherche de ressources alternatives pour  
l'amélioration de l'alimentation animale : cas de  
l'azolla.**

Réalisé par :  
**Mr. SEMSOUM Nadir**

**Soutenu publiquement le : 13/07/2023**

**Devant le jury composé de :**

Président : **Mr Kadi S.A**

Promoteur: **Mr Mouhous A**

Examinatrice : **Mme Cherfaoui-Yami DJ**

Examinatrice : **Mme Zirmi-Zembri N.**

**Professeur UMMTO**

**Maître de conférence .A.UMM TO**

**Maitre de conférence. B.UMMTO**

**Docteur UMMTO**

*Promotion : 2022/2023*

## *Dédicaces*

*À tous ceux qui ont été présents dans ma vie, qui ont contribué à mon parcours et m'ont accompagné dans cette aventure académique, je dédie humblement ce mémoire de fin d'études.*

*À mes parents, qui m'ont donné la vie et ont été mes premiers enseignants, je vous suis éternellement reconnaissant pour votre amour inconditionnel et votre soutien sans faille. Votre dévouement et vos encouragements ont été la source de ma persévérance.*

*À ma mère, pilier de douceur et de bienveillance, vous m'avez transmis tant de valeurs essentielles. Votre présence réconfortante a été mon refuge dans les moments difficiles.*

*À mon père, modèle de force et de sagesse, votre détermination m'a toujours inspiré. Votre sagesse m'a guidé sur le chemin de la connaissance.*

*À mes sœurs Lamia et Kenza, complices de mes joies et confidentes de mes peines, notre lien indéfectible a rendu chaque épreuve plus légère.*

*À mon frère Yanis, avec qui j'ai partagé rires et complicité, votre présence a toujours été un réconfort précieux.*

*À mes grands-parents, grand-père et grand-mère, gardiens de la mémoire familiale, vous m'avez transmis l'héritage de notre passé, qui m'a enrichi et guidé dans ma quête de savoir.*

*À ma tante Sadia et Samia, vous avez été des figures bienveillantes et inspirantes dans ma vie. Vos encouragements et vos conseils avisés m'ont permis d'avancer avec confiance.*

*À mes amies Khadidja, Ghenima et Thilleli, qui ont partagé mes rires et mes espoirs, votre amitié sincère a rendu cette étape mémorable.*

*À mes amis Mounir, Boussad, Amir, Ali, Ammara, Lyas, Lyes, Boukhalefa, Amrane, Mehdi, Farid, Nazar, Akeli, Youva, ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent, votre présence dans ma vie a été un cadeau précieux.*

*À vous tous, qui avez joué un rôle dans ma vie et dans la réalisation de ce mémoire, je vous adresse ma profonde gratitude. Votre soutien indéfectible et votre amour ont été la clé de cette réussite.*

## *Remerciements*

Tout d'abord nous tenons à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la foi et la patience pour surpasser toutes les difficultés et réussir à accomplir ce modeste travail

Chers membres du jury, collègues, amis et proches,

Aujourd'hui, j'éprouve une profonde gratitude envers chacun d'entre vous, qui a joué un rôle déterminant dans la réalisation de mon mémoire de fin d'étude. Je tiens à vous exprimer mes remerciements les plus sincères.

Tout d'abord, je voudrais adresser mes remerciements les plus chaleureux à mon promoteur, Mr Mouhous A. maître de conférences « A » à l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Votre expertise, vos conseils avisés et votre disponibilité ont été essentiels pour guider mes recherches et donner à ce travail sa forme aboutie.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers Mr Kadi S.A professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de présider le jury, ainsi que Mme Cherfaoui et Mme Zirmi-Zembri N., examinatrices, pour l'attention bienveillante que vous avez portée à mon mémoire.

Un grand merci à Mme Kharoubi, chef de département des sciences agronomiques, pour votre appui constant et vos encouragements tout au long de la réalisation de ce mémoire. À mes amis Iyas Baikèche, Senoune Mounir, Nait Mohend Amir, et Khadidja, je vous suis infiniment reconnaissant pour vos encouragements et votre aide précieuse. Votre présence et vos encouragements m'ont donné la force de persévérer dans les moments difficiles.

Un merci spécial à Khedidja Benahmed, qui n'a cessé de m'encourager, de me rappeler d'avoir confiance en moi-même et de me rassurer que ce travail serait réalisé et finalisé à temps. Votre soutien sans faille a été un véritable moteur dans cette aventure académique.

À mes amies Amina, Ghenima, Thileli et Nedjema, votre amitié sincère a été une source de réconfort et de motivation tout au long de cette période intense. Vos encouragements ont rendu ce chemin encore plus mémorable.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à tous les membres de la promotion, ainsi qu'à tous ceux qui m'ont encouragé dans cette aventure. Vos mots d'encouragement ont été une source d'inspiration et m'ont donné la force de surmonter les défis.

# *Table des matières*

## Listes des abréviations

<b>Introduction générale .....</b>	<b>01</b>
------------------------------------	-----------

<b>I. Ressources alternatives pour l'alimentation animale.....</b>	<b>03</b>
I.1 Les ressources alternatives utilisé en alimentation animale.....	03
I.2 Les ressources végétales .....	03
<b>I.2.1 Les graines de tournesol.....</b>	<b>03</b>
<b>I.2.2 Les graines de colza.....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.3 Les graines de lin .....</b>	<b>5</b>
<b>I.2.4 Le pois.....</b>	<b>7</b>
<b>I.2.5 L'haricot .....</b>	<b>7</b>
<b>I.2.6 La féverole.....</b>	<b>9</b>
<b>I.2.7 Le Sulla.....</b>	<b>9</b>
<b>I.2.8 Le moringa .....</b>	<b>10</b>
I.3 Les sous-produits de palmier dattier.....	12
I.4 Les déchets alimentaires .....	12
<b>I.4.1 Les restes de fruits et légumes .....</b>	<b>13</b>
<b>I.4.2 Les déchets de boulangerie .....</b>	<b>14</b>
I.5 Drêche de brasserie.....	16
I.6 Les grignons olive .....	18
I.7 Les insectes.....	20
<b>I.7.1 Les larves de mouche soldat noir .....</b>	<b>20</b>
<b>I.7.2 Les criquets .....</b>	<b>22</b>
<b>I.7.3 Vers de farine .....</b>	<b>24</b>
<b>I.7.4 Les vers a soie .....</b>	<b>25</b>
I.8 Les micro-organismes.....	26
<b>I.8.1 La levure de bière .....</b>	<b>26</b>
I.9 Les plantes aquatiques flottantes.....	27
<b>I.9.1 Les microalgues .....</b>	<b>27</b>

<b>I.9.2</b>	<b>La jacinthe d'eau</b> .....	28
<b>I.9.3</b>	<b>Les épinards d'eau</b> .....	28
<b>II.</b>	<b>Chapitre : Caractéristiques et exigence de culture de l'azolla</b> .....	30
II.1	Généralités sur l'azolla.....	30
II.1.1	<b>La classification de l'azolla</b> .....	30
II.1.2	<b>Histoire et répartition de l'azolla dans le monde</b> .....	31
II.1.3	<b>Les différentes variétés de l'azolla</b> .....	31
II.1.4	<b>La Morphologie de l'azolla</b> .....	32
II.1.5	<b>Le type de reproduction de l'azolla</b> .....	35
II.1.6	<b>La Composition chimique de l'azolla</b> .....	36
II.1.7	<b>Les propriétés de l'azolla</b> .....	38
II.2	Physiologie environnementale de l'azolla .....	39
II.2.1	<b>Besoin en eau</b> .....	39
II.2.2	<b>Taux d'humidité</b> .....	39
II.2.3	<b>La salinité</b> .....	40
II.2.4	<b>Température</b> .....	40
II.2.5	<b>La lumière</b> .....	40
II.2.6	<b>Le PH</b> .....	40
II.2.7	<b>Les besoins nutritionnels de l'azolla</b> .....	40
II.3	Procédé de culture de l'azolla .....	41
II.3.1	<b>Création du bassin</b> .....	41
II.3.2	<b>Préparation du sol</b> .....	41
II.3.3	<b>Ajout de bouse de vache</b> .....	41
II.3.4	<b>Remplissage du bassin</b> .....	41
II.3.5	<b>Plantation de l'azolla</b> .....	41
II.3.6	<b>Apport d'éléments nutritifs pour le maintien du rendement</b> .....	41
II.3.7	<b>La récolte de l'azolla</b> .....	42
II.4	Les différentes formes de présentation de l'azolla.....	42
II.4.1	<b>L'azolla fraîche</b> .....	42
II.4.2	<b>L'azolla ensilé</b> .....	42
II.4.3	<b>L'azolla séché</b> .....	42
<b>III.</b>	<b>Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie.</b> .....	44
III.1	Utilisation de l'azolla dans l'alimentation animale .....	44
III.1.1	<b>L'utilisation de l'azolla dans l'alimentation des poissons</b> .....	44
III.1.2	<b>Utilisation de l'azolla dans l'alimentation de la volaille</b> .....	45
III.1.3	<b>Utilisation de l'azolla dans le système riz-poisson azolla</b> .....	46

<b>III.1.4</b>	<b>Utilisation de l'azolla chez les lapins</b> .....	47
III.2	Avantages liés a la plante .....	47
<b>III.2.1</b>	<b>Bénéfices économiques et écologique</b> .....	48
<b>IV.</b>	<b>Chapitre : Matériel et méthode</b> .....	51
IV.1	Introduction.....	51
IV.2	L'emplacement géographique des lieux : .....	51
IV.3	Aperçu global sur la situation météorologique durant l'étude .....	53
IV.4	Duré de l'étude .....	53
IV.5	Le matériel utilisé .....	53
<b>IV.5.1</b>	<b>Le matériel utilisé pour concevoir les bassins</b> .....	53
<b>IV.5.2</b>	<b>Le matériel requis pour réaliser un système de photosynthèse :</b> .....	54
<b>IV.5.3</b>	<b>Le matériel de mesure</b> .....	54
<b>IV.5.4</b>	<b>Le matériel végétal</b> .....	55
IV.6	La construction et dimensions des bassins .....	56
<b>IV.6.1</b>	<b>Le bassin en plein aire</b> .....	56
<b>IV.6.2</b>	<b>Les bassins de l'laboratoire</b> .....	58
IV.7	La mise en place des conditions de culture.....	59
IV.8	La plantation de l'azolla .....	65
IV.9	Les suivis effectuer durant l'étude.....	66
IV.10	Les mesures effectuer durant l'étude.....	66
<b>V.</b>	<b>Résultats et discussion</b> .....	68
V.1	Introduction.....	68
V.2	Évaluation des paramètres de suivi (la température de l'eau, de l'air, le taux d'humidité et le pH de l'eau).....	68
<b>V.2.1</b>	<b>Bassin en plein air</b> .....	68
<b>V.2.2</b>	<b>Bassins de laboratoire :</b> .....	71
V.3	Observation de l'évolution de la plante au fil du temps :.....	73
<b>V.3.1</b>	<b>Etat des racines :</b> .....	73
<b>V.3.2</b>	<b>Etat des des feuilles</b> .....	75
<b>V.3.3</b>	<b>Développement de la plante</b> .....	76
V.4	Récolte et rendement.....	79
V.5	Identification des problèmes rencontrés durant l'expérience .....	82
V.6	Hypothèses .....	82
<b>V.6.1</b>	<b>Vérification des hypothèses</b> .....	82
V.7	Suivi des échantillons .....	85
<b>V.7.1</b>	<b>Echantillon 1 (D1)</b> .....	85

<b>V.7.2</b>	<b>Echantillon 2 (D2)</b> .....	86
<b>V.7.3</b>	<b>Echantillon 3 (E)</b> .....	87
<b>V.7.4</b>	<b>Echantillon 4 (F)</b> .....	89
V.8	Analyse statistique.....	90
V.9	Interprétation des résultats de test de student.....	93
V.10	Solutions aux problèmes rencontrés.....	94
V.11	Suggestions pour améliorer la culture de l'azolla.....	96

## **Conclusion générale**

## **Les références bibliographiques**

## **Annexe**

## **Résumé**

## Liste des abréviations

**ADF** : Acid Detergent Fiber.

**°C** : Degré Celcius.

**Ca** : Calcium.

**EE** : Extrait Ethéré.

**FB** : Fibres Brutes.

**Fe** : Fer.

**GMQ** : Gain Moyen Quotidien.

**L** : Litres.

**K** : Potassium.

**MAT** : Matières Azotées Totales.

**Mg** : Magnésium.

**MJ** : Mégajoule.

**Mn** : Manganèse.

**Mo** : Molybdène.

**MS** : Matière Sèche.

**NH<sub>3</sub>** : Ammoniac.

**NDF** : Neutral Detergent Fiber.

**P** : Phosphore.

**PB** : Protéines Brutes.

**PDIE** : Protéines Digestibles Dans l'Intestin quand l'énergie est le facteur limitant.

**PDIN** : Protéines Digestibles Dans l'Intestin quand l'azote est le facteur limitant.

**pH** : Potentiel hydrogène.

**SSP** : Superphosphate simple.

**TDN** : Total des nutriments digestibles.

**UFL** : Unité Fourragère Lait. **UFV** : Unité Fourragère Viande.

## Introduction générale

L'élevage joue un rôle essentiel dans l'alimentation humaine ; cependant, il est actuellement soumis à des controverses en raison de la croissance démographique et de la demande alimentaire croissante à l'échelle mondiale. Cette situation engendre une compétition entre les ressources agricoles destinées à nourrir la population humaine et celles réservées aux animaux (Laisse et *al.*, 2019).

Face à ce défi, l'utilisation d'aliments locaux non conventionnels se présente comme une solution endogène pour réduire les coûts d'alimentation animale sans compromettre la productivité des élevages (Geoffroy et *al.*, 1991). Il s'agit notamment d'intégrer certaines graines, feuilles, déchets alimentaires et insectes, qui n'entrent pas en concurrence avec l'alimentation humaine (Dahouda et *al.*, 2009).

Dans cette perspective, l'*Azolla*, une plante aquatique symbiotique associée à une algue fixatrice d'azote, se présente comme une alternative prometteuse. Dotée d'une richesse protéique économiquement avantageuse, elle peut servir d'aliment complémentaire pour divers animaux, améliorant ainsi le régime des ruminants tels que les vaches et les moutons, tout en favorisant la croissance et le développement de la volaille, des porcs et des poissons (Ouedraogo et *al.*, 2021).

De plus, la culture de l'*Azolla* n'entre pas en concurrence avec la production alimentaire humaine, en faisant ainsi un aliment durable pour les animaux et permettant de satisfaire la demande croissante en aliments pour animaux sans compromettre la sécurité alimentaire des êtres humains (Geoffroy et *al.*, 1991).

Dans cette optique, cette étude se propose d'explorer le potentiel de l'*Azolla* en tant que ressource alimentaire alternative pour l'élevage. En combinant des observations en milieu naturel et des expérimentations en laboratoire, nous chercherons à mieux comprendre son comportement, sa multiplication et les conditions optimales de sa culture. En mettant l'accent sur l'efficacité de la photosynthèse, nous visons à maximiser sa croissance tout en préservant les ressources en eau.

Ainsi, cette recherche vise à apporter des solutions concrètes aux problèmes rencontrés lors de l'étude de l'*Azolla*, ouvrant la voie à des applications pratiques et pertinentes dans le cadre de futurs travaux de recherche. Les recommandations formulées permettront d'optimiser la

culture de l'Azolla en tenant compte de la gestion de l'eau, favorisant ainsi une approche durable et efficace .

## I. Ressources alternatives pour l'alimentation animale

### I.1 Les ressources alternatives utilisé en alimentation animale

Dans un monde en constante évolution, les ressources alternatives se positionnent comme une solution prometteuse pour répondre aux défis de l'alimentation animale, offrant de nouvelles opportunités durables et respectueuses de l'environnement.

### I.2 Les ressources végétales

Les ressources végétales se démarquent par leur capacité à fournir des nutriments essentiels aux animaux tout en réduisant l'empreinte écologique de l'industrie de l'élevage, en remplaçant les ingrédients traditionnels tels que les céréales par des sources végétales telles que les légumineuses, les graines et les sous-produits de l'agriculture.

#### I.2.1 Les graines de tournesol

Les graines de tournesol (fig.1) ont une forte proportion d'huile dans leur matière sèche, d'environ 50 %. Elles contiennent également des protéines (14-20 %) et des fibres, avec une teneur en NDF (fibres neutres détergentes) de 18-34 %, en ADF (fibres acides détergentes) de 15-25 % et en lignine de 5-8 % (Grompone.,2005). Ces graines sont utilisées comme aliment pour les ruminants tels que les vaches, les brebis, les chèvres, les bouvillons et les moutons. (Yin FuQuan et *al.*, 2009) Les graines de tournesol favorisent l'activité bactérienne du rumen, car elles réduisent la population de protozoaires du rumen, qui se nourrissent des bactéries du rumen. Cela entraîne une augmentation du nombre total de bactéries présentes et du flux d'acides aminés bactériens (Ivan et *al.*, 2004).



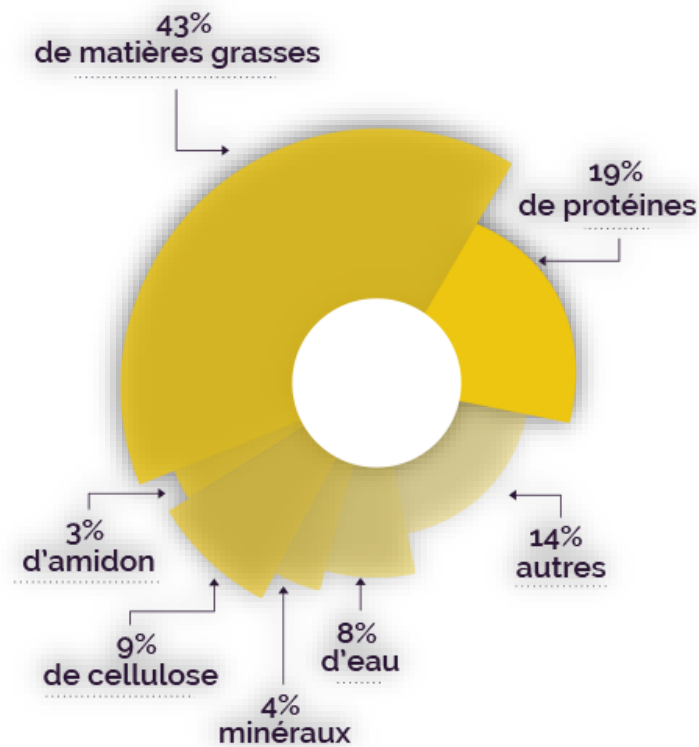
**Figure 1.** Graines de tournesol (Heuzé V et *al.*, 2015)

### I.2.2 Les graines de colza

Les graines de colza (Fig.2), provenant d'une plante oléagineuse qui se classe au troisième rang mondial, présentent une composition chimique très intéressante (Fig.3). Le rendement en huile varie généralement de 38 % à 44 %, en fonction du procédé d'extraction et de la variété utilisée. La protéine dérivée des graines de colza possède un profil d'acides aminés supérieur à celui des céréales. Le tourteau, qui est le résidu obtenu après l'extraction de l'huile par pression, ainsi que la farine obtenue, sont principalement destinés à l'alimentation des animaux d'élevage (Nega & Woldes, 2018).



**Figure 2 .** Graines de colza (Saipol., (s.d ))



**Figure 3.** Composition chimique de graine de colza ( source : feedbase )

### I.2.3 Les graines de lin

Les graines de lin (fig.4), riches en protéines (20-28% de matière sèche) et en huile (31-43% de matière sèche)(fig.5), sont utilisées comme source d'énergie et de protéines pour les animaux d'élevage. Les monogastriques rencontrent des limites en raison de la teneur en fibres et de la résistance de l'enveloppe des graines. Malgré la présence de substances antinutritionnelles, les graines de lin se distinguent en tant que principale source d'acides gras oméga-3 parmi les oléagineux. L'huile de lin contient généralement 45-60% d'acide alpha-linolénique, avec une variation allant jusqu'à 72% selon les variétés (Przybylski, 2005).

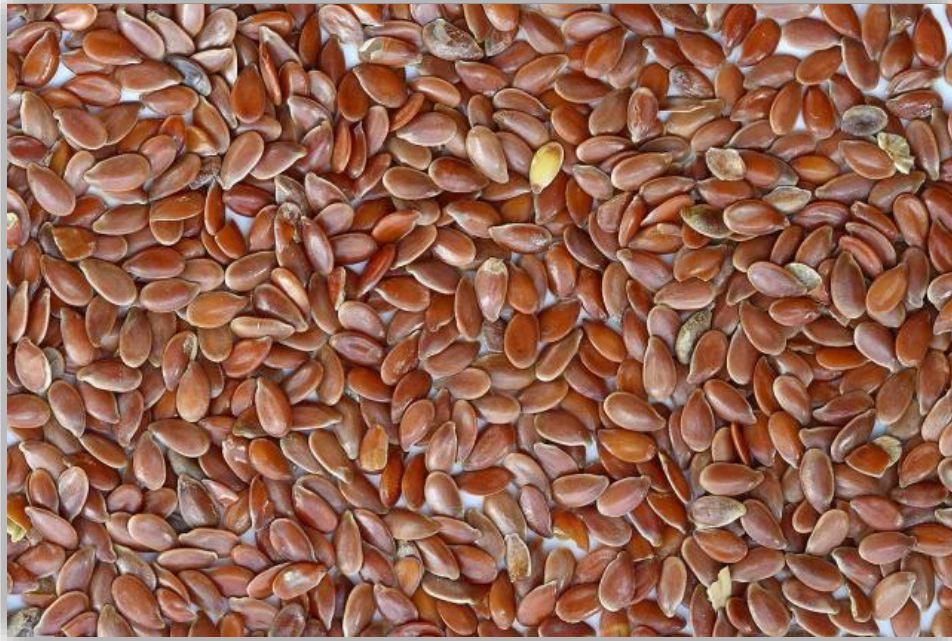


Figure 4. Graines de lin .( crédit : Sanjay Acharya)

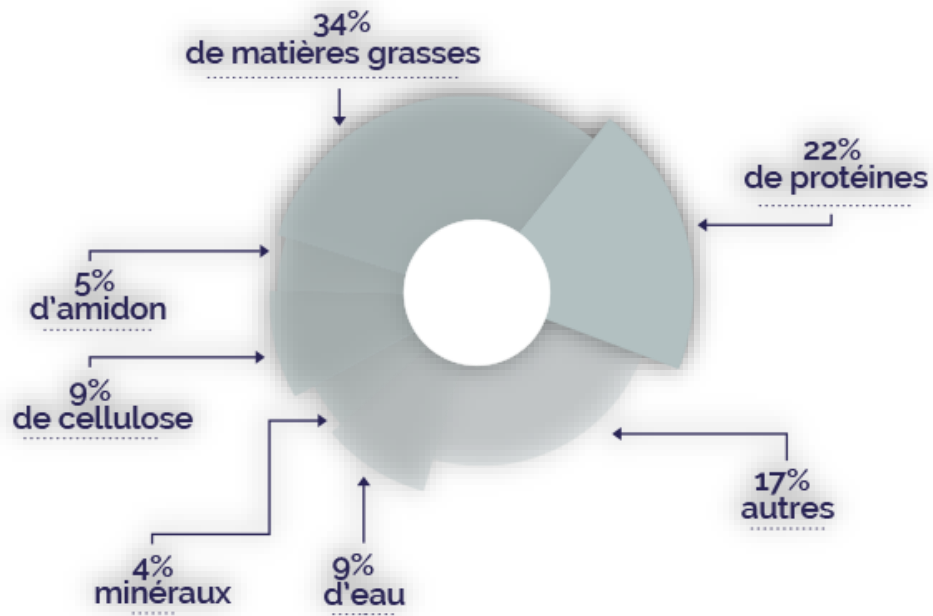


Figure 5 . Composition chimique de la graine de lin. (source : feedbase )

### I.2.4 Le pois

D'après Muehlbauer et al ( 1997 ) Parmi les légumineuses, les pois (*Pisum sativum* L.)(fig.6) occupent la quatrième place en termes d'importance après le soja, la cacahuète et les fèves. Ils peuvent être cultivés jusqu'à 1000 m d'altitude dans les régions équatoriales et jusqu'à 1800-3000 m en Ethiopie (Messiaen et al., 2006). Les pois sont très appréciés des ruminants et peuvent représenter jusqu'à 25% des concentrés dans l'alimentation des vaches laitières (Anderson et al., 2002). Leur faible vitesse de dégradation de l'amidon (4 à 6 %/heure) réduit le risque d'acidose comparé aux céréales comme l'orge (Valentine et *al.*, 1987).



