

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/21

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Agronomie
Spécialité : Production et Nutrition Animale

Présenté par :

GACI ABIR et LAZIZI ASMA

Thème

**Essai de production d'Azolla comme sources alternatives
dans l'alimentation du poulet de chair.**

Soutenu le : 15/ 07/ 2021

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mme BENFODIL K.

MCB.

Univ. de Bouira

Président

Mme DOUMANDJI W.

MAA.

Univ. de Bouira

Examineur

Mme CHERIFI Z.

MCB.

Univ. de Bouira

Promotrice

Melle BARECHE L.

Doctorante.

Univ. de Bouira

Co-promotrice

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon Dieu tout puissant de nous avoir aidés et de nous avoir donné la foi et la force pour achever ce modeste travail.

*Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promotrice **Madame Chérifi Zakia**, de nous avoir encadrés avec sa cordialité franche et coutumière, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils. Qui ont contribué à alimenter notre réflexion et mes sincères remerciements à la doctorante **Mademoiselle B. Lamia** pour avoir accepté d'être mon Co-promotrice*

Nos remerciements s'adressent au président des jurés et à l'ensemble des examinateurs qui l'accompagne.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de la faculté de science de la vie et de la terre 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.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À ma très chère mère. La lumière de mes jours, la flamme de mon cœur, pour ton amour, ta tendresse et tes prières tout au long de mes études.

À mon très cher père. Ma source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir.

À mes grands-parents. Ceci est ma profonde gratitude pour votre éternel amour.

À mes frères : Adlan, Anise. À mes chères sœurs Achwak et Aridj mes oncles et mes tentes pour leur encouragement permanent qui me donne l'envie d'aller en avant.

À mes chers amis : Asma, Nassima, thiziri et Amina, aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et à qui je souhaite plus de succès.

À tous ceux que j'aime, mes enseignants et mes collègues que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours là pour moi.

Abir

Dédicace

Je remercie « allah » qui nous a donné la santé, la patience et le courage afin de réaliser ce modeste travail, que je dédie en signe de respect et de reconnaissance à qui j'estime, et j'aime énormément :

*À la femme la plus proche de mon cœur, celle qui veille sur moi nuit et jour, celle qui m'a aimé, porté réconfort et m'a toujours encouragé ; à **ma mère**.*

*À 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 ; à **mon père**.*

Je souhaite que ce diplôme soit le témoignage de leur propre réussite et je prie dieu de leur prêter une longue vie pleine de bonne santé.

*À ma grande mère, **fatima**.*

*À mes Très chères Sœurs, **chaima et sabrina**.*

*À Mes beaux-frères, **aissa, abdou, khaled, yacine** .*

*À ma binôme, **ABIR** pour son soutien, sa patience, et ainsi que sa grande famille **gaci**.*

*À mes amies, **nouna, khadidja, amina, nassima, thiziry, hanene***

À toute la promotion d'e Production et nutrition animale sans exception.

ASMA

Liste des abréviations :

% : Pourcent.

AA : Acides Aminés.

ADF : Acid Detergent Fiber.

C° : Degré Celsius.

Ca : Calcium.

CI : Capacité d'ingestion.

CMV : Compliment Minéral Vitaminé.

DHA : Docosa Hexaenoic Acid.

EAA : Acides Aminés Essentielle.

EPA : eicosa pentaenoic acid.

ET : Ecart type.

Ha : Hectare.

ITAB : Institut technique d'agriculture biologique.

ITAVI : Institut Technique de l'Aviculture.

ITELV : Institut Technique des Elevages.

JAA : Journal de l'Afrique agriculture.

Kcal: Kilocalorie.

M² : mètre carré.

Max : Maximale.

Min : Minimal.

Moy : moyenne

MS : Matière sèche.

NDF : Neutral Detergent Fiber.

NEAA : Acides Aminés non Essentielle.

P : Phosphore.

PH : Potentiel hydrogène.

T : Tonne.

USDA : United States Département of Agriculture.

Liste des figures :

Partie bibliographique

Figure 01	Paramètres qui définissent les conditions d'ambiance	12
Figure 02	La plante de l'azolla	15
Figure 03	La classification d'azolla	16
.Figure 04	Aspect de l'azolla	17
Figure 05	Le développement de l'azolla	18
Figure 06	Reproduction sexuée	19
Figure 07	Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'azolla	20
Figure 08	Morphologie d'une fronde d'azolla (2-3 cm) et section de la feuille	21

Partie expérimentale

Figure 09	Cartographie de la wilaya de Bouira	31
Figure 10	Présentation du lieu du travail	31
Figure 11	Le matériel utilisé pour création des bassins	32
Figure 12	Le matériel utilisé pour création des bassins	33
Figure 13	Remplissage de bassin	34
Figure 14	Préparation de la solution nutritive	35
Figure 15	Le sulfate de cuivre	35
Figure 16	Solution de sulfate de cuivre	36
Figure 17	pH mètre	36
Figure 18	Hygromètre	36
Figure 19	La récolte	37
Figure 20	Évolution du pH des bassins d'azolla dans notre essai	38
Figure 21	Évolution du taux d'humidité de l'azolla pendant l'essai	39
Figure 22	Évolution de la température pendant l'essai de l'azolla	40
Figure 23	Le rendement d'azolla pendant 30 jours	41
Figure 24	La couleur de l'azolla dans la première semaine	42
Figure 25	La couleur da l'azolla dans la deuxième semaine	42
Figure 26	La couleur de l'azolla pendant la 3 ^{ème} et la 4 ^{ème} semaine de l'essai	43

Liste des tableaux :

Partie bibliographique

Tableau 01	Besoin alimentaires du poulet	3
Tableau 02	Consommation d'eau et d'aliment au cours du cycle d'élevage chez le poulet de chair	3
Tableau 03	Apports recommandés en minéraux et en vitamines dans l'alimentation du poulet de chair	4
Tableau 04	Consommation d'aliment au cours du cycle d'élevage chez le poulet de chair	6
Tableau 05	Températures ambiante du poulet de chair au cours d'élevage	9
Tableau 06	Densité des poulets par poids vif	11
Tableau 07	Programme de prophylaxie médicale chez le poulet de chair	14
Tableau 08	Composition chimique de l'azolla	22
Tableau 09	Le taux de minéraux contient dans l'azolla	23
Tableau 10	Composition chimique d'azolla	23

Partie expérimentale

Tableau 11	Le taux de pH de l'azolla	38
Tableau 12	Le taux d'humidité de l'azolla	39
Tableau 13	Le taux température de l'azolla	40

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
Partie bibliographique	
Chapitre I : Alimentation et conduite d'élevage de poulet de chair.	
I.1. Alimentation de poulet de chair	2
I.1.1. Les besoins nutritionnels	2
I.1.1.1. Besoin en énergie	2
I.1.1.2. Besoins en protéines	2
I.1.1.3. Besoin en eau	3
I.1.1.4. Besoin en minéraux	4
I.1.1.5. Besoins en vitamines	4
I.1.2. Mesures réalisé des performances zootechniques	5
I.1.2.1. Le taux de mortalité	5
I.1.2.2. Le poids vifs	5
I.1.2.3. Le gain de poids	5
I.1.2.4. L'indice de consommation	5
I.1.3. L'aliment	5
I.1.3.1. Les sources d'alimentation les plus utilisées en aviculture	6
I.1.3.2. les sources non conventionnelles utilisées en aviculteurs	6
I.1.3.2.1. les graines de légumineuses et autres graines	6
I.1.3.2.2. Son de riz	7
I.1.3.2.3. Les insectes	7

I.1.3.2.4. Farine d'arachide	7
I.1.3.2.5. Les algues	7
I.1.3.2.6. Fougères aquatiques	8
I.2. Conduite d'élevage	8
I.2.1. Bâtiment	8
I.2.1.1. Intérêt de bâtiment d'élevage avicole	8
I.2.2. Condition ambiance	9
I.2.2.1. La température	9
I.2.2.2. Humidité	10
I.2.2.3. Litière	10
I.2.2.4. La ventilation	10
I.2.2.5. Éclairages	11
I.2.2.6. La densité	11
I.2.3. Matériels d'élevage	12
I.2.3.1. Abreuvoirs	12
I.2.3.2. Mangeoire	12
I.2.3.3. Matériel d'éclairage	12
I.2.3.4. Matériel de chauffage	13
I.2.4. Hygiène et prophylaxie	13
I.2.4.1. Prophylaxie sanitaire	13
I.2.4.1.1. Nettoyage et désinfection	13
I.2.4.1.2. Vide sanitaire	13
I.2.4.2. Prophylaxie médicale	14
Chapitre II : Généralités sur azolla	
II.1. Présentation de l'azolla	15
II.1.1. Taxonomie et distribution géographique de l'azolla	15
II.1.1.1. Taxonomie	15

II .1.1.2. Distribution géographique	16
II .1.1.3. La morphologie de l'azolla	17
II.1.1.4. Biologie et multiplication de l'azolla	17
II .4.1. Croissance et productivité	17
II .4.2. Multiplication végétative	18
II.4.3. Multiplication sexuée	19
II.4.4. Symbiose	19
II.2. Présentation d' <i>Anabaena azolla</i> microorganisme fixateur d'azote	20
II.2.1. <i>Anabaena azolla</i>	20
II.2.1.1. Taxonomie de l' <i>Anabaena azolla</i>	20
II.2.1.2. Morphologie et localisation	21
II .2.1.3. La diazotrophie	22
II.3. Composition et la valeur nutritive d'azolla	22
II.3.1. La nutrition minérale	24
II.3.1.1. Azote	24
II.3.1.2. Phosphore	25
II .3.1.3. Potassium	25
II.3.1.4. Fer - Calcium– Magnésium	25
II.4. Exigences pour une croissance réussie de L'azolla	26
II.5. Valorisation de l'azolla dans l'alimentation animale	26
II.5.1. L'Azolla dans l'aliment de bétail	26
II.5.2. L'Azolla dans l'alimentation des ruminants	27
II.5.3. L'Azolla dans l'alimentation de poulet de chair	27
II.5.4. L'Azolla dans l'alimentation du lapin	27
II.6. Intérêt agronomique de l'azolla	28
II.7. La forme de présentation de l'azolla	28
II.7.1. Azolla fraîche	28

II.7.1. Azolla sèche	29
II.7.3. Azolla ensilée	29
Partie expérimentale	27
Matériel et méthode	30
I. Objectif	30
I.1. Présentation du site expérimental et période d'essai	30
I.1.1. Présentation de la wilaya de BOUIRA	30
I.1.2. Situation géographique (relief- climat...)	30
I.1.3. Présentation de lieu du travail	31
I.2. Matériel utilisé	32
I.2.1. Le matériel utilisé pour l'installation des bassins	32
I.2.2. La méthodologie	33
I.2.2.1. Le bassin doit comporter	33
I.2.2.2. Installation du bassin	33
I.2.2.3. La préparation de traitement	35
I.3.1. Analyse statistique	37
Résultats et discussion	38
II.1. Les mesures des paramètres climatiques	38
II.1.1. La mesure de pH	38
II.1.2. L'humidité	39
II.1.3. La température	40
II.2. Le rendement	41
II.3. Suivi de la couleur de l'azolla	42
Conclusion	44
Références bibliographiques	

Introduction

Actuellement, les recherches sur l'alimentation animale sont de plus en plus orientées vers la valorisation de nombreuses sources alimentaires alternatives disponibles dans les pays où la majorité des ingrédients sont importés (Cherifi, 2018). Ces investigations ont comme objectif de limiter l'utilisation des sources classiques (céréales, tourteau de soja et farine de luzerne), en optimisant l'usage de sources végétales et de coproduits des industries agroalimentaires en vue d'atteindre une autonomie alimentaire.

