



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE COLONEL AKLI MOHAND OULHADJ
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE
LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGR/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Agronomique

Spécialité : Production et Nutrition Animale

Présenté par :

DAHMANI Naoual

et

DAHMANI Mattia

Thème

**Culture d'Azolla dans des solutions nutritives à base
de déchets organiques : une approche écologique
durable**

Soutenue le :

Devant le jury composé de :

Nom et prénom

grade

Mme BENFODIL.K.

MCA

Univ. de Bouira

Présidente

Mr SALHI.O.

MCA

Univ. de Blida

Examineur

Mme CHERIFI. Z.

MCB.

Univ. de Bouira

Promotrice

Mlle BARECHE L.

Doctorante

Univ. de Bouira

Co-promotrice

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

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

Nos sincères remerciements s'adressent à notre promotrice Mme CHERIFI Zakia, pour sa patience, sa disponibilité, son soutien et son accompagnement tout le long de la réalisation de ce travail, Nous lui exprimons notre profonde gratitude, et à notre Co-promotrice Mlle BARECHE Lamia pour avoir accepté de diriger ce travail, nous sommes profondément reconnaissantes pour son soutien, ses conseils précieux et ses encouragements.

Nos remerciements s'adressent au président des jurés et à l'ensemble des examinateurs qui l'accompagne pour l'honneur d'accepter de juger notre travail.

Mille mercis à tous les professeurs de l'équipe de formation de la spécialité production et nutrition animale, Merci d'avoir partagé avec nous vos passions pour l'enseignement et le partage du savoir.

Nous tenons également à remercier sincèrement l'ensemble du personnel de la faculté SNV-ST de Bouira.

En fin, Nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Nous espérons que ce travail constituera un pas vers un long parcours plein d'objectif et succès.

✻ Dédicaces ✻

À ma chère mère :

Qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous ces sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste, soit-il l'expression de mes sentiments et de ma éternelle gratitude.

À mon cher père :

L'homme qui m'a toujours fait confiance, et qui me pousse toujours vers l'avant et qui m'encourage tout le temps de telle sorte que je progresse dans ma vie, Merci !

À mes chers frères ; Amirouche et Yahia pour leur appui et leur encouragement. Merci pour votre accompagnement, pour tout ce que vous avez fait pour moi, pour tout l'amour que vous m'avez donné, vous avoir dans ma vie est une vraie bénédiction.

À ma chère sœur Narimane, qui n'a jamais cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité.

À mes rayons de soleil mes nièces ; Khawla, Tinehinane, Amani et Youusra

*À mes sœurs de cœurs mes meilleures amies, DAHMANI Mattia ma très chère binôme,
Zahra CHIBANE et Hanane MENSOURI*

À mes chères amies Yasmine, Rima, Hiba, Samia, Manel et tous mes collègues de promotion, Ainsi qu'à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Naoual

✻ Dédicace ✻

À ma très chère mère,

À qui je dois ma réussite, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce qu'elle mérite pour tous les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être.

À mon très cher père

Que je remercie infiniment pour son encouragement, son aide précieuse, et sa persévérance, ses sacrifices et ses conseils tout au long de ma vie.

À ma sœur Dihia et son mari Mohand Aich pour leurs appuis, encouragements, et leurs accompagnements.

À mon cher frère Zhar, les mots ne suffisent jamais pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour toi.

À mon beau de sucre ma nièce Ayline que j'aime trop

À mon binôme, Naoual, et à tous mes amies, Fayza, Khadidja, Rima, Zahra

À tous les membres de ma promotion PNA ainsi qu'à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Mattia

Table de matière

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTIONS GÉNÉRALES..... 1

Synthèse bibliographique

CH I : LES MATIÈRES PREMIÈRES ET LES SOURCES ALTERNATIVES UTILISÉES EN ALIMENTATION ANIMALE..... 3

1 LES MATIÈRES PREMIÈRES UTILISÉES EN ALIMENTATION ANIMALE : 3

1.1 LES MATIÈRES PREMIÈRES RICHES EN ÉNERGIE..... 3

1.1.1 Les concentrés..... 3

1.1.1.1 Le maïs..... 3

1.1.1.2 Les grains de blé 4

1.1.1.3 Le sorgho 4

1.1.1.4 L'orge..... 5

1.1.1.5 L'avoine 6

1.1.2 Les fourrages grossiers..... 6

1.1.2.1 Les graminées fourragères 6

1.1.2.2 Les légumineuses fourragères 7

1.2 LES MATIÈRES PREMIÈRES RICHES EN PROTÉINES 8

1.2.1 Les tourteaux des oléagineux..... 8

1.2.1.1 Le tourteau de colza 8

1.2.1.2 Le tourteau de soja 9

1.2.1.3 Le tourteau de tournesol..... 9

1.2.2 Les tourteaux des protéagineux..... 10

1.2.3 La luzerne..... 11

2 LES SOURCES ALTERNATIVES UTILISÉES EN ALIMENTATION ANIMALE 11

2.1 LES SOUS-PRODUITS DE L'INDUSTRIE AGROALIMENTAIRE..... 12

2.1.1 Son de blé..... 12

2.1.2 Mélasse 12

2.1.3 Drêche de brasserie..... 12

2.1.4 Grignons d'olives..... 13

2.1.5 Les sous-produits de palmier dattier..... 13

2.2 LES PLANTES AQUATIQUES 13

2.2.1 Les lentilles d'eau 13

2.2.2 La spiruline 14

CH II GÉNÉRALITÉ ET ÉTUDE DESCRIPTIVE SUR L'AZOLLA

II.1 DESCRIPTION..... 15

II.2 DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE..... 15

II.3 MORPHOLOGIE 16

II.4 SYSTÉMATIQUE 17

II.5 CROISSANCE ET BIOLOGIE DE MULTIPLICATION 17

II.5.1 Croissance : 17

II.5.2 Reproduction : 18

II.5.2.a Reproduction sexuée 18

II.5.2.b Reproduction végétative : 18

II.5.3 Symbiose avec une cyanobactérie 19

II.6 COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE..... 20

II.6.1	Composition de l'Azolla.....	20
II.6.2	Composition minérale de l'Azolla.....	20
II.6.3	Taux des acides aminés de l'Azolla	21
II.7	LES FORMES DE PRESENTATION DE L'AZOLLA	21
II.7.1	Azolla fraîche	21
II.7.2	Azolla séchée.....	22
II.7.3	Azolla ensilée	22
CH III: CONDITION DE CULTURE ET INTERET DE L'AZOLLA.....		
III.1	INTERET DE L'UTILISATION DE L'AZOLLA	23
III.1.1	INTERET AGRONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE	23
III.1.2	INTERET POUR L'INDUSTRIE ENERGETIQUE.....	23
III.1.3	INTERET EN UTILISATION MEDICALE ET PHARMACEUTIQUE	23
III.1.4	INTERET D'UTILISATION EN ALIMENTATION ANIMALE	24
III.1.4.a	Chez les ruminants	24
III.1.4.b	Chez les lapins	24
III.1.4.c	Chez les volailles	24
▪	Chez les poulets de chair et poulettes	24
▪	Pour la poule pondeuse.....	25
▪	Pour la caille	25
III.2	CONDITIONS DE CULTURE.....	25
III.2.1	LE REGIME HYDRIQUE.....	25
III.2.2	LA TEMPERATURE.....	25
III.2.3	LE PH	26
III.2.4	LA LUMIERE	26
III.2.5	LES ELEMENTS NUTRITIFS	26
<i>Partie expérimentale</i>		
CH IV : MATERIELS ET METHODES.....		27
IV.1	: OBJECTIF.....	27
IV.3	: MATERIEL UTILISE.....	27
IV.4	: MATERIEL VEGETAL.....	27
IV.5	: METHODE DE CULTURE.....	30
IV.6	: METHODE D'OBTENTION DES SOLUTIONS NUTRITIVES.....	31
a.	déchets des légumes.....	31
b.	déchets des insectes.....	32
c.	le contenu de rumen.....	32
d.	NPK.....	33
IV.7	: PREPARATIONS DES SOLUTIONS NUTRITIVES.....	33
1.	calculs des doses.....	33
a.	solution nutritive a base des déchets des légumes.....	33
b.	solution nutritive a base des déchets des insectes.....	34
c.	jus de rumen.....	34
d.	solution de NPK.....	35
IV.8	: INCORPORATION DES SOLUTIONS NUTRITIVES.....	34
IV.8.1.	PARAMETRES SUIVIS.....	35
IV.9	: METHODE DE LA RECOLTE.....	36
Analyses statistiques.....		37
CH V : RESULTATS ET DISCUSSION.....		38
V.1	RESULTATS DES PARAMETRES SUIVIS.....	38

Table de matière

V.1.1 TEMPERATURE.....	38
V.1.2 HUMIDITE.....	39
V.1.3 EFFET DES SOLUTIONS NUTRITIVES SUR DES PARAMETRES MESURES:.....	39
<i>V.1.3.a Effet sur le taux de ph.....</i>	<i>40</i>
<i>V.1.3.b Effet sur la Température d'eau.....</i>	<i>40</i>
<i>V.1.3.c Effet sur conductivité.....</i>	<i>41</i>
<i>V.1.3.d Effet sur la salinité.....</i>	<i>42</i>
V.2 COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTS MILIEUX DE CULTURE.....	43
V.3 EFFET DES MILIEUX DE CULTURE SUR LE RENDEMENT EN BIOMASSE DE L'AZOLLA.....	44
CONCLUSION GENERALE.....	45

Références bibliographies

Résumé

Liste d'abréviations

ADF : Acid Detergent Fiber

Co : cobalt

Et : Ecart type

FAO : Food agriculture Organisation

HP : High pro.

Kcal : Kilocalorie.

MAT : matière azotée totale.

MG : Matière grâce

MJ : Méga joule.

Mn : Manganèse.

Mo : Molybdène.

Moy : moyenne.

Ms : millésimes.

MS : Matière sèche.

Na : Azote

NDF : Neutral Detergent Fiber.

NPK : Azote Phosphore Potassium

PDIA : Protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire

PH : Potentiel hydrogène.

PPM : Parties par million.

PSU : practical salinity unit.

r : rayon.

S : surface.

UFL : Unité Fourragère Lait

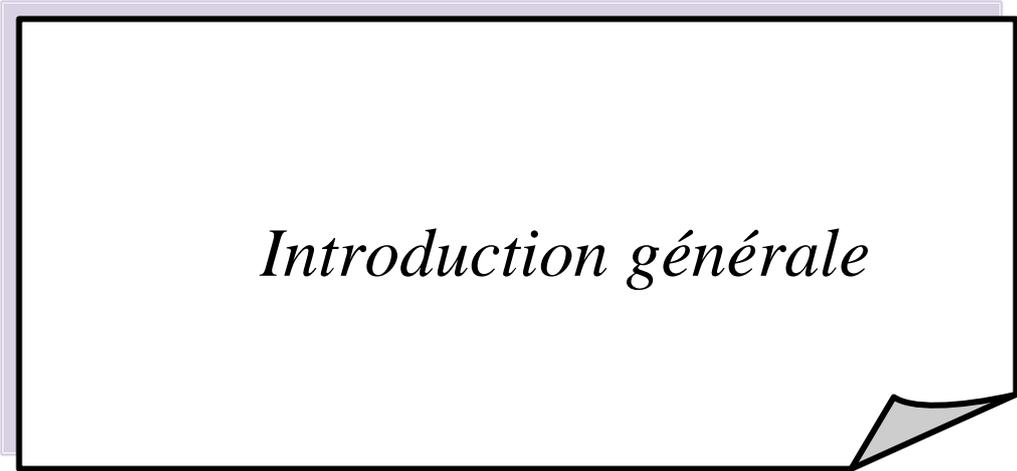
UFV : Unité Fourragère viande

Liste des figures

Figure 1: Grains de maïs.....	3
Figure 2 : Grains de blé.....	4
Figure 3 : Le sorgho	4
Figure 4 : Fourrage de sorgho	5
Figure 5 : Grains d'orges.....	5
Figure 6 : L'avoine.....	6
Figure 7 : exemples de graminées fourragères	7
Figure 8 : Légumineuse fourragère : le trèfle Trifolium	8
Figure 9 : Composition moyenne du tourteau de colza	8
Figure 10 : Composition moyenne du tourteau de soja.....	9
Figure 11 : Composition moyenne du tourteau de tournesol	10
Figure 12 : Aspect des fleurs et des feuilles de la luzerne.....	11
Figure 13: Les sous-produits de palmier dattier.....	13
Figure 14: Aspect de lentilles d'eau.....	14
Figure 15: Fougère d'Azolla	15
Figure 16: Distribution approximative de l'Azolla	16
Figure 17: Vue sur l'Azolla flottante	17
Figure 18: Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'Azolla.	19
Figure 19 : Azolla fraîche	22
Figure 20: Séchage de l'Azolla au soleil.....	22
Figure 21: Azolla ensilée.....	22
Figure 22: Installation : Installation des bacs	30
Figure 23: Tamissage de sol.....	30
Figure 24: Mise en place de la terre.....	30
Figure 25: Remplissage des bassins avec l'eau	31
Figure 26: Injection de l'inoculum d'Azolla	31
Figure 27: Vue des déchets récupérés et coupés.....	32
Figure 28: processus de séchage de déchet des insectes	32
Figure 29: Obtention du jus de rumen	33
Figure 30: Préparation de la solution nutritive a base des déchets des légumes.....	34
Figure 31: P préparation de la solution nutritive à base de déchet des insectes	34
Figure 32: Solution obtenue a base du jus de rumen	35
Figure 33: Solution du NPK.....	35
Figure 34: Incorporation des solutions dans les bassins	36
Figure 35: Suivi des paramètres	36
Figure 36: Bassins prêts à la récolte	37
Figure 37: processus de récolte.....	37
Figure 38: pesage de l'Azolla récoltée.....	38
Figure 39: Variations des taux de ph selon les solutions nutritives	40
Figure 40: Variations des températures des milieux de cultures de l'Azolla	41
Figure 41: Variation de la conductivité des milieux de culture de l'Azolla	42
Figure 42: Variation de la salinité des milieux de culture de l'Azolla.....	43
Figure 43: Variation de la quantité récoltée d'Azolla en fonction de milieu de culture	45

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition chimique et caractéristiques nutritionnelles du pois, de la féverole et du lupin blanc	10
Tableau 2: Composition de l'Azolla	20
Tableau 3: Profil minéral de l'azolla	20
Tableau 4: Teneur en acides aminés essentiels de l'azolla	21
Tableau 5: Récapitulatif des T° moyennes enregistrées par semaines	38
Tableau 6: Taux moyen d'humidité enregistré par semaine pendant l'étude	39
Tableau 7: Tableau récapitulatif sur l'effet des milieux de culture sur les paramètres mesurés	43
Tableau 8: Effet des milieux de culture sur le rendement en biomasse de l'Azolla	44



Introduction générale

L'alimentation animale représente la dépense la plus significative dans le domaine de l'élevage, jouant ainsi un rôle crucial dans sa rentabilité (Cherifi, 2018). Cependant, l'utilisation des aliments disponibles sur le marché ne garantit pas toujours une rentabilité optimale et peut même réduire le revenu net. Les ressources conventionnelles telles que le fourrage grossier et les concentrés ne suffisent souvent pour répondre aux besoins alimentaires, ce qui pose un défi dans de nombreux pays où ces ingrédients doivent être importés (Ninad *et al.*, 2021).

Actuellement, la recherche sur l'alimentation animale se tourne de plus en plus vers la valorisation de diverses sources alimentaires alternatives disponibles localement, plus particulièrement, dans les pays où les intrants alimentaires sont exclusivement importés (Cherifi, 2018). L'intégration de ces ressources dans l'alimentation des animaux est devenue le seul garant pour réduire les coûts tout en préservant la productivité des troupeaux (Lassoued *et al.*, 2011).