**Figure 6 .** Graines de pois ( Heuzé V et *al.*,2017 )

### I.2.5 L'haricot

L'haricot ( fig.7 ) commun est une source essentielle de protéines, minéraux (fer, zinc) et vitamines pour les populations humaines (Beebe et *al.*, 2000). Ses résidus (gousses, paille) sont utilisés comme fourrage (Wortmann, 2006; CNC, 2004). L'association avec des céréales augmente la teneur en protéines du silo (Linn et *al.*, 2002). Les vignes du haricot commun ( fig.8) sont appréciées des jeunes lapins (Harris et *al.*, 1983). La paille peut être incorporée à hauteur de 30 à 40% dans l'alimentation des lapins en toute sécurité (Gippert et *al.*, 1988).



**Figure 7.** Graines de L'haricot commun ( *Phaseolus vulgaris* ) ( Heuzé et *al.*,2015)



**Figure 8.** la plante de l'haricot commun ( *Phaseolus vulgaris* ) ( Heuzé et *al.*,2015)

### I.2.6 La féverole

La féverole (fig.9) est une culture polyvalente utilisée pour l'alimentation et le fourrage (Prolea, 2014). Son fourrage frais est de haute qualité avec une proportion de protéines variant de 14% à plus de 20% de la matière sèche (Alibes et *al.*, 1990). Les graines de féverole sont riches en protéines (25-33% de matière sèche) et en amidon (40-48% de matière sèche), constituant ainsi une importante source de protéines et d'énergie pour le bétail (Blair, 2007). Elles sont hautement digestibles chez les ruminants (Abreu et *al.*, 1998; Micek et *al.*, 2012; INRA, 2007). Pour les lapins, un supplément végétal à base de céréales et de luzerne est recommandé (Berchiche et Lebas, 1994).



**Figure 9.** Fleur et graines de féverole ( *vicia faba*) ( Heuzé et *al.* ,2021 )

### I.2.7 Le Sulla

Le Sulla (*Hedysarum flexuosum* L., syn. *Sulla flexuosa*) ( fig.10) .originare de la région méditerranéenne occidentale et de l'Afrique du Nord fait partie de ces ressources locales intéressantes (Issolah et *al.*, 2012). Le Sulla est un fourrage de haute qualité pour les ruminants. En Australie, il est considéré comme idéal pour la finition des agneaux de première qualité ou des bovins de boucherie en raison de ses taux de croissance améliorés. Sulla a la capacité d'augmenter la production de lait chez les vaches laitières (de Koning et *al.*, 2010). Dans une étude sur ce fourrage au stade de la floraison et à l'état de foin, réalisé par Kadi et al. (2011) ont estimé sa valeur nutritive par la méthode de régression, avec une teneur en énergie digestible (ED) de 8,9 MJ/kg MS et une teneur en protéines brutes digestibles (PBD) de 71,1 g PBD/kg MS. En raison de sa composition chimique relativement équilibrée par

rapport aux niveaux d'ED et de PBD . . La composition de ces fourrages est davantage affectée par le stade végétatif à la récolte que par les espèces végétales (Kadi, 2012).



**Figure10.** le sulla (*Hedysarum flexuosum* L) ( Teline. (s.d.))

### I.2.8 Le moringa

Le moringa est un arbre tropical précieux, se propageant facilement et nécessitant peu de nutriments et d'eau après la plantation (Foidl et *al.*, 2001). Les feuilles de moringa (fig.11) favorisent la synthèse des protéines microbiennes dans le rumen en raison de leur teneur élevée en azote et en énergie fermentescible (Soliva et *al.*, 2005). Des études ont montré que les feuilles de moringa peuvent entièrement remplacer le tourteau de coton dans l'alimentation des agneaux, améliorant la consommation de foin, la digestibilité de la matière sèche et le gain de poids (Murro et *al.*, 2003). De plus, le tourteau de graines de moringa peut être une meilleure source de protéines digestibles que les feuilles (Kakengi et *al.*, 2005). La composition chimique des poudres de feuilles de *Moringa oleifera* (tableau.1) varie selon l'âge de l'arbre, avec des différences dans les niveaux de cendres, de phosphore, de lipides, de sucres, de fer, de polyphénols, de phytates, de fibres brutes et de protéines totales (Noumo Ngangmou, 2011).

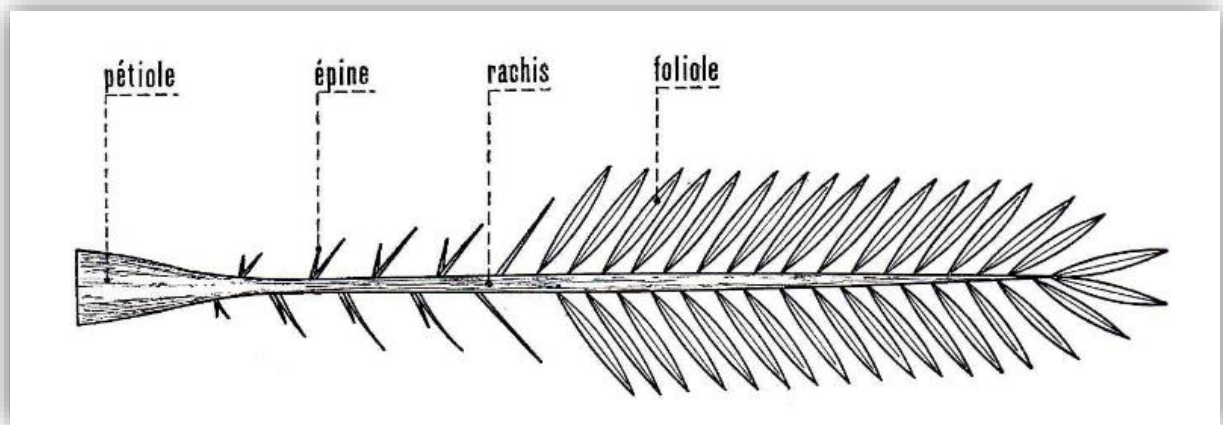
**Tableau 1:** Composition chimique des poudres de feuilles de *Moringa oleifera* (Noumo Ngangmou, 2011)

	Âgées (7mois)	Jeunes ( 1 mois )
<b>Matière sèche (%)</b>	94,85±0,35	94,42±0,59
<b>Cendre (g/100gMS)</b>	13,67 ± 0,33	12,68±0,51
<b>Phosphore (mg/100gMS)</b>	17,18±0,71	26,57±1,11
<b>Lipides (g/100gMS)</b>	16,09±0,52	9,34±0,67
<b>Sucres réducteurs (g/100gMS)</b>	4,35±0,02	3,73±0,32
<b>Sucres disponibles (g/100gMS)</b>	13,02±0,79	13,62±0,54
<b>Fer (mg/100gMS)</b>	20,34±0,65	33,68±1,22
<b>Polyphénols (g/100gMS)</b>	0,92±0,18	3,75±0,84
<b>Phytates (mg/100gMS)</b>	699,42±13,25	1182,25±21,69
<b>Fibres brutes (g/100gMS)</b>	11,63±0,84	13,02±0,66
<b>Protéines totales (g/100gMS)</b>	35,62±2,84	39,59±2,43

**Figure 11.** Feuilles et graines de moringa ( Heuzé V et *al.* ,2019 )

### I.3 Les sous-produits de palmier dattier

La production de dattes engendre divers résidus agricoles tels que les feuilles de palmier dattier (frondes) ( fig.12) , les pétioles de feuilles, les grappes (sans les dattes) et les pédicelles. Ces sous-produits, souvent utilisés comme alimentation animale en hiver, peuvent être exploités toute l'année (Genin et *al.*, 2004). Les feuilles de dattes ont généralement une faible teneur en protéines brutes (environ 5-7 % de MS) (Arhab et *al.*, 2006). Les graines de dattes ont également une faible teneur en protéines brutes (5-10 % de MS) et contiennent de l'huile (4-14 %) (Arhab et *al.*, 2006). Les noyaux de dattes sont riches en lignine (16-51 % cellulose brute, 58-90 % NDF, 41-46 % ADF et 4-18 % ADL) (Boudechiche et *al.*, 2009).



**Figure 12.** Schémas de feuille de palmier dattier ( Boukhatem.,2017).

### I.4 Les déchets alimentaires

Les déchets alimentaires sont des produits issus du secteur alimentaire qui ne sont pas destinés à la consommation humaine, mais qui peuvent être valorisés en alimentation animale. Cette valorisation présente plusieurs avantages, tant sur le plan économique qu'environnemental. En effet, elle contribue à diversifier et à enrichir la ration alimentaire des animaux, en leur apportant des fibres, des protéines, des glucides, des lipides, des vitamines, des minéraux et des antioxydants.

### I.4.1 Les restes de fruits et légumes

Les déchets issus de fruits et légumes sont variés et peuvent être utilisés de manière bénéfique. Par exemple, les épluchures de banane (fig. 13) peuvent être incorporées dans la ration des vaches laitières à des taux allant de 15 % à 30 % sans compromettre leur digestibilité ni leur productivité . De plus, les fanes de carotte (fig.14), qui contiennent environ 11-12 % de protéines brutes, 17 % de fibres brutes et jusqu'à 18 % de cendres en raison de la présence de saleté résiduelle, peuvent être utilisées de manière avantageuse. Par exemple, l'ajout de foin de fanes de carotte pour remplacer 50 % du foin de berseem dans l'alimentation des moutons Rahmani a démontré une amélioration de la digestibilité des nutriments (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013).



**Figure 13 .** épluchures de bananes (Plumeti., 2021)



**Figure 14.** Fanes de carotte ( iStock.,s.d.)

#### **I.4.2 Les déchets de boulangerie**

Les déchets de boulangerie (fig.15), provenant de l'industrie de la boulangerie et de la viennoiserie (croissants, brioches, gâteaux, pâtes, tartes ou quiches), qu'ils soient crus ou cuits, sont des produits recyclés (Simpson, 2012). Dans le contexte de l'alimentation des ruminants, il est généralement possible d'inclure jusqu'à 30 % de déchets de boulangerie sans compromettre les performances. Cependant, ce pourcentage dépend de la quantité de fibres présente dans l'alimentation de base et de la composition spécifique des déchets de boulangerie utilisés. Il convient de noter que les déchets de boulangerie présentent une digestibilité élevée de la matière organique (96 % chez les ovins) (DePeters et *al.*, 1997). Dans le cas des régimes équilibrés pour les lapins, les déchets de pain peuvent constituer un substitut complet aux céréales, avec des avantages économiques significatifs (Al-Shami et *al.*, 2009).



**Figure 15.** Pains et produits de boulangerie (Heuzé V et *al.*,2018)

### I.5 Drêche de brasserie

La drêche de brasserie (fig.16) est un sous-produit très variable dont la valeur nutritionnelle (tableau 2) et la composition chimique (tableau 3) dépendent de la céréale utilisée. Il a été constaté que les drêches de brasserie séchées remplaçaient avec succès une partie du fourrage dans l'alimentation (Younker et al., 1998 ). Les valeurs de digestibilité des MO trouvées dans la littérature sont variables et vont de 55 à 75 %. Les tables d'alimentation de différentes régions rapportent des digestibilités de MO de 59 % à 67 % (Sauvant et al., 2004 ; Beyer et al., 2003). Des taux d'inclusion aussi élevés que 40 % ont été jugés acceptables (Ewing, 1997).



**Figure 16.** drêche de brasserie Frêche ( heuzé et al.,2017)

**Tableau 2.** Valeurs nutritionnelles de drêche de brasserie d'orge déshydraté (/kg MS) (Margaron, s.d.)

UFL	UFV	PDIN	PDIE	PDIA
<b>0,92</b>	0,84	185-223 g	157-189 g	130-156 g

**Tableau 3.** Composition chimique de drêche de brasserie d'orge déhysétraté. (Margaron, s.d.)

<b>Analyse principale</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur</b>
<b>Matière sèche</b>	%	96,1
<b>Matière organique</b>	% MS	96,1
<b>Matière azotée totale</b>	% MS	24,1
<b>Cellulose brute</b>	% MS	15,3
<b>Matières grasses</b>	% MS	6,7
<b>Matières minérales</b>	% MS	3,9
<b>Extractif non azoté</b>	% MS	50
<b>Energie brute</b>	kcal/kg MS	4500
<b>Energie métabolisable</b>	kcal/kg MS	3612
<b>Lysine</b>	g/100g d'aliment	3,2
<b>Méthionine</b>	g/100g d'aliment	1,5
<b>Cystine</b>	g/100g d'aliment	1,7

### I.6 Les grignons olive

Les grignons d'olive (fig.17) sont des sous-produits industriels issus de l'extraction d'huile d'olives broyées, obtenue par pression ou centrifugation. Leur composition chimique varie en termes de matière sèche, cendre totale, MAT, matière grasse et cellulose brute (tableau.4). Molina Alcaide et *al.* (2008) indiquent que le tourteau d'olive n'est pas appétissant pour les ruminants, mais il peut être mélangé à d'autres aliments. Cependant, il a un effet positif sur la production laitière et la teneur en matière grasse du lait chez les vaches et les brebis. Les poules pondeuses nourries avec 9,5 % de grignons d'olive dans leur alimentation ont produit un nombre et une qualité d'œufs similaires à ceux des poules alimentées au maïs (Al-Shanti et *al.*, 2003).



**Figure 17.** Grignons d'olive (Jour de Cueillette.,s.d.).

**Tableau4.** Composition chimique de différents types de grignons (en % par rapport à la matière sèche) (Nefzaoui, 1985).

Type de grignon	Brut	Épuisé non tamisé	Tamisé gras	Épuisé tamisé
<b>Matière sèche</b>	69,8 – 95,0	86,0 – 95,0	89,0 – 94,08	88,2 – 90,5
<b>Cendres totales</b>	3,4 – 14,7	5,8 – 9,3	10,3 – 25,3	11,0 – 22,3
<b>MAT</b>	5,0 – 10,3	12,4 – 16,2	6,8 – 9,0	2,0 – 6,5
<b>Matière grasse</b>	3 – 12,6	1,1 – 7,4	6,9 – 15,0	2,0-6,5
<b>Cellulose brute</b>	32,0 – 47,5	32,6-53,3	12,0 – 33,5	14,5 – 23,3

**I.7 Les insectes**

Les insectes sont une nouvelle alternative pour la production de protéines de haute qualité pour l'alimentation humaine et animale. Ils présentent de nombreux avantages environnementaux, comme la valorisation des déchets organiques, la réduction des émissions de gaz à effet de serre .

**I.7.1 Les larves de mouche soldat noir**

D'après Newton et al. (1977), les larves de la mouche soldat noire (fig.18) sont une source d'alimentation de grande valeur, riche en protéines et en matières grasses (tableau 5). Elles contiennent environ 40 à 44 % de protéines sur matière sèche (MS) et sont aussi riches en calcium (5-8% MS) et en phosphore (0,6-1,5% MS). Il a été constaté que la farine de larves de mouches soldats noires favorise une bonne croissance des poussins (Hale, 1973).



**Figure18.** Les larves de la mouche soldat noir (Tarn G et al ., 2015)

**Tableau 5.** Composition chimique de larves soldats noir utilisées en alimentation animale.  
(Feedtables.,2021)

<b>Composition chimique</b>	<b>Valeur moyenne</b>
<b>Matière sèche (%)</b>	92,0
<b>Protéines brutes (%)</b>	46,0
<b>Matières grasses (%)</b>	14,0
<b>Cendres brutes (%)</b>	5,0
<b>Calcium (%)</b>	0,8
<b>Phosphore (%)</b>	0,6
<b>Lysine (%)</b>	2,6
<b>Méthionine (%)</b>	0,8

### I.7.2 Les criquets

Les criquets (fig.19) sont des insectes orthoptères qui se nourrissent de feuilles de plantes. Grâce à leur composition chimique riche (tableau 6), les criquets peuvent être utilisés comme aliment pour les animaux d'élevage tels que les volailles, les porcs, les poissons et les ruminants. Par exemple, la farine de criquets migrateurs (*Locusta migratoria*) a remplacé jusqu'à 25 % de la farine de poisson dans l'alimentation des alevins de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) sans effet néfaste sur la digestibilité des nutriments, les performances de croissance et les paramètres hématologiques (Abanikannda, 2012; Emehinaiye, 2012).



**Figure19.** Criquet pèlerin (*schistocerca gregaria*) ( heuzé V et al ., 2022 )

**Tableau 6.** Composition chimique des criquets utilisés en alimentation animale (Hemsted, WRT, 1947.)

<b>Composant</b>	<b>Quantité pour 100 g de criquets</b>
<b>Eau</b>	62,4 g
<b>Protéines</b>	20,6 g
<b>Lipides</b>	6,1 g
<b>Cendres</b>	1,3 g
<b>Fibres</b>	3,9 g
<b>Glucides</b>	5,7 g
<b>Énergie</b>	121 kcal
<b>Calcium</b>	35,7 mg
<b>Phosphore</b>	238 mg
<b>Fer</b>	8,0 mg
<b>Thiamine</b>	0,05 mg
<b>Riboflavine</b>	0,23 mg
<b>Niacine</b>	2,2 mg

### I.7.3 Vers de farine

Les vers de farine (fig.20) sont des organismes faciles à élever et à nourrir, et leur profil protéique est considéré comme précieux (tableau 7). Selon des études menées par Aguilar-Miranda et al. (2002) et Klasing et al. (2000), ils peuvent être alimentés vivants, mais sont également disponibles sous forme de conserve, séchés ou en poudre. Ces vers présentent une teneur élevée en protéines (45-60% de matière sèche) et en matières grasses (30-45% de matière sèche). Des recherches indiquent que les vers de farine pourraient être une source alternative prometteuse de protéines dans l'alimentation des volailles, pouvant potentiellement remplacer la farine de soja ou la farine de poisson (Ramos-Elorduy et al., 2002). Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer leur impact nutritionnel et l'acceptation par les volailles.



**Figure 20.** vers de farine ( *tenebrio molitor* ) ( Yran G et al .,2019)

**Tableau 7.** Valeur nutritive de vers de farine par 100 g (Lévesque.,2018)

Catégories	Nutriments	Quantité
<b>Macronutriments</b>	Protéines, Lipides, Glucides, Fibres	19 g, 11 g, 3 g, 5 g
<b>Minéraux</b>	Calcium, Fer, Magnésium, Phosphore, Potassium, Zinc, Cuivre, Sélénium	85 mg, 7.5 mg, 165 mg, 400 mg, 450 mg, 11 mg, 1.75 mg, 12.5 µg
<b>Vitamines</b>	Vitamine B1, Vitamine B2, Vitamine B3, Vitamine B5, Vitamine B6, Vitamine B9, Vitamine B12	0.25 mg, 0.6 mg, 5.5 mg, 1.75 mg, 0.15 mg, 60 µg, 1.75 µg

#### I.7.4 Les vers a soie

Les vers à soie sont les chenilles de certaines espèces de papillons qui sont élevées pour produire de la soie. La farine de pupes de vers à soie (figure 21) est un ingrédient alimentaire riche en protéines et de haute valeur nutritionnelle. Elle contient entre 50 % MS et plus de 80 % MS de protéines brutes, selon qu'elle soit dégraissée ou non. Les acides aminés lysine (6-7 % de la protéine) et méthionine (2-3 % de la protéine) sont particulièrement abondants dans cette farine (Finke, 2002). Chez les moutons, la digestibilité des protéines brutes de pupes de vers à soie Tussah dégraissées, qui se sont nourries de paille de blé et de mélasse, était d'environ 70 % (Khan et al., 1971). La farine de vers à soie séchée a pu remplacer totalement la farine de soja dans les rations équilibrées des lapins en croissance sans affecter leur performance (Carregal et al., 1987).



**Figure 21.** Pupes de vers a soie ( Hauzé V et al .,2017)

## **I.8 Les micro-organismes**

Les microorganismes sont des organismes vivants invisibles à l'œil nu, tels que les bactéries, les levures ou les champignons. Certains de ces microorganismes peuvent être utilisés comme additifs dans l'alimentation animale pour améliorer la santé, le bien-être et la performance des animaux.

### **I.8.1 La levure de bière**

La levure de bière, sous-produit des brasseries ou de la fermentation alcoolique de la canne à sucre, pourrait être une alternative bénéfique à la farine végétale dans l'alimentation des ruminants (Hennessy et *al.*, 1993). Des études au Brésil ont démontré que l'alimentation de chèvres laitières Saanen avec de la levure sèche améliore leur production laitière de manière efficace (de Lima et *al.*, 2012). Ces résultats prometteurs suggèrent l'utilisation de la levure de bière comme aliment pour les ruminants, ouvrant de nouvelles perspectives durables pour l'industrie de l'élevage.

## I.9 Les plantes aquatiques flottantes

### I.9.1 Les microalgues

Les microalgues (fig.22), telles que la spiruline, sont de petites organismes riches en protéines, présentes dans les eaux douces et salines (Becker, 2013b). La spiruline contient entre 55 % et 77 % de protéines dans sa matière sèche (Garofalo, 2011). Des études en Grèce ont montré que l'alimentation de vaches laitières avec de la poudre d'*Arthrospira platensis* pendant 7 semaines a conduit à une production de lait avec une diminution des acides gras saturés et une augmentation des acides gras monoinsaturés et polyinsaturés (Christaki et *al.*, 2012). L'utilisation des microalgues offre ainsi des opportunités pour améliorer la qualité des produits laitiers.



**Figure 22.** Microalgues ( *Nannochloropsis* ) dans les canalisations ,instalaltions aquacoles ( heuzé V et al.,2017 )

### I.9.2 La jacinthe d'eau

La jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) est une plante vivace flottante dans les écosystèmes d'eau douce (fig.23). Sa hauteur varie de 10 à 20 cm, mais peut atteindre 1 m en formant des tapis denses ( Pieterse., 1997). La composition en protéines et minéraux de la jacinthe d'eau dépend de la qualité de l'eau (Mako et *al.*, 2011). Elle n'est généralement pas appétente pour le bétail, sauf si mélangée avec 20 % de mélasse (Göhl, 1982). La jacinthe d'eau peut être utilisée comme source de pigments pour les volailles (Lareo et *al.*, 1982).



**Figure 23.** Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), centre du vietnam ( Heuzé V et *al.*., 2015 )

### I.9.3 Les épinards d'eau

L'épinard d'eau (*Ipomoea aquatica*) est une plante aquatique et marécageuse avec des tiges creuses et des feuilles vertes et brillantes (fig.24). Elle est cultivée dans des étangs fertilisés avec des eaux usées, offrant un goût agréable et un rendement élevé. Une étude portant sur des lapins alimentés avec un régime concentré a montré que l'épinard d'eau permettait une consommation et un gain quotidien légèrement supérieurs (21,9 g/j) par rapport aux patates douces (*Ipomoea batatas*). Les meilleures performances ont été obtenues lorsque de l'herbe de Guinée (*Megathyrsus maximus*) était ajoutée aux



**Figure 24.** Epinards d'eau ( *Ipomoea aquatica* ) (Feedipedia. (s.d))

## II. Chapitre : Caractéristiques et exigence de culture de l'azolla

### II.1 Généralités sur l'azolla

L'azolla est une fougère aquatique appartenant à la famille des Salviniaceae, avec plusieurs espèces adaptées à différents climats. Elle se développe dans des milieux aquatiques calmes des régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes d'Afrique, d'Asie et d'Amérique. Utilisée depuis plus de mille ans comme bio-engrais dans les rizières, notamment en Asie du Sud-Est, cette plante a une morphologie unique avec des feuilles flottantes qui abritent des cyanobactéries symbiotiques capables de fixer l'azote atmosphérique. Elle se reproduit par division végétative ou production de spores résistantes au froid ou à la sécheresse. En tant qu'aliment potentiel pour les animaux, l'azolla présente une composition chimique riche en protéines, vitamines et minéraux. De plus, elle possède des propriétés larvicides contre les moustiques et peut réduire les émissions de gaz à effet de serre, influençant ainsi le climat. (Samad, M. A. et al., 2020 ; Shukla, S et al., 2018) .