L'alimentation est considérée comme un poste clé en élevage par le coût économique qu'elle engendre et l'expression des performances qu'elle permet de réaliser ainsi que sa corrélation à l'état sanitaire des animaux (Coutelet, 2014 ; 2015a et b).

De nombreux travaux ont été réalisés et publiés sur la valorisation des sources alimentaires alternatives, disponibles localement, sources de protéines, de fibres ou d'énergie, en remplacement des matières premières importées dans les formules alimentaires, dans le but de réduire le coût de l'aliment.

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). La teneur plus élevée en protéines brutes (plus de 20%) et la présence d'acides aminés essentiels (haute teneur en lysine), de vitamines comme A et B et de minéraux comme le calcium, le phosphore, le potassium et le magnésium ont fait d'azolla un complément alimentaire utile pour le bétail, la volaille, lapin et les poissons (Rajesh, 2020).

Notre travail entreprend les premiers essais de culture d'azolla dans l'objectif de l'intégrer ultérieurement dans l'alimentation animale comme source de protéine alternative aux tourteaux de soja.

Le présent mémoire comporte une partie bibliographique composée de deux chapitres dont le premier aborde les généralités sur l'azolla et l'autre l'élevage de poulets de chair. La deuxième partie est consacrée à l'essai de culture de l'azolla comportant matériel et méthodes utilisées, résultats et discussion et une conclusion.

Partie bibliographique

**Chapitre I : *Alimentation et conduite d'élevage de
poulet de chair.***

I.1. Alimentation de poulet de chair :

I.1.1. Les besoins nutritionnels :

Les poules comme tous les animaux ont besoin de manger et de boire pour vivre. Elles ont besoin d'aliment d'entretien, de croissance et de production, Pour répondre à leurs besoins, il est nécessaire de leur fournir une source abondante d'énergie, de protéines, de minéraux et de vitamines (Gafpam, 2016).

I.1.1.1. Besoin en énergie :

L'énergie est produite lorsque les aliments sont digérés dans les intestins. L'énergie est ensuite soit libérée sous forme de chaleur, soit capturée chimiquement et absorbée dans le corps à des fins métaboliques. Il peut provenir de protéines, de lipides ou de glucides dans l'alimentation. D'une manière générale, les céréales et les graisses fournissent la majeure partie de l'énergie dans l'alimentation. Plus d'énergie que nécessaire est convertie en graisse et stockée dans le corps, Les besoins énergétique pour la croissance comprennent les besoins énergétique pour l'entretien, l'activité et la constitution des tissus corporels nouveaux. Pour obtenir un niveau de croissance suffisamment appréciable, il faut d'abord satisfaire les besoins énergiques d'entretien et l'activité d'oiseau (morinière)(Blair, 2018).

I.1.1.2. Besoins en protéines :

Le terme protéine fait généralement référence à la protéine brute. Le régime alimentaire nécessite des protéines comme source d'acides aminés (AA), qui peuvent être considérés comme un composant de la peau, des tissus musculaires, des plumes, des œufs, etc. La protéine dans le corps est dans un état dynamique, et la synthèse et la dégradation continuent de se produire ; par conséquent, il est nécessaire de consommer continuellement et adéquatement des AA alimentaires. Un apport insuffisant en protéines alimentaires (AA) peut entraîner une baisse ou un blocage de la croissance ou de la productivité et interférer avec les fonctions corporelles de base (Blair, 2018)

Les oiseaux ont 22 acides aminés différents, dont 10 (arginine, méthionine, histidine, phénylalanine, isoleucine, leucine, lysine, thréonine, acides aminés colorés et valine) sont-ils des acides aminés essentiels (EAA), c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas être fabriqués par l'organisme et doit provenir de l'alimentation. Cystine et la tyrosine sont semi-essentiels en ce qu'elles peuvent être synthétisées à partir de la méthionine et de la phénylalanine, respectivement. Les autres sont des AA non essentiels (NEAA) et peuvent être fabriqués par le corps. Le manque d'acides aminés, notamment de tryptophane ou de protéines excessives et déséquilibrées (trop de leucine lors de l'ingestion de grandes quantités de maïs ou de zéine) peut réduire l'appétit des volailles. Un déséquilibre dans le rapport lysine/méthionine

Chapitre I : Alimentation et conduite d'élevage de poulet de chair

augmentera le CI, augmentant ainsi les coûts de production. En termes d'appétence, les volailles préfèrent les aliments à faible teneur en protéines (Blair, 2018).

Tableau 01 : Besoin alimentaires du poulet (ITAB, 2009).

Age du poulet	Démarrage (1-4 semaine)	Croissance- finition (5-12 semaine)
Energie métabolisable (en Kcal)	2750–2850	2800–2900
Protéines brutes (%) max	21	19
Lysine digestible (%) min	0,90	0,74
Méthionine digestible (%) min	0,35	0,30
Méthionine+ cystine digestible (%) min	0,68	0,56
Matière grasse (%)	2-5	2-7
Calcium (%) min	1,1	1
Phosphore disponible (%) min	0,42	0,35
Sodium (%) min	0,15	0,15

I.1.1.3. Besoin en eau :

En tant que l'un des nutriments les plus importants de la volaille, il régule la consommation alimentaire et constitue le principal facteur limitant de toute production. Le manque ou la mauvaise qualité de l'eau peut entraîner une baisse du taux de croissance et même une mort subite (Bessa, 2019).

Tableau 02 : Consommation d'eau et d'aliment au cours du cycle d'élevage chez le poulet de chair (Sagna, 2010).

Age (jour)	Poids moyen (g)	IC	Aliment ingéré/jour (g)	eau ingéré /jour (g)	Rapport eau/aliment
7	180	0,88	22	40	1,8
14	380	1,31	42	74	1,8
21	700	1,40	75	137	1,8
28	1080	1,55	95	163	1,8
35	1500	1,70	115	210	1,8
42	1900	1,85	135	235	1,8
49	2250	1,95	155	274	1,8

I.1.1.4. Besoin en minéraux :

Les minéraux se présentent principalement sous forme de sels et de cendre, certains minéraux ont des fonctions structurales, dans la formation des os et des coquilles des œufs, d'autres minéraux sont nécessaires à la réglementation des fonctions physiologiques.

Les éléments minéraux essentiels pour les volailles comprennent deux groupes, les macroéléments (calcium, le phosphore, le magnésium, le sodium et le chlore) et les microéléments (le fer, le cuivre, le zinc, le sélénium, le magnésium, le cobalt, l'iode).

I.1.1.5. Besoins en vitamines :

Les vitamines combinent divers composés organiques en termes de structure, de propriétés (telles que liposolubles ou hydrosolubles) et de fonctions (vision, métabolisme osseux, antioxydants, synthèse d'acides gras, coenzymes, etc.). Les doses de toutes ces substances sont très faibles et vitales pour l'organisme : une carence peut entraîner des maladies graves (cécité, déformation osseuse, etc.) et est généralement mortelle. Bien que certaines soient synthétisées par la flore digestive, les organismes ne peuvent généralement pas produire ces vitamines qui ne peuvent être fournies que par l'alimentation. Les vitamines sont apportées par des compléments vitamino-minéraux (CMV) (Dusart *et al.*, 2015).

Tableau 03 : Apports recommandés en minéraux et en vitamines dans l'alimentation du poulet de chair (ITAVI, 2003).

Vitamines	0 à 4 semaines	5 à 8 semaines
Vit. A (UI/kg)	12000	10000
Vit. D3 (UI/kg)	2000	1500
Vit. E (ppm)	30	20
Vit. K3 (ppm)	2,5	2
thiamine (B1) (ppm)	2	2
Riboflavine (B2) (ppm)	6	4
Ac. Pantothénique (ppm)	15	10
Pyridoxine (B6) (ppm)	3	6
Vit. B12 (Ppm)	0,02	0,01
Vit. PP (Ppm)	30	20
Acide folique (Ppm)	1	20

Biotine (Ppm)	0,1	0,05
Choline (Ppm)	600	500

I.1.2. Mesures réalisées des performances zootechniques :

Selon Jupiter (2008), les paramètres permettant d'évaluer les performances zootechniques de poulet de chair sont :

I.1.2.1. Le taux de mortalité :

La mortalité est la régression de l'effectif à travers le temps et sa résistance vis-à-vis des agressions du milieu.

$$\text{Taux de mortalité(\%)} = \frac{\text{nombre de sujet}}{\text{effectif de départ}} * 100$$

I.1.2.2. Le poids vifs :

En vue d'apprécier l'évaluation du poids vif, chaque bâtiment suivi est pesé à la fin de la différente phase, le poids vifs moyen est défini comme étant le rapport entre le poids total du lot et le nombre de sujet de lot. Ils sont exprimés en kg/sujet.

$$\text{Poids vifs moyen (kg/sujet)} = \frac{\text{poids global du lots}}{\text{effectif du meme lot}}$$

I.1.2.3. Le gain de poids :

Le gain de poids est calculé par la formule suivant :

$$\text{Poids moyen quotidien (g/j)} = \frac{\text{poids final} - \text{poids initial}}{\text{durée d'élevage}}$$

I.1.2.4. L'indice de consommation :

Le calcul de ce paramètre se fait en appliquant la formule suivant :

$$\text{L'indice de consommation (g)} = \frac{\text{ingéré alimentaire (g)}}{\text{poids vif(g)}}$$

I.1.3. L'aliment :

L'aliment est le facteur de production le plus important. En effet, le développement de l'aviculture implique le recours à des aliments composés industriels incorporés à des taux variables. Chez la plupart des espèces, l'alimentation, qui constitue un puissant levier pour réguler le dépôt relatif des tissus et des maigres lors des poussées de croissance, amène la composition corporelle au stade de l'abattage (Lebret B et Picard B, 2015).