Les ressources alimentaires alternatives ou non-conventionnelles sont des aliments d'origine végétale, animale ou minérale, très peu ou pas exploités pour l'alimentation animale, qui ne concurrencent pas l'alimentation humaine et qui sont peu connus de la plupart des éleveurs (Dahouda *et al.*, 2009). Il s'agit notamment de graines (*Mucuna spp.*, *Lablab purpureus*, *Canavalia ensiformis*, sésame), de feuilles (*Moringa oleifera*, *Leucaena leucocephala*, *Azolla pinnata*), ainsi que de tubercules et de produits animaux divers (Dahouda *et al.*, 2009).

Récemment, les plantes aquatiques à croissance rapide qui prolifèrent dans les lacs et les zones humides ont suscité un intérêt croissant en raison de leurs taux de croissance élevés, de leur grande production de biomasse, de leurs capacités de biorestauration, de leur entretien facile et de leur récolte facile (Dhir *et al.*, 2009).

L'*Azolla* est l'une des sources alimentaires qui pourrait constituer un bon ingrédient pour l'alimentation animale. *Azolla* est une fougère aquatique flottante à croissance rapide à la surface de l'eau. C'est un bio-engrais courant dans la culture du riz (Chander et Kumar, 2017).

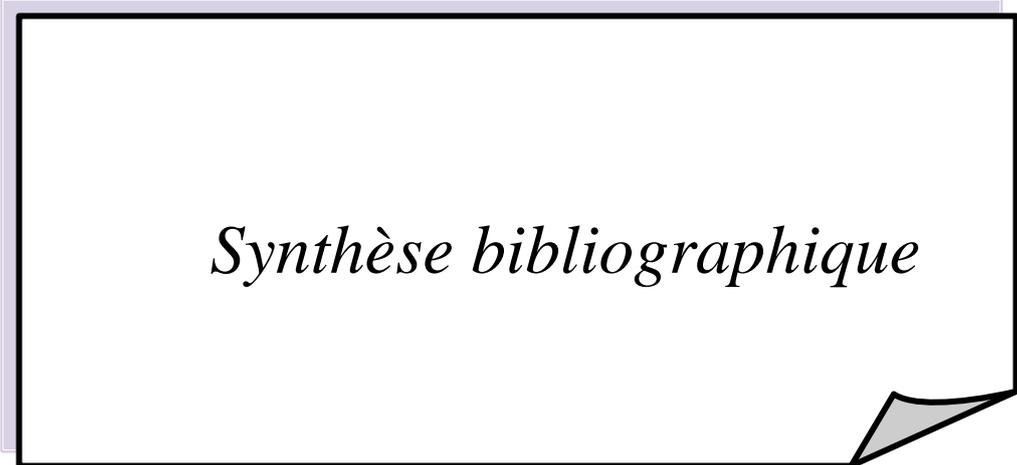
En plus du fait que la culture de ce fourrage aquatique nécessite peu d'investissement, il semble avoir un potentiel nutritif considérable en tant qu'aliment pour le bétail, car il a une teneur élevée en protéines, en acides aminés essentiels grâce à sa capacité de fixer l'azote

atmosphérique et à le convertir en azote végétal. Mais également riche en vitamine et minéraux (**Rana *et al.*, 2017**).

C'est dans ce sens que s'inscrit notre travail, qui consiste à étudier la possibilité de cultiver cette fougère dans différents substrats organiques utilisés comme solutions nutritives, dans l'objectif de l'intégrer ultérieurement dans l'alimentation animale comme source de protéine alternative aux tourteaux de soja.

Ce mémoire est composé de deux parties. La première partie dédiée à la recherche bibliographique comportant trois chapitres.

La seconde partie est dédiée à l'expérimentation, organisée en matériel et méthodes, résultats e discussion et enfin une conclusion et recommandations.



Synthèse bibliographique

*Chapitre I : les matières
premières et les sources
alternatives utilisées en
alimentation animale*

L'augmentation de la demande humaine en céréales crée une concurrence avec les animaux qui se nourrissent également de ces produits, entraînant une hausse des importations de grains. Par conséquent, la croissance démographique aura un impact sur les systèmes d'élevage mixtes, qui devront nécessairement se tourner vers des sources d'alimentation alternatives pour tous leurs produits animaux (**Michael et al., 2014**).

1 Les matières premières utilisées en alimentation animale :

1.1 Les matières premières riches en énergie

1.1.1 Les concentrés

1.1.1.1 Le maïs

Les grains de maïs (Figure 01) sont délicieux et conviennent à tous les types d'animaux. C'est la source d'énergie la plus précieuse des céréales. Il a une teneur élevée en amidon (environ 65 %), environ 4 % d'huile et une faible teneur en fibres (10 % NDF) (**Sauvant et al., 2004**).

Il est apprécié par les ruminants (**Theurer et al., 1999**), Chez la volaille, le maïs est apprécié pour son amidon facilement digestible, sa faible teneur en fibres et sa teneur relativement élevée en huile, ce qui se traduit par une valeur énergétique métabolisable plus élevée chez les poulets de chair et les poules pondeuse (**Heuzé et al., 2017**).

Dans les pays tropicaux chauds, le maïs est la céréale la plus courante dans l'alimentation des lapins (**Heuzé et al., 2017**).



Figure 1: Grains de maïs (**Heuzé et al., 2017**).

1.1.1.2 Les grains de blé

Les grains de blé sont largement appréciés et peuvent être utilisés comme aliment pour toutes les catégories d'animaux d'élevage. Cependant, en raison de leur teneur élevée en glucides, ils doivent être consommés avec précaution par les ruminants et les chevaux, car ils peuvent causer des troubles digestifs (**Blair, 2011 ; GNIS, 2011**). En ce qui concerne la composition chimique du blé, elle peut varier en fonction de divers facteurs tels que l'espèce cultivée, les pratiques agricoles, le climat et la qualité du sol (**Zijlstra et al., 1999**).

D'après **Feillet (2000)**, le grain de blé est principalement composé d'amidon (environ 70%), de protéines (environ 15%), ainsi que de quantités minimales de lipides, de cellulose, de sucres libres, de minéraux et de vitamines.



Figure 2 : Grains de blé (Heuzé et al., 2015).

1.1.1.3 Le sorgho

En nutrition animale, le sorgho (Figure 3) est principalement utilisé comme source d'énergie et constitue un bon aliment pour les volailles et les ruminants. Les tiges restantes après la récolte peuvent être pâturées car certaines variétés restent vertes longtemps. Le sorgho peut également être cultivé comme fourrage (Figure 4), pâturé ou coupé en vert pour préparer l'ensilage (Balole et Legwaila, 2006).



Figure 3 : Le sorgho (Heuzé et al., 2015)



Figure 4 : Fourrage de sorgho (Heuzé *et al.*, 2015)

La composition chimique du sorgho est assez similaire à celle du maïs et se distingue notamment par sa richesse en amidon, représentant plus de 70 % MS (Sauvant *et al.*, 2004). La teneur en protéines brutes du grain de sorgho varie généralement de 9 à 13 % MS, légèrement supérieure à celle du maïs. Cependant, cette teneur peut varier selon les conditions de culture (Sauvant *et al.*, 2004). Pour le bétail le grain de sorgho a une valeur nutritive comparable à celle du maïs (Piccioni, 1965).

1.1.1.4 L'orge

L'orge (Figure.6), est l'une des céréales les plus importantes. En effet, 148 millions de tonnes sont récoltées chaque année à travers le monde, sur près de 50 millions d'hectares. Principalement utilisé dans l'alimentation animale (70%) et la fabrication de bière, sa production se classe au quatrième rang après le maïs, le riz et le blé (Demeter et Raffray, 2022).



Figure 5 : Grains d'orges (Heuzé *et al.*, 2016)

Les grains d'orge sont largement utilisés dans l'alimentation des bovins laitiers et de boucherie. Leur haute teneur en énergie et leur bonne digestibilité, atteignant environ 80 %, confèrent une valeur énergétique métabolisable élevée pour les ruminants, environ 12,4 MJ/kg

de matière sèche (**Sauvant *et al.*, 2004**). Dans le cadre d'un régime équilibré, l'orge peut représenter jusqu'à 40-45 % de l'alimentation des lapins en croissance (**Seroux, 1984**).

1.1.1.5 L'avoine

L'avoine (*Avena sativa*) est largement utilisée comme alimentation pour le bétail. Elle se distingue des autres céréales par sa haute teneur en énergie brute (par exemple, environ 19,5 MJ/kg comparé à 18,7 MJ/kg MS pour le maïs), principalement en raison de sa teneur relativement élevée en huile, oscillant entre (3,5 %- 7,5 % MS). Elle contient d'avantage de protéines (8-15 % MS) que le maïs, mais est inférieur à celui du blé et de l'orge. De plus, l'avoine présente un profil d'acides aminés favorable comparé à d'autres céréales, avec une teneur en lysine notablement plus élevée, environ 4,3 % contre 2,9 % pour le blé. Les acides aminés soufrés, la thréonine et le tryptophane, sont également bien représentés. En outre, l'avoine contient significativement moins d'amidon que le maïs et présente un taux d'ADF (fibres détergentes neutres) de 16 %, avec une faible teneur en lignine (**Boyles et Johnson, 2006 ; MacLeod *et al.*, 2008**).



Figure 6 : L'avoine (Peer Schilperoord, 2018)

1.1.2 Les fourrages grossiers

Toutes les espèces végétales présentent les mêmes composantes aériennes : les feuilles, les tiges, les inflorescences, qui sont exploitées comme aliments pour les ruminants (**Vignau-Loustau et Huyghe, 2008**).

Selon **Klein *et al.* (2014)**, il existe deux principales catégories de fourrages utilisées dans l'alimentation animale :

1.1.2.1 Les graminées fourragères

Les graminées fourragères sont hautement appréciées par les herbivores en raison de plusieurs facteurs : leur texture tendre, leur goût discret et leur odeur peu marquée par des

substances répulsives. Elles sont également caractérisées par leur faible teneur en substances toxiques ou en tanins, leur abondance en glucides digestibles tels que les celluloses et les sucres solubles, ainsi que leur richesse en matières azotées. De plus, les animaux ont la capacité de les pâturer et de les brouter facilement. Il est également noté que la valeur énergétique des graminées fourragères dépasse celle des légumineuses fourragères selon **(Baumont *et al.*, 2016)**.



Fléole

dactyle

Figure 7 : exemples de graminées fourragères **(Tran, 2015)**.

1.1.2.2 Les légumineuses fourragères

Les légumineuses fourragères présentent une teneur en azote élevée, ce qui compense la faible teneur en protéines des fourrages à base de graminées, notamment pour les animaux ayant des besoins azotés élevés tels que les animaux laitiers, les jeunes en croissance et les adultes en engraissement. Cependant, la présence fréquente de substances chimiques répulsives ou toxiques comme les tanins dans les parties de la plante peut restreindre leur consommation par les herbivores, nécessitant ainsi des précautions lors de leur utilisation comme fourrage ou aliment pour les animaux **(Baumont *et al.*, 2016)**.

Comparativement aux graminées fourragères, les légumineuses fourragères ont une teneur plus faible en glucides solubles et en parois végétales totales (NDF). Leur teneur élevée en MAT est liée à une dégradabilité accrue des protéines dans le rumen **(Baumont *et al.*, 2016)**.



Figure 8 : Légumineuse fourragère : le trèfle Trifolium (Aquaportail, 2020).

1.2 Les matières premières riches en protéines

1.2.1 Les tourteaux des oléagineux

1.2.1.1 Le tourteau de colza

D'après **Boyeldieu (1991)**, le tourteau de colza présente une valeur énergétique inférieure, une teneur en protéines moindre et une concentration plus élevée en cellulose par rapport au tourteau de soja. Cependant, il constitue une alternative intéressante au tourteau de soja importé, étant donné ses faibles teneurs en glucosinolates et en acide érucique.

Le tourteau de colza est particulièrement utilisé dans l'alimentation des bovins, tant en substitution au tourteau de soja importé qu'en complément de l'herbe et des fourrages, comme indiqué par **Corinne (2018)**. La composition nutritive des tourteaux de colza est présentée dans la figure ci-dessous.

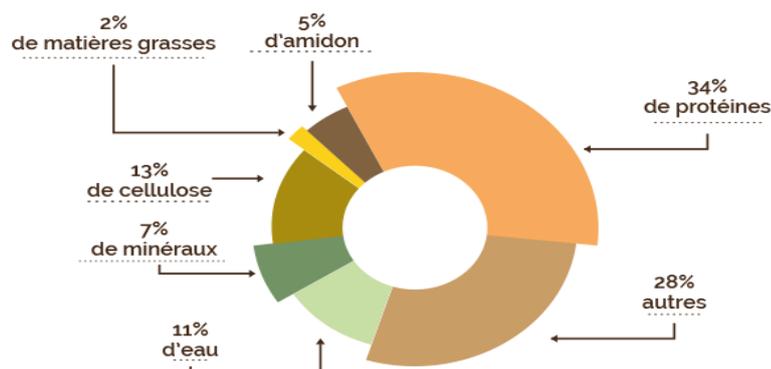


Figure 9 : Composition moyenne du tourteau de colza (**Feedbase, 2022**)

1.2.1.2 Le tourteau de soja

Le tourteau de soja est obtenu comme sous-produit de l'extraction de l'huile de soja (Fig.10). Il est réputé pour sa teneur élevée en protéines, variant de 43 à 53 %. De plus, il présente un profil d'acides aminés très favorable, contenant des quantités importantes de lysine, de tryptophane, de thréonine et d'isoleucine, des éléments souvent peu présents dans les céréales (McDonald *et al.*, 2002)

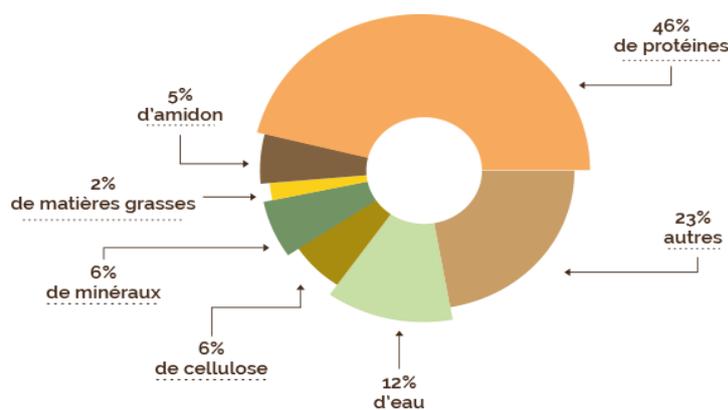


Figure 10 : Composition moyenne du tourteau de soja (Feedbase, 2022)

Parmi les tourteaux de soja conventionnels, on observe trois catégories distinctes, nommées tourteaux 46, 48 et 50, en référence à leurs teneurs en protéines et en matières grasses combinées, avec une augmentation progressive de la teneur en protéines.

Les tourteaux dits gras ou "expeller", obtenus par simple pression des graines, sont caractérisés par une teneur plus élevée en matières grasses et une moindre concentration en protéines. Leur utilisation dans les aliments est principalement restreinte par la quantité de matières grasses qu'ils fournissent (Jacques, 2010).

1.2.1.3 Le tourteau de tournesol

Divers types de tourteaux de tournesol sont disponibles en fonction des processus de prétraitement des graines avant l'extraction de l'huile, (Boyeldieu, 1991).

Un tourteau de tournesol conventionnel présente généralement une teneur moyenne en protéines de 28 %, tandis qu'un tourteau de tournesol décortiqué, également appelé tourteau High Pro ou HP, affiche une teneur plus élevée, atteignant environ 36 % de protéines. Il existe également une variante semi-décortiquée de tourteau de tournesol, avec une composition intermédiaire, contenant (environ 33% de protéines) (Corinne, 2018)

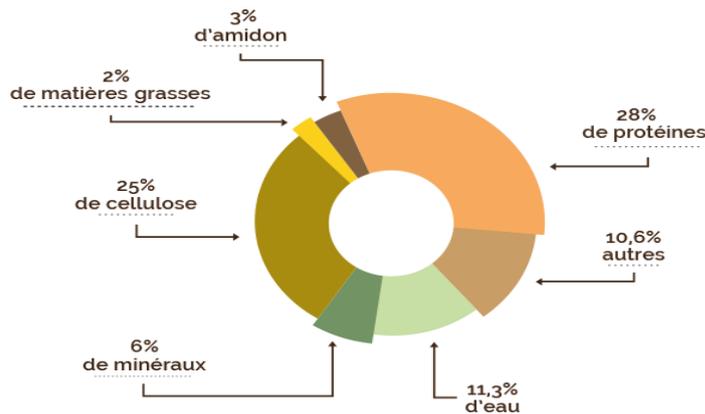


Figure 11 : Composition moyenne du tourteau de tournesol (Feedbase, 2022)

1.2.2 Les tourteaux des protéagineux

Les protéagineux tels que les pois, la féverole et le lupin sont caractérisés par leur disponibilité relativement limitée sur le marché national et une teneur en protéines généralement moyenne (20 à 34 %) selon les espèces (Larbier et Leqlerq, 1990). Malgré leur richesse en protéines, ces légumineuses présentent une concentration en acides aminés soufrés, en particulier en méthionine, assez faible, notamment pour le lupin, bien qu'elles contiennent une quantité abondante de lysine. De plus, la concentration en méthionine est à peine supérieure à celle observée dans le blé, qui renferme pourtant deux fois moins de protéines. Les teneurs en tryptophane sont également relativement limitées.