#### II.1.1 La classification de l'azolla

Selon la classification proposée par Konar et Kapon (1974) et Lumpkin et Plucknett (1982). L'azolla est une plante qui fait partie du :

\_ Groupe : PTERIDOPHYTES

\_ classe : FILICOPHYTES

\_ Ordre : SALVINIALES

\_ Famille : AZOLLACEES

Cependant, d'autres auteurs, comme Hills et Gopal (1967), ont préféré inclure l'Azolla dans la famille des SALVINIACEES, où elle côtoie les Salvinia. Il existe sept espèces d'Azolla dans le monde, qui se distinguent par leur taille, leur couleur et leur répartition géographique.

### II.1.2 Histoire et répartition de l'azolla dans le monde

L'azolla a une longue tradition dans l'agriculture. Il a été largement utilisé comme plante bénéfique dans le sud de la Chine et le nord du Vietnam pendant des siècles. Dans ces régions, il a été utilisé comme biofertilisant et engrais vert dans la riziculture en raison de sa capacité à fixer l'azote (Van Hove *et al.*, 1996).

De plus, l'Azolla est mentionnée comme aliment pour la volaille au Pérou au XVIIIe siècle (Feuillée, 1725). Selon Van Hove *et al.* (1996), l'azolla a attiré l'attention internationale dans les années 1970 en raison de la crise pétrolière et de l'augmentation des prix des engrais azotés dépendant des combustibles fossiles. On pensait qu'il pourrait être un substitut potentiel à ces engrais et renforcer la production de riz dans de nombreux pays tropicaux.

### II.1.3 Les différentes variétés de l'azolla

Le genre Azolla se compose d'une collection variée de six espèces distinctes. Ces espèces sont regroupées en deux catégories ou sous-genres, à savoir Euzolla et Rhizosperma. Ce qui les différencie principalement est le nombre de flotteurs présents dans leurs mégaspores, une caractéristique précisée par Moore en 1969.

#### II.1.3.1 le sous genre de l'Azolla et Euzolla

Le sous-genre Azolla, également connu sous le nom d'Euzolla, se caractérise par la présence de trois flotteurs dans les mégaspores. Des études menées par Hills et Gopal en 1967 ainsi que par Becking en 1979 ont confirmé cette particularité. Cette section comprend un total de quatre espèces. L'identification de ces espèces repose principalement sur l'observation de caractères microscopiques présents dans leurs organes reproducteurs.

Selon les recherches de Van Hove en 1989, les quatre espèces appartenant au sous-genre Azolla sont les suivantes :

- *Azolla caroliniana*
- *Azolla filiculoides*
- *Azolla mexicana*
- *Azolla microphylla*

### II.1.3.2 Le sous-genre *Rhizosperma*

Le sous-genre *Rhizosperma* se distingue par la présence de mégasporocarpes dotés de neuf flotteurs. Les études menées par Hills et Gopal en 1967 ainsi que par Becking en 1979 ont également confirmé cette caractéristique. Ce sous-genre comprend deux espèces spécifiques :

- *Azolla nilotica* : Cette espèce est aisément reconnaissable des autres grâce à sa grande taille dépassant les 20 cm. Elle se distingue également par la posture dressée de ses tiges et la présence de racines en touffes compactes à chaque nœud, comme décrit par Van Hove et al. en 1983.
- *Azolla pinnata* : Cette espèce d'*Azolla* a une apparence assez caractéristique, presque symétrique, comme l'a souligné Kim Pham en 1982.

### II.1.4 La Morphologie de l'azolla

L'azolla est une fougère aquatique, Elle possède un rhizome principal qui mesure généralement moins de 3 cm de long. Ce rhizome ( la tige principale ) flotte à la surface de l'eau et porte des petites feuilles alternes qui le recouvrent et le dissimulent ( fig.25 ). Des rhizomes secondaires se développent régulièrement à partir du rhizome principal et présentent les mêmes caractères. Ils peuvent donner naissance à des rhizomes de troisième et quatrième ordre. Ce mode de croissance confère à la plante une forme triangulaire ou circulaire selon l'espèce.

Des racines adventives simples se forment sur la face inférieure du rhizome et s'enfoncent verticalement dans l'eau.(fig.26 et 27)

Chaque feuille présente deux parties nommées lobes ( une partie de la feuille ) (fig.26) Un lobe se situe sous le rhizome. Il a une forme de coupe, il est mince et sans chlorophylle, ce qui permet à la plante de flotter. L'autre lobe, plus épais et chlorophyllien, se situe sur le côté supérieur de la tige. Il renferme une cavité interne qui héberge des cyanobactéries symbiotiques (algues bleu-vert) appelées *Anabaena azollae*.

La cavité de la feuille ( fig.26 ) résulte d'une invagination de l'épiderme adaxial de la partie supérieure. Cet épiderme produit deux types de poils pluricellulaires dont les cellules ont une structure caractéristique de cellules de transfert et participent probablement aux échanges métaboliques entre les partenaires de la symbiose. (Van Hove, 1989/1983)



Figure 25. Fronde d'azolla (CheGenetic, 2010)

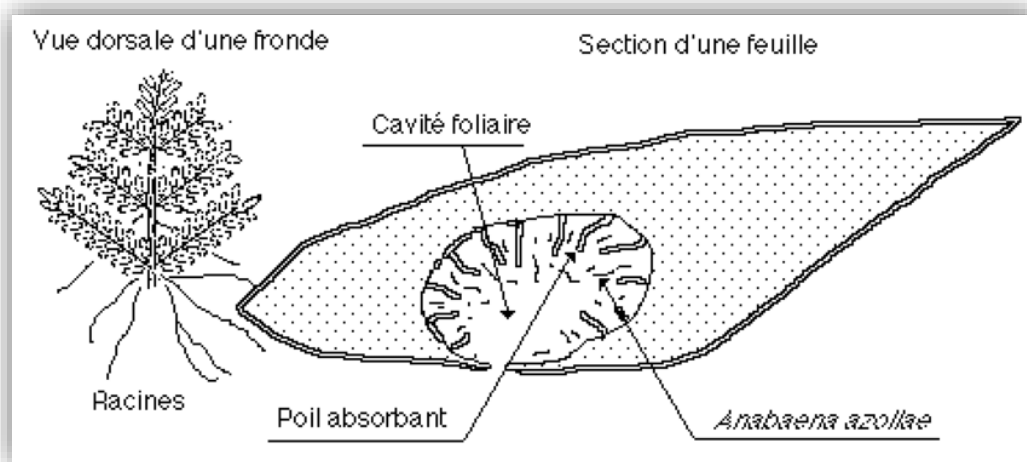


Figure 26 . Morphologie d'une fronde d'Azolla (2-3 cm) et section de la feuille (Roger, P. A., & Garcia, J.-L.,2015)

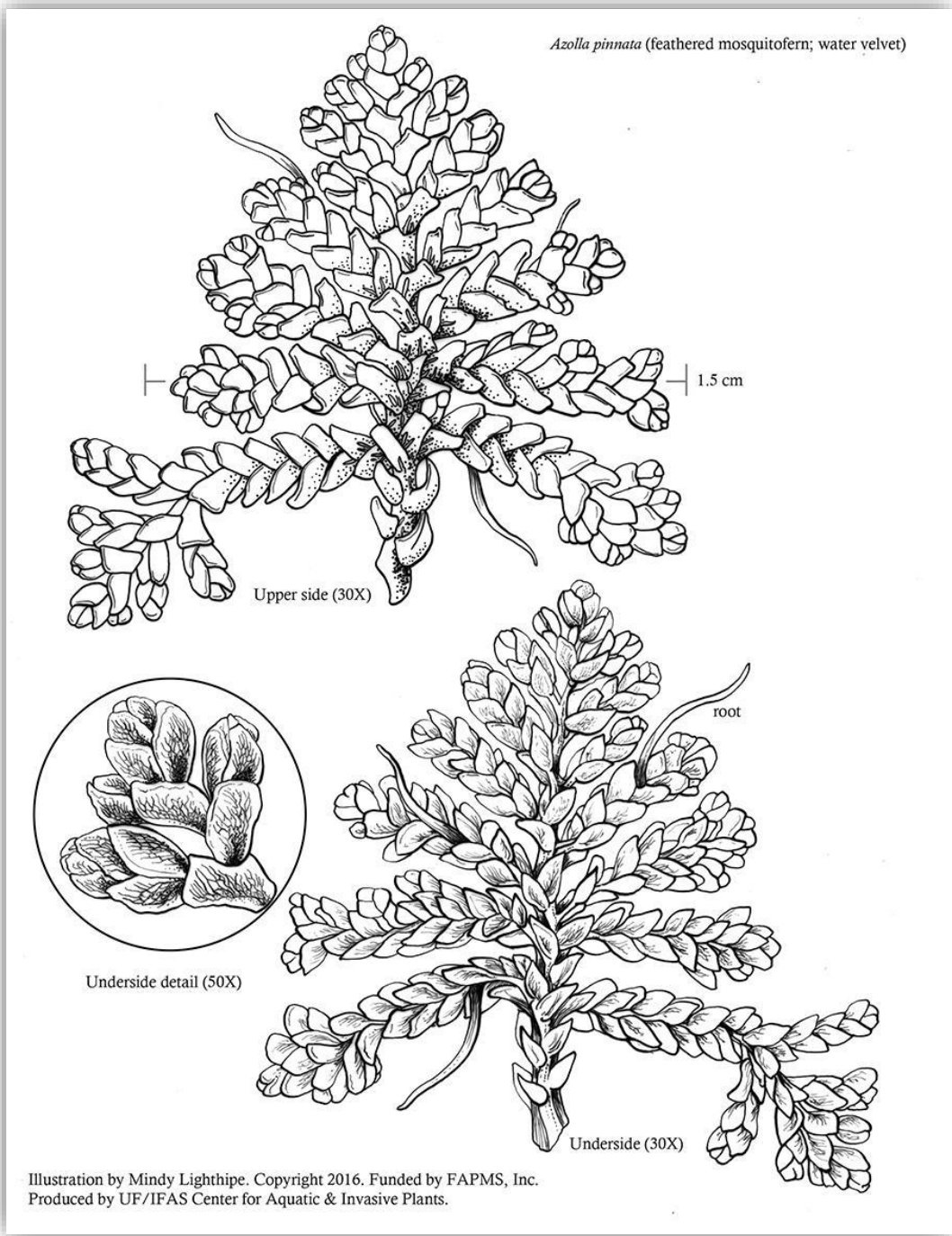
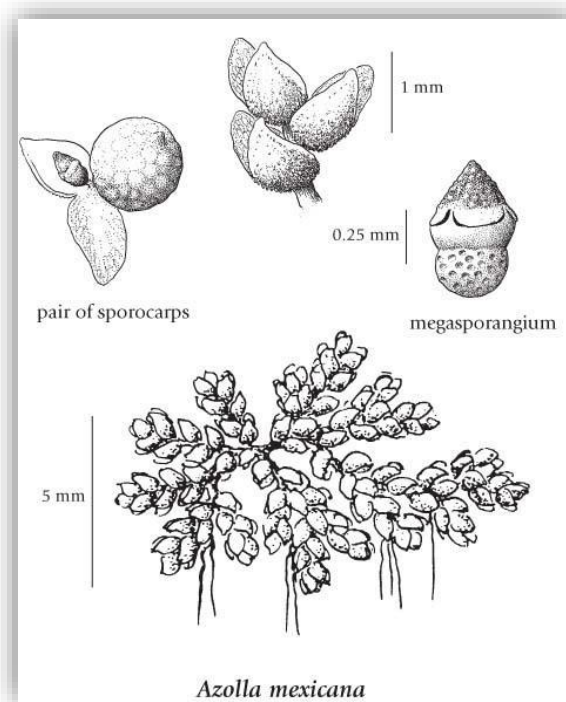


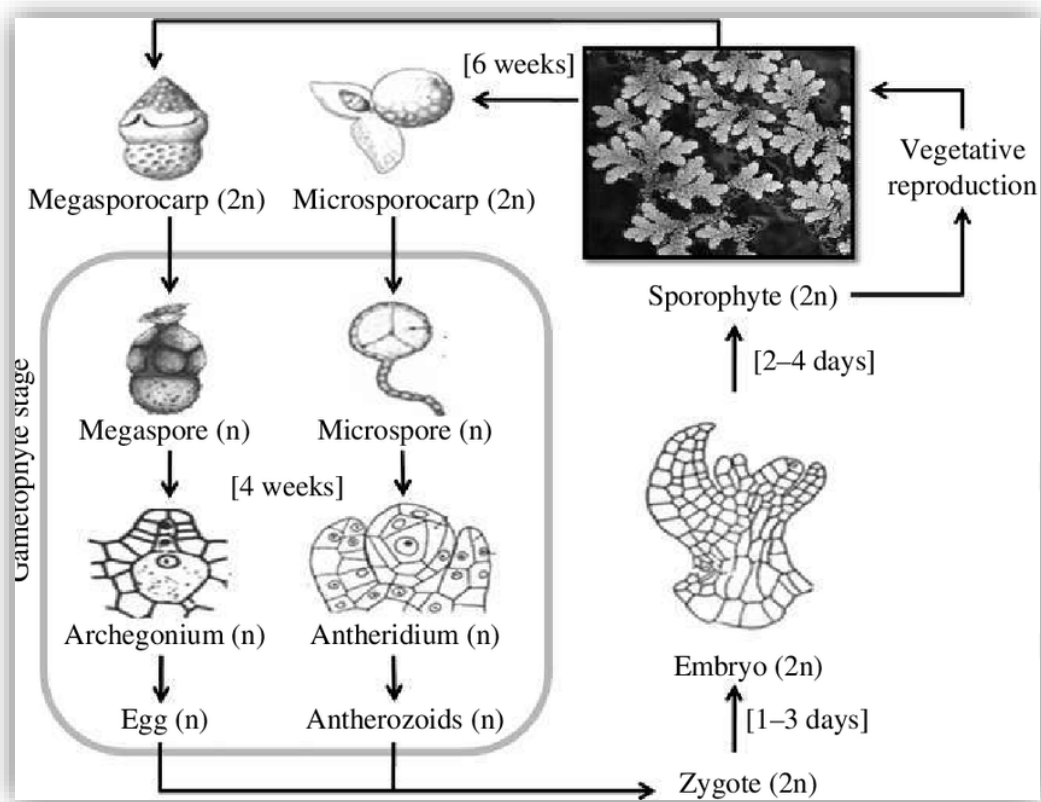
Figure 27. Illustration de l'azolla pinata (Wunderlin, 2014)

### II.1.5 Le type de reproduction de l'azolla

L'Azolla se reproduit de deux manières : par spores ou par frondes. La reproduction par spores implique la formation de microsporocarpes et de mégasporocarpes (fig.28). Les microspores sont libérées dans l'eau et se fixent sur les mégasporocarpes (fig.29), donnant ainsi naissance à des gamètes mâles et femelles qui se fécondent. L'embryon qui en résulte se développe et émerge du sporocarpe, formant ainsi une nouvelle plante. Cependant, la reproduction par spores est un processus complexe, nécessitant la collecte laborieuse des sporocarpes et la production de plantes à partir des spores. Par conséquent, la reproduction par frondes est préférée pour la culture de l'Azolla. Cette méthode de reproduction est végétative et implique principalement la fragmentation de la plante. Les rhizomes secondaires les plus développés se séparent naturellement de la plante principale en formant une couche de séparation à leur base, ce qui entraîne la formation de nouvelles plantes (fig.29). Ces nouvelles plantes peuvent ensuite se fragmenter à leur tour, ce qui permet d'augmenter la quantité de biomasse d'Azolla de manière exponentielle (Van Hove, 1989/1983).



**Figure 28.** Illustration de l'azolla mexicana et une pair de sporocarps (E-Flora BC, 2020).



**Figure 29.** Cycle de vie d'Azolla montrant divers stades de développement. (Bhatia, N., & Singh, S.,2020).

### II.1.6 La Composition chimique de l'azolla

L'azolla présente une composition chimique remarquablement riche (tableau 8), regorgeant de protéines, de matières grasses, d'azote et en minéraux (tableau 9). De plus, elle renferme des sucres solubles, des fibres brutes et de l'amidon, ajoutant ainsi à sa valeur nutritionnelle. La teneur en azote de l'azolla peut varier en fonction des espèces, des conditions environnementales et du stade de croissance, pouvant atteindre jusqu'à 5% de la matière sèche (Yadav, R. K. et al., 2015).

**Tableau 8.** Composition chimique de l'azolla (Yadav, R. K. et *al.*, 2015).

<b>Constituants</b>	<b>Matière sèche (%)</b>
<b>Protéines brutes</b>	24-30
<b>Matières grasses brutes</b>	3.3-3.6
<b>Azote</b>	4-5
<b>Phosphore</b>	0.5-0.9
<b>Calcium</b>	0.4-1.0
<b>Potassium</b>	2-.4.5
<b>Magnésium</b>	0.5-0.65
<b>Manganèse</b>	0.11-0.16
<b>Fer</b>	0.06-0.26
<b>Sucres solubles</b>	3.54
<b>Fibres brutes</b>	9.1
<b>Amidon</b>	6.5

**Tableau 9.** La moyenne des minéraux présent dans la composition chimique de l'azolla (Tran G., 2015).

<b>Minéraux</b>	<b>Unité</b>	<b>Moy</b>
<b>Calcium</b>	g/kg MS	12.5
<b>Phosphore</b>	g/kg MS	6.7
<b>Potassium</b>	g/kg MS	12.5
<b>Sodium</b>	g/kg MS	0.0
<b>Magnésium</b>	g/kg MS	3.5
<b>Manganèse</b>	mg/kg MS	174
<b>Zinc</b>	mg/kg MS	88
<b>Cuivre</b>	mg/kg MS	17
<b>Fer</b>	mg/kg MS	756

### II.1.7 Les propriétés de l'azolla

L'azolla est une plante aquatique flottante qui appartient à la famille des fougères. Elle présente plusieurs propriétés intéressantes pour l'agriculture, l'environnement et la biotechnologie. Parmi ces propriétés, on peut citer :

- La capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec la cyanobactérie *Anabaena azollae*, qui se trouve dans les cavités foliaires de la plante. Cette capacité permet à l'azolla de croître rapidement et d'enrichir le sol en azote, ce qui peut réduire le besoin d'engrais chimiques. (Pereira & Carrapiço, 2007)

- La possibilité à accumuler des métaux lourds et des polluants organiques présents dans l'eau, ce qui peut contribuer à la dépollution des milieux aquatiques et à la phytoremédiation des sols contaminés. (Mellor et al., 1981)
- Le potentiel à produire de la biomasse riche en protéines, en lipides et en glucides, qui peut être utilisée comme aliment pour le bétail, comme source d'énergie renouvelable ou comme matière première pour la production de bioplastiques et de biocarburants. (Mellor et al., 1981)
- L'altitude à former une couche dense à la surface de l'eau, qui peut réduire l'évaporation, le réchauffement et la pénétration de la lumière, ce qui peut limiter la croissance des algues nuisibles, le développement des moustiques vecteurs de maladies et les émissions de gaz à effet de serre. Mukherjee, A., & Kumar, A. (2021).

## **II.2 Physiologie environnementale de l'azolla**

La physiologie environnementale de l'azolla étudie les effets des facteurs non vivants sur la croissance, le développement et la reproduction de cette plante aquatique. Ces facteurs incluent l'eau, l'humidité, la salinité, la température, la lumière, le pH et les besoins nutritionnels, qui influencent son développement et adaptation à différents milieux .

### **II.2.1 Besoin en eau**

D'après , Ashton et Walmsley ( 1976 ) , L'expansion de la fougère est limitée aux petits plans d'eau calmes, car elle ne supporte pas les conditions hydrodynamiques des grands lacs ou des eaux agitées. En effet, les vagues et les courants provoquent une fragmentation excessive des frondes, ce qui entrave sa croissance . l'Azolla se développe mieux dans une faible profondeur d'eau : entre 5 et 10 cm. Ainsi, les racines bénéficient davantage des éléments minéraux du sol.( van Hove et al 1983)

### **II.2.2 Taux d'humidité**

Selon Becking (1979), l'Azolla est une plante qui nécessite un environnement aquatique pour survivre et ne peut supporter un taux d'humidité inférieur à 60%. Cette plante est très sensible à la sécheresse et peut mourir en quelques heures si le sol devient sec. De même, Rajesh (2020) a rapporté que l'humidité relative optimale pour l'Azolla est de 85 à 90%. Il est donc crucial de maintenir un niveau d'humidité adéquat pour permettre à cette plante de se développer pleinement.

### II.2.3 La salinité

L'Azolla, une tolérance limitée à la salinité, avec une plage allant de 0,05 % à 0,1 % (Nandabalan et Kannaiyan 1986). Sa croissance est totalement inhibée lorsqu'elle est exposée à une solution contenant 1,3 % de sels, comme l'ont démontré Haller et *al.* (1974).

### II.2.4 Température

L'Azolla atteint sa croissance optimale dans un intervalle de température variant entre 20 et 30°C. Certaines souches peuvent survivre temporairement à des conditions thermiques extrêmes, oscillant entre -5 et 45°C. D'autres souches sont par contre très affectées par une température inférieure à 10°C, mais peuvent supporter des valeurs dépassant 35°C. C'est le cas de nombreux écotypes, comme l'Azolla pinnata (Van Hove, 1989). Néanmoins, la multiplication de la fougère sera sérieusement entravée par des températures supérieures à 37°C (Rajesh, 2020)

### II.2.5 La lumière

D'après , Lumpkin et al. (1980) L'Azolla a besoin d'une ombre partielle pour se développer de manière optimale, avec une exposition solaire variant entre 25 et 50%. Toutefois, il faut souligner que cette plante ne supporte pas un ombrage trop important, qui se traduit par une intensité lumineuse inférieure à 1500 lux. Par ailleurs, une exposition solaire supérieure à 50% affecte négativement la photosynthèse de l'Azolla.

### II.2.6 Le PH

L'Azolla manifeste une large tolérance vis-à-vis du pH du milieu où elle se développe. Elle peut s'adapter à une gamme de pH variant de 3,5 à 10. Toutefois, sa croissance est maximale dans un intervalle de pH allant de 4,5 à 7. (Ashton , 1974, Watanabe et al., 1977 )

### II.2.7 Les besoins nutritionnels de l'azolla

Les besoins minéraux d'Azolla incluent les macroéléments (P, K, Ca, Mg et Mn) et les microéléments (Fe, Mo, Co). Les carences en ces éléments provoquent des réductions de croissance (BECKING, 1979). Mais la particularité la plus étonnante de cette fougère aquatique est l'autosuffisance totale vis-à-vis de la source d'Azote. Azolla se développe parfaitement en absence d'azote combiné (VAN HOVE et *al.*, 1983).

### **II.3 Procédé de culture de l'azolla**

Selon la méthode NARDEP (The Azolla Foundation.,2019),une approche simple et économique de la culture de l'Azolla, particulièrement adaptée aux éleveurs, est utilisée. L'un de ses avantages est l'utilisation du fumier produit par le bétail pour fertiliser les plants d'Azolla, qui à leur tour nourrissent le bétail .

#### **II.3.1 Création du bassin**

Idéalement, le bassin devrait être situé à l'ombre d'un arbre et être réalisé à l'aide d'une feuille de silpauline. La silpauline est une bâche en polyéthylène résistante aux rayons ultraviolets du soleil. Tout d'abord, on creuse une fosse de dimensions 2 x 2 x 0,2 m. Ensuite, la fosse est recouverte de gunnies en plastique pour éviter que les racines des arbres voisins ne percent la feuille de silpauline qui est étalée sur les gunnies en plastique.

#### **II.3.2 Préparation du sol**

On étale uniformément une quantité de terre de 10 à 15 kg, riche en matière organique et en éléments minéraux, qui a été tamisée pour éliminer les cailloux et les débris, sur toute la surface de la bâche en plastique qui recouvre la fosse.

#### **II.3.3 Ajout de bouse de vache**

Une bouillie composée de 2 kg de bouse de vache et de 30 g de Super Phosphate mélangés dans 10 litres d'eau, est versée sur la feuille.

#### **II.3.4 Remplissage du bassin**

On verse de l'eau propre et non chlorée dans la fosse jusqu'à ce que la hauteur de l'eau atteigne une dizaine de centimètres au-dessus de la couche de terre.

#### **II.3.5 Plantation de l'azolla**

Environ 0,5 à 1 kg de culture fraîche et pure d'azolla est placé dans l'eau. L'azolla se développera rapidement et remplira la fosse en 10 à 15 jours.