Tableau 04 : Consommation d'aliment au cours du cycle d'élevage chez le poulet de chair (ITELV, 2001).

Phase d'élevage	Forme d'aliments	Composition d'aliments			
		Énergie EM kcal/kg	Protéine brute(%)	Ca(%)	P(%)
Démarrage	Farine ou miette	2800- 2900	22	18	0,45
Croissance	Granulé	2900 -3000	20	0,90	0,38
Finition	Granulé	3000-3200	18	/	/

I.1.3.1. Les sources d'alimentation les plus utilisées en aviculture :

Les aliments entiers transformés commercialement remplaçant les procédures de travail typiques lors de la pose du cou, les tendances d'âge des oiseaux, les ingrédients broyés et mélangés peuvent dépendre du grain.

Les ingrédients les plus fréquents employés selon (Seddi et Didani, 2016) sont :

- **Protéique :**

-Tourteau de soja.

- Tourteau d'arachide et tournesol.

- **Énergétique :** maïs, sorgo, blé, orge avec enzyme ajouté.

- **Minéraux :** sous de forme de pierre de chaux ou sous forme de produit transformé comme le phosphore bi calcique.

- Le phosphore : former à partie de phosphate mono ou bi calcique déjà préparé ou présent dans les ingrédients végétaux.

- Le sodium et le chlore : fournir sous forme de sel.

- **Les additifs :** ce sont des composés anti-croissance et thérapeutiques jusqu'à 20%, parmi ses additifs on trouve des antibiotiques, des agents anti-infectieuse, des antioxydants, des suppléments vitaminiques et minéraux élaborés à très faibles doses.

I.1.3.2. Les sources non conventionnelles utilisées en aviculteurs :

Les ressources alimentaires non-conventionnelles, sont des aliments d'origine végétale, animale ou minérale, très peu ou pas exploités pour l'alimentation animale, qui n'entrent pas en concurrence avec l'alimentation humaine et qui sont peu connus de la plupart des éleveurs.

I.1.3.2.1. Les graines de légumineuses et autres graines :

La contribution des graines de légumineuses à l'alimentation animale dans les pays sous-développés est bien établie. Les légumineuses sont considérées comme une source majeure de protéines végétales (Baudouin et Maquet, 1999).Il convient de prêter attention à

l'utilisation de graines de légumineuses et d'autres sources de protéines non conventionnelles pour l'alimentation des volailles.

I.1.3.2.2. Son de riz :

Le son de riz est obtenu en tamisant ou en filtrant les résidus de riz moulu, éliminant ainsi l'enveloppe (Widyobroto, 1989 ; Liorca, 1995). Le son de riz peut être un bon remplacement partiel du maïs dans les aliments pour volaille en raison de sa teneur élevée en graisses (13,5 à 18 % MS) et en protéines (12,5 % MS). Cette teneur élevée en matière grasse limite son taux d'utilisation à environ 25 %.

I.1.3.2.3. Les insectes :

La forte demande récente et les prix élevés de la farine de poisson et du soja, ainsi la production aquacole augmente, stimulent la poursuite du développement de protéines à base d'insectes pour l'aquaculture et l'aviculture. Le marché des aliments pour insectes est similaire au marché de la farine de poisson de soja, qui est actuellement l'ingrédient principal et l'alimentation animale (Arnold van Huis *et al*, 2013).

Les insectes vivants ou morts ont dominé le créneau du marché, principalement les aliments pour animaux de compagnie ou les animaux de zoo (Arnold van Huis *et al*, 2013).

I.1.3.2.4. Farine d'arachide :

La poudre d'arachide est un sous-produit obtenu en extrayant des graines d'arachide (*Arachishypogaea L.*). C'est un ingrédient à haute teneur en protéines et est largement utilisé pour nourrir toutes sortes de bétail. La farine d'arachide est le sixième ingrédient alimentaire le plus populaire au monde après le tourteau de soja, le tourteau de colza, le tourteau de tournesol, le tourteau de coton et le tourteau de palmiste (USDA, 2016). Dans les régions où le tourteau de soja est cher ou indisponible, c'est souvent la source riche en protéines par défaut.

La poudre d'arachide est produite uniquement par extraction mécanique ou par extraction mécanique suivie d'une extraction par solvant. Il est également vendu sous forme de granulés (TIS, 2016).

I.1.3.2.5. Les algues :

La valeur nutritionnelle des algues s'explique en grande partie par la présence générale des trois principaux types, mais aussi par la présence de métabolites aux propriétés antioxydants et anti-radicalaires tels que les caroténoïdes, les poly phénols, les vitamines ainsi que les acides gras polyinsaturés (Heuzéet *al*, 2015).

I.1.3.2.6. Fougères aquatiques :

C'est le cas de l'azolla (*Azolla* sp.) L'azolla est une fougère aquatique constituée d'une tige flottante ramifiée, dont les racines pendent dans l'eau. Azolla a un rôle historique dans l'agriculture. Pendant des siècles, il a été reconnu comme utile dans le sud de la Chine et du Vietnam, où il a été utilisé comme bio fertilisant d'engrais vert pour la culture du riz en raison de sa capacité à fixer l'azote (Van Hove et *al*, 1996).Son intérêt zootechnique est développé dans le chapitre 2.

I.2. Conduite d'élevage :

I.2.1. Bâtiment :

I.2.1.1. Intérêt de bâtiment d'élevage avicole :

Un bâtiment est une pièce où les animaux évitent toute source d'interférence, c'est une pièce où les animaux trouvent toutes les conditions de confort. Pour cela, il doit tenir compte de tous les facteurs internes et externes du bâtiment. La conception et la mise en œuvre des élevages de poulets de chair doivent être prises en compte, car leur succès dépend d'un bon habitat, d'une bonne nutrition, d'un abreuvement correct et d'une bonne protection hygiénique à l'aide de méthodes de bio-ingénierie (Katunda, 2006).

a) Le choix de l'emplacement :

Le bâtiment avicole doit être construit sur un lieu non inondable :

1. Un terrain proche de votre lieu d'habitation si possible. On limite ainsi les déplacements, on diminue la fatigue et les pertes de temps ; mieux on l'œil sur notre ferme.
2. Un terrain bien sec : Dans ce cas, il faut choisir si possible un sol en pente légère et qui absorbe l'eau de pluie ; au besoin surélever le terrain du poulailler de 30cm et creuser des rigoles pour l'écoulement de l'eau.
3. Un terrain bien abrité : Il faut prévoir l'orientation du bâtiment pour que les ouvertures ne soient pas face aux vents dominants, il faut aussi des zones protégées du plein soleil. En somme pour un bon rendement, l'abri des volailles doit être :

b) Les dimensions de bâtiment : Selon (Alloui, 2006) :

- **Surface et densité** : Elle est directement en fonction de l'effectif de la bande à installer, on se base sur une densité de 10 à 15 poulets/ m², ce chiffre est relativement attaché aux conditions d'élevage ; en hiver l'isolation sera un paramètre déterminant, si la température descend, la litière ne pourra pas séchée.

- **La largeur** : Liée aux possibilités de bonne ventilation.

-Varie entre 8-15 m de largeur.

Chapitre I : Alimentation et conduite d'élevage de poulet de chair

-De 6-8 m : envisagé à un poulailler à une pente.

-De 8-15m : envisagé à un poulailler a doublé pente avec lanterneau d'aération à la partie supérieure.

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

- **Hauteur** : Dépend du système de chauffage, elle varie de 5 à 6 m.

- **Distance entre deux bâtiments** : La distance entre deux bâtiments ne doit jamais être inférieure à 30 m. Pour limiter tout risque de contamination lors d'une maladie contagieuse, plus les bâtiments sont rapprochés plus les risques de contamination sont fréquents, d'un local à l'autre, ainsi il faut dès le début prévoir un terrain assez vaste pour faire face. Pour le poussin.

I.2.2. Condition ambiance :

En termes d'environnement, les variables les plus importantes qui affectent la santé et la bonne performance des animaux sont : la température, l'humidité, la circulation de l'air et la litière (ITAVI, 2001).

I.2.2.1. La température :

Surtout pour contrôler la température, le poulet doit être strictement contrôlé pendant les premiers jours de sa vie. Ce jeune animal n'ajustera pas sa température.

Le corps ne s'adapte vraiment aux changements de température qu'à 5 jours d'âge, et jusqu'à deux (2) semaines, il faut distinguer deux températures. Sous la couveuse lorsqu'elle est inactive. La température ambiante de la pièce où il se déplace. Si vous n'avez pas d'éleveur, vous devez commencer à faire éclore les poussins uniquement à environ 29 °C (Nouha, 2016).

En effet, l'augmentation de la température réduit les besoins énergétiques et la consommation des animaux. Par conséquent, chaque augmentation de température de 1°C réduira la consommation alimentaire de 1 % en moyenne, ce qui signifie que chaque adulte réduira d'environ 1,2 à 1,6 grammes de nourriture par jour (Sagna, 2010).

Tableau 05 : Températures ambiante du poulet de chair au cours d'élevage (Bessa, 2019).