En ce qui concerne la concentration énergétique, mesurée par la teneur en énergie métabolisable, des trois protéagineux, elle est considérée comme moyenne et inférieure à celle des aliments destinés aux volailles, malgré leur teneur en amidon (Froidmont et al., 2006). Ainsi, les protéagineux présentent des valeurs nutritionnelles intermédiaires entre celles des céréales et du tourteau de soja, comme souligné par Huisman en 1989.

Tableau 1: Composition chimique et caractéristiques nutritionnelles du pois, de la féverole et du lupin blanc (Froidmont et al., 2006)

	Pois	Féverole	Lupin blanc
MS (%)	86,3	85,2	89,5
MAT (g/kg MS)	239	297	343
Méthionine	Déficit	Déficit	Déficit
Lysine	OK	OK	Limitant
Amidon (% MS)	51	44	1-2
MG (% MS)	1,4	1,5	10

1.2.3 La luzerne

La luzerne est une culture fourragère de qualité exceptionnelle, offrant naturellement tous les éléments nécessaires à la croissance et à l'alimentation des animaux, dans des proportions idéales pour accroître leur productivité tout en respectant leurs rythmes biologiques naturels, comme le souligne Lebas en 1987. Grâce à sa teneur en protéines essentielles et à la qualité de ses fibres, la luzerne joue un rôle crucial dans l'alimentation des animaux d'élevage, **(Gidenne, 2015)**.

De plus, la luzerne renferme des glucides, principalement sous une forme utilisée par les bactéries du rumen et de l'intestin pour produire des acides gras volatils. L'incorporation de luzerne dans l'alimentation est donc indispensable pour favoriser une croissance saine et durable des animaux, tout en garantissant une production de lait, de viande et d'œufs de haute qualité, **(Lebas *et al.*, 2005)**.



Figure 12 : Aspect des fleurs et des feuilles de la luzerne **(la gazette des plantes, 2022)**.

2 Les sources alternatives utilisées en alimentation animale

Au cours de la dernière décennie, certaines matières premières traditionnellement utilisées dans l'alimentation animale, comme le blé et le soja, sont devenues moins disponibles, entraînant une hausse excessive de leurs prix. Pour faire face à cette problématique, il est impératif de se tourner vers des solutions durables. Parmi celles-ci, l'utilisation de ressources alimentaires alternatives d'origine animale ou végétale s'avère prometteuse, **(Adouko *et al.*, 2021)**. Ces ressources sont peu connues par les éleveurs et ne sont pas très exploitées, parmi elles :

2.1 Les sous-produits de l'industrie agroalimentaire

2.1.1 Son de blé

Le son de blé est un sous-produit issu du processus de transformation du blé en farine blanche pour la consommation humaine. Principalement constitué du tégument externe du grain, il contient des glucides pariétaux peu digestibles pour les volailles (**Leslie Jacquemin, 2012**).

En plus d'être une source importante d'acide linoléique, le son de blé est riche en protéines, les composants essentiels de l'albumen. En fait, sa teneur en lysine est deux fois supérieure à celle de la graine de blé elle-même. En termes de valeur énergétique, le son de blé offre environ 1750 kcal/kg et présente un coefficient de digestibilité des protéines de 76% (**Leslie Jacquemin, 2012**).

2.1.2 Mélasse

D'après **Cheref (1995)**, la mélasse est caractérisée par une haute valeur énergétique en raison de sa teneur élevée en glucides fermentescibles (environ 60 à 65% de glucides solubles, principalement du saccharose). Cependant, elle est déficiente en calcium, phosphore et vits B, mais abonde en Na et K. Par ailleurs, Selon Laliaoui (1993), la mélasse est hautement digestible, avec un coefficient de digestibilité apparente des sucres avoisinant les 100%.

2.1.3 Drêche de brasserie

Les drêches de brasserie, sous-produits de qualité issus de la fabrication de la bière, peuvent être utilisées comme source de protéines végétales dans l'alimentation animale, fraîches, ensilées ou séchées, (**Cherifi, 2018**). Leur valeur énergétique est notable, avec environ (0,93 UFL et 0,85 UFV/Kg de MS), principalement grâce à leur teneur en matières grasses (8 à 9% MS) (**Boessinger et al., 2005**). La fraction protéique des drêches de brasserie présente la particularité d'être peu dégradable dans le rumen (environ 45%), ce qui explique leur teneur appréciable en PDIA (15,5% MS).

Leur incorporation dans l'alimentation animale peut atteindre jusqu'à environ 2,5% du poids vif. De plus, l'utilisation des drêches de brasserie a été associée à une augmentation de la production laitière et à une réduction des coûts de production, (**Douadi, 2002, Cherifi, 2018**).

2.1.4 Grignons d'olives

Les grignons d'olive sont les résidus issus du processus d'extraction de l'huile d'olive, obtenu soit par pression soit par centrifugation. Leur production varie d'une année à l'autre en fonction de la récolte d'olives (**Zaidi, 1983**). Les grignons d'olive sont formés de 30% d'eau et 62% d'éléments solides (coque 41% et pulpe 21%) (**Kayouli et al., 1990**).

Les grignons d'olive peuvent être ajoutés à l'alimentation des ruminants, soit seuls dans la ration de base, soit en combinaison avec d'autres sous-produits (les fientes, la mélasse). Ils peuvent être utilisés sous forme fraîche, déshydratée ou ensilée. Les quantités distribuées ne doivent en aucun cas dépasser 30% de la ration totale (**ANONYME., 2001**).

2.1.5 Les sous-produits de palmier dattier

Les sous-produits du palmier dattier (Fig : 13) peuvent être divisés en deux catégories distinctes. D'une part, les rebuts de dattes sont considérés comme des concentrés énergétiques et peuvent même remplacer les céréales telles que l'orge et l'avoine, surtout dans l'alimentation des ovins. D'autre part, les palmes sèches et les pédicelles sont utilisés comme aliments grossiers, offrant une qualité comparable à celle de la paille ou d'un foin de moindre qualité (**Cheema et Longo, 2001**).

Les rebuts de dattes offrent une alternative énergétique prometteuse à l'orge importée dans les rations d'engraissement des ovins Berbères. Leur inclusion dans l'alimentation permet d'accroître les performances de croissance et le rendement en carcasse des animaux (**Mabrouk et al., 2008**).



Palmes

Pédicelles

Figure 13: Les sous-produits de palmier dattier (**Heuzé et al., 2015**)

2.2 Les plantes aquatique

2.2.1 Les lentilles d'eau

Les lentilles d'eau poussent à des températures d'eau comprises entre 6 et 33 °C (**Leng et al., 1995**). Elles sont riches en eau (92 – 94 % de la MS) et contiennent peu de fibres. Elles sont très digestibles même pour les animaux monogastriques. Elles sont composées de 15 et 25 % de protéines et entre 15 et 30 % de cellulose brutes. Les variétés sélectionnées ont entre 35 et 43 % de MAT et entre 5 et 15 % de cellulose brute (**Leng et al., 1995**).



Figure 14: Aspect de lentilles d'eau (**Aquaportail, 2020**).

2.2.2 La spiruline

La spiruline est une cyanobactérie, filamenteuse, multicellulaire, qui représente le micro- organisme photosynthétique, le plus répandue dans les lacs saumâtres d'Afrique centrale et du Mexique. Ce microorganisme se distingue par sa richesse en protéines, pouvant dépasser les 60% du poids sec de l'algue. En outre, la spiruline présente plusieurs caractéristiques bénéfiques, notamment la présence de vitamine B1, de β -carotène, d'acides gras insaturés tels que l'acide linoléique, et d'une protéine alimentaire bleue fluorescente appelée phycocyanine. Cette dernière constitue une source majeure de stockage d'azote (**OuldBellahcen et al., 2013**).

La spiruline, selon **Benahmed et al. (2011)**, présente un potentiel considérable en tant que complément alimentaire de haute qualité. Elle peut être intégrée dans les formules alimentaires de diverses espèces telles que les poules pondeuses, les poulets, les vaches, les chevaux de course, les poissons, les crustacés, les larves de crevettes, etc. Elle améliore leur santé, leur apparence, leur qualité ou leurs performances (**Banks, 2007**)

*Chapitre II : Généralités et
étude descriptive sur l'Azolla*

II.1 Description

L'Azolla, (figure 15) une fougère aquatique flottante, prospère à la surface des eaux calmes, qu'elles soient tempérées ou tropicales, se trouvant naturellement dans divers environnements tels que les sols humides, les cressonnières, les rizières, les étangs et les canaux d'irrigation. Elle abrite une cyanobactérie du genre *Anabaena* qui a la remarquable capacité de fixer l'azote atmosphérique, le transformant en une forme directement assimilable par la plante. Sous des conditions idéales, l'Azolla connaît une croissance exponentielle, doublant sa biomasse tous les trois jours environ (**Reynaud et Franche, 1985 ; Raelina, 1995 ; Chander et al., 2017**).

Chaque unité de l'Azolla, appelée fronde, est composée d'une tige principale soutenue par des ramifications flottantes sur l'eau, couvertes de petites feuilles alternativement imbriquées formant deux lobes distincts : un lobe ventral et un lobe dorsal (**VAN HOVE, 1989**). Selon les études, la forme de l'Azolla peut varier de circulaire à triangulaire selon les espèces (**Hedji et al., 2014**).



Figure 15: Fougère d'Azolla (**Chilali et Haddad ,2022**)

II.2 Distribution géographique

L'Azolla est présente dans les fossés, les étangs et les rizières des régions tempérées chaudes et tropicales à travers le monde (fig : 16). D'après **Lumpkin et Plucknett (1980)**, chaque espèce possède une aire de répartition indigène spécifique :

A. caroliniana : est de l'Amérique du Nord et Caraïbes

A. filiculoides : du sud de l'Amérique du Sud à l'ouest de l'Amérique du Nord et à l'Alaska

A. microphylla : Amérique tropicale et subtropicale

A. mexicana : du nord de l'Amérique du Sud à l'ouest de l'Amérique du Nord

A. nilotica : cours supérieur du Nil au Soudan

A. pinnata : la majeure partie de l'Asie et la côte de l'Afrique tropicale.

Ces espèces ont été dispersées par l'homme, elles peuvent être trouvées en dehors de leurs régions d'origine (**Lumpkin et al.1980**)

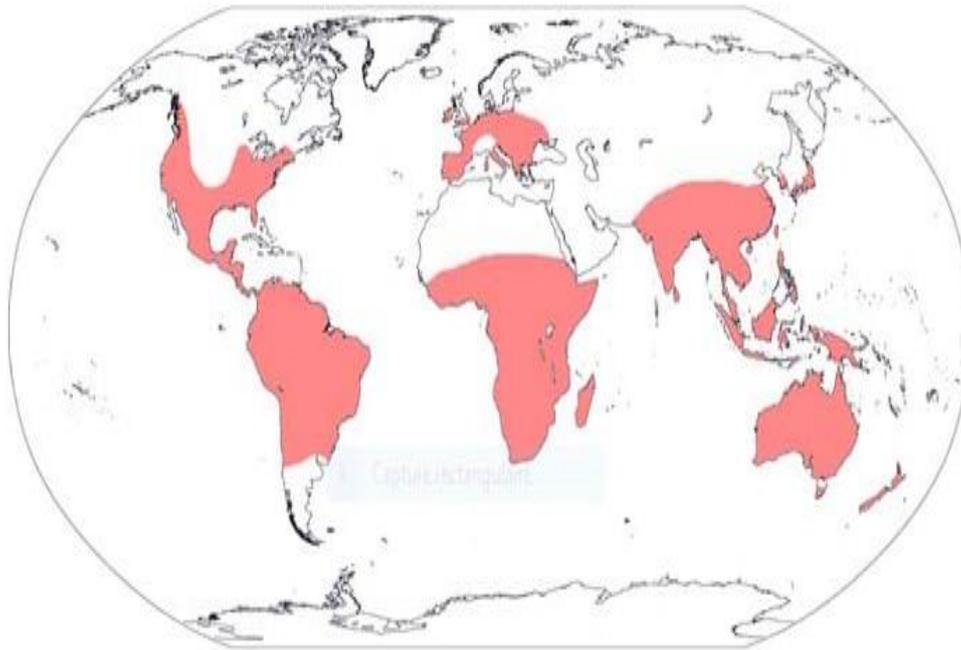


Figure 16: Distribution approximative de l'Azolla (**SMAL et DARBYSHIRE, 2011**)

II.3 Morphologie

Van Hove et al (1983), ont observé que l'Azolla se compose d'une tige principale rarement plus haute que 3 ou 4 cm, émergeant au-dessus de l'eau avec des feuilles alternées. Des racines adventives se forment périodiquement, mesurant de 1 à 3 cm de diamètre et recouvertes de poils absorbants disposés en touffes (**Reynaud et Franche, 1986**). Ces racines s'orientent vers l'eau et s'étendent vers le bas. À l'aisselle de certaines feuilles, des tiges secondaires se développent, présentant les mêmes caractéristiques que la tige principale et pouvant également porter des tiges de troisième ordre (fig : 17).

Selon les différentes espèces, la forme de la plante varie entre plus ou moins triangulaire ou circulaire. Chaque feuille est bilobée, avec des lobes supérieurs flottants contenant de la chlorophylle, tandis que les lobes inférieurs immergés, d'une seule cellule d'épaisseur, sont dépourvus de chlorophylle et incolores. Dans certaines conditions, les lobes

supérieurs peuvent également contenir de l'anthocyanine, leur donnant une teinte brun rougeâtre (Ashton et Walmsley, 1976 ; Subudhi et Shing, 1979)



Figure 17: Vue sur l'Azolla flottante (personnelle, 2024)

II.4 Systématique

RAJA et al (2012), ont montré que l'Azolla est classée en deux sous-genres notamment :

- a. Euazolla : qui regroupe 5 espèces
 - *Azolla Caroliniana*
 - *Azolla Mexicana*
 - *Azolla Microphylla*
 - *Azolla Filiculoide*
 - *Azolla Rubra*
- b. Rhzosperma : regroupe seulement 2 espèces
 - *Azolla Nilotica*
 - *Azolla Pinata*

D'autre part **Shrikant et al (2017)**, ont montré que l'Azolla appartient à la classification suivante :

- Règne : plantae
- Classe : equisetopseda
- Sous –classa : polypodiidae
- Ordre : salviniales
- Famille : salvinaceae
- Genre : azolla

II.5 Croissance et biologie de multiplication

II.5.1 Croissance :

La courbe de croissance de la population d'Azolla se caractérise par trois étapes (ONG, 1995).

- phase exponentielle : les frondes prolifèrent rapidement, couvrant entièrement la surface disponible et générant environ 1 kg/m² de matière fraîche.

- phase linéaire : les feuilles forment un tapis dense, avec une biomasse pouvant atteindre 2 kg/m² dans certains cas et exceptionnellement jusqu'à 8 kg/m² dans d'autres régions, démontrant des stades de productivité remarquables.
- phase de plateau : une compétition s'instaure entre les frondes, entraînant une densité de population plus élevée et des ports dressés. Ultérieurement, cette surpopulation conduit à une baisse de la productivité et à un déclin de la population.