#### **II.3.6 Apport d'éléments nutritifs pour le maintien du rendement**

Un mélange de 20 g de Super Phosphate et d'environ 1 kg de bouse de vache doit être ajouté une fois tous les 5 jours afin de maintenir une multiplication rapide de l'azolla et de maintenir le rendement journalier à 500 g. De plus, un mélange de micronutriments contenant du

magnésium, du fer, du cuivre et du soufre peut également être ajouté à intervalles hebdomadaires pour améliorer la teneur en minéraux de l'azolla.

### **II.3.7 La récolte de l'azolla**

Après 10 à 15 jours, on peut récolter quotidiennement entre 500 et 600 g d'azolla. Utilisez un plateau en plastique muni de trous de mailles d'1 cm<sup>2</sup> pour récupérer les plantes d'azolla flottantes et les égoutter. Ensuite, lavez l'azolla afin d'éliminer l'odeur de fumier de vache.

## **II.4 Les différentes formes de présentation de l'azolla**

Selon Van Hove, (1989), l'Azolla pouvait être utilisée pour nourrir les animaux sous forme fraîche ou séchée, seule ou mélangée avec des granulés ou ensilée. Il fallait s'assurer de vérifier la présence de pesticides toxiques dans la biomasse utilisée. Il fallait également prévoir une période d'adaptation lors de l'introduction de cette nouvelle nourriture dans les rations animales.

### **II.4.1 L'azolla fraîche**

La biomasse d'Azolla présente l'avantage de conserver tous ses composés nutritifs sous sa forme fraîche, mais elle pose des problèmes de conservation et de transport du fait de son humidité. Elle n'est pas non plus adaptée à tous les animaux en cet état. Une solution consiste à la faire sécher partiellement sur une surface plane, ce qui permet de diminuer sa teneur en eau de moitié en quelques heures. (Van Hove, 1989).

### **II.4.2 L'azolla ensilé**

En Chine, certains éleveurs conservent l'excédent de biomasse pour nourrir leurs animaux pendant l'hiver. L'azolla peut être conservée en silos. Avant sa conservation, elle doit être propre et légèrement sèche, avec une teneur en eau de 60%. Elle est ensuite tassée dans des silos en ciment ou dans des sacs plastiques. Chaque couche d'azolla est recouverte de sel et de farine de maïs, à raison de 5 g et 50 g respectivement par kg d'azolla. Le processus est répété jusqu'à remplir le silo, qui est ensuite fermé. La fermentation dure moins d'un mois et le produit peut se conserver deux ans. (Van Hove, 1989).

### **II.4.3 L'azolla séché**

L'Azolla a une teneur en eau très élevée. Pour la déshydrater, il n'est pas rentable d'utiliser d'autres méthodes que le séchage au soleil. Mais cela suppose d'avoir des zones de séchage proches du lieu de récolte, un climat favorable et suffisamment de main-d'œuvre. Le séchage consiste à étaler la biomasse en une couche de 10 cm d'épaisseur maximum, puis à la

retourner deux ou trois fois par jour, pendant trois ou quatre jours. Le séchage préserve la valeur nutritive de l'Azolla, mais il peut altérer son goût pour certains animaux. Ce processus permet de stocker et de transporter l'Azolla sur de longues distances, ainsi que de fabriquer des granulés.(Van Hove, 1989).

## **Chapitre III Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie**

### **III. Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie.**

#### **III.1 Utilisation de l'azolla dans l'alimentation animale**

L'azolla est une source de protéines, de vitamines et de minéraux très importante, ce qui en fait un complément alimentaire idéal pour les animaux. Des recherches ont démontré que l'ajout d'azolla dans l'alimentation des animaux améliore leurs performances.

##### **III.1.1 L'utilisation de l'azolla dans l'alimentation des poissons**

L'utilisation de l'azolla dans l'alimentation des poissons gagne en popularité grâce à ses qualités nutritionnelles et à sa faible empreinte écologique.

###### **III.1.1.1 Le tilapia**

Le tilapia du Nil, un poisson appartenant à la famille des Cichlidés, a été étudié dans le contexte d'un régime alimentaire comprenant jusqu'à 50% d'*Azolla filiculoides*. Les poissons élevés dans des étangs en terre ont obtenu de meilleurs résultats que ceux élevés dans des bassins en béton, probablement en raison de la présence d'aliments naturels dans leur environnement. De plus, ces poissons présentaient un profil d'acides gras plus favorable, avec un ratio n-3:n-6 inférieur. Des études ont suggéré que la mauvaise croissance observée chez les cichlidés nourris avec des niveaux élevés d'azolla pourrait être due à des excès ou des carences en acides aminés, liés à la composition spécifique de l'*Azolla filiculoides*. (Abou et *al.*, 2013; Fiogbé et *al.*, 2004).

###### **III.1.1.2 La carpe**

Dans une étude menée par Nekoubin et *al.* (2013), la croissance de la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*) a été comparée en utilisant différents types de nourriture, dont de la luzerne, de la lentille d'eau (*Lemna sp.*) et de l'*Azolla filiculoides* fraîche, en plus d'un aliment formulé. Les résultats ont montré que l'azolla avait un effet négatif sur les performances de croissance des poissons. En revanche, Datta et *al.* (2011) ont étudié l'incorporation d'*Azolla microphylla* et d'*Azolla pinnata* séchées dans l'alimentation des rohu (*Labeo rohita*) à des taux de 15 %, 25 % et 35 %. Les poissons nourris avec 25 % d'azolla ont présenté la meilleure croissance et la plus faible quantité de graisse corporelle.

## **Chapitre III Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie**

### **III.1.2 Utilisation de l'azolla dans l'alimentation de la volaille**

#### **III.1.2.1 poulet de chair et poulettes**

l'effet de l'azolla dépend du niveau d'inclusion et du type de volaille. Une étude de Alalade et *al.* (2006) a montré que chez les poulettes brunes Nera, l'azolla pennée séchée pouvait être incluse jusqu'à 10% du régime sans nuire aux performances, et même les améliorer en termes de gain de poids, de consommation alimentaire et de poids des œufs. En revanche, un niveau supérieur à 10% avait un effet négatif sur ces paramètres. D'autres études ont rapporté que chez les poulets de chair, l'azolla fraîche pouvait remplacer 20% ou plus de l'alimentation commerciale sans problème (Subudhi et *al.*, 1978 ; Namra et *al.*, 2010).

#### **III.1.2.2 petite production de poulet**

Une étude menée en Inde sur les poulets Nirbhik (double usage) et les poulets Shyama (œuf) a démontré que l'alimentation à base d'azolla avait des effets positifs. Les poulets nourris avec de l'azolla ont affiché un poids corporel plus élevé à 8 semaines et une production d'œufs supérieure après 40 et 72 jours. L'azolla présente un potentiel prometteur pour améliorer la performance des races de poulets indiennes. (Raï et *al.*, 2012)

#### **III.1.2.3 Poule pondeuse**

L'effet de l'azolla séchée sur les poules pondeuses a été étudié dans deux pays : l'Inde et le Nigeria. Dans les deux cas, l'azolla a été incorporée à différents niveaux (0 à 20%) dans l'alimentation des poules pendant plusieurs semaines. Les résultats ont montré que l'azolla pouvait être utilisée comme source de protéines et de pigments jusqu'à 15% sans nuire aux performances de production ni à la qualité des œufs. Cependant, l'azolla a influencé la couleur du jaune de manière différente selon les études. (Alalade et *al.*, 2007 ; Khatun et *al.*, 2008 )

## **Chapitre III Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie**

### **III.1.2.4 Canards**

L'azolla peut être utilisée dans l'alimentation des canards. Son effet dépend du type de canard, du niveau d'inclusion et du régime de base. Une étude au Japon a montré que l'azolla fraîche améliorait la croissance des canetons (Liu Xiang et *al.*, 1998). En revanche, une étude aux Philippines a rapporté que l'azolla fraîche nuisait à la croissance des canards indigènes (Gavina, 1994). Une autre étude aux Philippines a trouvé que l'azolla microphyllle pouvait remplacer partiellement un régime riz grain-escargot-crevette sans affecter la production et la couleur des œufs chez les canards colverts (Alejar et Aragonés., 1989).

### **III.1.2.5 La caille japonaise**

En Inde, l'azolla (*Azolla pinnata*) s'est avérée être une source d'alimentation économique, sûre et nutritive pour les cailles. Toutefois, une consommation excessive de plus de 5% a eu des effets négatifs sur leur croissance et leur digestion, entraînant une baisse des performances globales (Sujatha et *al.*, 2013b).

### **III.1.2.6 les oies**

D'après Zhang Zhuang Ta et *al.*, (1987), L'utilisation de l'azolla comme fourrage pour les oies en Chine a montré des résultats prometteurs. Le gain de poids quotidien des oies nourries avec de l'azolla était similaire à celui des oies nourries avec des légumes. Ces découvertes ouvrent des opportunités de recherche pour explorer davantage l'azolla en tant que source alternative de nutrition pour les animaux, favorisant une agriculture durable.

### **III.1.3 Utilisation de l'azolla dans le système riz-poisson azolla**

Un système intégré riz-poisson-azolla harmonise la coexistence de la culture du riz, de l'azolla et de différents poissons sur un même terrain. Chaque partenaire contribue à l'équilibre et à l'optimisation des rendements. Les poissons se nourrissent de l'azolla et produisent des déchets qui servent de fertilisant pour le riz et le plancton environnant. De plus, ils agissent en tant qu'agents protecteurs du riz et de l'azolla contre les insectes et les mollusques nuisibles. Des études menées en Inde et aux Philippines ont démontré que ce

### **Chapitre III Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie**

système intégré est plus productif que la pratique traditionnelle de la rizipisciculture. (Van Hove , 1989 ., Hasan et al., 2009 )

#### **Utilisation de l'azolla dans l'alimentation des ruminants**

Selon Pillai et *al.* (2004), la majorité des expérimentations sur l'utilisation de l'azolla comme aliment pour les bovins laitiers, les buffles en croissance, les moutons et les chèvres ont été réalisées en Inde. Une étude ultérieure menée par Murthy et *al.* (2013) a examiné l'effet de l'azolla sur des vaches croisées en milieu de lactation. Pendant une période de 3 mois, 2 kg/j d'azolla fraîche ont été introduits pour remplacer 50% du concentré. Les résultats ont montré que l'azolla a maintenu les performances laitières des vaches tout en entraînant une réduction significative des coûts d'alimentation et de main-d'œuvre de 16,5%, ainsi que des coûts de production de lait de 18,5%. Cette étude met en évidence l'azolla comme une stratégie économique pour améliorer la production laitière en réduisant les dépenses associées à l'alimentation et à la main-d'œuvre.

#### **III.1.4 Utilisation de l'azolla chez les lapins**

Des recherches ont prouvé que l'azolla peut être utilisée comme nourriture pour les lapins. Des essais ont été menés sur des lapins âgés de six semaines, avec différents régimes contenant de 0 à 36 % d'azolla séchée. Les résultats ont montré que les lapins en croissance peuvent être nourris en toute sécurité avec des rations contenant 24 % de foin d'azolla séché, ce qui a eu des effets bénéfiques sur la plupart des caractéristiques de production. Une étude menée sur des lapines reproductrices a également montré que remplacer 25 % des protéines de tourteau de soja par des protéines d'azolla séchées au soleil maintient une bonne conversion alimentaire et des performances économiques satisfaisantes, bien que certains paramètres tels que le taux de conception, la taille de la portée à la naissance et la production de lait aient diminué. (Abou-Zeid et *al.*, 2001; Sabra et *al.*, 2006).

#### **III.2 Avantages liés a la plante**

L'Azolla présente de nombreux avantages économiques et écologiques, tels que la production des hydrocarbures, la dépollution des eaux usé , son utilisation comme engrais, son rôle dans l'absorption de dioxyde de carbone, le contrôle de la croissance des mauvaises herbes et la création d'un habitat pour la faune.

## **Chapitre III Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie**

### **III.2.1 Bénéfices économiques et écologique**

#### **III.2.1.1 Production des hydrocarbures**

L'Azolla est une plante aquatique à croissance rapide qui produit une biomasse importante dans des environnements contaminés. Sa biomasse contient des molécules bioénergétiques uniques : cellulose/hémicellulose, amidon et lipides. *Azolla filiculoides* et *Azolla pinnata* sont utilisées pour produire des hydrocarbures fonctionnels par liquéfaction hydrothermale, biohydrogène et bioéthanol. La liquéfaction hydrothermale chauffe la biomasse en présence d'eau et d'un catalyseur, produisant biohuile et biocharbon. La productivité élevée d'Azolla permet théoriquement de produire 20,2 t/ha/an de biohuile et 48 t/ha/an de biocharbon par liquéfaction hydrothermale. (Miranda et *al.*, 2016)

#### **III.2.1.2 Traitement des eaux usées**

D'après l'étude de Golzary et *al.* (2018), l'Azolla filiculoides, a une relation symbiotique avec la cyanobactérie *Anabaena* qui fixe l'azote, ce qui facilite l'enlèvement des contaminants dans les eaux usées. Le but de cette étude était de mesurer la croissance de l'Azolla dans un milieu composé d'eaux usées, et d'analyser son effet sur les propriétés physiques comme la couleur, l'odeur et la transparence de ces eaux usées. Dans ce cadre, des expériences ont été réalisées en laboratoire, en utilisant deux colonnes à bulles en plexiglas de 50 L, fournissant une aération suffisante et un apport spécifique en macronutriments et micronutriments. Les résultats de cette étude indiquent que l'Azolla filiculoides peut éliminer efficacement les polluants présents dans les eaux usées, tout en améliorant leur aspect visuel. Ainsi, l'Azolla se présente comme une méthode naturelle et durable de traitement des eaux usées, selon les constatations faites dans le cadre de cette recherche.

#### **III.2.1.3 Fixation de l'azote et engrais vert engrais**

L'Azolla est un engrais vert idéal pour la riziculture sur les sols fertiles délaissés pour les légumineuses. En 25 à 35 jours, il fixe suffisamment d'azote pour obtenir une récolte de 4 à 6 tonnes/ha de riz pendant la saison des pluies ou 5 à 8 tonnes/ha sous irrigation. L'Azolla

### **Chapitre III Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie**

maintient également la fertilité du sol grâce à un humus nutritif issu de sa décomposition (Lumpkin et *al.*, 1985).

#### **III.2.1.4 Limitation de la volatilisation de l'azote**

L'Azolla crée un environnement sous-marin où la lumière est réduite, ce qui empêche la photosynthèse des algues et limite l'augmentation du pH et la volatilisation du NH<sub>3</sub>. Étant donné que près de la moitié de l'engrais azoté utilisé dans les rizières s'évapore, l'Azolla pourrait être bénéfique en réduisant la quantité nécessaire d'engrais azotés pour la culture du riz (Van Hove et al., 19)

### **Chapitre III Multiples utilisations de l'azolla et ces bénéfices pour l'économie et l'écologie**

## IV. Chapitre : Matériel et méthode

### IV.1 Introduction

La culture de l'azolla nécessite une grande quantité d'eau, ce qui peut poser des problèmes dans les zones arides ou sujettes à la sécheresse. Afin de réduire ma consommation d'eau et d'optimiser la production de biomasse d'azolla, j'ai entrepris de tester différentes conditions de culture et de comparer leur efficacité. Dans ce mémoire, j'ai réalisé deux essais sur la culture d'azolla, l'un en plein air et l'autre en laboratoire. Mon objectif était d'utiliser un minimum de volume d'eau possible tout en assurant la croissance et le développement de la plante. J'ai suivi les paramètres suivants : la température de l'air, le taux d'humidité, la température de l'eau et le pH de l'eau. J'ai également mesuré la production de biomasse sèche et fraîche d'azolla à la fin des essais. Dans ce chapitre, je vais présenter le matériel et les méthodes que j'ai utilisés pour réaliser les deux essais. Je décrirai les conditions climatiques, le dispositif expérimental, le protocole de culture, les méthodes de mesure et les analyses statistiques que j'ai effectuées.

### IV.2 L'emplacement géographique des lieux :

Les deux essais ont été menés simultanément. Le premier essai s'est déroulé dans un bassin de 2 mètres carrés situé dans mon village natal, "Sahel Ait Khellili" (fig.30). Le deuxième essai a été réalisé au laboratoire de production et nutrition animale G.1.1 de l'université de Mouloud Mammeri, au pôle Bastos (fig.31).

#### ➤ Les coordonnées GPS des deux lieux :

\_ Village Sahel Ait-Khellili : 36.647200353550566, 4.324587907904002

\_ Faculté des sciences biologiques et sciences agronomiques UMMTO : 36.69668502506985, 4.056685778678605

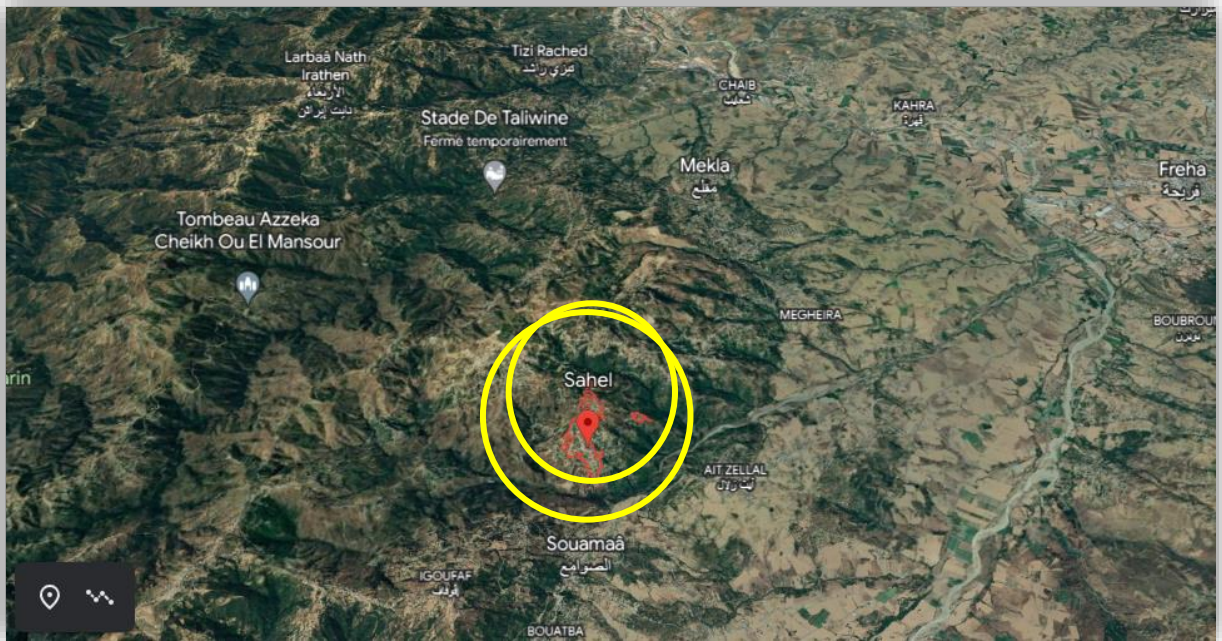


Figure 30. Emplacement géographique de mon village.

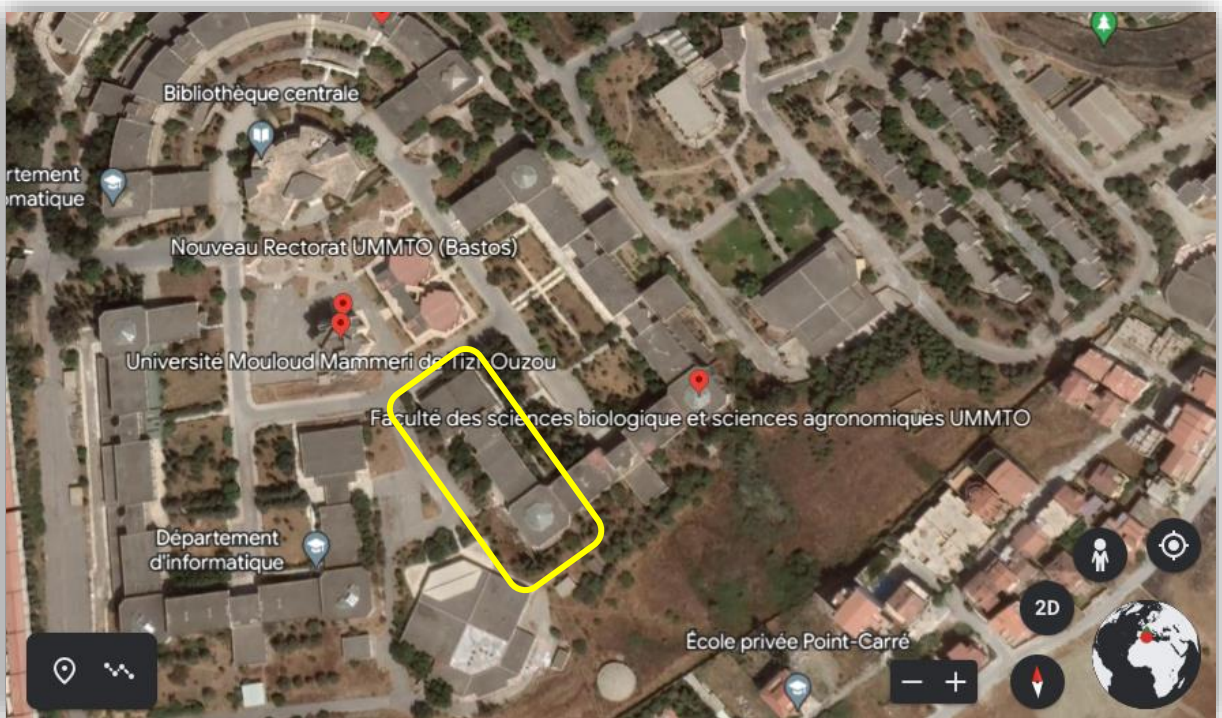


Figure 31. Emplacement géographique de la faculté des sciences biologique et sciences agronomique UMMTO.

### IV.3 Aperçu global sur la situation météorologique durant l'étude

Pendant la durée de l'étude en saison de printemps , le ciel était couvert avec des précipitations importantes, surtout les 12 premiers jours. La température moyenne s'élevait à 22°C, avec des variations entre 15 et 27°C. Le taux d'humidité relatif était de 64% en moyenne.

### IV.4 Duré de l'étude

J'ai débuté les deux essais simultanément, du 18 mai 2023 au 11 juin 2023, dans le but de les soumettre aux mêmes conditions météorologiques. Il est important de noter que les conditions climatiques des deux sites sont pratiquement identiques, avec une différence insignifiante. Cependant, une distinction notable s'observe au niveau des températures et du taux d'humidité entre les essais en plein air et ceux réalisés en laboratoire.

### IV.5 Le matériel utilisé

#### IV.5.1 Le matériel utilisé pour concevoir les bassins

- J'ai utilisé différents outils pour concevoir le bassin en plein air (fig.32) , tels que la serfouette, la pelle, du fil, une équerre de maçon, un marteau et un mètre déroulant.
- En ce qui concerne les bassins situés dans le laboratoire ( fig.32 ), j'ai récupéré les bassins en bois utilisés par un autre groupe l'année dernière. J'ai remplacé la bâche en utilisant une nouvelle bâche, des ciseaux et du ruban adhésif.



**Figure 32.** Bassin en plein air et les bassins situés au laboratoire

#### IV.5.2 Le matériel requis pour réaliser un système de photosynthèse :

J'ai personnellement effectué, avec l'aide d'un électricien, l'installation de six néons ordinaires de 60 cm (fig.33), ayant une capacité de 18W, dans le but de favoriser le processus de photosynthèse. Pour accomplir cette tâche, j'ai utilisé divers outils tels qu'un tournevis, du chatterton, une pince à becs, une pince à dénuder et du câble.



**Figure 33 .** six néons installé au plafond du dispositif

#### IV.5.3 Le matériel de mesure

Afin de garantir la conformité de mon étude aux normes de culture de l'azolla, il est nécessaire de surveiller certains paramètres. Les éléments pris en compte dans mon étude sont le pH de l'eau, la température de l'eau, la température de l'air et le niveau d'humidité. Pour ce faire, j'ai utilisé les outils de mesures suivantes :

- Un ph mètre (fig.35)
- Un thermomètre (fig.36)
- Un hygromètre (fig.34)



**Figure 34 .** Hygromètre



**Figure 35 .** pH mètre



**Figure 36 .** Thermomètre

#### **IV.5.4 Le matériel végétal**

Pour mon essai, j'ai opté pour l'utilisation de l'*azolla filiculoides* (fig.37), une espèce capable de s'adapter à une vaste plage de températures et de pH. Ce spécimen a été transporté de Tipaza à Tizi-Ouzou en seulement 24 heures. Il peut prospérer dans des conditions où la température de l'eau fluctue entre  $-5^{\circ}\text{C}$  et  $45^{\circ}\text{C}$ , tandis que le pH varie entre 3,5 et 10 (Watanabe et al., 1977). Toutefois, il présente une tolérance réduite au sel, allant de 0,05% à 0,1% (Nandabalan et Kannaiyan, 1986).