Age (jour)	Température ambiante (°C)
1-7	30-34
8-14	30-32
15-21	28-30

22-28	26-28
29-35	24-26
36-42	22-23
43-49	21-22

I.2.2.2. Humidité :

L'humidité idéale se situe entre 55% et 75%. Dans un climat chaud et humide, il est plus difficile pour les volailles d'évacuer l'excès de chaleur que dans un climat chaud et sec. Ensuite, les performances de croissance diminuent.

Exemple de climat chaud et sec : 35°C et 40% HR.

Exemple de climat chaud et humide : 35°C et 90% HR.

Dans ce cas, s'il s'avère que la ventilation naturelle est insuffisante, une ventilation dynamique doit être mise en place pour évacuer l'excès d'eau à l'extérieur de bâtiment (Driouche et Hamidi, 2017).

I.2.2.3. Litière :

La fermentation des excréments se produit à ce niveau. Dans les climats chauds, on évitera les litières trop épaisses, propices au dégagement d'ammoniac. L'humidité de la litière doit être comprise entre 20 et 25 %. Une humidité supérieure à 25 % la rendra humide, collante et facilitera la reproduction des parasites (coccidies). En revanche, en dessous de 20 %, la litière peut émettre trop de poussière (l'élevage de poulets de chair peut produire des litières permanentes) (Driouche et Hamidi, 2017).

I.2.2.4. La ventilation :

Le bon système assure non seulement un échange d'air adéquat dans tout le poulailler, mais élimine également l'excès d'humidité dans la litière, maintient les niveaux d'oxygène et de dioxyde de carbone et régule la température interne.

Légalement, le système de ventilation doit pouvoir répondre à certaines exigences de qualité de l'air à savoir : particules de poussières (1mg/m²), l'humidité (84%), l'ammoniac (20ppm) et le dioxyde de carbone (0,5 %). Cependant, les objectifs de qualité de l'air doivent aller au-delà des exigences légales de base et viser à fournir le meilleur environnement pour le bien-être, la santé et la production des oiseaux (Riley, 2018).

I.2.2.5. Éclairages :

Le programme d'éclairage utilisé pour élever des poulets de chair commerciaux peut avoir un impact significatif sur la performance et la croissance globales. Cependant, il est difficile de recommander un seul programme d'éclairage pour tous les types de scénarios de production de poulets de chair. D'une manière générale, il est recommandé de régler la lumière sur 24 heures pour 1 jour, puis de réduire progressivement la durée d'éclairage à 8 heures du soir (New-Life Mills, 2015).

I.2.2.6. La densité :

La densité définie le nombre de sujets par unité de surface, est un paramètre important que l'aviculteur doit contrôler durant les différentes phases d'élevage. Elle est directement en fonction de l'effectif de la bonde à installer, on se base sur une densité de 10 à 15 poulet /m², ce chiffre est relativement attaché aux conditions d'élevage (Alloui, 2006).

La densité de charge du bétail est déterminée par de nombreux paramètres qui peuvent devenir des facteurs limitant : normes d'équipement, qualité des bâtiments et facteurs climatiques. Parfois, la densité doit être réduite pour maintenir une litière correcte ou une température acceptable (Hubbard, 2015).

Tableau 06 : Densité des poulets par poids vif (Hubbard, 2015).

Poids vif (Kg)	Densité (sujets/m ²)
1,0	26,3
1,2	23,3
1,4	21,0
1,6	19,2
1,8	17,8
2,0	16,6
2,2	15,6
2,4	14,7
2,7	13,5
3,0	12,6

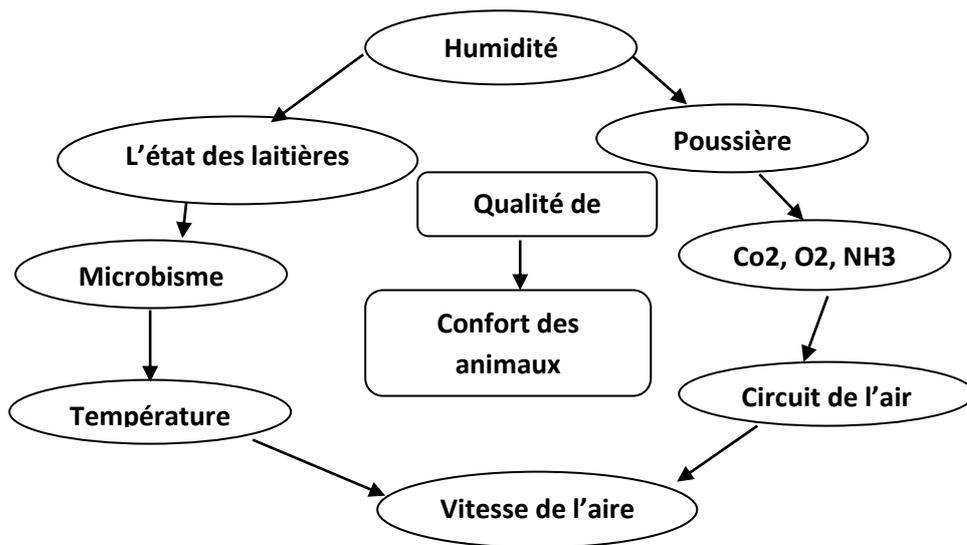


Figure01 : Paramètres qui définissent les conditions d'ambiance (ITAVI, 2001)

I.2.3. Matériel d'élevage :

I.2.3.1. Abreuvoirs :

Le matériel doit être adapté à l'âge et à l'espèce, Au début du démarrage, afin que les poussins trouvent de la nourriture rapidement, deux abreuvoirs sont utilisés selon l'âge de l'animal :

Abreuvoir siphonide et Abreuvoir linéaire (pour les animaux plus âgés) (Ross, 2010).

I.2.3.2. Mangeoire :

Les mangeoires (ou trémies) permettent de limiter le gaspillage. Il peut s'agir de trémies linéaires (de 30 à 100 cm de longueur) ou cylindriques de capacité de 7 à 20 kg (Eqcma, 2019).

I.2.3.3. Matériel d'éclairage :

L'éclairage doit être réparti sur toute la surface d'élevage, il est recommandé
-2 watts/m² dans un poulailler sombre.

-4 watts/mètre carré dans un poulailler léger.

Des moniteurs automatiques ou bien L'horloge du disjoncteur permettent d'établir des programmes d'éclairage (Saiki et Nacef, 2019).

I.2.3.4. Matériel de chauffage :

La chaleur nécessaire peut être fournie de manière suivante :

- **Des lampes ou des éleveuses électriques :**

Pour les petits travaux, facile à installer ; la chaleur fournie par la lampe infrarouge est à peu près équivalente à la chaleur du soleil. Par exemple, une ampoule de 100 watts peut éclairer 500 poussins la nuit (1 à 10 jours), tandis qu'une ampoule de 75 watts peut s'allumer au bout de 10 jours (Hippolyne, 2018).

- **Des radiants à gaz :**

C'est plus économique, l'échappement doit être réglé correctement et une chaîne doit être suspendue au milieu de l'anneau de départ. Sous le rayonnement, un thermomètre est placé pour s'assurer que la température standard est atteinte. Pendant la saison chaude, le radiateur ne peut être utilisé que quelques jours, principalement la nuit lorsque la température est fraîche. Par contre, en saison fraîche, le chauffage est nécessaire pendant plusieurs jours et nuits (Hippolyne, 2018)

I.2.4. Hygiène et prophylaxie :

I.2.4.1. Prophylaxie sanitaire :

La prévention sanitaire désigne toutes les méthodes visant à éliminer les agents pathogènes retrouvés, principalement dans l'environnement extérieur. Cette opération comprend deux parties distinctes :

I.2.4.1.1. Nettoyage et désinfection :

Le nettoyage est une opération qui doit être effectuée avant la désinfection, il sera effectué dans les étapes suivantes :

- Sortir la litière aussitôt que les poulets sont vendus.
- Nettoyer le sol à grande eau plus eau de javel.
- Asperger les murs et le plafond avec une solution antiseptique, les blanchir ensuite (chaux 5% plus insecticide).
- Désinfecter le sol avec un antiseptique (Formol à 3%, ou ammonium quaternaire1, 1000).
- Laisser au repos deux semaines au moins (Laid 2008).

I.2.4.1.2. Vide sanitaire :

1. désinsectisation.
2. vidanger les trémies d'alimentation et les canalisations d'eau (le cas échéant).
3. dépoussiérer le plafond, les murs et le grillage.
4. dépoussiérer le sol, enlever la litière et les déjections sans oublier les aires de circulation ou de stockage d'aliment et de matériel.

Chapitre I : Alimentation et conduite d'élevage de poulet de chair

5. retirer la litière.
6. trempage 4 à 5 heures avec de l'eau additionnée de détergent lors d'encrassement persistant, décapage du sol ou rabotage alors que les surfaces sont encore humides.
7. première désinfection.
8. dératisation éventuelle.
9. vide sanitaire : 15 jours minimum.
10. seconde désinfection et seconde désinsectisation trois jours avant l'arrivée des poussins (Hanini, 2017).

I.2.4.2. Prophylaxie médicale :

Le plan de lutte contre les maladies à la ferme comprend :

- prévenir les maladies.
- Détection précoce des maladies.
- Traitement des maladies établies.

Tableau 07 : Programme de prophylaxie médicale chez le poulet de chair (Rezig et Ghelimi, 2017).

Age (jour)	Vaccination	Traitement	Observation
1	Newcastle (atténué, souche hitchnerB1 .nébulisation) Bronchite infectieuse (atténué H120. Nébulisation)	VIGAL2X	/
7	Gumboro (atténué, souche intermédiaire, eau de Boisson	SUPRAVITAMINOL (3 jours, 2 jours sans traitement, puis 3 jours)	/
14	Gumboro (atténué, souche chaude. Eau de boisson)	VIGAL 2X 3 JOURS	changement D'aliment
21	Newcastle (hitchner B1 ou la SOTA+VIGAL2X+BRONCHITE INFECTIEUSE (H120), eau de boisson)	VITACOS*	/
29	/	SUPRAVITAMINOL	/
45	/	VITACOS	/
50	/	SUPRAVITAMINOL	/

Chapitre II : Généralités sur l'azolla

II.1. Présentation de l'azolla :

L'Azolla est une fougère aquatique flottante qui pousse sur l'eau. Il flotte comme une petite substance verte compacte et plate. Dans des conditions idéales, il croît de façon exponentielle, doublant la biomasse tous les trois jours (Chander *et al*, 2017).