Cette diminution pourrait être attribuée au fait que les plantes en surface du tapis d'azolla perdent progressivement l'accès à l'eau et aux nutriments, tandis que leurs racines ne peuvent plus pénétrer les couches inférieures. Parallèlement, les plantes situées plus bas reçoivent moins de lumière, contribuant ainsi à ce déclin (ONG, 1995).

II.5.2 Reproduction :

Chez l'Azolla, deux modes de reproduction sont observés : la reproduction sexuée, également appelée générative, et la reproduction asexuée, connue sous le nom de multiplication végétative. Habituellement, l'Azolla se reproduit de manière végétative par la fragmentation de la couche d'abscission située à la base de chaque branche. La reproduction sexuée est moins fréquente et semble être affectée par des facteurs environnementaux (Francisco, 2014).

II.5.2.a Reproduction sexuée

Dans ce processus, la multiplication se réalise par la formation de sporocarpes, lesquels émergent généralement à la fin de l'été, particulièrement en septembre et octobre. Les zygotes résultant de la fécondation donnent naissance à des individus feuillus. Pour une population représentant une biomasse de 8 kg/m², on estime que la production de sporocarpes se situe à 380 000 microsporocarpes et 85 000 mégasporocarpes (JANES, 1998b).

Ces sporocarpes peuvent rester viables à des températures de 5°C pendant une période de 3 mois et à -10 °C pendant 18 jours. Leur capacité de germination persiste même après plusieurs années passées dans l'eau ou enfouies dans des sols boueux (JANES, 1998b).

II.5.2.b Reproduction végétative :

La méthode la plus couramment employée pour la reproduction de l'Azolla consiste en une simple fragmentation de la plante. Lorsque cette fougère aquatique atteint environ 1 à 2 cm de diamètre, les tiges secondaires les plus développées se détachent spontanément de la plante mère, grâce à la formation d'une couche d'abscission à leur base. Ce processus engendre de nouveaux individus isolés, généralement de taille plus réduite, qui peuvent ensuite

Croître de manière autonome. La propagation végétative demeure le principal mode de reproduction, où les ramifications latérales se séparent du rhizome principal suite à la formation d'une couche d'abscission à leur base (**Konar, 1972**).

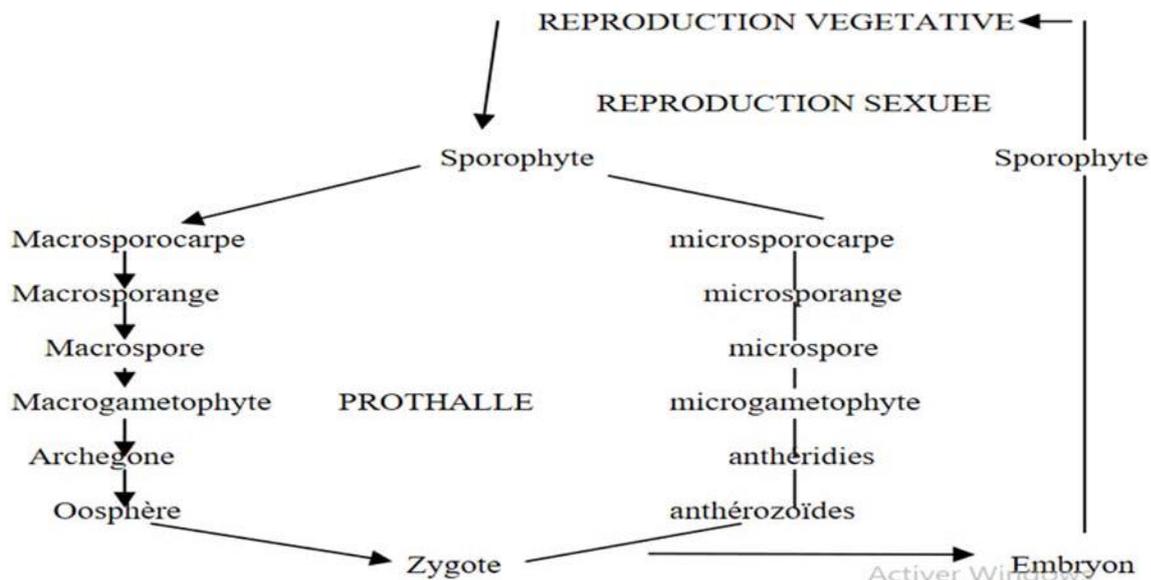


Figure 18: Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'Azolla (**Becking, 1979**).

II.5.3 Symbiose avec une cyanobactérie

La symbiose implique d'une part une espèce de cyanobactérie fixatrice de N₂ (*Anabaena azollae*) et d'autre part l'une des sept espèces connues d'Azolla (**ROGER, 2006**). **Reynaud et Franche (1985)**, ont mentionné que l'*Anabaena* symbiotique de l'Azolla se trouve dans une cavité située dans le lobe dorsal de la fronde de l'Azolla. Cette cavité résulte d'une dépression de la partie ventrale de la feuille en croissance, où les filaments d'*Anabaena* sont ensemencés à partir de la colonie d'*Anabaena* associée au méristème apical de l'Azolla. Lorsque la feuille arrive à maturité, une double rangée de cellules épidermiques emprisonne le symbiote fixateur d'azote (**Schramm, 1987**).

Selon **Van Hove (1989)**, cette symbiose est héréditaire. Contrairement à d'autres symbioses diazotrophe telles que celles entre les légumineuses et le rhizobium, l'association entre l'Azolla et *Anabaena Azollae* est permanente. En d'autres termes, l'*Anabaena* est présente dans l'Azolla à toutes les phases de sa vie et est transmise automatiquement d'une génération à l'autre, que la reproduction soit sexuée ou végétative.

II.6 Composition chimique et valeur nutritive

II.6.1 Composition de l'Azolla

La composition chimique des différentes espèces d'azolla varie selon les écotypes, les conditions environnementales et le stade de croissance (densité de population). En général, la teneur en matière sèche est relativement modeste, se situant généralement entre 5 et 7 %. L'Azolla pinnata est très riche en protéine, minéraux et fibre (FEEDPEDIA, 2019).

L'azolla, en comparaison aux lentilles d'eau, est riche en fibres, cellulose brute et lignine, avec un taux de fibres neutres détergentes (NDF) dépassant souvent 50% de matière sèche. Elle est également une source importante de minéraux (tableau 2). Cependant, sa forte teneur en fibres et en minéraux nécessite une utilisation limitée dans l'alimentation des monogastriques pour éviter une diminution des performances. (FEEDPEDIA, 2019).

Tableau 2: Composition de l'Azolla (FEEDPEDIA, 2019)

Analyse principal	Unité	Moy	Dakota du Sud	Min	Max	Nb
Matière sèche	%alimenté	6,7	1,3	5.1	8.7	8
Protéine brute	%DM	20,6	3,5	13,9	28,1	15
Fibre brute	%DM	15,0	3,5	11,3	22,8	9
NDF	%DM	43,8	5,9	35,4	52,3	6
ADF	%DM	31,8	6,4	24,0	38,9	5
La lignine	%DM	11,4	1,7	9,3	13,5	5
Extrait d'éther	%DM	3.8	1,3	1,9	5.1	9
Cendre	%DM	15,9	3,5	9,8	21,6	12
Amidon (polarimétrie)	%DM	4.1		2.7	5.5	2

II.6.2 Composition minérale de l'Azolla

Comme la plupart des plantes aquatiques, l'Azolla est riche en matière minérale (10-20% MS) et peut être utilisée comme source importante de macro et micro minéraux (FEEDPEDIA, 2019), (tableau 3).

Tableau 3: Profil minéral de l'azolla (FEEDPEDIA, 2019)

Les minéraux	Unité	Moy	Dakota du Sud	Min	Max	Nb
Calcium	g/kgDM	1,0	4.1	5.8	17,0	8
Phosphore	g/kgDM	6.1	5.5	0,3	15,5	1

Potassium	g/kgDM	17,4	3,7	10,9	22,5	7
Sodium	g/kgDM	9,0	4,3	2,8	12,5	4
Magnésium	g/kgDM	5,	0,8	3,9	6,1	5
Manganèse	mg/kgMS	762	43	208	1429	5
Zinc	mg/kgMS	38	28	11	77	5
Cuivre	mg/kgMS	16	7	Dix	28	5
Fer	mg/kgMS	3900	3794	711	8200	5

II.6.3 Taux des acides aminés de l'Azolla

Dans des conditions de croissance optimales, la teneur en protéines oscille entre 19 et 30 % de matière sèche (tableau 4). Le profil en acides aminés de l'azolla dépend de l'espèce, mais la proportion de lysine est généralement élevée, représentant entre 4 et 6 % de la protéine totale (FEEDPEDIA, 2019).

Tableau 4: Teneur en acides aminés essentiels de l'azolla (FEEDPEDIA, 2019)

Acides aminés	Unité	Moy.	Dakota du Sud	Min.	Max.
Histidine	% de protéines	2.1	0,4	1.6	2.4
Isoleucine	% de protéines	4.5	0,8	3.7	5.4
Leucine	% de protéines	8.4	1.2	7.0	9.2
Lysine	% de protéines	4.7	1.1	3.5	6.5
Méthionine	% de protéines	1.4	0,3	1.2	1.9
Phénylalanine	% de protéines	5.4	0,2	5.2	5.6
Thréonine	% de protéines	4.7	0,7	4.0	5.3
Tryptophane	% de protéines	1.8		1,5	2.0
Valine	% de protéines	5.5	1,5	3.8	6.8

II.7 Les formes de présentation de l'azolla

II.7.1 Azolla fraîche

Selon **Van Hove (1989)**, l'Azolla fraîche (Figure 19) ne demande pas de traitement supplémentaire ni de transformation et ne subit aucune altération de ses composants.



Figure 19 : Azolla fraîche (Tran, 2015)

II.7.2 Azolla séchée

Le processus de séchage (à l'exposition solaire), (figure 20) n'a qu'un impact minime sur la valeur nutritionnelle de la plante. Il est crucial de le faire dans un endroit bien ventilé et sec, en étalant la plante en une fine couche. La durée du séchage dépend de la température ambiante et peut durer de 3 à 4 jours (Van Hove c, 1989).



Figure 20: Séchage de l'Azolla au soleil (Anitha *et al.*, 2016).

II.7.3 Azolla ensilée

En cas de surproduction d'Azolla, une solution consiste à la conserver sous forme d'ensilage (figure 21) pour servir de nourriture aux animaux (Rahagarison, 2005).

Ruben (1987), a montré que l'ensilage d'azolla est possible pour gérer l'excès de biomasse et en faire une source alimentaire pour les animaux. Le processus d'ensilage implique de couvrir le silo, et la fermentation complète prend moins d'un mois. Le produit final peut être conservé pendant deux ans.



Figure 21: Azolla ensilée (Divkolaie *et al.*, 2018)

*Chapitre III : Conditions de
culture et intérêt de l'azolla*

III.1 Intérêt de l'utilisation de l'azolla

L'Azolla bénéficie d'une longue tradition d'utilisation par les agriculteurs comme source alimentaire pour leurs animaux et comme engrais vert. Cette plante aquatique est réputée pour sa teneur élevée en protéines, ce qui en fait l'une des options les plus nutritives dans son domaine. Outre son utilisation traditionnelle, l'Azolla a également fait l'objet d'études pour son potentiel dans l'alimentation humaine (**Van Hove et Lejeune, 2002**).

III.1.1 Intérêt agronomique et environnementale

Le tapis d'Azolla ne se contente pas d'entraver la croissance des mauvaises herbes, il entrave également le développement des mouches en bloquant l'émergence des mouches adultes issues des larves, ce qui peut entraîner une mortalité pouvant aller jusqu'à 42-45% (**Van Hove et al., 1983**)

De plus, l'Azolla peut jouer un rôle crucial dans la filtration des eaux riches en nutriments en accumulant divers polluants tels que les métaux lourds, les radionucléides, les colorants et les pesticides (**Shiomi et Kitoh, 1985 ; Cohen-Shoel et al., 2002**).

D'après **Rahagarison (2005)**, l'Azolla est utilisée comme :

- engrais azoté pour le riz.
- Sa capacité à fixer l'azote contribue également à maintenir la fertilité du sol en fournissant un humus riche en nutriments lors de sa décomposition.
- De plus, elle aide à réduire les pertes d'ammoniac par volatilisation dans les rizières.

III.1.2 Intérêt pour l'industrie énergétique

En raison de sa remarquable productivité en biomasse, l'Azolla est envisagée comme une candidate prometteuse pour la production de biocarburant. Cette plante présente des niveaux appropriés de cellulose/hémicellulose, d'amidon et de lipides, ce qui la rend similaire aux cultures bioénergétiques terrestres et au micro algues souvent utilisées dans la production de biodiesel (**Sebastian et al., 2021**).

III.1.3 Intérêt en utilisation médicale et pharmaceutique

Dans la pharmacopée traditionnelle malagasy, l'Azolla est employée comme remède contre les hémorroïdes (**Cabanis et al., 1969**) et pour faciliter l'expulsion du placenta lors des accouchements, un processus appelé délivrance (**Descheemaeker, 1975**). D'après **Berbache et al. (2022)**, l'Azolla est également utilisée comme agent apaisant et somnifère. Une infusion d'Azolla mélangée à de la citronnelle est préconisée pour favoriser le sommeil (**Madafloa, 2008**).

III.1.4 Intérêt d'utilisation en alimentation animale

L'Azolla représente une source précieuse de protéines supplémentaires pour diverses espèces animales, ce qui en fait un fourrage de haute qualité. Elle peut être utilisée comme aliment pour le bétail, y compris les ruminants, la volaille, les porcs et les poissons, qu'elle soit fraîche ou séchée. Cette plante peut être administrée directement aux animaux ou mélangée à leur ration alimentaire habituelle (**Giridhar et al., 2013**).

III.1.4.a Chez les ruminants

L'utilisation de l'Azolla, qu'elle soit fraîche ou séchée, est envisageable dans l'alimentation des bovins, ovins et caprins. Des études menées en Inde suggèrent que l'Azolla fraîche ou séchée peut constituer un substitut partiel aux sources de protéines plus traditionnelles (**Feedipidia, 2019**). De plus, la production d'Azolla pour améliorer la production laitière s'est avérée avoir le deuxième rapport bénéfice/coût après la production de vers pour le lombricompostage (**Deshmukh et al., 2013**).

III.1.4.b Chez les lapins

L'Azolla semble être un aliment approprié et bénéfique pour les lapins, aussi bien en croissance qu'en reproduction. Dans un essai des lapins âgés de 6 semaines ont été nourris avec des régimes contenant de 0 à 36 % d'Azolla séchée. Les résultats ont montré que les lapins en croissance peuvent être alimentés en toute sécurité avec des rations contenant jusqu'à 24 % de foin d'Azolla séché, ce qui a des effets bénéfiques sur la plupart des aspects de la production (**Abou-Zeid et al., 2001**). Dans une autre expérience impliquant des lapines reproductrices, le remplacement de 25 % des protéines de tourteau de soja par des protéines d'Azolla séchée n'a eu aucun effet sur les paramètres zootechniques et s'est avéré économiquement avantageux (**Sabra et al., 2006**).

III.1.4.c Chez les volailles

▪ Chez les poulets de chair et poulettes

Chez la volaille, il existe un consensus général selon lequel l'Azolla séchée dans l'alimentation des poulets de chair devrait être limitée à 5 %, car des niveaux plus élevés ont tendance à réduire l'utilisation et la performance des nutriments (**Parthasarathy et al., 2002 ; Basak et al., 2002**). Chez les poussins de poulette, l'Azolla pourrait être incluse en toute sécurité jusqu'à 10% (**Alalade et Iyayi, 2006**). L'Azolla fraîche, pourrait remplacer 20 % ou plus de l'alimentation commerciale des poulets de chair (**Subudhi et Singh, 1978 ; Namra et al., 2010**).

- **Pour la poule pondeuse**

Des essais en Inde et au Nigeria ont montré que l'azolla séchée peut représenter jusqu'à 15 % de l'alimentation des poules pondeuses. L'azolla a un effet positif sur la couleur du jaune (pigment xanthophylle), (Alalade *et al.*, 2007).