**Figure 37.** *Azolla filiculoides*

## **IV.6 La construction et dimensions des bassins**

### **IV.6.1 Le bassin en plein air**

Pour construire un bassin en extérieur, j'ai suivi les étapes suivantes :

- J'ai sélectionné un emplacement ombré dans mon jardin, d'une superficie de 2 mètres de longueur et 1 mètre de largeur.
- À l'aide d'un fil et d'une équerre, j'ai délimité la forme de la fosse.
- J'ai creusé la fosse jusqu'à atteindre une profondeur de 15 cm. (fig.38)
- Pour protéger la bâche des éventuelles perforations, j'ai recouvert le fond de la fosse avec des cartons.
- Pour finir, j'ai posé la bâche pour former le bassin.( fig.39 )



**Figure 38** .la fosse de 2 m<sup>2</sup> .



**Figure 39**. Bâche posée sur la fosse.

**IV.6.2 Les bassins de l'laboratoire**

J'ai utilisé les cadres en bois (fig.40) que le groupe de l'année précédente avait employés pour ses recherches sur l'azolla , en tout j'ai utilisé 6 bassin , chaque bassin a une seul réplétion . J'ai remplacé la toile par une bâche neuve. Chaque bassin a une superficie de 0.5 mètre carrés et une hauteur de 18cm environ.



**Figure 40.** Cadres recouverts avec une bâche .

### IV.7 La mise en place des conditions de culture

- ❖ Après la conception des bassins, j'ai répandu uniformément de la terre tamisée provenant de mon jardin sur l'ensemble des bassins ( celui de l'extérieur et ceux de laboratoire ) ( figure ). L'épaisseur de terre utilisée était d'environ 2 cm, avec une quantité totale d'environ 100 kg pour tous les bassins. La terre joue un rôle essentiel dans la culture de l'azolla, car elle fournit des éléments nutritifs ainsi que des micro-organismes qui favorisent sa croissance et améliorent sa qualité.



**Figure 41.** Terre tamisé répandu uniformément

- ❖ Pour le bassin en extérieur (C) , j'ai ajouté de l'eau du robinet jusqu'à une profondeur de 10 cm, ce qui représente un volume de 0,2 m<sup>3</sup> (soit 200 litres).

- ❖ Quant aux bassins de laboratoire, ils ont été remplis de manière différente afin de servir les objectifs de l'étude. Voici les détails :
  - **Bassin A1**, j'ai ajouté de l'eau jusqu'à une profondeur de 5 cm, ce qui donne un volume de bassin de 0,025 m<sup>3</sup> (soit 25 litres) d'eau.
  - **Bassin A2**, sa profondeur était de 7 cm, ce qui correspond à un volume de bassin de 0,035 m<sup>3</sup> (soit 35 litres) d'eau.
  - **Bassin A3**, j'ai rempli celui-ci jusqu'à une profondeur de 5 cm. Ainsi, pour combler ce bassin, il a fallu utiliser un volume d'eau de 0,045 m<sup>3</sup> (ou 45 litres).



**Figure 42 .** Remplissage des bassins.

- ❖ Afin de favoriser la croissance normale de l'azolla, j'ai utilisé les éléments suivants :

- De la bouse de vache ancienne ( d'environ 8 mois) et de l'engrais NPK 20/3 ( fig.43).
- J'ai élaboré une solution nutritive en pesant avec exactitude 5 kg de fumier de vache grâce à une balance à bagage ( fig.44 ). Puis, j'ai incorporé ces 5 kg à 20 litres d'eau.
- J'ai laissé le mélange reposer pendant 10 jours avant le début de l'expérience.
- Pendant 25 jours, j'ai ajouté une fois par semaine 2 litres de solution nutritive au bassin C ( superficie de 2 mètres carrés) ( fig.45). Chaque ajout de 2 litres contenait 4 grammes d'NPK que j'ai pesé avec une balance a précision (fig.43) .
- Pour les bassins de laboratoire d'une superficie de 0,5 mètre carré chacun, j'ai ajouté chaque semaine 500 ml (fig.47 ) de solution nutritive à chacun d'eux, également pendant 25 jours. Chaque apport de 500 ml renfermait 1 gramme d'NPK.

Au total, pour les deux essais, j'ai utilisé 40 litres d'eau, 10 kg de bouse de vache et 80 grammes d'NPK.



**Figure 43.** Bouse de vache et NPK



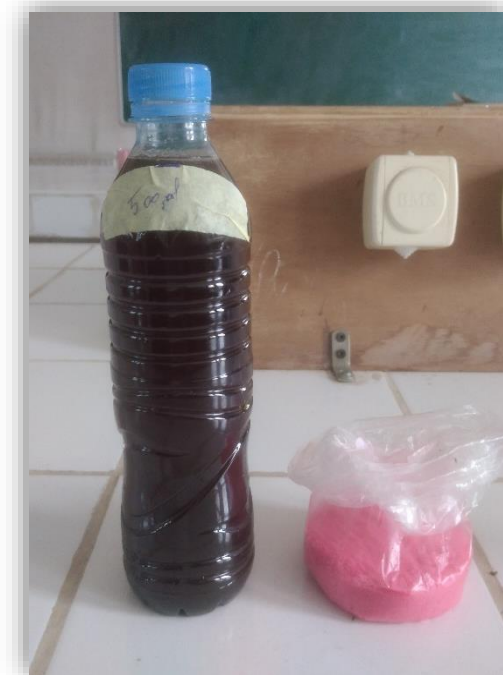
**Figure 44 .** Balance a bagage



**Figure 45.**Ajout de solution nutritive



**Figure 46 .** Balance a précision.



**Figure 47.** 500ml de solution nutritive.

- ❖ Au sein du laboratoire, un système artificiel a été mis en place (fig.50) pour favoriser la survie et la croissance de l'azolla grâce à la photosynthèse (fig.48), un processus essentiel pour cette plante. Voici les caractéristiques principales de ce système :

- Composition : Le système est composé de six néons ordinaires de 18W ( fig.49) fixés en superposition sur le fond du support à l'aide d'une colle spéciale ( fig.51 ) .
- Espacement : Il y a un espacement d'environ 32 cm entre les néons et le tapis d'azolla ( fig.52) .
- Alimentation électrique : Pour répondre aux besoins lumineux de l'azolla, qui nécessite une exposition de 20 heures par jour, une minuterie programmée a été utilisée pour automatiser les interruptions et les reprises de l'alimentation électrique ( fig.53 )

Ces éléments combinés permettent de créer un environnement optimal pour la croissance de l'azolla en fournissant la lumière nécessaire à la photosynthèse.



**Figure 48.** Néons fixés au dispositif



**Figure 49.** Néons 18W



Figure 50. Mise en place de système



Figure 51. Colle spécial



Figure 52. Espacement de 32cm



Figure 53. Minuterie

### IV.8 La plantation de l'azolla

J'ai procédé à différentes étapes pour réaliser la plantation de l'azolla dans les bassins.

- En premier lieu, j'ai récupéré les 3 kg d'azolla qui avaient été transportés de Tipaza à Tizi-Ouzou. Elle avait été récoltée au printemps, 24 heures avant que j'effectue la plantation.
- J'ai effectué la plantation de l'azolla dans tous les bassins en même jour le 18 juin 2023. ( fig.54 )
- Dans les bassins de laboratoire, j'ai utilisé une quantité de 250 grammes d'azolla, couvrant ainsi largement une superficie de 0,5 mètre carré de la surface de l'eau. (Fig.54)
- Pour l'ensemble du dispositif (fig.54) , j'ai eu besoin de 1 kg 500 g d'azolla.
- Malgré la superficie de 2 mètres carrés du bassin en plein air, j'ai utilisé la même quantité d'azolla que les bassins de laboratoire (250g) . Cependant, j'ai délimité une zone de 0,5 mètre carré à l'aide d'une planche afin de surveiller la densité de l'azolla en déplaçant la planche au fil du temps.



**Figure 54.** Plantation de l'azolla



**Figure 55.** Azolla ( 250g)

#### **IV.9 Les suivis effectuer durant l'étude**

Un Suivi de paramètre tel que le ph de l'eau , température de l'eau , température de l'air et taux d'humidité a été réalisé au cour de cette étude pendant 15 jours pour tout les bassins ainsi l'état globale de la plante ( état des racines , état des feuilles , taille et densité de la plante )

#### **IV.10 Les mesures effectuer durant l'étude**

Les paramètres mesuré qui vont suivre sont prisent quotidiennement pendant 15 jour a la même heure ( 11h pour les bassins de laboratoire , 18h pour le bassin en plein aire) :

- ✓ Le pH de l'eau : c'est un paramètre assez crucial. Cela me permet d'évaluer le niveau d'acidité et d'alcalinité de l'eau et de contrôler son influence sur la plante. Après avoir calibré le pH-mètre en utilisant une solution dont le pH est déjà connu ( fig.56 ) , je l'ai plongé dans une solution tampon ayant un pH de 7. J'ai ensuite réglé l'indicateur de ce matériel de manière à afficher la valeur 7
- ✓ La température de l'eau : la température de l'eau a été mesurée avec un thermomètre à mercure pour voir son effet sur la plante. Le niveau du mercure varie selon la température. Il faut le regarder attentivement et lire la valeur sur l'échelle graduée.

- ✓ Température de l'air et taux d'humidité : L'azolla est une plante sensible au variation climatique , des mesures de température de l'air et taux d'humidité ont été effectués en utilisant un hygromètre .



**Figure 56.** Solutions pour effectuer le talonnage

## V. Résultats et discussion

### V.1 Introduction

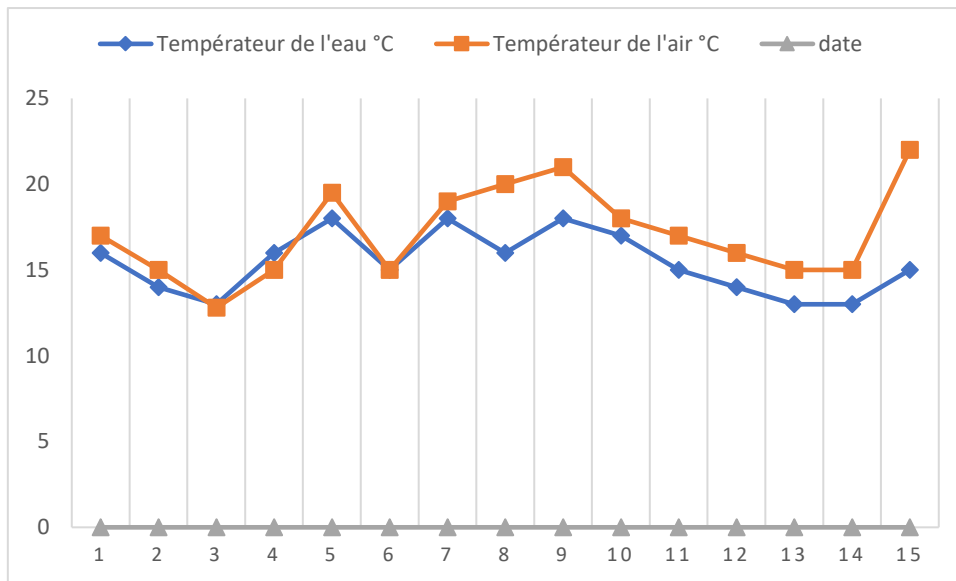
Ce chapitre présente les résultats et discussions d'une étude approfondie sur la culture de l'azolla en tant que ressource alternative pour l'alimentation animale. L'évaluation des paramètres clés tels que la température, l'humidité et le pH met en évidence l'impact sur la croissance de l'azolla. Les résultats de récolte et rendement montrent son potentiel alimentaire. Les problèmes rencontrés sont identifiés et des solutions sont proposées pour améliorer la culture de l'azolla. En conclusion, ces résultats offrent des informations précieuses pour des recherches et applications futures sur cette ressource durable.

### V.2 Évaluation des paramètres de suivi (la température de l'eau, de l'air, le taux d'humidité et le pH de l'eau)

Dans cette section, j'évalue les paramètres de suivi de notre étude, notamment la température de l'air, de l'eau, le taux d'humidité et le pH de l'eau. J'ai pris les mesures pendant 15 jours (du 18 mai au 1 juin 2023) à la même heure dans tous les bassins. Ces paramètres sont importants pour comprendre les conditions environnementales dans lesquelles notre étude a été menée et pour interpréter les résultats obtenus. Je vais discuter des valeurs observées pour chacun de ces paramètres et de leur impact potentiel sur les résultats de notre étude.

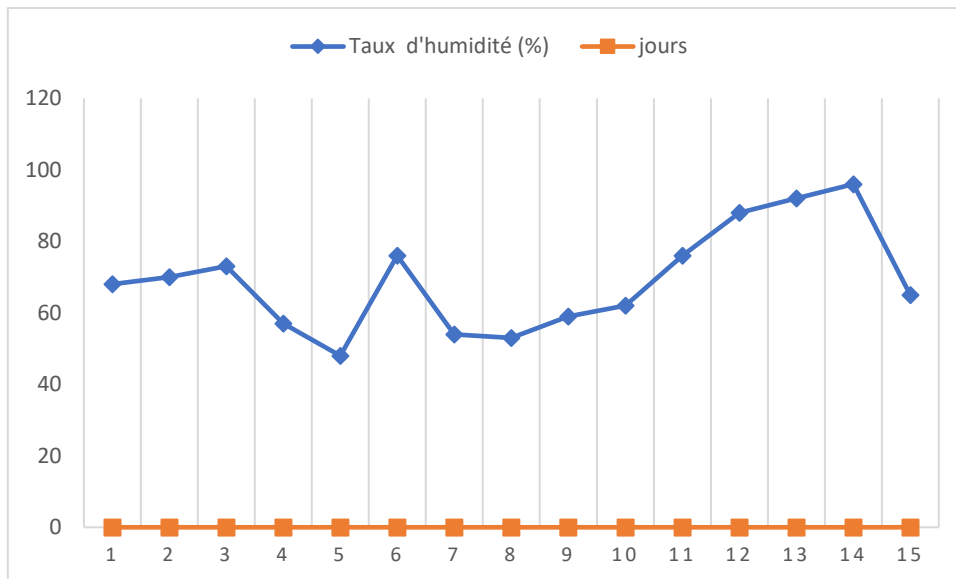
#### V.2.1 Bassin en plein air

- Le graphe (fig.57) compare la température de l'eau et de l'air sur 15 jours. L'eau varie peu, entre 13°C et 18°C. L'air augmente, de 12,8°C à 22°C, avec un écart le dernier jour. L'air dépend plus du climat que l'eau. Ces valeurs sont propices à la croissance moyenne de l'azolla filiculoides, qui peut vivre dans des eaux entre -5°C et 45°C (Watanabe et al., 1977).



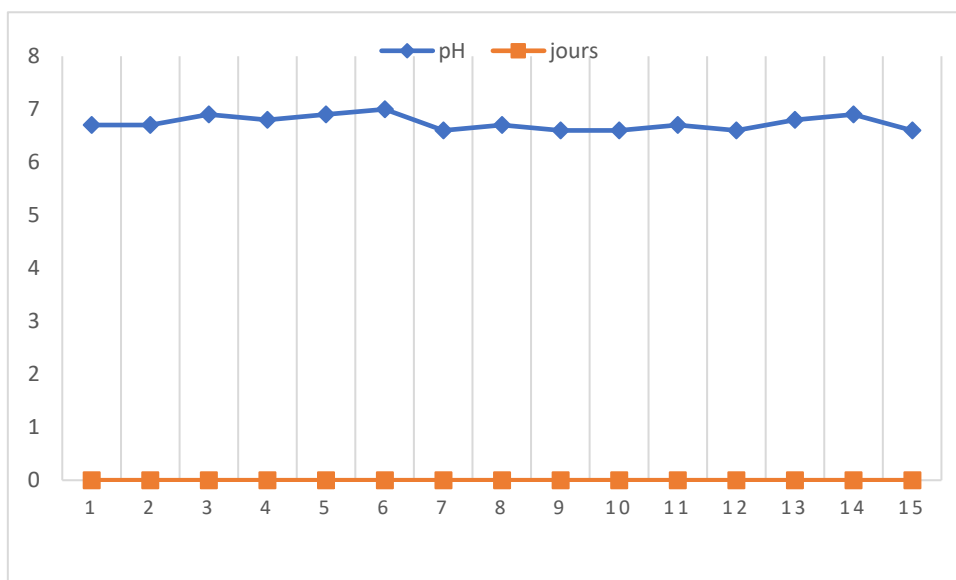
**Figure 57.** L'évolution des températures de l'air et de l'eau au fil des jours.

- Le graphe (fig.58) montre la variation du taux d'humidité sur une période de 15 jours. On constate que le taux d'humidité change beaucoup, de 48% à 96%. Le taux d'humidité le plus bas est atteint le cinquième jour, tandis que le plus haut est atteint le quatorzième jour. On remarque aussi une tendance à la montée du taux d'humidité vers la fin de la période, mais une chute le dernier jour. On peut en conclure que le taux d'humidité dépend du climat, et qu'il y a eu une période plus humide à la fin de la période. D'après Becking (1979), l'Azolla, une plante aquatique, ne peut supporter un taux d'humidité inférieur à 60%. En moyenne, le taux d'humidité moyenne était de 68%, ce qui est propice à la prospérité de l'Azolla.



**Figure 58.** Evolution du taux d’humidité du milieu

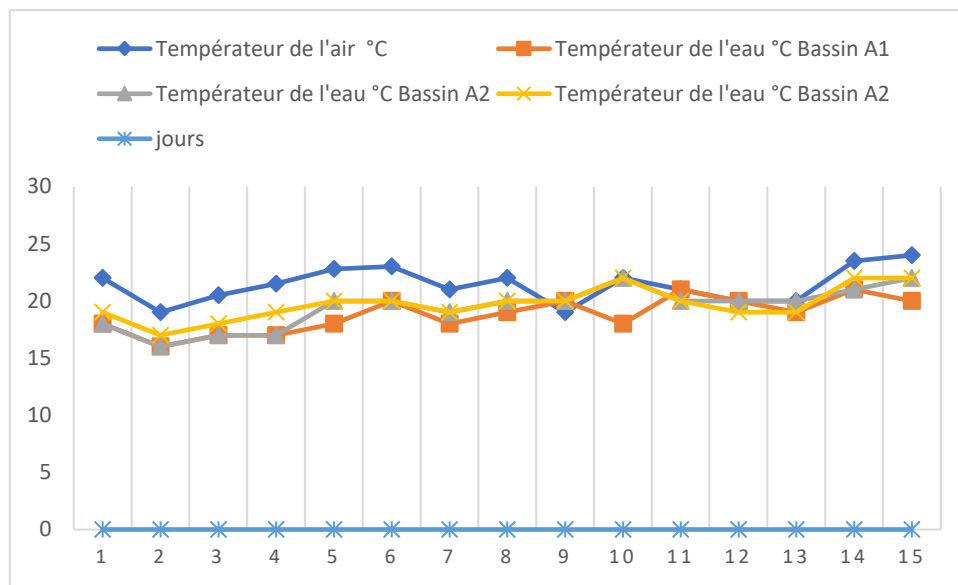
- Le graphe (fig.59) indique le pH sur 15 jours. Il est stable, entre 6,6 et 7, avec un minimum le dernier jour et un maximum le sixième. Il baisse légèrement à la fin, mais reste neutre à légèrement acide. Cela convient à l’azolla filiculoides selon Ashton (1974) et Watanabe et al. (1977).



**Figure 59.** Évaluation de pH de l’eau

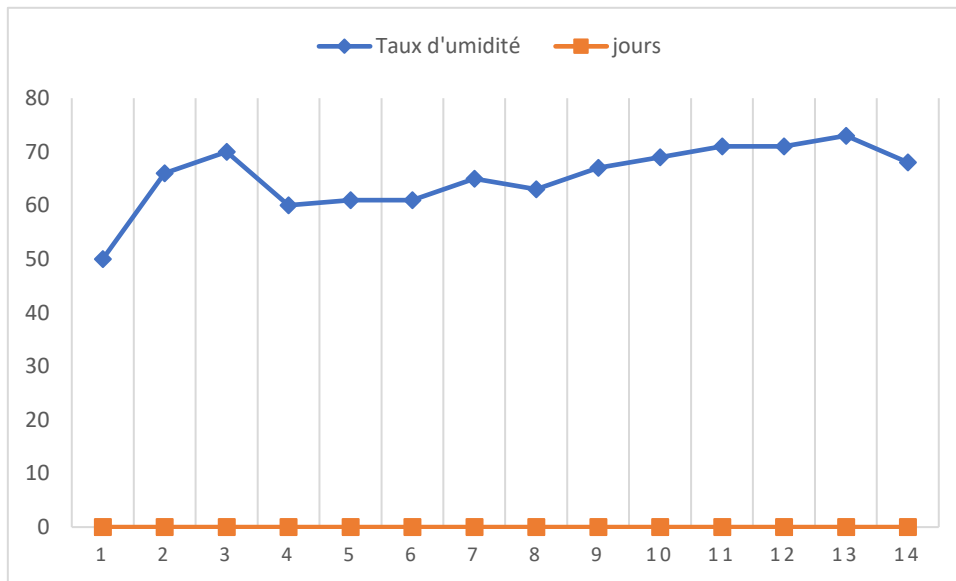
### V.2.2 Bassins de laboratoire :

- Les températures de l'air varient de 19°C à 24°C, tandis que les températures de l'eau dans les bassins A1 et A2 sont généralement plus basses (fig.60). En revanche, les températures de l'eau dans le bassin A3 sont similaires ou légèrement plus élevées, probablement en raison de la hauteur du néon par rapport au tapis d'azolla qui génère une légère chaleur.



**Figure 60.** Evolution de la température de l'air et de l'eau en fonction des jours.

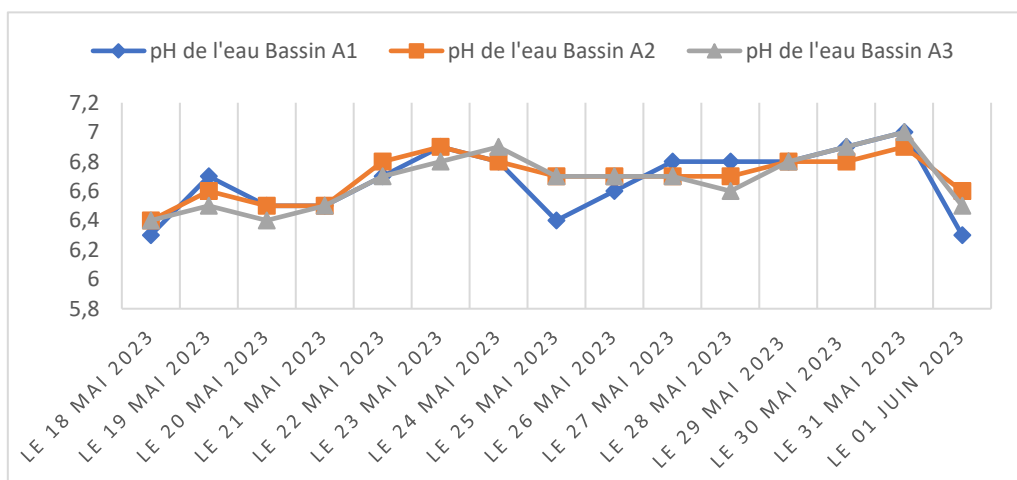
- Pendant la période étudiée, l'humidité varie de 50% à 73%, avec une moyenne de 65,4% (fig.61). Les niveaux d'humidité sont généralement hauts et semblent être liés aux températures de l'air et de l'eau. Il faut noter que le taux d'humidité mesuré dépend surtout des conditions climatiques externes.