Il existe au moins huit espèces d'azolla dans le monde ; *Azolla caroliniana*, *Azolla circinata*, *Azolla japonica*, *Azolla mexicana*, *Azolla microphylla*, *Azolla nilotica*, *Azolla pinnata* et *Azolla rubra* (Malek *et al*, 2008).

L'Azolla est présente naturellement dans les étangs, les fossés et les zones humides des régions tropicales et tempérées chaudes du monde entier. Il a besoin de 25 à 50% de la lumière pour la photosynthèse et pousse bien à l'ombre partielle.



Figure02 : La plante de l'azolla (JAA, 2019).

II.1.1. Taxonomie et distribution géographique de l'azolla :

II.1.1.1. Taxonomie :

Benedetti *et al* (2018) ont classé l'azolla dans la famille des Salviniacées, qui est une fougère flottante hétérospora. Il appartient également à l'ordre des Salviniiales (Raja *et al*, 2012).

Cependant, des taxonomistes récents ont classé azolla dans la famille monotypique, azollaceae, distincte du genre *Salvinia*, et consistaient en une diversité de cyanobiontes dans six espèces d'*Azolla* : *A. microphylla*, *A. mexicana*, *A. filiculoides*, *A. caroliniana*, *A. pinnata* et *A. rubra* (Kumar *et al*. 2019).

L'Azolla appartient à la classification proposée par Saunders et Fowler (1993).

Division: Pteridophyta

Class: Filicopsida

Or: Salviniiales

Famil: Azollaceae

Gen: *Azolla*

Sous-genre : *Azolla Tetrasporocarpia*

Section : *Azolla Rhizosperma*

Espèces: *A.caroliniana*, *A.pinnata* , *A.nilotica*

A. filiculoides

A. mexicana

A. microphylla

A. rubra

Sous espèce: *A. pinnata* subsp.*africana*

*A.pinnata*subsp.*asiatica*

*A. pinnata*subsp.*Pinnata*

II.1.1.2. Distribution géographique :

L'Azolla est originaire des régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes d'Afrique, d'Asie et d'Amérique (Costa *et al*, 2009). L'azolla est largement réparti dans les régions tropicales et tempérées du monde (Parris, 2001).

L'Azolla flotte à la surface de la plupart des étangs, des fossés, et des petits bassins, généralement dans l'eau calme des ruisseaux, des lacs et des rivières, et rarement dans les marais humides (Tryon et Tryon, 1982).

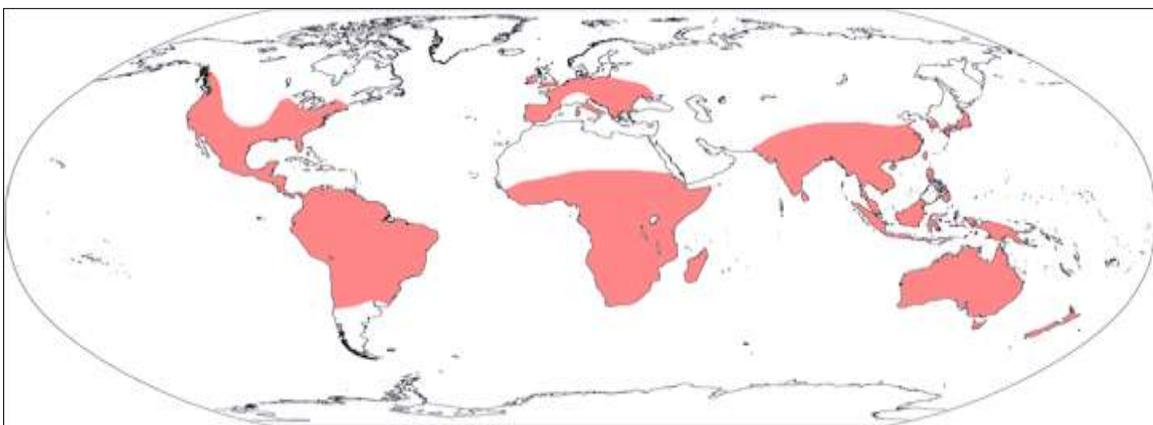


Figure 03 : Distribution moderne approximative d'azolla (Small & Darbyshire, 2011).

II.1.1.3. La morphologie de l'azolla :

Une plante d'azolla est constituée d'une tige principale de longueur dépasse rarement 3 ou 4 cm (Vanhove, 1989). Les feuilles d'*Azolla pinnata* voir *Africana* mesurent de 1 à 3 cm de long. Elles flottent sur l'eau et sont couvertes de petites feuilles alternées étroitement liées, cachant ainsi la tige. Celle-ci formera intervalles des tiges secondaires à intervalles réguliers, qui ont les mêmes caractéristiques générales que la tige principale, et la tige primaire produira des tiges de troisième ordre, qui sont des tiges de quatrième ordre (Vanhove, 1989).

Cette structure rend les plantes plus ou moins triangulaire ou rond selon les espèces. Les racines adventives mesurent 1 à 3 cm de long. Elles sont couvertes de poils absorbants disposés en touffes (Reynaud et Franche, 1986). Les racines font face à l'eau et coulent verticalement. Chaque feuille est constituée de deux parties appelées lobes. L'un d'eux est situé au-dessus de la tige, et est plus épais et chlorophyllien, il contient une cavité interne, abritant une population de cyanobactéries (algue bleue) appelées *Anabaena azolla* (Vanhove, 1989).



Figure 04 : Aspect de l'azolla (Photo originale, 2021).

II.1.1.4. Biologie et multiplication de l'azolla :

II.4.1. Croissance et productivité :

D'après l'ONG (1995), la courbe de croissance d'une population de l'azolla est caractérisée par trois phases :

-Une phase exponentielle au cours de laquelle les frondes se multiplient pour recouvrir toute la surface disponible, ce qui représente une quantité de matière fraîche d'environ 1kg/m².

-Une phase linéaire, avec une productivité maximale durant laquelle les frondes forment un tapis continu, et la biomasse peut atteindre 2 kg/m² dans certains cas, mais jusqu'à 8 kg / m² dans d'autres, exceptionnels d'ailleurs.

-Une phase de plateau au cours de laquelle les azollas entrent en compétition entre elles et prennent un port érigé : la productivité est alors freinée par la surpopulation et annonce la dégénérescence de la population.

Cela pourrait également s'expliquer par le fait que les plantes situées à la surface supérieure du tapis de l'azolla sont progressivement privées d'eau et des nutriments, et que leurs racines ne peuvent plus à traverser les couches sous-jacentes, tandis que les plantes situées dans les couches inférieures reçoivent de moins en moins de lumière. (Van Hovec, Diara, Godard, 1983).



Figure 05 : Le développement de l'azolla. (JAA, 2019).

II.4.2. Multiplication végétative :

La méthode la plus courante de la reproduction de l'azolla consiste en une simple fragmentation de la plante. Les tiges secondaires les plus développées, quand la fougère atteint environ 1 à 2 cm de diamètre, se séparent spontanément de la plante mère, par formation d'une assise d'abscission à leur base, ce qui donne de nouveaux individus isolés et plus petits et ainsi de suite. (Van Hove, Diara, Godard, 1983). Le principal mode de la

reproduction est la végétation et les branches latérales se détachent du rhizome principal en raison de la formation d'une couche d'abscission à leur base (Konar, 1972).

II.4.3. Multiplication sexuée :

Selon Reynaud et Franche (1987), lorsque les conditions environnantes deviennent défavorables, un cycle de reproduction sexuée est commencé. Il se forme sous la fougère, à la place du lobe inférieur de la feuille des spores mâles (mégaspores) et des spores femelles (microspores) qui constituent des formats de survie de l'azolla. La fécondation du gamète femelle par le gamète mâle redonne naissance à une plantule qui rejoint la surface de l'eau.



Figure 06 : Reproduction sexuée (Photo originale, 2021).

II.4.4. Symbiose :

Selon Reynaud P.A, Franche C (1987), le symbiotique l'anabaena de l'azolla est situé dans une cavité de la feuille dorsal de l'azolla. La cavité est formée par une dépression sur la face ventrale de la feuille en croissance : les filaments d'anabaena y sontensemencés à partir de la colonie d'anabaena et sont liés au méristème apical de l'azolla. Lors de la maturation de la feuille, une double rangée de cellules épidermiques emprisonne le symbionte fixateur d'azote. Dans la cavité mature fermée, les cellules d'anabaena sont répartit à la périphérie de la cavité. Celle-ci est limitée par une membrane et pénétrée de poils qui assurent l'échange des composés azotés et carbonés entre la plante hôte et le symbionte.

L'intérêt principal de la symbiose azolla-anabaena réside dans sa capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce à des cyanobactéries diazotrophe, qui peuvent d'utiliser le diazote (N₂), vivant en symbiose avec la fougère (Schrank M, 1987).Selon Van Hovec(1989), cette

symbiose est héréditaire. Contrairement à ce qui se passe dans d'autres symbioses diazotrophes, comme ceux entre les légumineuses et le rhizobium, l'association entre l'azolla et l'anabaena est permanente, c'est-à-dire que 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 de type sexué ou végétatif.