- **Pour la caille**

L'Azolla (*Azolla pinnata*) s'est avérée avoir un potentiel en tant qu'aliment pour la caille japonaise de par sa richesse en nutriments, mais des taux d'incorporation supérieurs à 5 % ont réduit les performances de croissance et la conversion alimentaire (Sujatha *et al.*, 2013b).

III.2 Conditions de culture

L'Azolla est une plante délicate qui nécessite plusieurs conditions essentielles pour sa survie, sa croissance et son développement. Parmi ces facteurs figurent l'eau, la température, le pH, la lumière et les éléments nutritifs, (Rahagarison, 2005).

III.2.1 Le régime hydrique

L'Azolla est une plante aquatique flottante qui a la capacité de se développer aussi bien sur la boue que sur un sol très humide. Cependant, dans ces conditions, la surpopulation peut rapidement se produire en raison de la difficulté de dispersion et de fragmentation des frondes, comme l'a souligné Van Hove en 1989. Cette plante ne peut pas coloniser efficacement les grands lacs ou les eaux turbulentes, car les vagues et la turbulence de l'eau entraînent une fragmentation excessive des frondes, ce qui limite sa croissance (Ashton et Walmsley, 1976).

Une faible profondeur d'eau, généralement de quelques centimètres, favorise la croissance de l'Azolla, comme. Cette proximité des racines avec le sol permet un meilleur accès aux nutriments et réduit les effets du vent (Van Hove, 1989).

III.2.2 La température

La plage de température optimale pour la croissance de l'Azolla se situe généralement entre 20 et 30°C. Certaines souches de cette plante ont été capables de survivre temporairement à des températures aussi basses que -5°C et aussi élevées que 45°C. Cependant, certaines souches sont sensibles à des températures inférieures à 10°C, tandis que d'autres peuvent tolérer des températures dépassant 35°C, comme c'est le cas pour de nombreux écotypes d'*Azolla pinnata*, documenté par Van Hove en 1989. Il convient de noter que des températures supérieures à 37°C auront un impact significatif sur la multiplication de l'Azolla. En ce qui concerne l'humidité relative, les conditions optimales se situent généralement entre 85 et 90% (Rajesh, 2020).

III.2.3 Le pH

L'Azolla est capable de se développer dans une vaste gamme de valeurs de pH, allant de 3,5 à 10, mais son optimum se situe généralement entre 4,5 et 7. Plus précisément, le pH optimal pour sa croissance se situe entre 5 et 7. Il est important de noter que des niveaux de pH trop acides ou trop alcalins ont un effet néfaste sur cette plante aquatique (**Rajesh, 2020**).

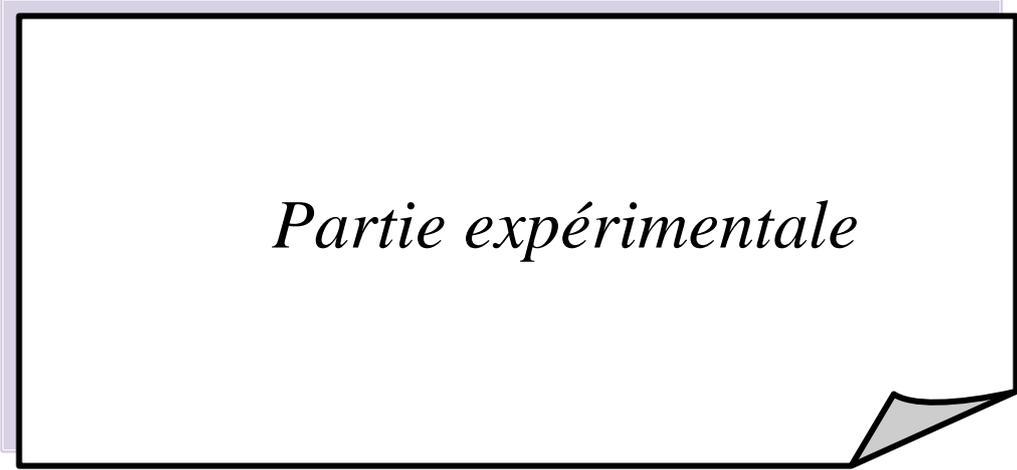
III.2.4 La lumière

Selon **Ashton (1974, 1980)**, le taux de croissance d'Azolla augmente de manière proportionnelle à l'intensité lumineuse jusqu'à atteindre 50% de l'intensité naturelle maximale. Cependant, **Ray et al. (1979)**, suggèrent que certaines souches d'Azolla maintiennent un niveau élevé d'absorption de CO₂ même à une intensité lumineuse de 100% de celle naturelle. En d'autres termes, même lorsque la lumière est abondante, ces souches d'Azolla continuent à assimiler le dioxyde de carbone efficacement.

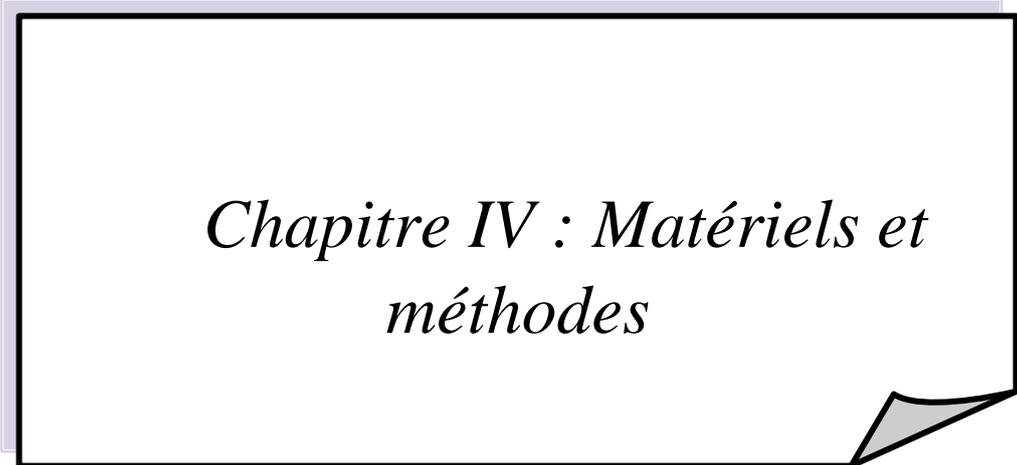
III.2.5 Les éléments nutritifs

L'Azolla a des besoins en minéraux comprenant à la fois des macroéléments (P, K, Ca, Mg et Mn), ainsi que des micro-éléments (Fe, Mo, Co). Des carences dans ces éléments entraînent une diminution de la croissance de l'Azolla (**Becking, 1979**). Cependant, la caractéristique la plus remarquable en termes de nutrition est l'indépendance totale de l'Azolla vis-à-vis de la source d'azote. Elle est capable de croître parfaitement en l'absence d'azote combiné, comme l'ont démontré **Van Hove et al. en 1983**.

Bien que tous les éléments soient essentiels, le phosphore est l'élément limitant le plus courant pour la croissance de l'Azolla. Un niveau d'environ 20 ppm de phosphore dans l'eau est considéré optimal. L'application de micronutriments contribue à améliorer la multiplication et la croissance de l'Azolla (**Van Hove et al., 1983**).



Partie expérimentale



*Chapitre IV : Matériels et
méthodes*

IV.1. Objectif

L'objectif de notre travail est d'étudier l'impact des solutions bio préparées à base de déchets organiques sur le rendement en biomasse de *Azolla pinnata* et d'identifier la meilleure pour assurer la durabilité de cette plante très recommandée en alimentation animale.

À travers cet essai, nous étudierons la possibilité :

- D'optimiser l'utilisation des déchets organiques en les transformant en engrais biologique, dans notre cas la culture de *Azolla pinnata*.
- La possibilité de s'en passer de l'utilisation des substances chimiques et de les substituer par des alternatives biologiques.
- Assurer une production continue d'un aliment durable et efficace pour le bétail.

IV.2. Présentation de site expérimental

Notre expérience a été réalisée durant la période allant du mois de mai jusqu'au mois du juin 2024. La culture de l'azolla a lieu au niveau de la faculté SNVST de l'université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, au niveau de la parcelle pédagogique de Département des sciences Agronomiques.

La wilaya de Bouira se situe dans la partie nord du pays, au sud-est d'Alger. Possède un climat tempéré méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux.

IV.3. Matériel utilisé

Afin de réaliser notre essai sur le terrain nous avons utilisé les outils et le matériel suivants :

- 04 bassins en plastique 20 cm de profondeur et 60 cm de diamètre.
- Pelle, pioche, seaux, tamis à sable, râteau.
- Balance de 10 kg, hachoir,
- appareil multi paramètres, thermo-hygromètre (Comme illustré par des figures originaux ci-dessous)



Râteau



Pelle



pioche



Bassins



seau



tamis à sable



Hachoir



tamis



balance



thermohegrometre



multi paramètres



sulfate de cuivre



NPK



contenue de rumen



déchets des insectes



Azolla



déchets des légumes

IV.4. Matériel végétal :

Dans notre travail, nous avons utilisé l'implant de *Azolla pinnata* offert par Monsieur CHIBANE Samir (un agriculteur de la commune de Chorfa) dans la wilaya de Bouira.

IV.5. Méthode de culture

- Dans un premier temps, nous avons mis en place 4 bacs mesurant 20 cm de profondeur



Figure 22: Installation : Installation des bacs (personnelle, 2024)

- Le tamisage de la terre est effectué en utilisant un tamis à sable.



Figure 23: Tamissage de sol (personnelle, 2024)

- placer une couche de sol de 2 centimètres.



Figure 24: Mise en place de la terre (personnelle, 2024)

- Pour éviter que les racines de *l'azolla pinnata* ne se foncent dans le sol, il est recommandé d'ajouter de l'eau dans les bassins à hauteur de $\frac{3}{4}$. (dans notre cas, nous avons utilisé l'eau de robinet).



Figure 25: Remplissage des bassins avec l'eau (personnelle, 2024)

- Finalement, nous avons ajouté 100 g de l'inoculum d'azolla fraiche dans chaque bassin d'une manière homogène sur la surface pour encourager sa prolifération.



Figure 26: Injection de l'inoculum d'Azolla (personnelle, 2024)

IV.6. Méthode d'obtention des solutions nutritives

Pour montrer l'effet des solutions nutritives sur la croissance de l'azolla, nous avons choisie 3 milieux organiques que nous avons comparés à une solution chimique à base d'engrais NPK. Les solutions nutritives sont sélectionnées selon leurs disponibilité pour qu'elles rentrent ans la valorisation des déchets pour un environnement durable. Les déchets sont : déchets de légumes, les déchets d'élevage d'insectes, le contenu du rumen (de bovin).

a. Les déchets des légumes

Nous avons récupéré les déchets des légumes au niveau de réfectoire de la résidence universitaire (BANOUN Youcef).

Ensuite nous les avons réduit en petits morceaux et les étalé sur des plateaux au niveau de l'animalerie de la faculté SNV-ST pour les sécher à l'ombre pendant une durée de 04 jours.

Après le séchage nous avons broyé les déchets à l'aide d'un hachoir pour avoir une poudre



Figure 27: Vue des déchets récupérés et coupés (personnelle, 2024)

b. Le déchet des insectes

- Les déchets d'insectes ont été parvenues d'un essai sur l'élevage d'insecte de la mouche soldat noire réalisé dans notre faculté par notre camarade de promotion HAMDANI Bacem.
- Après avoir récupéré les déchets d'insectes, nous avons entamé le processus de séchage pendant une période de 4 jour au niveau de l'animalerie .
- les déchet sont broyés et stockés pour les utiliser ultérieurement



Figure 28: processus de séchage de déchet des insectes (personnelle, 2024)

c. Le contenu de rumen

- Le contenu du rumen a été récupéré au niveau de l' abattoir bovin et ovins de Oued Dhousse de Bouira. Chaque semaine nous nous déplaçons à l'abattoir et ramener une quantité environ de 4 litres, et ce tout au long de notre essais .
- Une fois récupéré, nous filtrons le contenu de rumen pour éliminer les impuretés et récupérer seulement le jus de rumen pour l'utiliser comme solution nutritive.



Figure 29: Obtention du jus de rumen (personnelle, 2024)

d. NPK

- Le NPK a été acheté de chez un vendeur des produits agricoles

IV.7. Préparation des solutions nutritive :

1. calcule des doses

La superficie de bassin : égale au rayon au carré multiplié par le nombre π (π).

$$S=r^2 \times \pi = (0,30 \text{ m})^2 \times 3,14=0,28 \text{ m}^2$$

d'après les études précédentes, pour 1m^2 du superficie de bassin il faut mettre 1L de solution nutritive, et puisque nos bassins font 0.28m^2 donc on a calculer la quantité de la solution qui nous faut pour chque bassin en utilisant la regle des trois ;

- 1L \rightarrow 1 m^2
- x \rightarrow 0.28 m^2

$$\Rightarrow x = 0.28 * 1/1 = 0.28\text{L} \Rightarrow 280\text{ml}$$

Pour le NPK

Le bassin témoin avec NPK a reçu 3 g/m^2 une fois par semaine (Mohamed et al., 2018).

notre bassin est de 0.28m^2 donc il a besoin de 0.84g de NPK

NB : (pour les déchets des légumes et les déchets des insectes on a utiliser la meme dose que le NPK)

Afin de comparer l'impact des solutions nutritives sur les rendements de l' azolla, nous avons élaboré quatre solutions, à savoir :

a. solution nutritive a base des déchets des légumes

- On pèse 0,84g de déchet des légumes en poudre puis on le met dans 280 ml d'eau et on laisse agiter pendant 15min jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène.
- on verse le liquide homogene dans des flaon en verre pour l'utiliser le lendemain.

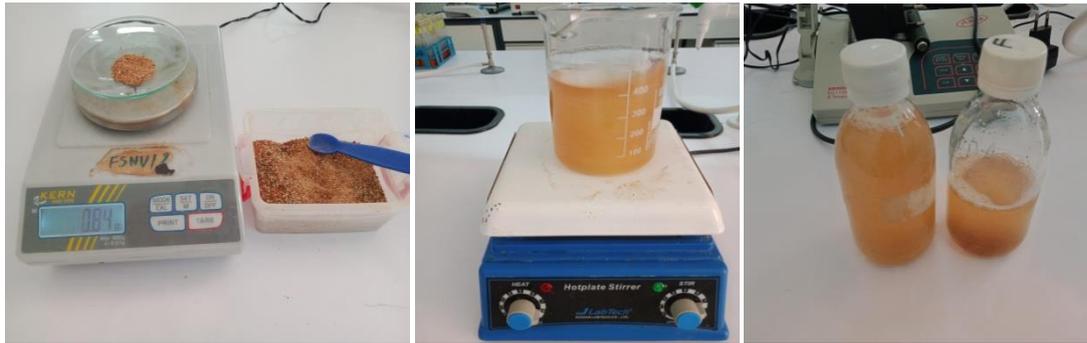


Figure 30: Préparation de la solution nutritive a base des déchets des légumes (personnelle, 2024)

b. solution nutritive à base de déchet des insectes

- On pèse 0,84g de déchet d'insecte puis on le met dans 280 ml d'eau minéral et on laisse agiter pendant 15min jusqu'à obtenir un mélange homogène.
- on verse la solution dans des flacons en verre

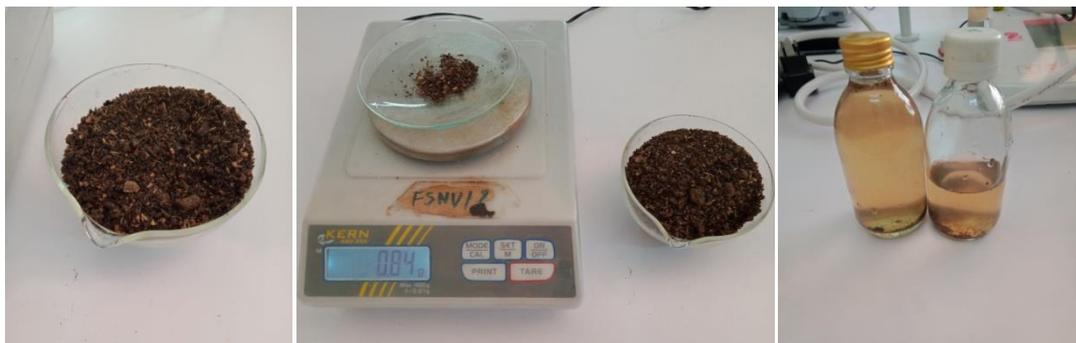


Figure 31: Préparation de la solution nutritive à base de déchet des insectes (personnelle, 2024)

c. jus de rumen

- Après la filtration de contenu de rumen on verse une quantité de 280ml du jus obtenue dans des flacons en verre.
- On stocke les flacons dans une zone sèche et a l'ombre pour éviter toute fermentation



Figure 32: Solution obtenue a base du jus de rumen (personnelle, 2024)

Solution de NPK

- On pèse 0,84g de NPK puis on le met dans 280 ml d'eau et on laisse agiter pendant 15min pour
- obtenir un mélange homogène prêt a utiliser.