**Figure 61.** Evolution du taux d’humidité du milieu en fonction des jours.

➤ Les bassins A1, A2 et A3 ont des niveaux de pH d’eau entre 6,6 et 7. Les bassins A1 et A2 ont des niveaux de pH proches, tandis que le bassin A3 a des valeurs un peu plus hautes à cause de la profondeur du bassin par rapport au tapis d’azolla. Les niveaux de pH sont généralement constants avec de faibles variations, comme le montre le graphe (fig.62)

✓ **Remarque :** Il convient de noter que les pics de pH sont le résultat de l’ajout hebdomadaire de la solution nutritive, qui entraîne une augmentation de l’acidité, suivie d’une diminution progressive jusqu’à ce que la solution soit à nouveau ajoutée.



**Figure 62.** Évolution du pH de l'eau des bassins.

### V.3 Observation de l'évolution de la plante au fil du temps :

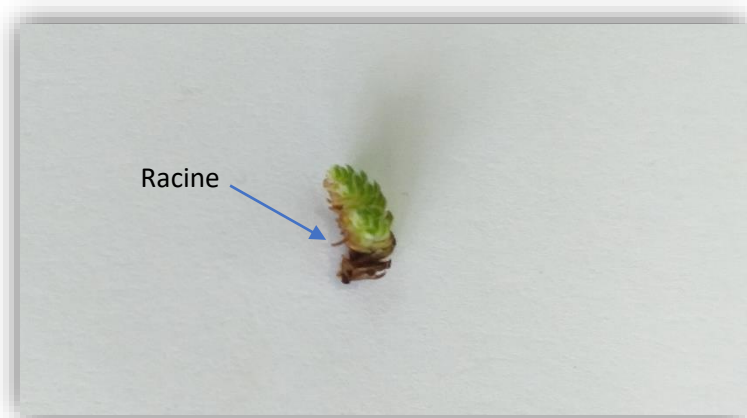
L'objectif de l'observation était de déterminer si la plante se développe de manière normale dans les deux environnements étudiés, afin d'identifier d'éventuels éléments qui pourraient limiter ou favoriser sa croissance et sa reproduction.

#### V.3.1 Etat des racines :

- Avant la plantation : Le transport dans un sac en plastique (fig.63) a causé le détachement de la plupart des racines d'*Azolla* avant la plantation, laissant seulement quelques petites racines attachées (fig.64)



**Figure 63.** Sac contenant de l'*Azolla*



**Figure 64.** Fragment d'*Azolla* avec petite racine.

- 5 jours après la plantation : j'ai observé une adaptation rapide de l'Azolla dans le Bassin C ( plein air ) , marquée par l'augmentation de quelques millimètres de la taille des petites racines qui n'ont pas détaché. En revanche, dans les bassins de laboratoire, l'augmentation était moins significative( fig.65)



**Figure 65.** les racines d'azolla 5 jours après la plantation

- Après 15 jours depuis la plantation : les racines initiales de la plante atteignaient une longueur de 3 cm ( fig.A67), confirmant les observations précédentes de Reynaud et Franche (1986). Elles se distinguaient par leur couleur marron. Cependant, les racines de l'Azolla plantée en laboratoire ont connu une détérioration(fig.B67) .



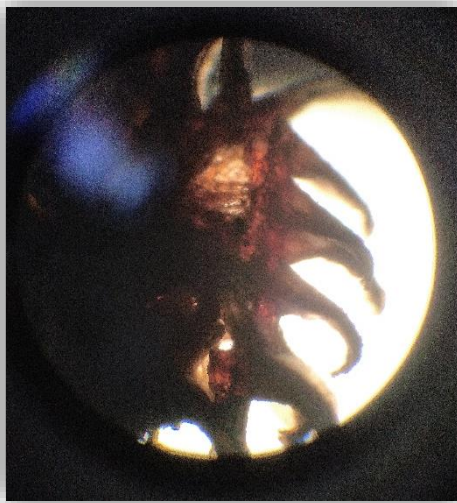
**Figure 67.** État des racines (15 jours après la plantation)

### V.3.2 Etat des des feuilles

Dans le bassin C, les feuilles d'*Azolla* étaient saines et présentaient une couleur verte, indiquant une bonne santé et l'absence de carence en nutriments. En revanche, dans les bassins A1, A2 et A3, les feuilles ont commencé à se déformer à partir du 10<sup>e</sup> jour, devenant progressivement noires à partir du 15<sup>e</sup> jour, ce qui a ultimement conduit à la mort de la plante. Ces observations ont été obtenues à l'aide d'un microscope optique, comme le montrent les ( fig.68 et 69 ).



**Figure 68 .** Aspect des feuilles, 0.4X aux 10<sup>e</sup> jour



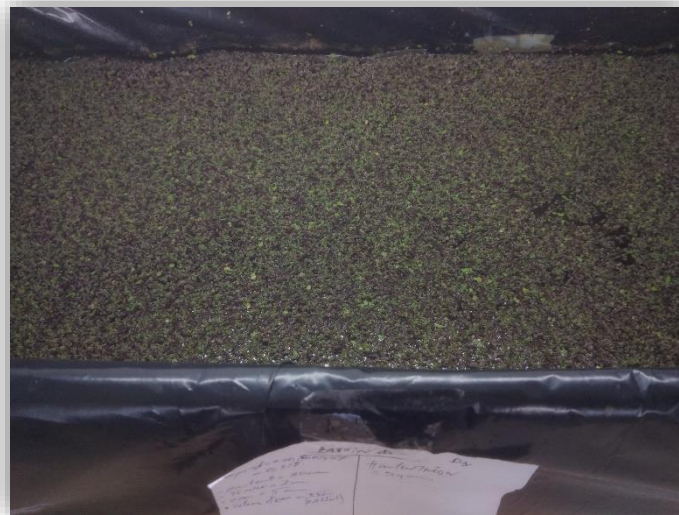
**Figure 69.** Aspect des feuilles, 0.4X aux 15<sup>e</sup> jour

### V.3.3 Développement de la plante

La croissance de la plante dans le bassin C a été remarquable (fig.70) , tandis qu'elle s'est détériorée dans les bassins de laboratoire(fig.71) . Dans le bassin C J'ai placé 250 grammes d'azolla dans une zone de 0,5 mètre carré délimitée par une planche (fig.72). Au 5e jour, j'ai déplacé la planche de 70 cm (fig.73), puis au 10e jour, j'ai répété le même déplacement. Le 15e jour, j'ai retiré la planche , et la plante a colonisé une surface de 2 mètres carrés(fig.74). Ces résultats témoignent d'un développement positif de la plante.



**Figure 70.** Évolution de l'azolla filiculoides entre le début et la fin de la culture( Bassin C) .



**Figure 71.** L'azolla détérioré( Bassins de labo )



**Figure 72.** L'azolla plantée dans une zone de 0.5 mètre carré encadrée par une planche



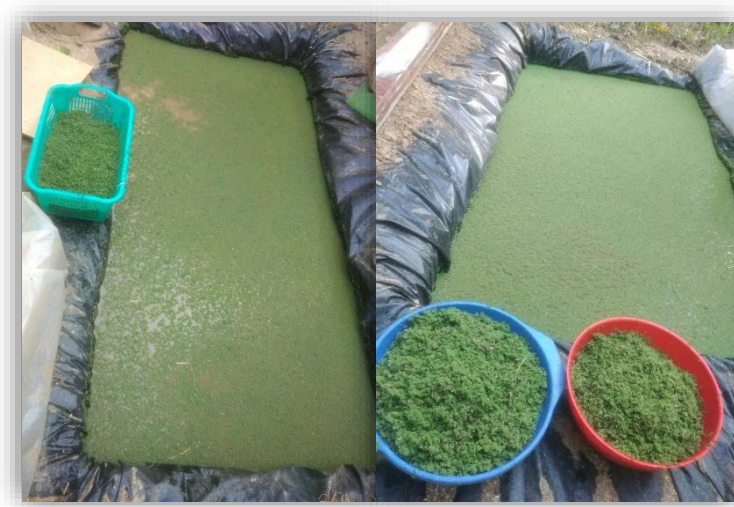
**Figure 73 .** Déplacement de la planche ( 70cm)



**Figure 74 .** la surface de bassin colonisé par l'azolla

#### V.4 Récolte et rendement

- ❖ **Récolte :** Dans le bassin C, j'ai effectué deux récoltes (fig.75) , la première au 20e jour après la plantation ( une récolte complète ) et la deuxième au 28e jour. J'ai également distribué de l'azolla à mes poules à trois reprises(fig.76) . Les poules ont trouvé l'azolla appétissante et sont toujours en vie, ce qui suggère que l'azolla était sain et exempt de maladies. Cependant, il est important de noter qu'aucune récolte n'a été réalisée pour les bassins de laboratoire, car les plantes ont subi une dégénérescence.



**Figure 75.** les deux récoltes effectués



**Figure 76.** Distribution d’azolla aux poules pondeuses

- **Rendement :** J’ai obtenu un rendement satisfaisant . J’ai mesuré la quantité d’azolla produite en la pesant sous deux états différentes : Frêche et séchée , le Le tableau ci-dessous montre les résultats de rendement

**Tableau 10 .** Rendement de l’azolla a l’état fraiche et séché.

	Rendement	
	Récolte 1	Récolte 2
Azolla Frêche	3 350g	3 110g
Azolla séché	301,5g	280,9g



**Figure 77.** Azolla Frêche et azolla séché

Afin d'estimer la quantité d'azolla qui s'est reproduite, j'ai appliqué la formule suivante :

- Quantité multipliée = Quantité total récoltée – quantité initiale
- ✓ En soustrayant 250 g de 3 560 g, nous obtenons un résultat de 3 310 g, ce qui correspond à une production quotidienne de 165,5 g. Par conséquent, nous pouvons déduire qu'une surface de 2 mètres carrés peut générer une production journalière allant jusqu'à 331 g, soit environ 10 kg par mois. Le rendement du groupe qui a travaillé sur cette plante l'année dernière était de 552 g. Cette différence remarquable de rendement est due aux conditions climatiques mentionnées précédemment. L'essai de plantation effectué l'année dernière sur la même plante, mais d'une espèce différente, présentait des températures de l'eau variant entre 20,2 °C et 29,7 °C. En revanche, dans mon étude, les températures variaient entre 13 °C et 18 °C. Selon Van Hove (1989), la température qui favorise la croissance de la plante se situe entre 20 et 30 °C, tandis que selon Adhikari et al. (1999), elle se situe entre 20 et 25 °C.

- ✓ Lors du séchage de l'azolla fraîche, une perte de poids de 91 % a été constatée, correspondant à une teneur en eau de 91 % et en matière sèche de 9 %. Ces résultats sont cohérents avec une étude antérieure menée par Parashuramulu et al. (2013). De plus, d'autres recherches, telles que celles de Van Hove (1989), ont confirmé que cette perte de poids avait peu d'impact sur la valeur nutritionnelle de la plante.

### V.5 Identification des problèmes rencontrés durant l'expérience

- ❖ L'azolla que j'ai plantée dans le dispositif de laboratoire a commencé à se déformer à partir du 10<sup>e</sup> jour, devenant progressivement noire à partir du 15<sup>e</sup> jour, ce qui a finalement conduit à la mort de la plante. J'ai suspecté un certain nombre de facteurs limitants, qui seront exposés dans la partie hypothèses.
- ❖ Le volume d'eau utilisé dans le bassin de 2 mètres carrés était de 0,2 m<sup>3</sup> (soit 200 litres). Sachant que la profondeur d'eau était de 10 cm, le volume d'eau utilisé dans cette expérience est très grand. Cela est contradictoire avec l'objectif de notre expérience, qui était de tester la croissance de l'azolla dans une eau de faible profondeur.

### V.6 Hypothèses

Hypothèses relatives aux bassins du dispositif :

1. Le système d'éclairage présente une faible efficacité pour la photosynthèse des plantes.
2. La qualité du sol utilisé est de mauvaise qualité.
3. La solution nutritive utilisée n'est pas adaptée.
4. La qualité de l'eau utilisée est médiocre.

Hypothèses relatives au bassin (C) :

- A. L'azolla est capable de survivre dans une profondeur d'eau de 5 cm.
- B. L'azolla est capable de supporter une profondeur d'eau de 3 cm.

#### V.6.1 Vérification des hypothèses

- ❖ Pour ce qui concerne les hypothèses 2 et 3, celles-ci ont été préalablement vérifiées car j'ai utilisé la même terre provenant de mon jardin que j'ai transportée au laboratoire, ainsi que la même solution nutritive. Comme vous avez pu le constater, les résultats obtenus dans le bassin C étaient satisfaisants.

- ❖ Afin de vérifier les hypothèses 1 et 4 pour les bassins de laboratoire, j'ai utilisé 3 échantillons :
  - **Le premier échantillon (D1)** : J'ai utilisé la même terre, la même solution nutritive et la même source d'eau. Je l'ai placé à proximité de la fenêtre pour qu'il soit exposé à la lumière naturelle, afin de vérifier l'efficacité du système d'éclairage (fig.78)
  - **Le deuxième échantillon (D2)** : J'ai maintenu les mêmes conditions de culture que les bassins de dispositif , à l'exception de la distance de 8 cm entre la lampe néon et la surface de l'azolla. Cela permettait de vérifier l'efficacité du système d'éclairage à une distance de 5 cm (fig.79).
- ❖ Pour vérifier les hypothèses relatives au bassin C (plein air ), j'ai utilisé 2 échantillons :
  - **Le premier échantillon (E)** : J'ai planté l'azolla à une profondeur d'eau de 5 cm (fig.80).
  - **Le deuxième échantillon (F)** : J'ai planté l'azolla à une profondeur d'eau de 3 cm (fig.81).

**Remarque** : J'ai ajouté une fine couche de terre d'environ 1 cm pour tous les échantillons.



Figure 78. Echantillon D1

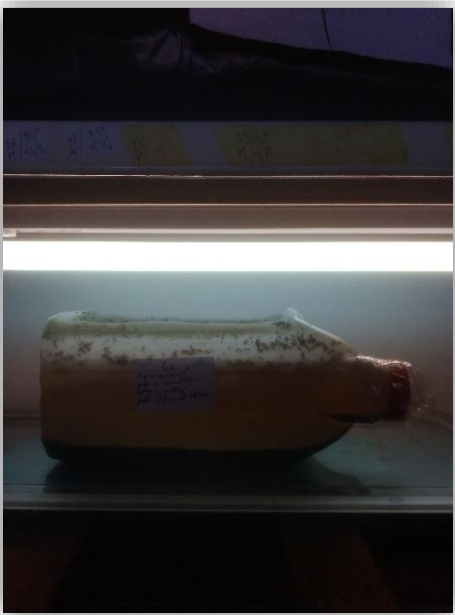


Figure 79. Echantillon D2

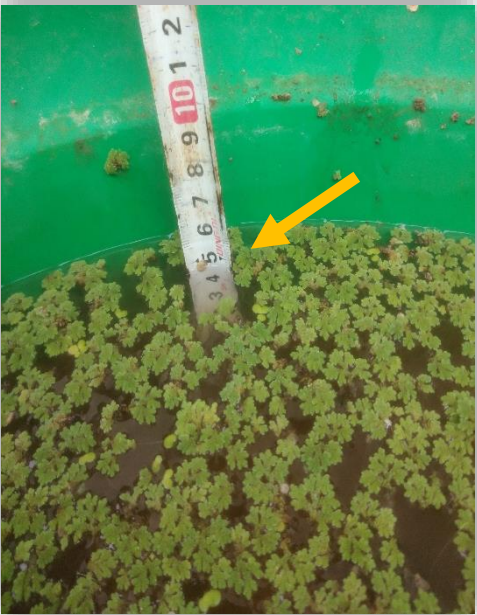


Figure 80 . Echantillon E

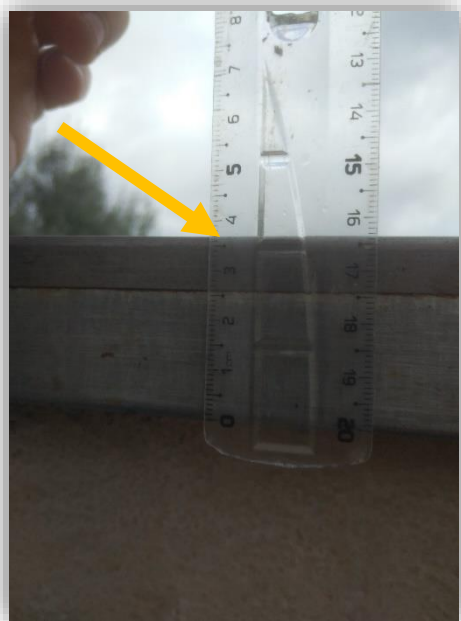


Figure 81 . Échantillon F

### V.7 Suivi des échantillons

Pendant une période de 10 jours ( du 1<sup>er</sup> au 11 juin ), j'ai surveillé la température de l'air, la température de l'eau, le taux d'humidité et le pH de l'eau pour tous les échantillons. De plus, j'ai observé l'état général de la plante pendant 10 jours.

#### V.7.1 Echantillon 1 (D1)

Les moyennes des mesures que j'ai effectuées diffèrent de celles enregistrées lors des deux expériences précédentes en raison des conditions météorologiques (Tableau.11). Cependant, en ce qui concerne le pH de l'eau, il n'y a pas de différence significative. J'en ai conclu que le pH est principalement influencé par la qualité de l'eau, la qualité de terre et la composition de la solution nutritive.

**Tableau 11.** Les moyenne de l'échantillon D1.

	<b>Moyenne</b>
<b>Température de l'eau (C°)</b>	20,8
<b>pH de l'eau</b>	6,75
<b>Température de l'air</b>	23,6
<b>Taux d'humidité</b>	67

- Les résultats de cet échantillon ont répondu à mes attentes, basées sur les résultats que j'ai obtenus dans le bassin (C). Voici des images (fig.82et83) montrant l'apparence de l'azolla avant et après 8 jours de plantation. Il est important de noter que j'ai utilisé de l'azolla qui avait commencé à se dégrader dans les bassins du dispositif (fig.83), mais elle a commencé à reprendre forme au bout de 5 jours.



**Figure 82.** Aspect de l'azolla le jour de la plantation D



**Figure 83 .** Aspect de l'azolla 8 jours après la plantation.

### V.7.2 Echantillon 2 (D2)

Le protocole et les conditions ont été reproduits de la même manière, avec une seule différence : l'échantillon a été placé en dessous d'un néon, à une distance d'environ 6 cm de la couche d'azolla . Les moyennes obtenues sont proches de celles de l'échantillon D1 (tableau 12). Les résultats ont été surprenants et ont dépassé mes attentes, car l'azolla n'a pas continué à se dégrader. Cela prouve que le système de photosynthèse n'a pas été totalement inefficace, même si la croissance n'a pas atteint la même vitesse que dans l'échantillon D1. Les images ci-dessous illustrent l'évolution de l'azolla du premier au huitième jour après la plantation (fig.84 et 85 ).

**Tableau 12.** Les moyenne de l'échantillon D2.

	<b>Moyenne</b>
<b>Température de l'eau (C°)</b>	18,7
<b>pH de l'eau</b>	6,78
<b>Température de l'air</b>	22,8
<b>Taux d'humidité</b>	63,1

**Figure 84.** Aspect de l'azolla au premier jour.**Figure 85.** Aspect de l'azolla au 8ème jour.

### V.7.3 Echantillon 3 (E)

Selon van Hove et al. (1983), l'Azolla se développe mieux dans une faible profondeur d'eau, bénéficiant ainsi d'une meilleure nutrition minérale. Les résultats médiocres dans le bassin A3 (laboratoire) m'ont conduit à planter l'azolla à une profondeur de 5 à 10 cm. À ma surprise, cela a entraîné un développement intéressant de la plante (fig. 86 et 87), grâce à la proximité des racines du sol et aux conditions climatiques favorables (tableau 13). En conclusion, l'ajustement de la profondeur de plantation a conduit à un succès prometteur de l'azolla.

**Tableau 13.** Moyennes des paramètres de l'échantillons (E) .

	<b>Moyenne</b>
<b>Température de l'eau (C°)</b>	19,6
<b>pH de l'eau</b>	6,75
<b>Température de l'air</b>	24,1
<b>Taux d'humidité</b>	62,4



**Figure 86.** Aspect de l'azolla au premier jour .



**Figure 87.** Aspect de l'azolla , après 5jours



**Figure 89.** Aspect de l'azolla , 8 jours après la plantation.

**V.7.4 Echantillon 4 (F)**

Les résultats obtenus dans l'échantillon 3 (E) m'ont incité à réduire encore plus la profondeur d'eau à seulement 3 cm afin de tester les limites de résistance de cette plante à une profondeur minimale. Les résultats étaient intéressants, avec un développement remarquable de la plante (fig.90,91,92).



**Figure 90.** Aspet de l'azolla au 1<sup>er</sup> jour.



**Figure 91.** Aspect de l'azolla au 8<sup>ème</sup> jour



**Figure 92.** Aspect de l'azolla au 5<sup>ème</sup> jour.

**Remarque :** une couche de terre de quelque millimètre a été ajoutée pour tous les échantillons

### V.8 Analyse statistique

Dans le cadre de mon étude, j'ai utilisé le test de Student pour comparer les moyennes de deux groupes d'échantillons dans trois milieux différents :

- ✓ Le bassin (C) en plein air .
- ✓ Le bassin de laboratoire (A3)
- ✓ L'échantillon (D1) à proximité de la fenêtre de labo. Echantillon (D2) sur le dispositif de labo
- ✓ Echantillon( E) et ( F) en plein air .

Les hypothèses  $H_0$  et  $H_a$  ont été émises pour évaluer la différence entre les moyennes. En utilisant le niveau de signification  $\alpha = 0,05$ , j'ai comparé la valeur  $p$  calculée pour chaque test. Si la valeur  $p$  était supérieure à  $\alpha$ , j'ai retenu l'hypothèse  $H_0$ , indiquant l'absence de différence significative. Si la valeur  $p$  était inférieure à  $\alpha$ , j'ai retenu l'hypothèse  $H_a$ , confirmant une différence significative entre les paramètres des milieux.

- ❖ En établissant trois comparaisons entre les Bassins et les échantillons des trois milieux, Le test Student m'a permis d'obtenir les résultats mentionnés dans les Tableaux 15 suivants, en utilisant un seuil  $\alpha$  de 0,05.

#### ➤ Comparaison entre le Bassin A3 et le bassin C :

**Tableau 14 .** les résultats de test de *student* entre le Bassin A3 et C.

	Bassin A3	Bassin C	T	p-value
<b>Ph</b>	6,686666667	6,72	-0,5939887	0,55765298
<b>T°de l'air</b>	21,42	17,12	5,39777979	2,0221E-05
<b>T°de l'eau</b>	18,8	15,4	5,57880605	6,4622E-06
<b>Humidité</b>	64,8	69,13333333	-1,06051675	0,30220539

- a) **pH :** Les taux de pH enregistrés dans le bassin A3 (6,686666667) et dans l'échantillon D1 (6,72) ne présentent pas de différence significative ( $p$ -value = 0,55765298). La valeur de  $p$  (0,55765298) est supérieure au niveau de signification  $\alpha$  (0,05), ce qui indique que les taux de pH dans les deux milieux sont similaires.

- b) **Température de l'air** : Les températures de l'air enregistrées dans le bassin A3 (21,42) et dans l'échantillon D1 (17,12) montrent une différence significative (p-value = 2,02208E-05). La valeur de p très faible (2,02208E-05) est inférieure à alpha (0,05), confirmant qu'il y a une différence significative entre les températures de l'air dans les deux milieux.
- c) **Température de l'eau** : Les températures de l'eau enregistrées dans le bassin A3 (18,8) et dans l'échantillon D1 (15,4) montrent une différence significative (p-value = 6,46223E-06). La valeur de p très faible (6,46223E-06) est inférieure à alpha (0,05), indiquant qu'il y a une différence significative entre les températures de l'eau dans les deux milieux.
- d) **Humidité** : Les taux d'humidité enregistrés dans le bassin A3 (64,8) et dans l'échantillon D1 (69,13333333) ne présentent pas de différence significative (p-value = 0,302205388). La valeur de p (0,302205388) est supérieure à alpha (0,05), ce qui suggère que les taux d'humidité dans les deux milieux sont similaires.