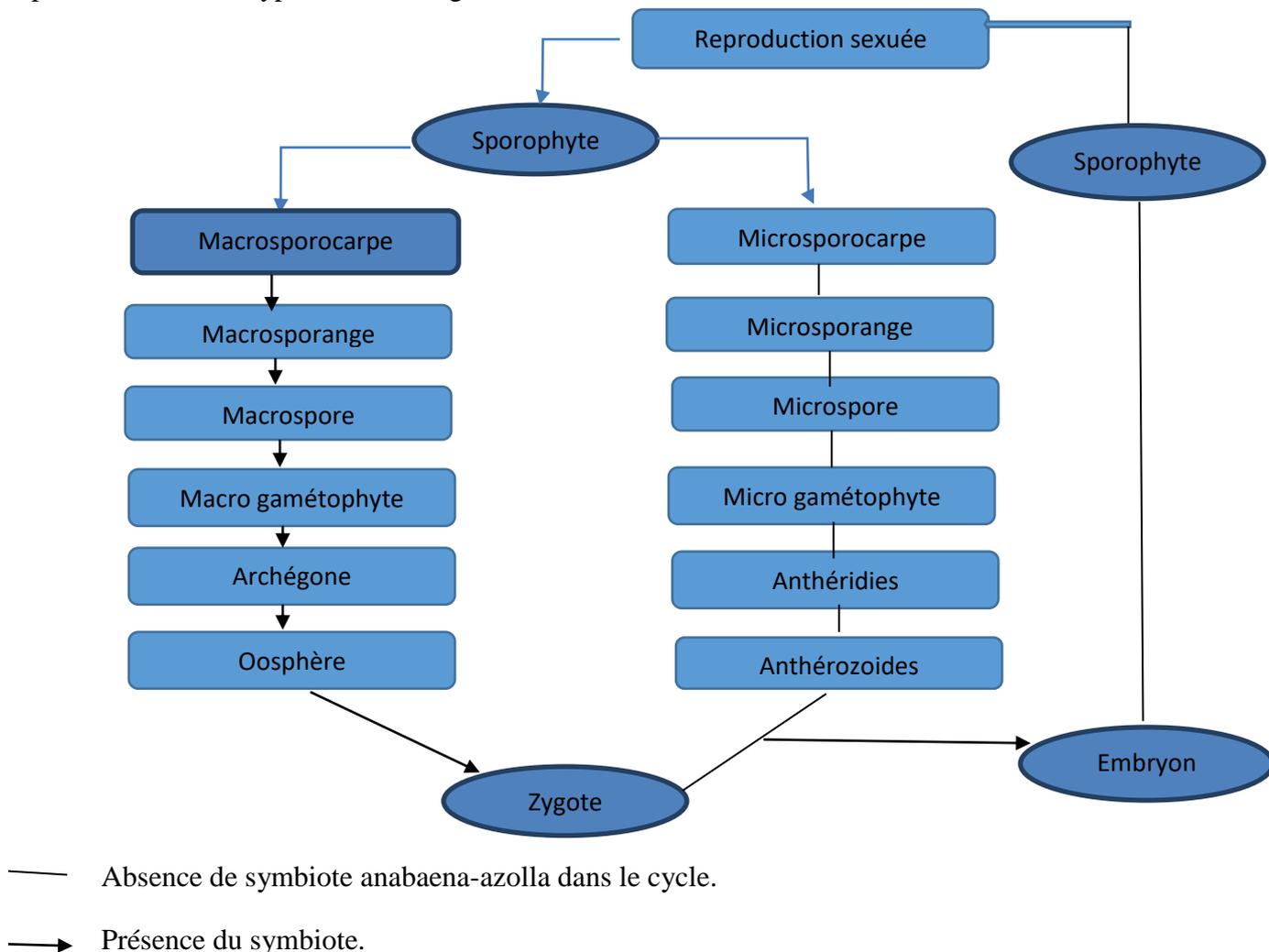


Figure 07 : Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'azolla (Becking, 1979).

II.2. Présentation d'*Anabaena azolla* microorganisme fixateur d'azote :

II.2.1. *Anabaena azolla* :

II.2.1.1. Taxonomie de l'*Anabaena azolla* :

Toutes les anabaena symbiotiques de l'azolla ont été classées comme l'espèce azolla. Cependant, on ne sait pas cultiver le symbiote à l'état libre, et son étude taxonomique est délicate. Les *Anabaena azolla* extraites des différentes espèces de l'azolla ont la même

morphologie ; elles possèdent des antigènes de surface voisins, mis en évidence par la technique d'immunofluorescence (Reynaud et Franche, 1989).

II.2.1.2. Morphologie et localisation :

L'Anabaena azolla est un organisme procaryotique. Comme toutes les cyanobactéries, du genre anabaena, le symbionte est constitué de filaments, des chaînettes de cellules, comprenant deux (2) types de cellules :

- Les plus nombreuses, appelées cellules végétatives, ont des dimensions d'environ 6µm qui sont le siège de l'activité photosynthétique de la cyanobactérie.
- Les autres, appelées "hétérocystes", sont légèrement plus grandes et ont une paroi plus épaisse dans laquelle est exprimée en anaérobiose l'activité fixatrice d'azote (Raelina, 1995).

Selon Van Hovec(1989), dans les très jeunes feuilles, les chaînettes ne comportent que des cellules végétatives, le nombre d'hétérocystes augmentant progressivement au cours du développement de la feuille jusqu'à représenter 30 à 40 % de l'ensemble des cellules. Dans certains cas enfin, quelques cellules se différencient en akinètes, forme de persistance dont la raison d'être dans la cavité foliaire n'est pas expliquée.

D'après Reynaud P.A, Franche C (1989), une propriété qui distingue l'anabaena symbiotique de l'azolla des anabaena que l'on trouve à l'état libre dans le sol est la grande fréquence d'hétérocystes : 20 à 30 % au lieu de 5 à 10% dans les formes libres.

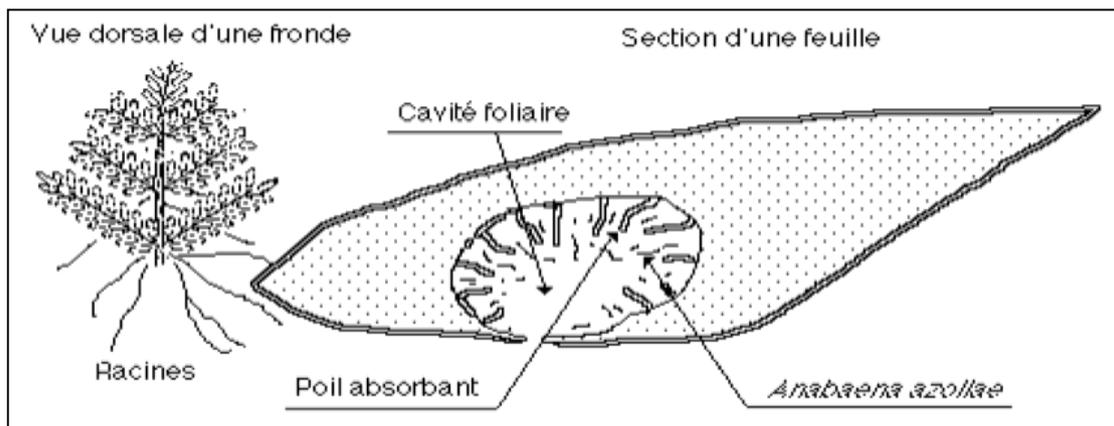


Figure 08 : Morphologie d'une fronde d'azolla (2-3 cm) et section de la feuille (Lejeune, 2002).

II.2.1.3. La diazotrophie :

Un certain nombre d'organismes procaryotes (bactérie et cyanobactérie) possèdent la propriété d'utiliser comme source d'azote pour leur métabolisme la diazote (N₂) alors que les végétaux en sont incapables et dépendent donc des composés azotés (nitrates, ammoniacque, urée, etc.) présents dans le sol mais souvent en quantités limitées.

Ces organismes diazotrophes, dont les *Anabaena azolla*, disposent en effet d'un système enzymatique complexe, la nitrogénase, capable de rompre la molécule de diazote, très stable, et de la transformer en deux molécules d'ammoniacque, moyennant une source d'énergie appropriée et d'électrons, suivant la réaction globale : $N_2 + 6H^+ + 6e^- + DATP \rightarrow 2NH_3 + n ADP + n P_i$ (Schrank, 1987).

II.3. Composition et la valeur nutritive d'azolla :

La composition chimique des espèces d'azolla varie en fonction des écotypes et des conditions écologiques et de la phase de croissance. La teneur en MS est généralement faible, dans la plage de 5 à 7%. La teneur en protéines est de l'ordre de 19 à 30% de MS dans des conditions de croissance optimales (Feedipedia, 2019).

Le profil en acides aminés de l'azolla dépend de l'espèce, mais la teneur en lysine est relativement élevée (4-6% de la protéine). Contrairement aux lentilles d'eau, l'azolla est relativement riche en fibres : le NDF peut être supérieur à 50% de MS, la fibre brute est d'environ 15% de MS et la teneur en lignine est de l'ordre de 10-13% de MS. Comme la plupart des plantes aquatiques, l'azolla est riche en matière minérale (10-20% MS) et peut être utilisée comme source de macro et micro minéraux (Feedipedia, 2019).

Cependant, la teneur élevée en fibres et en minéraux explique pourquoi l'azolla devrait généralement être inclus en quantités limitées dans les régimes des monogastriques, car les taux d'inclusion élevés ont tendance à diminuer les performances. L'encombrement de l'azolla frais est une autre limite à son utilisation dans l'alimentation du bétail et il est souvent préférable de le sécher (Feedipedia, 2019).

Tableau 08 : Composition chimique de l'azolla (Feedipedia, 2019).

Analyse principale	Unité	Moy	Dakota du Sud	Min	Max	Nb
MS	% alimenté	6,7	1,3	5,1	8,7	8
Protéine brute	% MS	20,6	3,5	13,9	28,1	15
Fibre brute	% MS	15,0	3,5	11,3	22,8	9

NDF	% MS	43,8	5,9	35,4	52,3	6
ADF	% MS	31,8	6,4	24,0	38,9	5
La lignine	% MS	11,4	1,7	9,3	13,5	5
Extrait d'éther	% MS	3,8	1,3	1,9	5,1	9
Cendre	% MS	15,9	3,5	9,8	21,6	12
Amidon	% MS	4,1		2,7	5,5	2
Énergie brute	MJ / kg MS	17,0				

Tableau 09 : Le taux de minéraux contient dans l'azolla (Feedipedia, 2019).

Les minéraux	Unité	Moy	Dakota du Sud	Min	Max	Nb
Calcium	g / kg MS	11,0	4,1	5,8	17,0	8
Phosphore	g / kg MS	6,1	5,5	0,3	15,5	11
Potassium	g / kg MS	17,4	3,7	10,9	22,5	7
Sodium	g / kg MS	9,0	4,3	2,8	12,5	4
Magnésium	g / kg MS	5,0	0,8	3,9	6,1	5
Manganèse	mg / kg MS	762	438	208	1429	5
Zinc	mg / kg MS	38	28	11	77	5
Cuivre	mg / kg MS	16	7	dix	28	5
Le fer	mg / kg MS	3900	3794	711	8200	5

Tableau 10 : Composition chimique d'azolla (Tacon, 1987).