Figure 33: Solution du NPK (personnelle, 2024)

IV.8. Méthode d'incorporation des solutions

- Après 24h nous avons verser les facons dans les bassins
- chaque bassin a reçu un seul type de solution nutritive
- le NPK est préparé le jour même de son utilisation.
- L'application régulière de solutions nutritives chaque semaine est essentielle pour garantir une nutrition optimale de l'azolla.



Figure 34: Incorporation des solutions dans les bassins (personnelle, 2024)

IV.8.1 Les paramètres suivis :

Pendant la période de culture on a suivi quelques paramètres notamment :

- L'humidité % (de la parcelle)
- La température C°(de l'eau et de l'air).
- Le PH de l'eau du culture
- La conductivité électrique (ms /cm)
- La salinité (PSU)
- La quantité hebdomadaire récolté de l'azolla

Ces paramètres ont été mesurés chaque jour durant toute la période de la culture.

L'humidité et la température sont été mesurées trois fois par jours tout au long des trois semaines de l'étude.

Chaque jour, on effectue des observations à l'œil nu afin de vérifier l'état de l'azolla et contrôler : la présence ou non des algues, la couleur et le niveau d'eau.



Figure 35: Suivi des paramètres (personnelle, 2024)

IV.9. Méthode de la récolte

- Après l'adaptation de la plante à son milieu, cette dernière a subi une croissance et a remplie toute la surface du bassin. Nous avons procédé à la récolte, la première récolte a été faite 06 jours après la culture de la fougère.



Figure 36: Bassins près à la récolte (**personnalisé**).

La récolte d'azolla a eu lieu de la manière suivante :

- Nous avons retiré l'azolla de bassin par un tamis
- on a laissé égoutter dans le tamis pendant 15 min pour l'élimination de l'eau en surplus.
- Une fois la récolte terminée, il est essentiel de maintenir toujours 1/3 d'Azolla dans le bassin pour qu'il se multiplie.



Figure 37: processus de récolte (**personnelle, 2024**)

- l'étape suivante est la pesée de la quantité récoltée, nous l'avons effectué à l'aide d'une balance.



Figure 38: pesage de l’Azolla récoltée (personnelle, 2024)

Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été traités par le logiciel Excel 2013 pour calculer la moyenne et l’écart-type et tracer les tableaux et les figures. L’analyse de la variance a été réalisée pour détecter l’effet de la solution nutritive sur la biomasse de l’azolla (rendement).

*Chapitre V : Résultats et
discussions*

Les bacs de culture d'azolla utilisés durant notre essai ont été disposés dans une seule parcelle chacun à côté de l'autre, donc ils sont soumis aux mêmes conditions météorologiques telles que la température, l'humidité, la lumière, etc., avec des prélèvements quotidiens de T° et d'humidité. En outre, le niveau d'eau des bassins a été régulièrement surveillé. Pour maintenir un niveau de remplissage équivalent à 3/4 de la hauteur des bassins.

V.1 Résultats des paramètres suivis :

V.1.1 : Température

Les températures ont été mesurées tout au long de l'essai, soit trois prélèvements par jours (matin, à midi et le soir). Les résultats sont rapportés dans le tableau 5 ;

Tableau 5: Tableau récapitulatif des T° moyennes enregistrées par semaines

Semaine	Moyenne
Semaine 01	35,57±0,42
Semaine 02	37,82±0,35
Semaine 03	35,80±0,88
Moy ±ET	36,40±0,94

Il ressort du tableau que les températures varient peu soit une moyenne de 36°. Ainsi, les températures étaient un peu basses durant la 1^{ère} et la 3^{ème} semaine de culture comparativement à la 2^{ème} semaine où les températures étaient élevées (35 vs 37).

Ces valeurs se situent dans la plage de températures optimales pour la croissance de l'Azolla, comme l'ont démontré des études antérieures. En effet, **Rajesh (2020)**, a établi que la croissance optimale de l'Azolla se produit généralement entre 20°C et 30°C. De plus, selon **Van Hove (1989)**, certaines souches peuvent survivre temporairement à des températures extrêmes, allant de -5°C à 45°C. Bien que certaines souches soient sensibles à des températures inférieures à 10°C, d'autres peuvent tolérer des températures dépassant 35°C, comme l'Azolla pinnata. Il a également été observé que la vitesse de croissance augmente lorsque la température augmente, ce qui a été confirmé ultérieurement par **GATE et GIBAN (2003)**.

De plus, nos résultats sont proches à celles obtenues par l'expérience réalisée pour le mémoire de fin d'étude intitulé Culture d'Azolla pour un intérêt zootechnique : méthodes d'évaluation du rendement, par les étudiantes Yahiaoui Nassima et Saidi Thiziri (2020 /2021)

V.1.2 : Humidité

Au cours de notre essai, étant donné que les quatre bassins se trouvaient dans le même endroit, nous avons observé des taux d'humidité équivalents pendant toute la période de suivi des mesures, comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 6: Taux moyen d'humidité enregistré par semaine pendant l'étude

Semaine	Moyenne
Semaine 01	30,97±0,72
Semaine 02	35,10±1,53
Semaine 03	38,76±3,13
Moy ±ET	34,94±2,64

Le taux moyen d'humidité enregistrée durant notre essai est de 34,94±2,64 ; les valeurs prélevées varient de 30,96 à 38,76% avec un pic enregistré à la 3ème semaine.

Bien que le taux d'humidité observé au cours des jours soit varié, cela n'a pas eu d'influence négative sur le développement de l'azolla. Même lorsque le taux d'humidité était inférieur à 60 %, la croissance et la multiplication de l'Azolla n'ont pas freiné, en revanche nous avons observé une évolution positive de la plante et ce dans les deux bassins de culture

Nos résultats sont en contradiction avec **Rajesh en (2020)**, qui avait signalé que l'humidité représente un facteur crucial pour la culture réussie de cette fougère et que le taux optimal pour favoriser la croissance de cette plante se situe généralement entre 85 % et 90 %.

Ces résultats nous laissent supposé que l'Azolla puisse facilement s'adapter à des milieux secs.

V.1.3 : Effet des solutions nutritives sur les paramètres mesurés :

Les figures ci-dessous illustrent l'effet des solutions nutritives sur le taux de pH, de conductivité, de salinité et de température d'eau pendant une période de 21 jours pour quatre différents types de milieux de culture : NPK , déchets des légumes , résidus d'insecte et contenu de rumen .

V.1.3.a : Effet sur le taux de Ph

Les valeurs enregistrées oscillent entre 7,48 et 8,88, comme le montre le graphique.

Les moyennes de ph enregistrées dans les 4 bassines sont les suivantes : NPK ($7,49 \pm 0,29$), déchets légumes ($7,55 \pm 0,27$), résidus d'insecte ($7,52 \pm 0,22$), contenue de rumen ($7,52 \pm 0,19$).

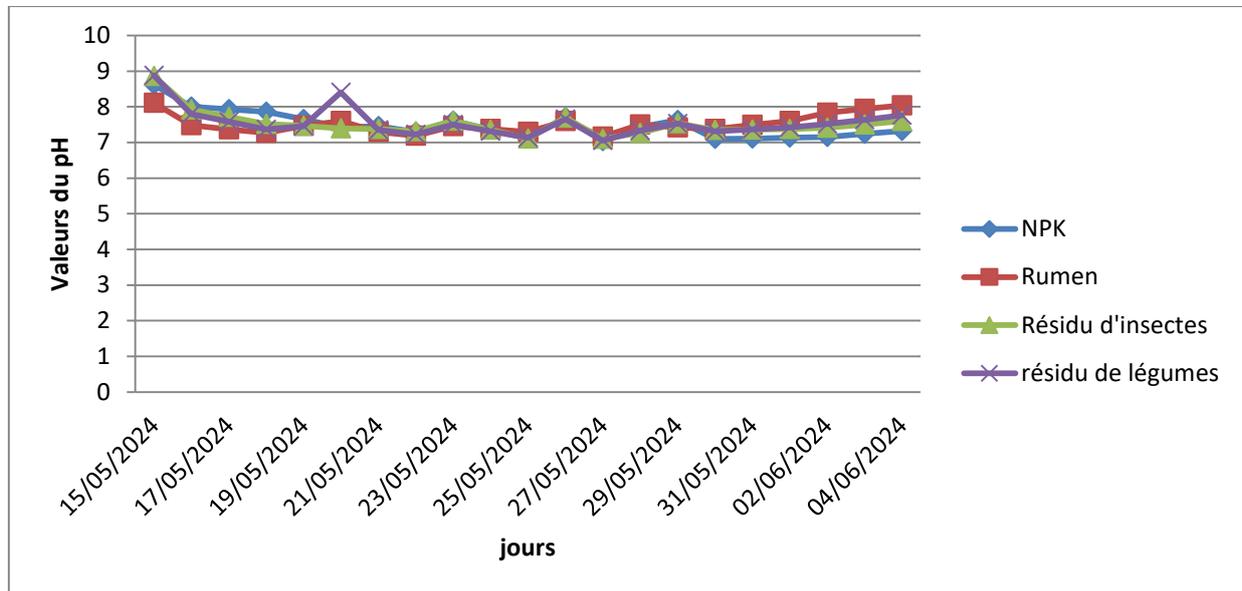


Figure 39: Variations des taux de ph selon les solutions nutritives

Les variations quotidiennes du pH sont influencées par plusieurs facteurs, notamment le niveau d'eau, la concentration et la composition chimique des solutions nutritives, ainsi que l'activité physiologique de l'*Azolla* et son absorption sélective des nutriments.

Les valeurs enregistrées correspondent étroitement à celles menées par **Rajesh (2020)**, qui avait démontré que l'*Azolla* démontre une capacité à se développer dans une large gamme de valeurs de pH, allant de 3,5 à 10, bien que son optimum se situe généralement entre 4,5 et 7.

Nos résultats corroborent également ceux des étudiantes ; Yahiaoui Nassima et Saidi Thiziri (2020/2021), et ceux de Chilali Ilham et Haddad Drifa (2021/2022).

V.1.3.b : Effet sur la température de l'eau

Selon le graphique suivent la température de l'eau dans les quatre milieux de culture reste relativement stable tout au long des 21 jours, avec de légères fluctuations allant de $18,84^{\circ}\text{C}$ et $31,72^{\circ}\text{C}$.

Les moyennes de température enregistrées dans les 4 bacs sont de : $25,23^{\circ} \pm 1,99$ (NPK), $24,02^{\circ} \pm 1,81$ pour les déchets de légumes, $24,68^{\circ} \pm 2,10$ (déchets d'insecte), $24,15 \pm 1,97$ (contenue de rumen).

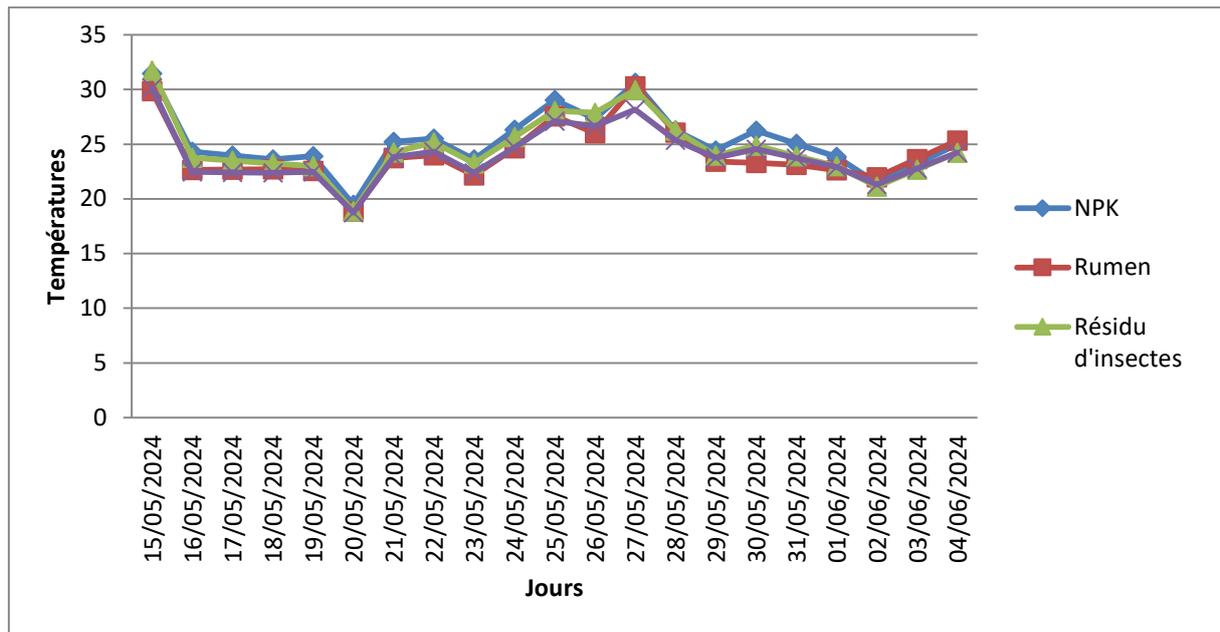


Figure 40: Variations des températures des milieux de cultures de l'Azolla

La variation des températures de la solution de culture est également affecté par l'étendu du tapis d'Azolla présent à la surface de l'eau, empêchant l'infiltration des rayons de soleil à l'intérieur des bassins.

La température des milieux de culture sont proches de la fourchette idéale pour la croissance de l'Azolla qui se situe entre -5°C et 45°C dans une eau, comme indiqué par **Watanabe et al., (1977)**.

Abou et al., (2010), rapportent que l'azolla peut être cultivé dans la plage de température de $24-27^{\circ}\text{C}$.

V.1.3.c : Effet sur la conductivité

Selon la figure ci-dessous, on peut constater que les valeurs de conductivité augmentent pendant toute la période de l'expérience et varient entre : $0,91\text{ ms/cm}$ et $1,806\text{ ms/cm}$.

Les valeurs de conductivité moyennes enregistrées dans les 4 bassines sont les suivantes : NPK ($1,21\pm 0,17$), déchets légumes ($1,28\pm 0,18$), résidu d'insecte ($1,28\pm 0,17$), contenue de rumen ($1,28\pm 0,10$).