➤ **Comparaison entre l'échantillon F et l'échantillon D2:**

**Tableau 15** . les résultats de test de *student* entre le Bassin A3 et le Bassin C.

	Échantillon F	Échantillon D2	T	p-value
<b>Ph</b>	6,81	6,78	0,3927922	0,69908577
<b>T° de l'air</b>	24,1	22,8	1,31097066	0,20634726
<b>T° de l'eau</b>	20,4	18,7	1,79751381	0,09744434
<b>Humidité</b>	62,4	63,1	-0,22840934	0,82205292

- a) **pH** : Les taux de pH mesurés dans l'échantillon D1 et l'échantillon D2 ne présentent pas de différence significative, car la valeur de p (0,703337056) est supérieure au

niveau de signification alpha (0,05). On peut donc retenir l'hypothèse H0, indiquant que les deux échantillons ont le même pH moyen.

- b) **Température de l'air** : Les températures de l'air mesurées dans l'échantillon D1 et l'échantillon D2 ne présentent pas de différence significative, car la valeur de p (0,418470523) est supérieure à alpha (0,05). On peut donc retenir l'hypothèse H0, indiquant que les deux échantillons ont la même température moyenne de l'air.
- c) **Température de l'eau** : Les températures de l'eau mesurées dans l'échantillon D1 et l'échantillon D2 montrent une différence significative, car la valeur de p (0,004204049) est inférieure à alpha (0,05). On peut donc retenir l'hypothèse Ha, confirmant une différence significative entre les températures moyennes de l'eau des deux échantillons.
- d) **Humidité** : Les taux d'humidité mesurés dans l'échantillon D1 et l'échantillon D2 ne présentent pas de différence significative, car la valeur de p (0,253308677) est supérieure à alpha (0,05). On peut donc retenir l'hypothèse H0, indiquant que les deux échantillons ont le même taux moyen d'humidité.

➤ **Comparaison entre l'échantillon F et D2**

**Tableau 16** . les résultats de test de *student* entre l'échantillon D1 et l'échantillon D2

	<b>Échantillon F</b>	<b>Échantillon D2</b>	<b>T</b>	<b>p-value</b>
<b>Ph</b>	6,81	6,78	0,3927922	0,69908577
<b>T°de l'air</b>	24,1	22,8	1,31097066	0,20634726
<b>T°de l'eau</b>	20,4	18,7	1,79751381	0,09744434
<b>Humidité</b>	62,4	63,1	-0,22840934	0,82205292

- a) **pH** : Les taux de pH mesurés dans l'échantillon F (6,81) et l'échantillon D2 (6,78) ne présentent pas de différence significative (p-value = 0,69908577). La valeur de p (0,69908577) est supérieure au niveau de signification alpha (0,05), ce qui indique que les taux de pH dans les deux échantillons sont similaires.

- b) **Température de l'air** : Les températures de l'air mesurées dans l'échantillon F (24,1) et l'échantillon D2 (22,8) ne présentent pas de différence significative (p-value = 0,20634726). La valeur de p (0,20634726) est supérieure à alpha (0,05), ce qui suggère que les températures de l'air dans les deux échantillons sont similaires.
- c) **Température de l'eau** : Les températures de l'eau mesurées dans l'échantillon F (20,4) et l'échantillon D2 (18,7) montrent une différence significative (p-value = 0,09744434). La valeur de p (0,09744434) est inférieure à alpha (0,05), confirmant qu'il y a une différence significative entre les températures de l'eau dans les deux échantillons.
- d) **Humidité** : Les taux d'humidité mesurés dans l'échantillon F (62,4) et l'échantillon D2 (63,1) ne présentent pas de différence significative (p-value = 0,82205292). La valeur de p (0,82205292) est supérieure à alpha (0,05), ce qui indique que les taux d'humidité dans les deux échantillons sont similaires.

## V.9 Interprétation des résultats de test de student

### ➤ Comparaison entre le Bassin A3 et le bassin C :

Les résultats des tests de Student indiquent qu'il y a des différences significatives entre les températures de l'air et de l'eau dans le bassin A3 et le bassin C, tandis que les taux de pH et d'humidité ne montrent pas de différences significatives entre ces deux milieux.

### ➤ Comparaison entre l'échantillon D1 et l'échantillon D2 :

Les échantillons D1 et D2 sont similaires en termes de pH, de température de l'air et d'humidité, mais qu'ils diffèrent en termes de température de l'eau. Cela est due au fait que les échantillons ont été exposés à des facteurs environnementaux différents .

### ➤ Comparaison entre l'échantillon F et D2 :

Les résultats des échantillons F et D2 sont similaires en termes de pH, de température de l'air et d'humidité, mais ils diffèrent en termes de température de l'eau.

- ✓ Les températures de l'air et de l'eau sont les paramètres qui varient le plus entre les différents bassins et échantillons analysés, tandis que le pH et l'humidité restent relativement stables.

Ces variations peuvent s'expliquer par les conditions climatiques, la profondeur des bassins, la distance entre les néons et le tapis d'azolla, etc.

### V.10 Solutions aux problèmes rencontrés

#### ▪ Dans l'expérience réalisé au laboratoire :

La vérification des hypothèses concernant le premier problème que j'ai rencontré révèle que le système de photosynthèse n'est pas efficace à 100 %, bien qu'une certaine efficacité se soit manifestée à une distance de 6 cm entre le néon et le tapis d'azolla (échantillon D2). Cependant, la multiplication de l'azolla n'a pas été suffisante, ce qui prouve que les néons utilisés ne sont pas adaptés pour la photosynthèse.

Pour que l'azolla puisse se multiplier et donner un bon rendement dans des conditions contrôlées, il faut prendre la photosynthèse comme facteur primordial. Les néons les plus adaptés à la photosynthèse de l'azolla dans des conditions contrôlées en laboratoire sont les néons T5 (fig.). Ils produisent un spectre lumineux plus proche de la lumière naturelle, ce qui est essentiel pour la photosynthèse, car les plantes, comme l'azolla, ont besoin d'une gamme spécifique de longueurs d'onde de lumière pour se développer correctement.

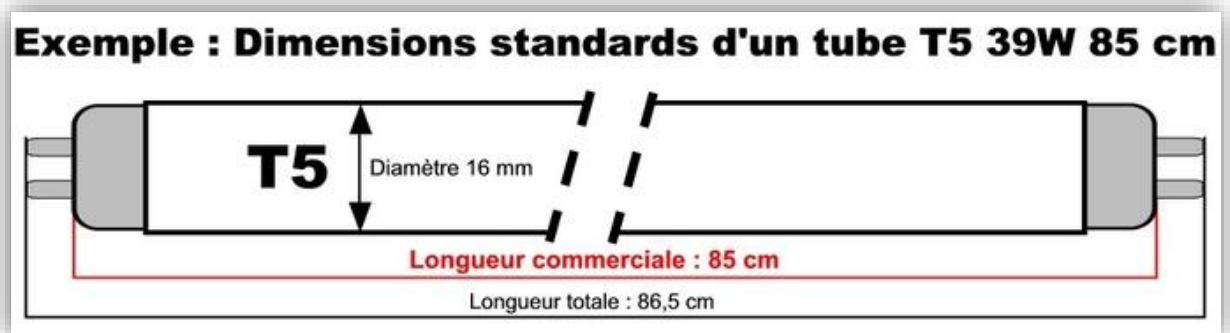


Figure 93 . illustration de néon T5 (AkouaShop. (s.d.))

➤ Voici quelques-uns des néons T5 qui peuvent être utilisés pour la photosynthèse de l'azolla :

1) Philips Master TL-D 18W/840 ( fig.94 ) :



**Figure 94 .** Néon Philips Master ( Beleuchtungdirekt. (s.d))

2) Osram Lumilux T5 HO 18W/840 ( fig.95) :



**Figure 95.** néon Osram Lumilux (Amazon.fr. (s.d))

- ✓ Il est important de noter qu'il est nécessaire d'utiliser un ballast fluorescent T5 (fig.) pour alimenter les néons T5. Le ballast doit être compatible avec la tension du réseau électrique et la puissance du néon.

- **Dans l'expérience en plein air :**

La profondeur d'eau de 3 cm dans laquelle j'ai planté l'azolla était une preuve que cette plante peut survivre à cette profondeur, car les résultats étaient intéressants. Cet essai a soulevé plusieurs questions concernant les avantages et les inconvénients de cette méthode :

**Avantages :**

- a. Réduction du volume d'eau nécessaire lors de la plantation.
- b. Facilité de préparation du bassin.
- c. Les racines étant proches de la terre, favorisant ainsi l'absorption des minéraux.

**Inconvénients :**

- a. Le niveau d'eau diminue rapidement en raison de l'évaporation, nécessitant donc une observation quotidienne.
- b. Difficulté à récolter la plante.

### **V.11 Suggestions pour améliorer la culture de l'azolla**

La culture de l'azolla nécessite une grande quantité d'eau, ce qui peut poser des problèmes dans les zones arides ou soumises à la sécheresse. Dans cette étude, nous proposons quelques pistes pour optimiser la culture de l'azolla et réduire son impact sur la ressource hydrique, ainsi que pour favoriser son développement dans des conditions météorologiques extrêmes, qui peuvent limiter sa production tout au long de l'année.

- Vous pouvez planter l'azolla à une profondeur de 3 cm. Un système de goutte-à-goutte bien conçu a moindre coût pourrait réduire la nécessité de surveiller constamment le niveau d'eau. De plus, une méthode de récolte adaptée à cette profondeur doit être mise en place pour optimiser la culture de l'Azolla.
- Pour réduire l'évaporation de l'eau, vous pouvez planter l'azolla dans des serres en plastique. Mais pour utiliser cette méthode, il faut s'assurer que les conditions météorologiques ne sont pas extrêmes. Sinon, vous pouvez utiliser un système de climatisation à moindre coût.
- L'azolla est une plante très riche en eau, qui en contient entre 91 et 95 %. Par exemple, si on prend de l'azolla qui contient 92 % d'eau, on peut récupérer 9,2 litres d'eau en séchant 10 kg de cette plante. Pour cela, il faut développer un système de séchage qui va permettre de récupérer l'eau.

- Récupérer l'eau de pluie, réguler son pH et l'utiliser pour la culture de l'azolla est une méthode qui pourrait permettre de préserver l'eau des nappes pour d'autres usages essentiels

## Conclusion générale

En conclusion, notre étude s'est focalisée sur l'expérimentation de la culture de l'azolla dans deux environnements distincts : en plein air et en laboratoire avec des conditions contrôlées. Notre principal objectif était d'évaluer le comportement de cette plante face à des conditions météorologiques variables et sa résistance à des profondeurs d'eau minimales. Pour cela, nous avons soigneusement disposé des bassins sur des étagères superposées, équipées d'un système d'éclairage en utilisant des néons ordinaires.

Les résultats obtenus concernant le rendement ont été modérés, avec une production quotidienne atteignant jusqu'à 331 g par 2 mètres carrés, soit environ 10 kg par mois. Ces résultats ont été influencés par des conditions météorologiques défavorables, marquées par des variations de température de l'eau entre 13°C et 18°C. Au cours du processus de séchage, nous avons observé une perte significative de poids, atteignant 91% du poids initial de la plante.

Cependant, les essais réalisés en laboratoire ont abouti à des résultats négatifs, la plante s'étant détériorée et ne survivant pas. Nous avons entrepris des analyses approfondies pour déterminer l'origine de ce problème, et nous avons conclu que le système d'éclairage en était la source. La distance de 32 cm entre les néons et le tapis d'azolla s'est avérée inadaptée aux néons ordinaires, conduisant à l'identification d'une distance optimale de 6 cm. De plus, l'utilisation de néons non appropriés pour cette expérience a motivé notre proposition d'utiliser des néons spécifiquement adaptés à ce contexte.

Le volume d'eau utilisé en plein air, soit 0,2 mètre cube (équivalent à 200 litres), s'est révélé en contradiction avec l'objectif initial de notre étude, qui visait à planter l'azolla à une profondeur d'eau minimale. Cette observation nous a incités à réaliser deux échantillons, en plantant l'azolla à des profondeurs de 5 cm et de 3 cm. Les résultats ont montré que l'azolla filiculoïde pouvait résister à ces niveaux de profondeur et se reproduire sans difficulté. En envisageant des améliorations pour accroître la culture de l'azolla, nous pouvons préserver les ressources en eau et augmenter la production de cette plante, ouvrant ainsi une voie prometteuse que les experts de ce domaine devraient sérieusement considérer.

Enfin, la hauteur d'eau minimale de 3 cm représente la limite pour la culture de l'azolla en plein air. Nous avons également constaté que la fréquence de dégradation observée dans le bassin de laboratoire, avec une profondeur d'eau de 9 cm, était similaire à celle du bassin de 5 cm. L'azolla émerge comme une source alternative fortement recommandée pour l'alimentation animale en raison de sa teneur élevée en protéines, de sa capacité de

## **Conclusion générale**

multiplication rapide et de son mode de culture moins coûteux et moins exigeant en eau et en espace par rapport à d'autres matières premières telles que le tourteau de soja. En adoptant cette approche durable de culture de l'azolla, nous favorisons un équilibre entre la sécurité alimentaire pour les animaux d'élevage et la préservation de l'environnement.

## Les Références Bibliographiques

- Abou, Y., Aina, députée, Fiogbe, éd., & Micha, J. C. (2013).** Croissance et composition en acides gras du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* L. nourris avec des régimes Azolla, en bassins et en bassins en terre : une étude comparative. *Sciences naturelles*, 5(1), 77-83.
- Abreu, J. M. F., & Bruno-Soares, A. M. (1998).** Composition chimique, digestibilité de la matière organique et production de gaz de neuf grains de légumineuses. *Animal Nutrition Science and Technology*, 70(1-2), 49-57.
- Adhikari, S. K., & Roy, P. K. (1999).** Effect of temperature on growth and nitrogen fixation of *Azolla pinnata* and *Azolla filiculoides*. *Journal of Applied Phycology*, 11(4), 437-442.
- Aguilar-Miranda, éd., Lopez, M. G., Escamilla-Santana, C., & Barba de la Rosa, A. P. (2002).** Caractéristiques de la tortilla de farine de maïs additionnée de larves de *Tenebrio molitor* moulues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 192-195.
- AkouaShop. (s.d.).** Tube d'éclairage T5 [Page web]. Récupéré à partir de <https://www.akouashop.com/ampoules-et-tubes/tube-d-eclairage-t5/>
- Alalade, O. A., & Iyayi, E. A. (2006).** Composition chimique et valeur alimentaire de la farine d'*Azolla* (*Azolla pinnata*) pour les poussins de type œuf. *Int. J. Poult. Sci.*, 5(2), 137-141.
- Alalade, O. A., Iyayi, E. A., & Alalade, T. O. (2007).** La valeur nutritive de la farine d'*azolla* (*Azolla pinnata*) dans l'alimentation des poulettes en croissance et son effet ultérieur sur les performances de ponte. *J. Poult. Sci.*, 44(3), 273-277.
- Alejar, A. S., & Aragones, M. (1989).** *Azolla* (*Azolla microphylla*) en remplacement partiel de la ration à base de palay-escargot-crevette pour le canard colvert. Dans : *Azolla : sa culture, sa gestion et son utilisation aux Philippines* (pp. 221-239). Los Baños, Laguna, Philippines.
- Alibes, X., & Tisserand, J. L. (1990).** Tables de la valeur nutritive pour les ruminants des fourrages et sous-produits méditerranéens. *Options Méditerranéennes: Série B Études et recherches*; numéro 4. CIHEAM.
- Al-Shami, S. A., & Mohammed, T. A. (2009).** Effet du remplacement des grains d'orge par de la chapelure gaspillée ou des dattes rejetées sur les performances de croissance et les caractéristiques de la carcasse des lapins en croissance. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(5), 635-641.
- Al-Shanti, H. A., & Abo Omar, J. M. (2003).** Effect of olive cake on layers performance and egg quality. *Journal of Al-Azhar University, Gaza (Natural Sciences)*, 6(1).
- Amazon.fr. (s.d).** Lampe fluorescente 230V 840 LUMILUX. Récupéré à partir de <https://www.amazon.fr/Lampe-fluorescente-230V-840-LUMILUX/dp/B007K4YX0W>
- Arhab, R., Macheboeuf, D., Doreau, M., & Bousseboua, H. (2006).** Nutritive value of date palm leaves and *Aristida pungens* estimated by chemical, in vitro and in situ methods. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 6(3), 167-175.

- Ashton, P. J. (1974).** The effect of some environmental factors on the growth of *Azolla filiculoides* Lam. In E. M. V. Zinderen-Bakker (Ed.), Progress Report, Bloemfontein, South Africa, 123-138 p.
- Ashton, P. J., & Walmsley, R. D. (1976).** The aquatic fern *Azolla* and its *Anabaena* symbiot. Endeavour, 35(124), 39-43.
- Becking, J. H. (1979).** Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production, Nitrogen and Rice. International rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines, 345-374.
- Becking, J. H. (1979).** Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production, Nitrogen and Rice. International rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines, 345-374.
- Beebe, S., Gonzalez, A. V., & Rengifo, J. (2000).** Recherche sur les oligo-éléments du haricot commun. Nourriture Nutr. Bull., 21, 387-391.
- Beleuchtungdirekt. (s.d).** Philips Master TL-D Super 80 18W/840 Blanc Froid 60cm. Récupéré à partir de <https://www.beleuchtungdirekt.ch/fr/philips-master-tl-d-super-80-18w-840-blanc-froid-60cm-8711500631718>
- Berchiche, M., & Lebas, F. (1994).** Supplémentation en méthionine d'un aliment à base de fèverole : effet sur la croissance, le rendement à l'abattage et la composition de la carcasse chez le lapin. World Rabbit Science, 2(4), 135-140.
- Beyer, M., Chudy, A., Hoffmann, L., Jentsch, W., Laube, W., Nehring, K., & Schiemann, R. (2003).** Rostock Feed Evaluation System: numéros de référence de la valeur de l'alimentation et des besoins sur la base de l'énergie nette. Plexus Verlag.
- Bhatia, N., & Singh, S. (2020).** *Azolla* farming for sustainable cropland remediation. Journal of Environmental Management, 269, 110793. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110793>
- Blair, R. (2007).** Nutrition et alimentation des porcs biologiques. Série Cabi, CABI, Wallingford, Royaume-Uni.
- Boudechiche, L., Arab, A., Tahar, A., & Ouzrout, R. (2009).** Study of chemical composition of date stones for use in animal feed. Livestock Research for Rural Development, 21(5).
- Boukhatem, B. (2017).** Schéma d'un palmier dattier [MUNIER, 1973] [Figure]. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/Schma-dun-palmier-dattier-MUNIER-1973\\_fig1\\_309619867](https://www.researchgate.net/figure/Schma-dun-palmier-dattier-MUNIER-1973_fig1_309619867)
- Carregal, R. D., & Takahashi, R. (1987).** Use of silkworm (*Bombyx mori* L.) chrysalis meal as a replacement for soyabean meal in the feeding of growing rabbits. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 16(2), 158-162.
- CheGenetic. (2010).** *Azolla*: la pesadilla de las plantas acuáticas. Consulté le 7 juin 2023 à l'adresse <https://chegenetic.blogspot.com/2010/09/azolla-la-pesadilla-de-las.html>

- Dahouda M., Toleba S. S., Senou M., Youssao A. K. I., Hambuckers A., Hornick J. L., 2009.** Les ressources alimentaires non-conventionnelles utilisables pour la production aviaire en Afrique : valeurs nutritionnelles et contraintes. In *Annales de médecine vétérinaire* (Vol. 153). ULg-Université de Liège, Liège, Belgium.
- Datta, S. N. (2011).** Culture d'*Azolla* et son efficacité dans l'alimentation de *Labeo rohita*. *Aquaculture*, 310(3/4), 376-379.
- De Koning, C., Yates, R., & Wurst, M. (2010).** Sulla (*Hedysarum coronarium*) Management Package. SARDI with funding from Pastures Australia.
- De Lima, L. S., Alcade, C. R., Freitas, H. S., Molina, B. S. D., de Macedo, F. D. F., & Horst, J. A. (2012).** Performances des chèvres laitières nourries avec de la levure sèche de canne à sucre comme source de protéines. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(1), 232-236.
- DePeters, E. J., Fadel, J. G., & Arosemena, A. (1997).** Cinétique de digestion des fibres détergentes neutres et composition chimique dans certains sous-produits sélectionnés. *Animal Nutrition Science and Technology*, 67, 127-140.
- Doan Thi Gang, Khuc Thi Hue, Dinh Van Binh, & Nguyen Thi Mui. (2006).** Effet de l'herbe de Guinée sur la consommation alimentaire, la digestibilité et les performances de croissance des lapins nourris avec un bloc de mélasse et des vignes d'épinards aquatiques (*Ipomoea aquatica*) ou de patates douces (*Ipomoea batatas* L). Atelier sur les fourrages pour porcs et lapins, 21-24 août 2006, MEKARN-CelAgrid.
- Doan Thi Gang, Khuc Thi Hue, Dinh Van Binh, & Nguyen Thi Mui. (2006).** Effet de l'herbe de Guinée sur la consommation alimentaire, la digestibilité et les performances de croissance des lapins nourris avec un bloc de mélasse et des vignes d'épinards aquatiques (*Ipomoea aquatica*) ou de patates douces (*Ipomoea batatas* L). Atelier sur les fourrages pour porcs et lapins, 21-24 août 2006, MEKARN-CelAgrid.
- Ecoport. (2011).** Ecoport database. Ecoport.
- E-Flora BC: Electronic Atlas of the Plants of British Columbia. (2020).** *Azolla Mexicana* Presl. <https://linnet.geog.ubc.ca/Atlas/Atlas.aspx?sciname=azolla%20mexicana&noTransfer=0>
- Ewing, R. (1997).** The Feeds Directory Vol 1. Produits de base. Context Publications, Leicestershire, Angleterre.
- Feedipedia. (s.d.).** *Ipomoea aquatica*. Récupéré de <https://www.feedipedia.org/node/136>
- Feedtables. (2021).** Larves de mouche soldat déshydratées. <https://feedtables.com/fr/content/larves-de-mouche-soldat-matieres-grasses-20-deshydratees>
- Feuillée, L. (1725).** Journal des observations physiques, mathématiques et botaniques, faites par l'ordre du Roy sur les côtes orientales de l'Amérique Méridionale, et dans les Indes Occidentales, depuis l'année 1707, jusques en 1712 et dans un autre trajet fait par le même

ordre à la Nouvelle Espagne, & aux Isles de l'Amérique. A Paris : chez Pierre Giffart, 1714-1725.

**Finke, M. D. (2002).** Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), 269-285.

**Fiogbé, éd., Micha, J. C., & Van Hove, C. (2004).** Utilisation d'une fougère aquatique naturelle, *Azolla microphylla*, comme composant principal dans l'alimentation du tilapia omnivore-phytoplanctonophage, *Oreochromis niloticus* L.. *J. Appl. Ichth.*, 20(6), 517-520.

**Foidl, N., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2001).** The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In *What development potential for Moringa products?* October 20 - November 2, 2001. Dar Es Salaam.

**Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013).** Food wastage footprint: Impacts on natural resources (Summary report). Récupéré de <http://www.fao.org/3/i3273e/i3273e.pdf>

**Gavina, L. D. (1994).** Intégration porc-canard-poisson-azolla à La Union, Philippines. *NAGA, The ICLARM Quarterly*, 17(2), 18-20.

**Genin, D., Kadri, A., Khorchani, T., Sakkal, K., Belgacem, F., & Hamadi, M. (2004).** Valorization of date-palm by-products (DPBP) for livestock feeding in Southern Tunisia. I-Potentialities and traditional use. In H. Ben Salem, A. Nefzaoui, & P. Morand-Fehr (Eds.), *Nutrition and feeding strategies of sheep and goats under harsh climates* (pp. 227-232). Zaragoza: CIHEAM-IAMZ.

**Geoffroy F., NavesM., SaminadinG., BorelH., Alexandre G., 1991.** Utilisation des ressources alimentaires non conventionnelles par les petits ruminants. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. (44) :105–112. DOI:<https://doi.org/10.19182/remvt.9227>

**Gippert, T., Hullar, I., & Szabo, S. (1988).** Valeur nutritive des sous-produits agricoles chez le lapin. Dans : *Proc. du 4e Congrès mondial du lapin*, Budapest, 3, 154-162.

**Göhl, B. (1982).** *Livestock feeds under the tropics*. FAO, Animal Production and Health Division, Rome, Italy.

**Golzary, A., Khoobi, M., & Ghasemi, Y. (2018).** Traitement des eaux usées par *Azolla filiculoides* : étude de la couleur, de l'odeur, de la DCO, des nitrates et des phosphates. *Journal du génie chimique environnemental*, 6(1), 1215-1221.