Azollaspecies	Moisture (%)	Composition (Percent DM)					Minerals (percent DM)		
		CP	EE	CF	Ash	CC	Ca	P	K
A.filiculoides	93,5 ²	25,0-28,5	3,1	n.s	17,3	4,4-11,5	0,5-1,5	1,0-1,5	6,0

A.caroliniana		20,6- 22,6	n.s	n.s	n.s	8,5	0,6	1,3	5,3
A.pinnatavar.imbricate		26,0	n.s	n.s	n.s	4,1	0,4	1,3	4,5
A.pinnata (tank culture)		18,2	1,3	n.s	21,7	n.s	1,6	0,6	n.s
A.pinnata (field culture)		22,2	2,9	n.s	18,3	14,7	n.s	n.s	n.s
A.pinnata		21,4	2,7	12,7	16,2				
A.microphylla (lab.culture)		21,8	2,9	n.s	21,6	15,6	n.s	n.s	n.s
A.microphylla(fied culture)		20,0- 26,0	3,0- 3,5	n.s	14- 15	4,0- 14,0	0,7	1,6	5,5
A.microphyllahydrif(field culture)		19,0	4,0- 4,5	n.s	16,0- 17,0	2,5- 3,0	n.s	n.s	n.s
Various Azollasp		13,0- 30,0	4,4- 6,3	n.s	9,7- 23,8	5,6- 15,2	0,2- 0,7	0,1- 1,6	0,3- 6,0
Azollasp		n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	1,0	0,4	2,5

II.3.1. La nutrition minérale :

La composition du milieu influe fortement sur la valeur alimentaire de l'azolla et aussi sur sa croissance.

II.3.1.1. Azote :

L'Azolla croit en absence complète de composés azotés, tous les besoins en azote de la symbiose étant satisfaits par le métabolisme diazotrophe de l'anabaena. On sait par ailleurs que l'azote minéral (NH, NO), toujours présent en concentration plus ou moins élevée dans le milieu, inhibe la nitrogénase. Il faut noter cependant que le pouvoir compétitif de l'azolla vis-à-vis des algues et d'autres plantes aquatiques est d'autant plus faible que la teneur en azote du milieu est élevée (Van Hovec, 1989).

II.3.1.2. Phosphore :

D'après Van Hovec (1989), de tous les éléments essentiels, c'est le phosphore qui limite le plus souvent la croissance de l'azolla. Une déficience en phosphore (<0,2 % de la matière sèche) s'accompagne d'une diminution d'activité de la nitrogénase et de la teneur en azote de l'azolla. Par ailleurs, lorsque l'alimentation en phosphore est assurée, l'azolla s'accumule jusqu'à des teneurs de 1 à 2 % de la matière sèche ; ainsi enrichie, lorsqu'elle est transférée sur un milieu pauvre en phosphore, l'azolla peut continuer à s'y multiplier considérablement, en vivant sur ses réserves.

Selon Rabeson *et al* (1987), pour le milieu déficient en phosphore, l'azolla (de couleur initiale verte à vert foncé) devient brun rougeâtre. Ce changement de couleur intervient d'abord au niveau de la partie centrale de la fronde pour atteindre la totalité du corps. La fronde devient plus petite et fragile. Les racines s'allongent et se détachent facilement. Le phosphore n'est pas seulement nécessaire pour la croissance de l'azolla, il l'est aussi pour la fixation de l'azote (ONG, 1995).

II.3.1.3. Potassium :

Selon Rabeson *et al* (1987), la carence en potassium provoque des taches brun-jaunâtres dans certaines parties du corps de l'azolla, bien qu'en général aucun changement de couleur ne soit observé, mais il y a une légère diminution de productivité.

II.3.1.4. Fer - Calcium– Magnésium :

A part le phosphore, le calcium et le fer semblent être les principaux éléments majeurs indispensables à la croissance de l'azolla. La déficience en fer provoque un arrêt de la croissance et une décoloration en gris-jaunâtre de l'azolla. Par contre, l'excès de fer peut être toxique pour l'azolla (Rabeson *et al*, 1987)

La déficience en calcium serait constatée par un rougissement intense et plus accentué du lobe dorsal que celui de l'effet de déficience en phosphore ; les frondes se fragmentent et l'on y observe la plus petite fronde d'azolla. Tandis que la déficience en magnésium se manifeste par la présence de taches grisâtres et de signes de "nécrose" (cas de *Azolla pinnata*, de *Azolla caroliniana*, et de *Azolla microphylla*). Il existe par ailleurs une réduction de la biomasse et du poids frais (Rabeson *et al*, 1987).

II.4. Exigences pour une croissance réussie de L'azolla :

L'Azolla est une plante fragile qui exige un certain nombre de facteurs pour vivre, pour se développer et pour croître. Parmi ces facteurs on peut citer : l'eau, la température, pH, la lumière, éléments nutritifs (Rahagarison, 2005).

L'Azolla est traditionnellement cultivée dans des conditions fraîches et humides. La plante préfère une surface d'eau calme, des températures comprises entre 20 et 35 °C, un pH de l'eau de 4 à 7 et une eau riche en tous les nutriments essentiels pour la plante sauf l'azote, une teneur en sel en solution de 0,3 %, une exposition à 25 % en plein soleil, une longue durée de journée et l'absence de concurrents, d'insectes et de maladies (Rahagarison, 2005).

Les efforts déployés pour étendre son utilisation dans les tropiques humides ont rencontré un succès limité et une série de problèmes environnementaux. Les températures et l'humidité élevées stimulent les insectes et les maladies qui attaquent l'azolla. Les proliférations d'algues se font concurrence pour les nutriments et provoquent une modification du pH et une mauvaise circulation de l'eau (Rahagarison, 2005).

Les régions dépendantes des pluies de mousson disposent rarement d'eau pour la multiplication de l'azolla avant la saison de culture du riz et souffrent généralement de sécheresses intermittentes, qui dessèchent l'azolla cultivée en intercalaire. Les pluies excessives et les typhons peuvent provoquer des inondations qui peuvent emporter toute la culture de l'azolla. L'eau est généralement déficiente en P et l'application d'engrais phosphatés et éventuellement d'autres éléments nutritifs tels que Fe, Mo et K est nécessaire pour la culture de l'azolla (Lumpkin, 1987).

II.5. Valorisation de l'azolla dans l'alimentation animale :

II.5.1. L'Azolla dans l'aliment de bétail :

L'Azolla contient de très grandes quantités de protéines, d'acides aminés, de vitamines (vitamine A, vitamine B12, bêta-carotène) et de minéraux, c'est donc un excellent aliment nutritif pour le bétail. De plus, l'azolla a une faible teneur en lignine donc les animaux la digèrent facilement.

Même des récoltes très faibles de 10 t / ha de masse sèche fourniront au moins deux fois plus de protéines qu'un hectare de soja en moyenne mondiale, La teneur en protéines d'Azolla dans la matière sèche se situe entre 20 et 30%, cependant, les nouvelles races peuvent en contenir jusqu'à 35% (Liu *et al.* 2008).

Comparé à d'autres plantes, le rapport entre les acides gras oméga 3 et oméga 6 est assez élevé dans l'azolla avec 1,4 - 2,3. L'azolla contient même les acides gras oméga 3 à longue chaîne EPA et DHA qui ne sont généralement pas présents dans les plantes (Bhaskaran et Kannapan, 2015).

II.5.2. L'Azolla dans l'alimentation des ruminants :

Selon le Dr Subramaniam, mentionné dans *The Hindu* (2004), deux micro-étangs d'azolla (mesurant chacun 9 x 6 pieds) d'aliments par vache et par jour étaient suffisants pour augmenter le rendement laitier de 30%.

Kololgi *et al*(2009), ont mené une expérience sur des buffles en lactation et ont nourri 2 kg / animal / jour en remplaçant 25% de concentré par l'azolla. Il a été constaté qu'il y avait une augmentation de 10% du rendement laitier et de 0,5% de matières grasses dans le lait.

II.5.3. L'Azolla dans l'alimentation de poulet de chair :

Pour la volaille, l'azolla peut être donné aux pondeuses ainsi qu'aux poulets de chair (Gerpacio et Pascual, 1981). Les poulets recevant une alimentation classique supplémentée avec 5 % de plus sous forme d'azolla avaient une croissance plus rapide que ceux qui ont ingéré l'aliment commercial seul. Ainsi la conversion alimentaire des animaux et l'efficacité énergétique ont été considérablement améliorées (Rajesh, 2020).

L'inclusion d'azolla dans le régime alimentaire des volailles est prometteuse plus économiques, car il s'est avéré réduire les coûts d'alimentation de plus de 80% (Rai et al. 2012). L'azolla frais pourrait remplacer environ 20 % des aliments commerciaux dans l'alimentation des jeunes poulets. Ils ont estimé que pour remplacer l'aliment commercial, il faudrait environ 9 kg d'azolla frais chaque jour pour 100 poulets (Subudhi et Singh, 1978).

L'Azolla a été utilisé comme un additif alimentaire dans les régimes alimentaires des poulets de chairs pour obtenir des meilleures performances zootechniques (le poids vif, l'indice de consommation et le gain moyen quotidien) (Subduhiet *al*, 1978).

II.5.4. L'Azolla dans l'alimentation du lapin :

D'après Van Hove (1989), les recherches portant sur l'introduction de l'azolla dans l'alimentation du lapin sont très récentes et n'ont pas encore donné lieu à des applications en milieu paysan. Les résultats préliminaires sont cependant encourageants et permettent de penser que, moyennant un choix approprié d'espèces, basé tant sur la valeur nutritive que sur

les qualités organoleptiques, l'azolla pourrait être introduite à raison de 20 à 30% dans la ration alimentaire.

II.6. Intérêt agronomique de l'azolla :

Les plantes vertes sont depuis longtemps reconnues comme la source potentielle de protéines la moins chère et la plus abondante en raison de leur capacité à synthétiser des acides aminés à partir d'une large gamme de matières premières pratiquement illimitées et facilement disponibles (Fasuyi et Aletor, 2005).