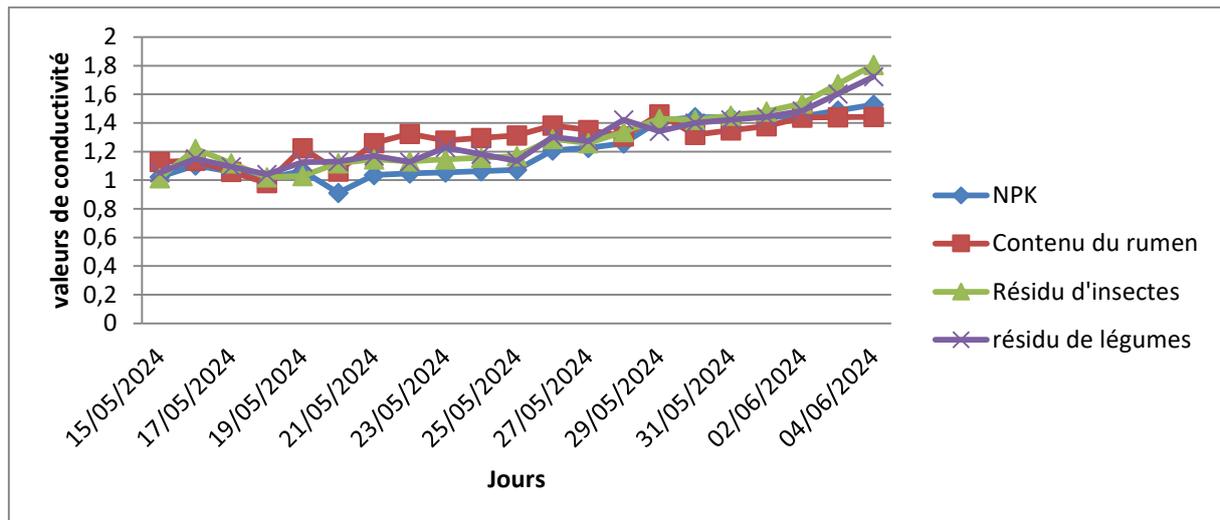


Figure 41: Variation de la conductivité des milieux de culture de l'Azolla

L'augmentation de la conductivité peut être attribuée à la concentration des ions dans les milieux de culture, l'activité physiologique de l'Azolla, la décomposition des déchets au fil du temps, de niveau d'eau et le ph.

Les valeurs de la conductivité électrique (CE) obtenues pendant les trois semaines d'étude sont proches de la fourchette idéale pour la croissance de l'Azolla 500 à 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Morel et al, 2000).

V.1.3.d : Effet sur la salinité

Le graphe ci-dessous (figure 42) montre Une augmentation des niveaux de salinité au fil du temps dans les quatre milieux de cultures de l'Azolla de 0,45 jusqu'à 0,91.

Les moyenne de la salinité enregistrée dans les 4 bassines est de : NPK ($0,60 \pm 0,08$), déchets légumes ($0,64 \pm 0,09$), déchets d'insecte ($0,64 \pm 0,09$), contenue de rumen ($0,64 \pm 0,05$).

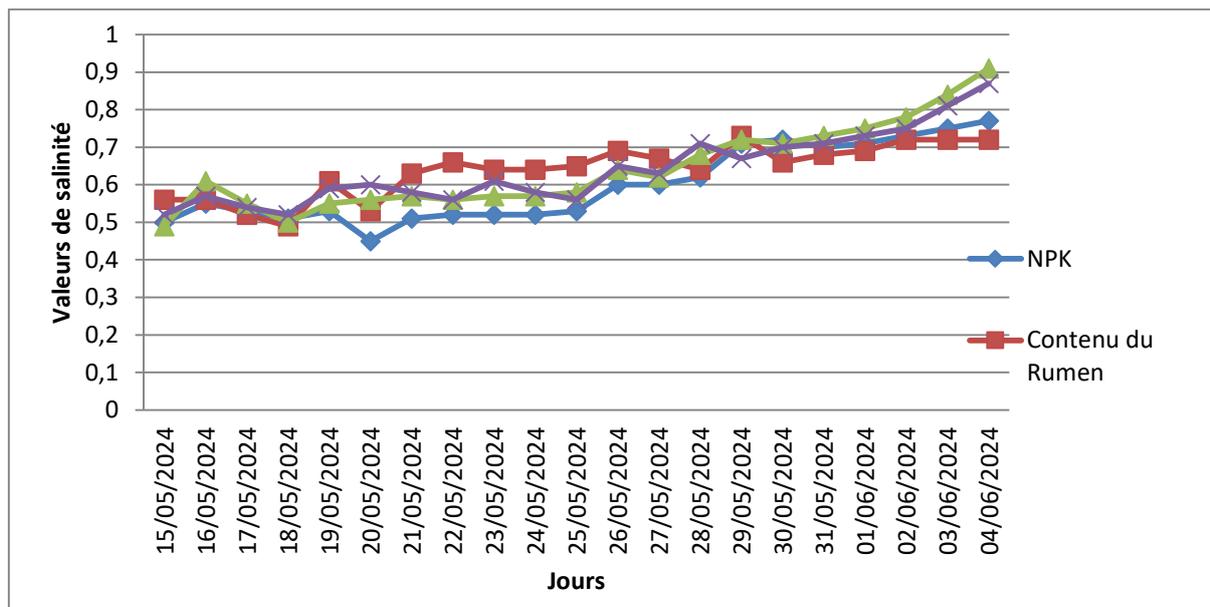


Figure 42: Variation de la salinité des milieux de culture de l'Azolla

Les niveaux de salinité peuvent varier en fonction de niveau d'eau et son taux d'évaporation, caractéristique des milieux de culture (apport en sels), activité physiologique de la fougère d'Azolla.

Les variations journalières des niveaux de salinité obtenues sont proches de la fourchette idéale pour la croissance de l'Azolla, comme mentionné par (Nandabalan et kannaiyan ,1986), la gamme de tolérance de l'Azolla au sel est allante de 0,05 à 0,1 %).

Par contre, dans une solution contenant plus de 1,3 de sels la croissance de l'espèce est stoppée (Haller et al .1974).

V.2 : Comparaison entre les différents milieux de culture

Le tableau 7 présente l'effet des différents milieux de culture d'Azolla (NPK, contenu de rumen, résidu d'insectes et résidu de légumes) sur différents paramètres mesurés, à savoir le pH, la température, la salinité et la conductivité.

Tableau 7: Tableau récapitulatif sur l'effet des milieux de culture sur les parametres mesurés

paramètre	NPK	Contenue de rumen	Résidus d'insectes	Déchets légumes	P
Ph	7,49	7,52	7,52	7,55	NS
Température	25,23	24,15	24,68	24,04	NS
Salinité	0,60	0,64	0,64	0,64	NS
Conductivité	1,21	1,28	1,28	1,28	NS

NS : non significatif (P>0,05)

Dans ce cas, les valeurs de pH sont très proches les unes des autres, avec une légère variation entre les différents milieux de culture. La différence observée entre les valeurs de pH est négligeable (NS), ce qui suggère que les milieux de culture n'ont pas eu d'effet significatif sur le pH.

Les températures enregistrées dans les différents bassins sont relativement similaires avec des différences négligeables, ce qui montre que les milieux de culture qui que ce soit lors origine n'affectent pas la température de l'eau.

La salinité entre les différents milieux de culture est similaires dans les 4 bacs de culture ($P > 0.05$) de même pour la conductivité.

V.3 : Effet des solutions nutritives sur le rendement en biomasse de l'Azolla

Au bout des 3 semaines d'expérience ; 3 récoltes ont été effectuées, les quantités récoltées varient d'un bassin à l'autre, ce qui reflète l'impact des différentes solutions nutritives utilisées.

Le tableau suivant (tableau 8) et la figure 48 récapitulent l'ensemble des résultats obtenus.

Tableau 8: Effet des milieux de culture sur le rendement en biomasse de l'Azolla

Récolte	NPK	Contenue de rumen	Déchets d'insecte	Déchets de légume	P
Récolte 01	105 ^a	265 ^b	169 ^c	211 ^d	**
Récolte 02	80 ^a	485 ^b	110 ^c	126 ^c	***
Récolte 03	172 ^a	500 ^b	74 ^c	97 ^c	* * *
Moy	119 ^a	416,67 ^b	117,67 ^a	144,67 ^c	***
ET	47,57	131,56	47,96	59,25	

** hautement significatif

*** très hautement significative

Indices a,b,c,d correspondent aux moyennes des solutions nutritives. Les moyennes ayant un indice différent significativement entre elles au seuil $P > 0.05$

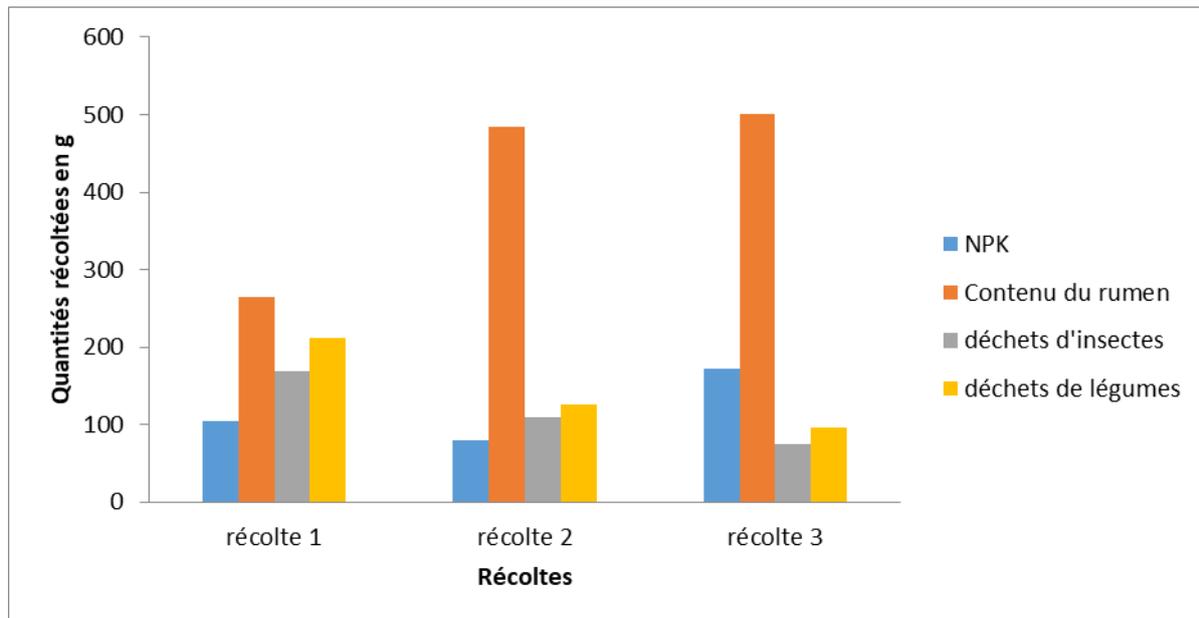


Figure 43: Variation de la quantité récoltée d'Azolla en fonction de milieu de culture

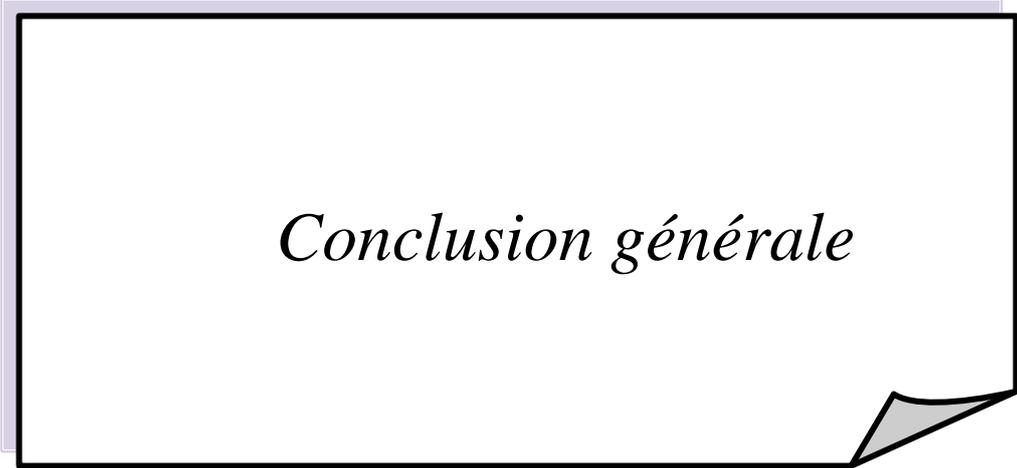
Il ressort du tableau que le milieu de culture contenant la solution du contenu du rumen a obtenu les rendements en biomasse les plus élevés (416 g) comparativement au témoin (NPK) et aux autres milieux expérimentaux. Ce milieu a montré une différence très hautement significative.

Le milieu de culture du déchet de légume a également montré des rendements en biomasse significativement élevés (146 g) que le milieu de culture déchets d'insectes et NPK (témoin) dans toutes les récoltes.

Le milieu de culture NPK est un, milieu chimique, est utilisé comme référence dans cette étude. Les résultats indiquent que les milieux organiques pourraient être utilisés dans les solutions nutritives pour les plantes aquatiques, dans notre cas l'azolla. Ces milieux de culture (contenu du rumen, déchet d'insecte et déchet de légumes) ont produit des rendements en biomasse meilleurs que le témoin (NPK)

Ce qui nous laisse suggérer que ces milieux de culture fournissent des nutriments ou des conditions de croissance plus favorables à l'Azolla.

D'après l'analyse statistique des résultats, nous avons constaté que la solution à base de jus du rumen est une meilleure alternation bio pour la culture d'Azolla, cette dernière est connue par ces apports importants en éléments nutritifs.



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude vise à évaluer l'influence d'une solution nutritive sur la production en biomasse et la qualité de l'*Azolla*, Mais aussi d'apprécier la faisabilité et la rentabilité de cette plante dans le secteur de la production et la nutrition animale.

Les moyennes des rendements enregistrés en fonctions des différentes solutions nutritives incorporées sont comme suit 416,67 g ; 144,67 g ; 17,67 et 119 g kg pour les bassins contenant le jus de rumen, déchets des légumes, résidus d'insectes et NPK (engrais chimique) respectivement. Le contenu de rumen, a permis un excellent résultat comparativement aux autres solutions nutritives.

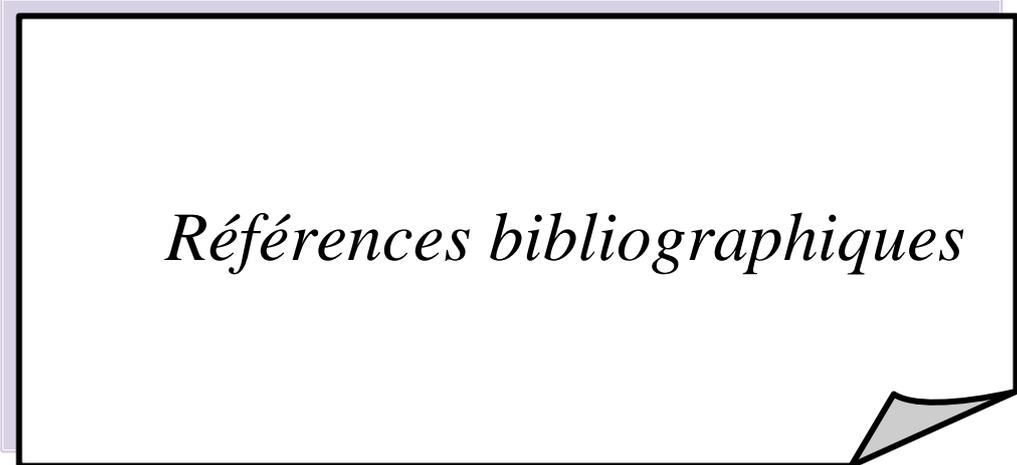
La solution nutritive bio à base de jus de rumen apparaît plus intéressante comme alternative aux engrais chimique ce qui rentre dans la sécurité alimentaire. De plus, la production de l'*Azolla* se fait sans interruption par un cycle de production continu, donc nous pouvons conclure que la valorisation de certains déchets organiques semble être un point clé utile pour assurer une production continue de cet aliment durable et efficace pour le bétail.

En comparant nos résultats à ceux de la littérature, nous constatons que les conditions climatiques qui influencent la croissance de l'*Azolla* sont similaires, à l'exception du taux d'humidité, qui nous permet de supposer que l'*Azolla* peut se multiplier et se développer avec un taux d'humidité inférieur à 60%, contrairement à ce qui est rapporté dans la littérature scientifique.

Il serait judicieux de proposer certaines recommandations afin de valoriser au mieux nos résultats :

- Effectuer une étude approfondie sur le milieu et les conditions de culture de l'*Azolla* afin de mieux comprendre et maîtriser ses besoins spécifiques.
- Réaliser des essais sur des animaux pour évaluer l'intérêt zootechnique de l'utilisation de l'*Azolla* en tant qu'aliment dans l'industrie animale.
- Réaliser des analyses de la composition chimique de l'*Azolla* afin de pouvoir élaborer des rations alimentaires équilibrées.