**Grompone, M. A. (2005).** Sunflower oil. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

**Hale, O. M. (1973).** Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 8, 16-20.

**Haller, W. T., Sutton, D. L., & Barlome, W. C. (1974).** Effects of salinity on the growth of several aquatic macrophytes. *Ecology*, 55, 891-894.

- Harris, D. J., Cheeke, P. R., & Patton, N. M. (1983).** Feed preference studies with rabbits fed fourteen different fresh greens. *J. Appl. Rabbit Res.*, 6(4), 120-122.
- Hasan, M., & Chakrabarti, R. (2009).** Utilisation d'algues et de macrophytes aquatiques comme aliments pour l'aquaculture à petite échelle : une revue. Document technique de la FAO sur les pêches et l'aquaculture, 531. FAO, Rome, Italie.
- Hennessy, D. W., & Williamson, P. J. (1993).** Boue de levure de bière fraîche comme source supplémentaire d'azote pour les bovins recevant du foin de pâturage indigène ou des régimes à base de céréales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 33(1), 1-6.
- Heuzé, V., Thiollet, H., Tran, G., Boudon, A., Bastianelli, D., & Lebas, F. (2018).** Déchets de boulangerie. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://www.feedipedia.org/node/70> Last updated on February 1, 2018, 15:46.
- Heuzé, V., Tran, G., Delagarde, R., Lessire, M., & Lebas, F. (2021).** Féverole (*Vicia faba*). Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://www.feedipedia.org/node/4926> Last updated on May 4, 2021, 9:31.
- Heuzé, V., Tran, G., Giger-Reverdin, S., & Lebas, F. (2017).** Farine de pupes de vers à soie. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. Récupéré de <https://feedipedia.org/node/199>
- Heuzé, V., Tran, G., Giger-Reverdin, S., Noblet, J., Renaudeau, D., Lessire, M., & Lebas, F. (2017).** Pea seeds. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/264> Last updated on February 16, 2017, 15:56
- Heuzé, V., Tran, G., Hassoun, P., Lessire, M., & Vittet, M. A. (2015).** Graines de tournesol. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://feedipedia.org/node/40>
- Heuzé, V., Tran, G., Hassoun, P., Régnier, C., Bastianelli, D., & Lebas, F. (2015).** Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*). Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. Récupéré de <https://www.feedipedia.org/node/160> Dernière mise à jour le 13 octobre 2015, 16:25.
- Heuzé, V., Tran, G., Hassoun, P., Régnier, C., Bastianelli, D., & Lebas, F. (2015).** Jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*). Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. Récupéré de <https://www.feedipedia.org/node/160> Dernière mise à jour le 13 octobre 2015, 16:25.
- Heuzé, V., Tran, G., Hassoun, P., Renaudeau, D., Lessire, M., & Lebas, F. (2015).** Graines de lin. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://www.feedipedia.org/node/36> Last updated on October 21, 2015, 14:23
- Heuzé, V., Tran, G., Nozier, P., & Lebas, F. (2015).** Common bean (*Phaseolus vulgaris*). Feedipedia, a program by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://feedipedia.org/node/266> Last updated on October 20, 2015, 2:50 pm
- Heuzé, V., Tran, G., Sauvant, D., & Lebas, F. (2017).** Grains de brasserie. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://www.feedipedia.org/node/74> Last updated on August 17, 2017, 12:20.

- Hills, L. V., & Gopal, B. (1967).** *Azolla primaeva* and its phylogenetic significance. *Canadian Journal of Botany*, 45, 1179-1191.
- INRA. (2007).** Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - valeurs des aliments. Tableaux Inra 2007. Quae éditions.
- Issolah, R., Tahar, A., Derbal, N., Zidoun, F., Ait Meziane, M. Z., ... & Benslama, M. (2012).** Caractérisation écologique de l'habitat naturel du *Sulla* (Fabaceae) dans le nord-est de l'Algérie. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 67(3), 295-304.
- iStock. (s.d.).** Fane de carotte photos et images libres de droits. Consulté le 2 juillet 2023, à partir de <https://www.istockphoto.com/fr/photos/fane-de-carotte>
- Ivan, M., Mir, P. S., Mir, Z., Entz, T., He, M. L., & McAllister, T. A. (2004).** Effects of dietary sunflower seeds on rumen protozoa and growth of lambs. *Br. J. Nutr.*, 92(2), 303-310.
- Jour de Cueillette. (s.d.).** Planter un noyau d'olive. Récupéré le 15 juin 2023, de <http://www.jourdecueillette.fr/planter-un-noyau-dolive/>
- Kadi, S. A. (2012).** Alimentation du lapin pour la production de viande: valorisation des sources fibreuses disponibles en Algérie. Thèse Doc Sci. Agro. Université Tizi-Ouzou Algérie, 143 pp.
- Kakengi, A. M. V., Shem, M. N., Sarwatt, S. V., & Fujihara, T. (2005).** Le *Moringa oleifera* peut-il être utilisé comme complément protéique pour les ruminants ?. *Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(1), 42-47.
- Khan, S. A., & Zubairy, A. W. (1971).** Chemical composition and nutritive value of Tusser silk worm pupae. *Indian Journal of Animal Sciences*, 41(11), 1070-1072.
- Khatun, M. A., Mondol, M. A. S., & Yeasmin Akter. (2008).** Effet d'un régime à base d'*Azolla* (*Azolla pinnata*) sur les performances et la qualité des œufs des poules pondeuses. *Int. J. Soutenir. Agric. Technol.*, 4(2), 6-12.
- Kim, P. (1982).** L'*Azolla pinnata* plante miracle des rizières du Vietnam. *Biofutur*, 11-21 p.
- Klasing, K. C., Thacker, P., Lopez, M. A., & Calvert, C. C. (2000).** Augmentation de la teneur en calcium des vers de farine (*Tenebrio molitor*) pour améliorer leur valeur nutritionnelle pour la minéralisation osseuse des poussins en croissance. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 31(4), 512-517.
- Konar, R. N., & Kapoor, R. K. (1974).** Anatomical studies of *Azolla pinnata*. *Phytomorphology*, 22, 211-223.
- Laisse S., Baumont R., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Peyraud J. L., 2019.** L'efficacité nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : une nouvelle approche pour évaluer la contribution de l'élevage à l'alimentation humaine. *INRA Productions Animales*, 31(3): 269-288
- Laréo, L., & Bressani, R. (1982).** Possible use of water hyacinth in food and industry. *Food and Nutrition Bulletin*, 4(4), United Nations University Press.

- Laréo, L., & Bressani, R. (1982).** Utilisation possible de la jacinthe d'eau dans l'alimentation et l'industrie. Bulletin de l'alimentation et de la nutrition, 4(4), presse universitaire des Nations Unies.
- Lévesque, M. (2018, 7 mars).** Des vers de farine plutôt que du bœuf. Le Journal de Montréal. Récupéré de <https://www.journaldemontreal.com/2018/03/07/des-vers-de-farine-plutot-que-du-buf>
- Linn, J. G., Hutjens, M. F., Shaver, R., Otterby, D. E., Howard, W. T., & Kilmer, L. H. (2002).** Nourrir le troupeau laitier. Extension de l'Université du Minnesota, Pub. 346.
- Liu, X., Takayama, K., Yamashita, K., Nakanishi, Y., Manda, M., & Inanaga, J. (1998).** Condition de culture et valeur nutritive de l'*Azolla* comme ressource alimentaire. Grassl. Sci., 44(3), 266-271.
- Lumpkin, T. A., & Plucknett, D. L. (1980).** *Azolla*: Botany, physiology, and use as a green manure. Economic Botany, 34(2), 111-153.
- Lumpkin, T. A., & Plucknett, D. L. (1980).** *Azolla*: Botany, physiology, and use as a green manure. Economic Botany, 34(2), 111-153.
- Mako, A. A., Babayemi, J. O., & Akinsoyinu, A. O. (2011).** An evaluation of the nutritional value of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart. Solms-Laubach) harvested from different water sources as animal feed. Livestock Research for Rural Development, 23(5).
- Mako, A. A., Babayemi, J. O., & Akinsoyinu, A. O. (2011).** Une évaluation de la valeur nutritive de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes* Mart. Solms-Laubach) récoltée à partir de différentes sources d'eau comme aliment pour animaux. Livestock Research for Rural Development, 23(5).
- Margaron. (s.d.).** Drêche de brasserie. <https://margaron.fr/sites/default/files/2019-07/DRE-j-180629.pdf>
- Mellor, R. B., Gadd, G. M., Rowell, P., & Stewart, W. D. P. (1981).** A phytohaemagglutinin from the *Azolla-anabaena* symbiosis. Biochemical and Biophysical Research Communications, 99(4), 1348-1353.
- Messiaen, C. M., Seif, A. A., Jarso, M., & Keneni, G. (2006).** *Pisum sativum* L.. Enregistrement de Protabase. Brink, M. & Belay, G. (éditeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays-Bas.
- Micek, P., Kulig, B., Woznica, P., & Sajdak, A. (2012).** La valeur nutritive pour les ruminants des graines de féverole (*Vicia faba*) et d'avoine nue (*Avena nuda*) cultivées dans un système d'agriculture biologique. Journal of Animal and Feed Sciences, 21(4), 773-786.
- Miranda, A. F., Biswas, B., Ramkumar, N., Singh, R., Kumar, J., James, A., Roddick, F., Lal, B., Subudhi, S., Bhaskar, T., & Mouradov, A. (2016).** Aquatic plant *Azolla* as the universal feedstock for biofuel production. Biotechnology for Biofuels, 9(221).

- Molina Alcaide, E., & Yañez Ruiz, D. R. (2008).** Potential use of olive by-products in ruminant feeding: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 147, 247-264.
- Moore, A. W. (1969).** Azolla: biology and agronomic significance. *Botanical Review*, 35, 17-34.
- Muehlbauer, F. J., & Tullu, A. (1997).** Pisum sativum L.. Dans : *NewCrop Factsheet*, Purdue University, Centre for new crop & plant products.
- Mukherjee, A., & Kumar, A. (2021).** Effect of Invasive Aquatic Plants (Azolla, Myriophyllum and Cyperus) Biochar Amendment on Maize Growth: An Assessment.
- Murro, J. K., Muhikambe, V. R. M., & Sarwatt, S. V. (2003).** Moringa oleifera leaf meal can replace cottonseed cake in the concentrate mix fed with Rhodes grass (*Chloris gayana*) hay for growing sheep. *Livestock Research for Rural Development*, 15(11).
- Namra, M. M. M., Hataba, A. N., & Wahed, H. M. A. (2010). Les performances productives des poussins fayoumi en croissance nourris avec des régimes restreints complétés par de l'azolla fraîche gratuite. *Egypte. Poule. Sci. J.*, 30(3), 747-762.
- Nandabalan, K. S., & Kannaiyan. (1986).** Effect of salinity on *Azolla pinnata*. *International Rice Research Newsletter*, (11), 3 – 9.
- Nandabalan, K. S., & Kannaiyan. (1986).** Effect of salinity on *Azolla pinnata*. *International Rice Research Newsletter*, (11), 3-9.
- Nefzaoui, A. (1985).** Valorisation des résidus lignocellulosiques dans l'alimentation des ruminants par les traitements aux alcalis. Application aux grignons d'olive [Doctoral dissertation, Université Catholique de Louvain].
- Nega, T., & Woldes, Y. (2018).** Review on nutritional limitations and opportunities of using rapeseed meal and other rape seed by-products in animal feeding. *Journal of Nutrition, Health & Food Engineering*, 8(1), 43-48.
- Nekoubin, H., & Sudagar, M. (2013).** Effet de différents types de plantes (*Lemna sp.*, *Azolla filiculoides* et *Alfalfa*) et d'un régime artificiel (avec deux niveaux de protéines) sur les performances de croissance, le taux de survie, les paramètres biochimiques et la composition corporelle de la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*). *J. Aquac. Rés. Développ.*, 4(2), 167.
- Newton, G. L., Booram, C. V., Barker, R. W., & Hale, O. M. (1977).** Farine de larves séchées d'*Hermetia illucens* comme supplément pour les porcs. *Journal of Animal Science*, 44(3), 395-400.
- Noumo Ngangmou, T. (2011).** Influence de la fermentation par *Lactobacillus plantarum* A6 sur la composition chimique et la qualité nutritionnelle des poudres de feuilles de *Moringa oleifera* Lam (Mémoire de master). Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, Université de Ngaoundéré, Cameroun.
- 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.

- Parashuramulu, S., Swain, P. S., & Nagalakshmi, D. (2013).** Protein fractionation and in vitro digestibility of Azolla in ruminants. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 3(3), 129-132.
- Pereira, A. L., & Carrapiço, F. (2007).** Histochemistry of simple hairs from the foliar cavities of *Azolla filiculoides*. *Plant Biosystems*, 141(3), 323-328.
- Pieterse, A. H. (1997).** *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms. Enregistrement de Proseabase. In I. Faridah Hanum & L. J. G. van der Maesen (éditeurs), *Fondation PROSEA (Plant Resources of South-East Asia)*, Bogor, Indonésie.
- Prolea. (2014).** Les graines : pois, féveroles, lupin. Proléa. L'alimentation animale.
- Przybylski, R. (2005).** Flax oil and high linolenic oils. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Raï, R. B., Dhama, K., Damodaran, T., Hamid Ali, Sweta Raï, Balvir Singh, & Bhatt, P. (2012).** Évaluation de l'azolla (*Azolla pinnata*) comme aliment pour volaille et son rôle dans la réduction de la pauvreté chez les personnes sans terre dans les plaines du nord de l'Inde. *Vétérinaire. Pratique*, 13(2), 250-254.
- Rajesh, S. (2020).** Production of azolla as livestock feed supplement in India. *Pashudhan praharee. Indian Dairy & Poultry industry*, 43 p.
- Ramos-Elorduy, J., Avila Gonzalez, E., Rocha Hernandez, A., & Pino, J. M. (2002).** Utilisation de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pour recycler les déchets organiques et comme aliment pour les poulets à griller. *Journal of Economic Entomology*, 95(1), 214-220.
- Reynaud, P., & Franche, C. (1986).** *Azolla pinnata* var. *Africana* "de la biologie moléculaire aux Applications Agronomiques". Dakar Sénégal. ORSTOM. 15 p.
- Roger, P. A., & Garcia, J.-L. (2015).** Introduction à la microbiologie du sol. Polycopié de cours (Université de Provence, Université de la Méditerranée, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Luminy). [https://www.researchgate.net/figure/Morphologie-dune-fronde-dAzolla-2-3-cm-et-section-de-la-feuille\\_fig5\\_282281236](https://www.researchgate.net/figure/Morphologie-dune-fronde-dAzolla-2-3-cm-et-section-de-la-feuille_fig5_282281236)
- Sabra, M. M., El-Basiony, A. Z., Mansour, A. M., & Zonkol, K. E. (2006).** Effet de l'utilisation de certaines sources non traditionnelles de protéines sur les performances de production et de reproduction des lapins blancs de Nouvelle-Zélande. *Égyptien J. Rabbit Sci.*, 16(2), 161-173.
- Saipol. (n.d.).** Graines de colza. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.saipol.com/des-graines-aux-produits-finis/graines-de-colza/>
- Samad, M. A., Islam, M. A., & Hossain, M. A. (2020).** Sustainable alternative animal feeds: Recent advances and future perspective of using azolla as animal feed in livestock, poultry

and fish nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114602.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114602>

- Sauvant, D., Perez, J. M., Tran, G. (2004).** Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: 2ème édition. INRA Editions Versailles. ISBN 2738011586, 306 p.
- Shukla, S., Kumar, A., & Singh, P. (2018).** Influence of level of inclusion of Azolla leaf meal on growth performance, meat quality and skeletal muscle p70S6 kinase  $\alpha$  abundance in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 244, 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.016>
- Simpson, G. (2012).** Comparative feed values for swine. OMAFRA, Factsheet.
- Soliva, C. R., Kreuzer, M., Foidl, N., Foidl, G., Machmüller, A., & Hess, H. D. (2005).** Feeding value of whole and extracted *Moringa oleifera* leaves for ruminants and their effects on ruminal fermentation in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 118(1/2), 47-62.
- Subudhi, B. P. R., & Singh, P. K. (1978).** Valeur nutritive de la fougère aquatique *Azolla pinnata* pour les poussins. *Poule. Sci.*, 57(2), 378-380.
- Sujatha, T., Kundu, A., Jeyakumar, S., & Kundu, M. S. (2013).** Supplémentation en azolla : avantage du coût de l'alimentation dans la ration de canard aux îles Andaman. *Tamil Nadu J. Vet. Anim. Sci.*, 9(2), 130-136.
- Teline. (s.d.).** *Hedysarum flexuosum*. Récupéré le 12 juin 2023, de <https://www.teline.fr/fr/photos/fabaceae/hedysarum-flexuosum>
- Terres Univia. (n.d.).** Les espèces cultivées : colza. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.terresunivia.fr/cultures-utilisation/les-especes-cultivees/colza>
- Terres Univia. (n.d.).** Les espèces cultivées : lin. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.terresunivia.fr/cultures-utilisation/les-especes-cultivees/colza>
- The Azolla Foundation. (2019).** Cultivation of Azolla as a livestock feed.  
<https://theazollafoundation.org/growing-azolla/cultivation-of-azolla-as-a-livestock-feed/>
- Tran, G. (2015).** Azolla. Feedipedia, INRAE, CIRAD, AFZ et FAO.  
<https://www.feedipedia.org/node/565>.
- Tran, G., Gnaedinger, C., & Mélin, C. (2015).** Larves de mouche soldat noire (*Hermetia illucens*). Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO.  
<https://www.feedipedia.org/node/16388> Dernière mise à jour le 20 octobre 2015, 11:10.
- Tran, G., Gnaedinger, C., & Mélin, C. (2019).** Ver de farine (*Tenebrio molitor*). Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. Récupéré de <https://www.feedipedia.org/node/16401>

- Valentin, S. C., & Bartsch, B. D. (1987).** Fermentation de grains d'orge, de lupin, de pois et de féverole broyés à marteaux dans le rumen de vaches laitières. *Anim. Nourrissez Sci. Technol.*, 16(4), 261-271.
- Van Hove, C. (1989).** Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa (J.E. Ruelle, Trans.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Original work published 1983)
- Van Hove, C. (1989).** Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa (J.E. Ruelle, Trans.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Original work published 1983)
- Van Hove, C. (1989).** Azolla et ses multiples utilisations avec un accent sur l'Afrique. FAO, Rome, FAO. 53 p.
- Van Hove, C., Diara, H. F., & Godard, P. (1983).** Azolla en Afrique de l'Ouest. ADRAO, 30 p.
- Van Hove, C., et al. (1996).** Dans: Biological Nitrogen Fixation Associated with Rice Production (Rahman M, Podder AK, Van Hove C, Begum ZNT, Heulin T et Hartmann A eds.) pp. 83-94. Éditeurs académiques Kluwer.
- Watanabe, I., Espinas, C. R., Berja, N. S., & Alimagno, B. V. (1977).** Utilization of the Azolla-Anabaena complex as a nitrogen fertilizer for rice. Paper Ser., (11), 1-15.
- Wortmann, C. S. (2006).** Phaseolus vulgaris L. (haricot commun). Enregistrement de PROTA4U. Brink, M. & Belay, G. (éditeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays-Bas.
- Wunderlin, R. P. (2014).** Azolla pinnata. [Photographie]. Atlas of Florida Plants. <https://plants-archive.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/images/azopin/azollapinnataLD.jpg>
- Yadav, R. K., Abraham, G., Singh, Y. V., & Singh, P. (2015).** Advancements in the utilization of Azolla-Anabaena system in relation to sustainable agricultural practices. *Journal of Soil and Water Conservation*, 14(1), 1-9.
- Yin FuQuan, Ga ErDi, Liu RuiFang, Yu Lei, Lu ShouFeng, & Qi ZhiLi. (2009).** Effects of seeds of different oil plants on fatty acid in ruminal fluid, blood plasma and milk CLA of lactating cows. *Scientia Agricultura Sinica*, 42(3), 1039-1046.
- Yunker, R. S., Winland, S. D., Firkins, J. L., & Hull, B. L. (1998).** Effets du remplacement des fibres fourragères ou des glucides non fibreux par des céréales de brasserie séchées. *Journal of Dairy Science*, 81(10), 2645-2656.
- Zhang, Z. T., Ke, Y. S., Ling, D. Q., Duan, B. Y., & Liu, X. L. (1987).** Utilisation de l'Azolla dans la production agricole de la province de Guangdong, Chine. Dans : IRRI, Azolla utilisation : Proc. Atelier sur l'utilisation de l'Azolla, Fuzhou, Fidji, Chine, Manille.

## ANNEXE 01

	Les paramètres muséré				
Bassins	Température de l'eau (C°)	PH	Température De l'air (C°)	Humidité (%)	Date
C					De 18 mai au 1er juin 2023
A1					De 18 mai au 1er juin 2023
A2					De 18 mai au 1er juin 2023
A3					De 18 mai au 1er juin 2023
Échenillons					
D1					De 02 juin au 11 juin 2023
D2					De 02 juin au 11 juin 2023
E					De 02 juin au 11 juin 2023
F					De 02 juin au 11 juin 2023

## Résumé

Dans cette étude, l'azolla (*Azolla filiculoides*) a été soumise à des essais de plantation dans deux environnements distincts: en plein air et au laboratoire disposant de conditions contrôlées. Les résultats obtenus en plein air ont démontré un rendement moyen, avec une production journalière atteignant jusqu'à 331g par 2 mètres carrés, soit environ 10 kg par mois. Ce résultat modéré est attribué aux conditions météorologiques défavorables, caractérisées par des variations de température de l'eau entre 13°C et 18°C. En revanche, l'essai effectué en laboratoire s'est révélé négatif, car la plante s'est détériorée et a succombé. Nous avons identifié le problème comme étant lié au système d'éclairage. En effet, la distance de 32 cm entre les néons et le tapis d'azolla n'a pas été adaptée aux néons ordinaires, et une distance optimale de 6 cm a été déterminée. De plus, l'utilisation de néons inadaptés pour ce type d'expérience nous a poussé à suggérer l'utilisation des néons spécifiquement conçus à cet effet. Le volume d'eau utilisé en plein air, soit 0.2 mètre cube (équivalent à 200 litres), s'est avéré contradictoire avec l'objectif initial de l'étude, qui visait à planter l'azolla à une profondeur d'eau minimale. Deux échantillons supplémentaires ont été réalisés en plantant l'azolla à des profondeurs de 5 cm et 3 cm. on a ainsi observé que l'azolla filiculoide pouvait résister à ces niveaux de profondeur et se reproduire sans difficulté. Ces résultats prometteurs suggèrent que l'azolla présente un potentiel intéressant en tant que source alimentaire pour les animaux d'élevage. Cependant, des recherches sont nécessaires afin d'améliorer les rendements et optimiser les conditions de culture.

**Mots clés :** Azolla, Azolla filiculoide, alimentation animale, ressource alternative, source protéique, culture de l'Azolla.

## Summary

In this study, azolla (*Azolla filiculoides*) was subjected to planting trials in two distinct environments: outdoors and in the laboratory with controlled conditions. The results obtained outdoors showed an average yield, with a daily production reaching up to 331g per 2 square meters, or about 10 kg per month. This moderate result is attributed to unfavorable weather conditions, characterized by variations in water temperature between 13°C and 18°C. On the other hand, the trial carried out in the laboratory proved negative, as the plant deteriorated and succumbed. We identified the problem as being related to the lighting system. Indeed, the distance of 32 cm between the neon lights and the azolla mat was not adapted to ordinary neon lights, and an optimal distance of 6 cm was determined. In addition, the use of neon lights unsuitable for this type of experiment led us to suggest the use of neon lights specifically designed for this purpose. The volume of water used outdoors, i.e. 0.2 cubic meter (equivalent to 200 liters), proved to be contradictory with the initial objective of the study, which aimed to plant azolla at a minimal water depth. Two additional samples were carried out by planting azolla at depths of 5 cm and 3 cm. We thus observed that *azolla filiculoides* could resist these levels of depth and reproduce without difficulty. These promising results suggest that azolla has an interesting potential as a food source for livestock animals. However, further research is needed to improve yields and optimize growing conditions.

**Keywords:** Azolla, *Azolla filiculoides*, animal feed, alternative resource, protein source, Azolla cultivation.