Il est à noter que l'*Azolla* représente une source alternative fortement recommandée en alimentation animale, en raison de sa richesse en protéines, sa multiplication croissante et sa méthode de culture économique.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abdelouaheb, H, 2009.** Enquête sur la situation de la filière viande rouge à ElBayadh. Mémoire de stage. Université Mentouri – Constantine Institut de la Nutrition, De L'alimentation et des Technologies Agroalimentaires (INATAA) Filière Sciences Alimentaires et Nutrition Option et Santé, 59P.
2. **Alane., F. (2007).** Valeur nutritive des légumineuses fourragères : Cas des luzernes (Genre Medicago). Thèse en vue de l'obtention du diplôme de magistère en sciences agronomiques. Institut national agronomique El-Harrach.96p
3. **Alloui N., 2011.** Situation actuelle et perspectives de modernisation de la filière avicole en Algérie. LRESPA, Service des Sciences Avicoles, Département Vétérinaire. Univ. HadjLakhdar de Batna, Algérie. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 29 et 30 mars 2011.
4. **Andrieu N., 2004.**Diversité du territoire de l'exploitation d'élevage et sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques : étude empirique et modélisation. Thèse de doctorat de l'INAPG. 321p.
5. **Anitha K.C., Rajeshwari Y.B., Prasanna S.B. ShreeJ.S., 2016.** Évaluation nutritionnelle de l'Azolla comme aliment du bétail. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* ,4 (6) :671.
6. **Arrigo Y., Scharenberg., A.(2008).**Digestibilité et dégradabilité de la matière azotée de plantes riches en tanins. Renc. Rech. Ruminants, 2008, 15. 281p
7. **Baumont R., Bastien D., Féraud A., Maxin G., Niderkorn V., 2016.** Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants. *Fourrages*, (227) :171-180.
8. **Baumont., B. (1996).** Palatabilité et comportement alimentaire chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 1996, 9 (5), 349-358
9. **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, pages 345-374.
10. **Blair R., 2011.** Nutrition et alimentation des bovins biologiques. CAB Livres, CABI.293 p.
11. **Boudechiche., L et al., (2015).**Digestibilité in vitro et cinétique de fermentation des feuilles de cinq arbustes fourragers du nord est Algérien. *Revue Méd. Vét.*, 2015, 166, 11-12, 350-359
12. **Boye., M. (2014).** Etude in sacco de la dégradation ruminale des fibres et des matières

Références bibliographiques

- azotées de fourrages fertilisés avec du fumier traité ou non par du bacteriolit. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 106 p
13. **Bruce B., Torell R., Riggs W., 2008.** Alfalfa for Beef Cows. Western Beef Resource Committee, Cattle Producer's Library, (19): 1-4.
 14. **Chander H et Kumar G. 2017.** A Study on the Potential of Azolla pinnata as Livestock Feed Supplement for Climate Change Adaptation and Mitigation. *Climate resilient agriculture in Himalayas* Characterization and comparison of five N₂-fixing Azolla-Anabaena associations. I
 15. **Cherifi Z. 2018.** Utilisation des drêches de brasserie en alimentation du lapin. Thèse doctorat. UMMTO ; pp
 16. **Demeter C., Raffray M., 2022.** Produits céréaliers. In : Le Déméter 2022. IRIS éditions, 373-378 p.
 17. **DGPSE, Corniaux, C. (2009).** Projet ENST. Renforcement des capacités opérationnelles du MRA sur les enquêtes en élevage.
 18. **Dhir B, Sharmila P, Saradhi PP.** Potentiel des macrophytes aquatiques pour éliminer les contaminants de l'environnement. Crit Rév Env Sci Tec. 2009;39(9) :75481
 19. **Divkolaie M. M., Naiji M., Gilani A., 2018.** chemical and qualitative assessment of (azolla pinnata) silage and its effects on fattening of zel lambs exposed to heat stress. International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch, (3) : 76-80.
 20. Drogoul, Carole, Gadoud, Raymond, Joseph, Marie-Madeleine, et al., (2004). Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Educagri Editions, 2004. Tome 2. 312 p
 21. **Fédération des Conservatoires Botaniques Nationaux (FCBN). (2012).** Fiche Azolla filiculoides. FCBN [en ligne]. [Consulté le 5 décembre 2016]. Disponible à l'adresse : http://www.fcbn.fr/sites/fcbn.fr/files/ressource_telechargeable/fiche_azolla_filiculoides_v2.pdf
 22. **FEEDIPEDIA.(2019).**Récupérésur<https://www.feedipedia.org/node/565>
 23. Feillet, P. (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. Editions Quae.
 24. **FRANCISCO, C. (2014).** Azolla as a Superorganism. Its Implication in Symbiotic Studies, August 2010 In book : [Symbioses and Stress \(pp.225-241\)](#)

Références bibliographiques

25. **HEDJI, J. APPL, BIOSCI, (2014).** Valorisation de *Azolla* spp, *Moringa oleifera*, son deriz et de coproduits de volaille et de poisson en alimentation animale.
26. **Heuzé V., Thiollet H., Trani G., Nozière P., Lessire M., Lebas F., 2022.** Graines de lupin blanc (*Lupinus albus*). Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO.
27. **Heuzé V., G., Boval M., Noblet J., Renaudeau D., Lessire M., Lebas F., 2016.** Alfalfa (*Medicago sativa*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/275>.
28. **Heuzé V., G., Delagarde R., 2015.** Date palm leaves and date pedicels. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/8012>.
29. **Heuzé V., Tran G., Giger-Reverdin S., Lebas F., 2015.** Sorghum forage. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/379>
30. **Heuzé V., G., Hassoun P., Bastianelli D., Lebas F., 2019.** *Moringa oleifera*. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://www.feedipedia.org/node/124>
31. **Heuzé V., G., Kaushik S., 2020.** Soybean meal. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/674>
32. **Heuzé V., G., Lebas F., 2015.** Graine de sorgho. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ et FAO. <https://www.feedipedia.org/node/224>.
33. **Heuzé V., G., Lebas F., 2017.** Maïs grain. Feedipedia, un programme INRAE, CIRAD, AFZ. <https://www.feedipedia.org/node/358>
34. **Heuzé V., G., Nozière P., Noblet J., Renaudeau D., Lessire M., Lebas F., 2016.** Barley grain. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/227>
35. **Heuzé V., G., Renaudeau D., Lessire M., Lebas F., 2015.** Wheat grain. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/223>.
36. **Hnatyszyn M et Guais a. 1988.** Les fourrages et l'éleveur. Ed. Lavoisier. France.439p INRAP, 1988. Reproduction des mammifères d'élevage .Ed. Foncher (Paris), 239p.
37. <https://lagazettedesplantes.com/2015/07/07/dossier-la-luzerne-cultivee-medicago->

Références bibliographiques

- sativa/ consulté le 1/02/2024.
38. <https://nafosa.es/fr/portfolio/luzerne-deshydratee-2/> consulté le 1/02/2024.
39. <https://www.aquaportail.com/definition-4471-lentille-d-eau.html> consulté le 02/04/2024 Balolé T.V., Legwaila G.M., 2006. Sorghum bicolor (L.) Moench. Enregistrement à partir de Protabase. Brink, M. & Belay, G. (éditeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays-Bas.).
40. **JANES, R. (1998b)**. Growth and survival of *Azolla filiculoides* in Britain. 2. Sexual reproduction. *New Phytologist* 138: 377-384
41. **Jean-Blain., C. (2002)**. Introduction à la nutrition des animaux domestiques. Edition Tec et Doc. Paris, 424p
42. **Kadi et al.** "Supplémentation alimentaire des ruminants avec des algues : une revue bibliographique"2022. (<https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/blogue/93516/un-peu-d-algues-dans-l-assiette-des-ruminants>)
43. **Konar. R. N., 1972**. Anatomical studies on *Azolla pinnata*. *Phytomorphology*.22, 211- 223.
44. **Kathirvelan C, Banupriya S, Purushothaman MR (2015)** *Azolla* un aliment alternatif et durable pour le bétail. *Int J Sci Environ Technol* 4(4) :11531157
45. **Katoch, S., Rana, D., Chandel, S. et Sankhyan, V. (2017)**. Évaluation biologique de l'*azolla* séchée en combinaison avec des carbohydrases chez les poulets de chair. *Journal indien de la science avicole*. 52 : 2832.
46. **Lebas, F., 2004**. Reflections on rabbit nutrition with a special emphasis on feed ingredients utilization. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, September 7-10, 2004, Puebla, Mexico 2004*.
47. **MacLeod M. G., Valentine J., Cowan A., Wade A., McNeil L., Bernard K., 2008**. Naked oats: metabolisable energy yield from a range of varieties in broilers, cockerels and turkeys. *Brit. Poult. Sci.*, 49 (3):368-377.
48. **Martine C ; Yannick C ; 2014**.Alimentation animale, Besoins, aliments et
49. **McDonald P.Edwards R. A.Greenhalgh, J. F. D., 2002**. *Animal Nutrition*. Sixth Edition. Longman, London and New York. 543 p.
50. mécanismes de la digestion des animaux d'élevage, éd educagri France, 424P.

Références bibliographiques

- Agabriel J. et al, 2010. Alimentation des bovins, ovins, et caprins. Tables INRA 2007(mise à jour 2010), éditions Quae 2010,311P
51. **Mishra, DB, Roy, D., Kumar, V., Bhattacharya, A., Kumar, M., Kushwaha, R. et Vaswani, S. (2016).** Effet de l'alimentation avec de la farine d'*Azolla* (*Azolla pinnata*) sur les performances, l'utilisation des nutriments et les caractéristiques de la carcasse du poulet chabro.
52. **ONG Ramilamina, 1995.** Utilisation de l'*Azolla* comme source de protéine pour l'alimentation animale à Madagascar, Antsirabe p18.
53. **ONG Ramilamina, 1995.** Utilisation de l'*Azolla* comme source de protéine pour l'alimentation animale à Madagascar, Antsirabe p18.
54. **Price S. G.; Satter L. D.; Jorgensen N. A., 1985.** Dehydrated alfalfa as a grain substitute studied. *Feedstuffs*, 57 (7):30-32.
55. **Radovic, J., Sokolovic D., Markovic J., 2009.** Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in: Animal Husbandry*, (25): 465-475.
56. **Raja W., Rathour p., John SA., Ramteke PW.2012.** *Azolla*-*Anabaena* association and its significance in sustainable agriculture. *Hacettepe J. Biol. Chem.*, 40 (1) :1-6.
57. **RAJA, W. RATHAUR, P. JOHN, S.A, RAMTEKE, P.W. (2012).** *Azolla* : an aquatic pteridophyte with great potential. *International Journal of Research in Biological Sciences* 2012 ; 2(2) : 68-72
58. **REYNAUD PIERRE-ADRIEN, Franche C. ; 1985 :** *Azolla pinnata* var. *africana* : de la biologie moléculaire aux applications agronomiques = From molecular biology to use as a green manure .ORSTOM, 15Pp.
59. **Reynaud P.A., Franche c.1986.** *Azolla Pinnata* var. *Pinnata*, Dakar.ORSTOM ,15p.
60. **Ribot., J.J. (1980).** La digestion des herbivores. Terre Malgache. Tany Malagasy, volume 20, avril 1980 pp : 9-50
61. **Sauvant D., Perez J.M., G., 2004.** Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : 2ème édition. ISBN 2738011586, pp.306.
62. **Schilperoord P., 2018.** Plantes cultivées en Suisse—cinq nouvelles monographies. *Recherche agronomique suisse*, 9(1), 26-29.
63. **SCHRAMM. M. ; 1987 :** Association *Azolla*-*Anabaena* *Azollae* :

Références bibliographiques

- Prospectives physiologiques, antananarivo : Académie Malgache, colloque international sur l'amélioration de la riziculture par les méthodes biologiques, 8 p.
64. **Seroux M., 1984.** Utilisation des protéagineux par le lapin à l'engraissement : pois, lupin et féverole. In Proc.: Third World Rabbit Congress, 4-8p.
65. **SHRIKANT, B., KATOLE, L., SHWETA, R., LENDE, et PATIL, S.S, (2017).** A Review on Potential Livestock Feed :Azolla. Livestock Research International / january –march ,2017 /volume 05 /Issue 01 /pages 01-09 -2017 jacraya .
66. **Theurer C. B., Huber J. T., Delgado-Elorduy A., Wanderley R., 1999.** Invited Review: Summary of Steam-Flaking Corn or Sorghum Grain for Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci., 82: 1950-1959
67. **Tran G. , 2015.** Azolla. Feedipedia, un programme d'INRAE, du CIRAD, de l'AFZ et de la FAO. <https://www.feedipedia.org/node/565>
68. **Tran G., Lebas F., 2015.** Timothy grass (Phleum pratense). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/16886>
69. **VAN HOVE, C., 1989 :** Azolla et ses emplois multiples (Publié à la demande de la FAO). Saint-Etienne Biologique, E .effet, 52p
70. **Vignau-Loustau L., Huyghe C., 2008.** Stratégies fourragères. France Agricole Editions, 336 p.
71. **Xavier R et Agroparistech. 2007.** UFR génétique, élevage et reproduction

Résumé

L'élevage en Algérie rencontre plusieurs défis majeurs, parmi lesquels l'alimentation animale occupe une place prépondérante, en raison de la dépendance aux matières premières importées, affectant la rentabilité et la durabilité du secteur. Pour surmonter ces défis, il est crucial de substituer ses MP importées par des sources alternatives disponibles localement. L'Azolla est l'une des sources alternatives non conventionnelles protéiques qui peut remplacer certaines MP onéreuses. Notre étude a pour objectif de produire cette fougère en utilisant différentes solutions nutritives bios à base : du jus de rumen, des déchets des légumes, des déchets des insectes et le NPK comme témoin, les moyennes des rendements enregistrés sont comme suit 416,67 g ; 144,67 g ; 17,67 et 119 g respectivement. La solution nutritive bio à base de contenu de rumen apparaît plus intéressante comme alternative aux engrais chimiques pour assurer une production continue de cet aliment durable et efficace pour le bétail.

Mot de clé : alimentation animale, matière première, durabilité, sources alternative, Azolla

Summary

Livestock farming in Algeria faces several major challenges, notably regarding animal feed, due to dependence on imported raw materials, which affects profitability and sustainability in the sector. To overcome these challenges, it is crucial to substitute imported raw materials with locally available alternative sources. Azolla is one such unconventional protein source that can replace some costly raw materials. Our study aims to produce this fern using various bio-nutrient solutions derived from rumen juice, vegetable waste, insect waste, and NPK as a control. The average yields recorded are as follows: 416.67 g, 144.67 g, 17.67 g, and 119 g respectively. The bio-nutrient solution containing rumen juice shows promise as an alternative to chemical fertilizers for ensuring a sustainable and effective production of this feed for livestock.

Keywords: animal feed, raw materials, sustainability, alternative sources, Azolla

ملخص

يواجه تربية الماشية في الجزائر عدة تحديات رئيسية، بما في ذلك التغذية الحيوانية التي تشغل مكانة بارزة بسبب الاعتماد على مواد خام مستوردة، مما يؤثر على الربحية والاستدامة في القطاع. للتغلب على هذه التحديات، من الضروري بشكل حاسم استبدال المواد الخام المستوردة بمصادر بديلة متاحة محليًا. الأزولا هي واحدة من مصادر البروتين غير التقليدية التي يمكن أن تحل محل بعض المواد الخام المكلفة. تهدف دراستنا إلى إنتاج هذه الشجيرة باستخدام محاليل غذائية حيوية مشتقة من عصارة الرُومن، ونفايات الخضروات، ونفايات الحشرات، مع استخدام مرجع. تم تسجيل المعدلات المتوسطة للمحاصيل على النحو التالي: 416.67 غ، 144.67 غ، 17.67 غ، و119 غ على التوالي. تظهر محلولات العناصر الغذائية الحيوية التي تحتوي على عصارة الرُومن إمكانات كبيرة كبديل للأسمدة الكيميائية لضمان إنتاج مستدام وفعال لهذا العلف للماشية

كلمات مفتاحية: التغذية الحيوانية، المواد الخام، الاستدامة، المصادر البديلة، الأزولا