L'Azolla a des utilisations multidimensionnelles telles que source de nourriture humaine, aliments pour animaux, médicaments, production de biogaz, hydrogène, purificateur d'eau, lutte contre les mauvaises herbes, réduction de la volatilisation de l'ammoniac et en raison des utilisations à multiples facettes, elle a été appelée «mine d'or vert» (Wagner, 1997).

Ces derniers temps, azolla gagne une importance considérable dans la phytoremédiation des eaux polluées (Arora, Saxena et Sharma, 2006), et ces résultats ont montré qu'azolla peut être utilisé avec succès dans la phytoremédiation des plans d'eau pollués.

En outre, sa teneur élevée en protéines le rend approprié comme complément alimentaire pour les chèvres (Toradmal *et al*, 2017), les aliments pour le poulet de chair (Balaji *et al*, 2009), les poules pondeuses (Alalade *et al*, 2007), et les veaux de buffle (Indira *et al*, 2009) et son incorporation dans les aliments pour animaux est rentable (Shoukat *et al*, 2015). Cette espèce a une capacité d'adaptation au changement climatique prometteuse et est utile pour l'adaptation au changement climatique des agriculteurs de ces régions, car le changement climatique est une menace pour la production animale en raison de l'impact sur la quantité et la qualité des cultures fourragères, du fourrage (Kumar et Chander, 2017).

II.7. La forme de présentation de l'azolla :

L'Azolla peut être présentée sous 3 formes : fraîche, sèche et ensilé.

II.7.1. Azolla fraîche :

D'après Van Hove (1989), ce mode de présentation n'exige aucune opération de transformation et n'entraîne aucune dénaturation des composants.

II.7.2. Azolla sèche :

Le séchage (au soleil) mené dans de bonnes conditions ne change pas la valeur nutritive de la plante. Le séchage doit être réalisé dans un endroit bien aéré, non humide et bien étalé l'azolla en fine couche. La durée de séchage varie entre 3 à 4 jours selon la température ambiante (Van Hove, 1989).

II.7.3. Azolla ensilée :

Ruben (1987), a montré que l'ensilage de l'azolla peut être pratiqué surtout pour traiter la biomasse excédentaire produite et utilisée comme aliment pour les animaux. Le silo est ensuite couvert. La fermentation prend moins d'un mois et le produit peut se conserver 2 ans.

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

Notre travail s'est inscrit dans le cadre de projet doctoral domicilié à la faculté SNVST, préparé par Melle BARECHE Lamia (doctorante au département d'Agronomie) dont notre essai fait partie de l'une de ses thématiques portant sur les essais de production de l'azolla, comme source alternative aux matières premières importées, en alimentation animale.

I. Objectif :

Considéré comme premier essai qui soit réalisé en Algérie, notre travail entreprend les premiers essais de culture d'azolla dans l'objectif de l'intégrer dans l'alimentation animale comme source de protéine alternative aux tourteaux de soja.

L'espèce choisie pour étudier l'impact de cette fougère sur les performances zootechniques est le poulet de chair. Cependant cette partie n'a pas été réalisée.

I.1. Présentation du site expérimental et période d'essai :

Cette étude a été réalisée au niveau de station pédagogique de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre à l'universitaire de Bouira.

1.1. Présentation de la wilaya de BOUIRA :

Issue du découpage de 1974, la wilaya de Bouira est située au sud d'Alger avec une superficie de 4454 km². Pour une population de 742.855 habitants soit une densité de 167 habitants au km². Elle est délimitée au Nord par les wilayas de Boumerdes et Tizi-Ouzou, au sud M'SILA et Media, à l'Est Bejaia et Bordj Bou Arreridj et à l'Ouest Blida.

1.2. Situation géographique (relief- climat...) :

Le territoire de la Wilaya de BOUIRA est caractérisé par 05 grands espaces géographiques :

- ✓ La dépression centrale.
- ✓ La terminaison orientale de l'Atlas BLIDEN.
- ✓ Le versant du Djurdjura.
- ✓ La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud.
- ✓ La dépression Sud Bibanique.



Figure 09 : Cartographie de la wilaya de Bouira (Découpage de 1974).

1.3. Présentation du lieu du travail :

Il est situé au nord de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de terre. Notre étude s'est déroulée durant la période allant de 01 Juin jusqu'au 30 Juin 2021.



Figure 10 : Vue générale du lieu expérimental (Photo originale, 2021).

I.2. Matériel utilisé :

2.1. Le matériel utilisé pour l'installation des bassins :

- ✓ Une pioche pour creuser.
- ✓ Tamis pour tamiser le sol.
- ✓ Le râteau.
- ✓ La pelle.
- ✓ Tuyau d'arrosage.
- ✓ Houe forgée avec manche pour remuer la terre.
- ✓ Nylon imperméable pour l'installation des bassins.
- ✓ Seau en plastique.
- ✓ Le mètre ruban.



Figure 11 : Le matériel utilisé pour création des bassins (Photo originale, 2021).



Figure 12 : Le matériel utilisé pour création des bassins (Photo originale, 2021).

2.2. Méthodologie :

Nous avons procédé à la culture de l'azolla dans un bassin d'eau douce, de profondeur de 30 cm.

2.2.1. Le bassin doit comporter de :

- bâche imperméable afin d'éviter les fuites d'eau.
- La terre fertile tamisée (3 cm d'hauteurs).
- 10 à 15 cm d'eau.

2.2.2. Installation du bassin :

Les bassins ont été conçus en suivant les étapes suivantes :

1. Creuser le bassin avec le métrage qui vaut avec 30 cm de profondeur avec un même niveau, et de démentions 7m x 1,5m (10.5 m²).
2. Etaler les bâches en plastiques imperméables à l'intérieur des bassins afin d'éviter la fuite d'eau.

3. Répartir une couche de terre fertile bien tamisée pour quelle ne comporte ni racines ni autres particules indésirables.
4. Remplir les bassins avec une eau propre jusqu'au niveau de 10 à 15 cm. Tous les coins des bassins doivent être du même niveau afin que le niveau d'eau puisse être maintenu uniformément.
5. inoculer par la suite 400 g/m² de l'azolla dans le bassin.



Figure 13 : remplissage des bassins (Photos originale, 2021).

6. Installation de l'ombrage pour infléchir les rayons du soleil.
7. Pour obtenir une croissance continue de l'azolla et éviter les carences en nutriments, nous avons rajouté le fumier de volaille.

Nous avons ajouté 1 kg de fiente de poulet dans 5L d'eau de robinet. L'ensemble (fiente et eau) a séjourné pendant 2 jours à l'ombre. Enfin le mélange a été filtré pour recueillir le liquide. Ensuite on ajoute 1L de la solution nutritive (fiente liquide) une fois par semaine pour éviter l'accumulation excessive d'azote dans l'eau.



Figure 14 : Préparation de la solution nutritive (Photo originale, 2021).

8. Dans le cas de contamination par des algues, un traitement à base de sulfate de cuivre doit être appliqué à raison de $30\text{g}/\text{m}^2$ sinon une nouvelle inoculation de la culture pure d'azolla s'impose.



Figure 15 : Le sulfate de cuivre (Photo originale, 2021).

2.2.3. La préparation de traitement :

- ✓ Ajouter 10g de sulfate de cuivre dans 2L d'eau.
- ✓ En suite mélanger bien jusqu'à ce qu'il devient homogène.
- ✓ En suite mettez et mélanger doucement la solution à l'intérieur du bassin.



Figure 16 : Solution de sulfate de cuivre (Photo originale, 2021).

Les paramètres mesurés :

En suit nous mesurons régulièrement les trois paramètres suivant pendant 30 jours : pH, la température °C (de l'eau et de l'air) et l'humidité %(de l'air).



Figure 17 : pH mètre (Photo originale, 2021). **Figure 18 :** Hygromètre (Photo originale, 2021).

Calcul du rendement :

Chaque semaine, on procède à la récolte de l'Azolla, on note le poids puis on calcule le rendement par mètre carré.



Figure 19 : La récolte (Photo originale, 2021).

I.3. Analyse statistique :

L'ensemble de données récoltées ont été saisies dans le tableau Microsoft office Excel[®] 2007 pour calculer les moyennes des paramètres mesurées et la réalisation des tableaux et des graphes.

Résultats et discussion

II.1. Les mesures des paramètres climatiques :

II.1.1. La mesure de pH :

Le pH des bassins a été contrôlé d'une manière hebdomadaire. Les résultats obtenus sont rapportés dans le tableau 11.

Tableau 11 : le taux de pH de l'azolla.

Les jours	Le pH
1-7 j	7,14
7-14 j	7,25
14-21 j	7,34
21-30 j	7,30
Moy	7,29
ET	0,04

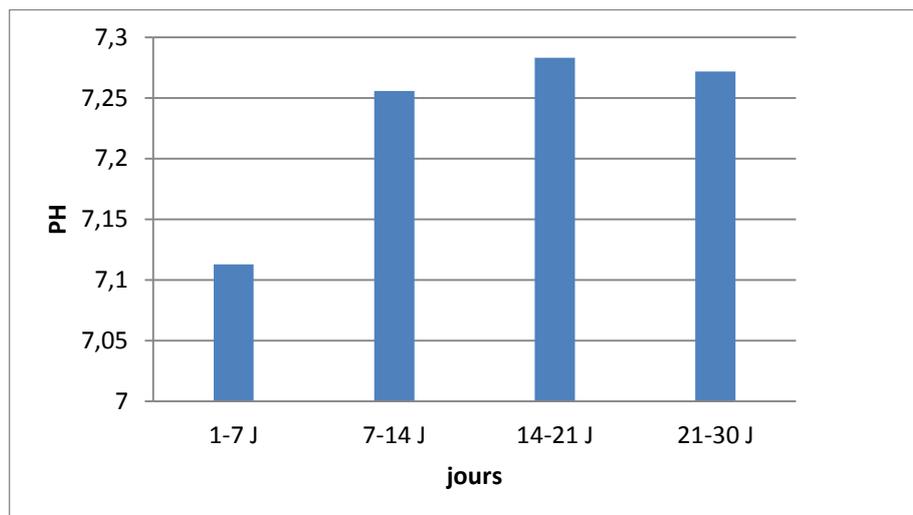


Figure 20 : Evolution du pH des bassins d'azolla dans notre essai.

D'après le tableau nous avons remarqué que le pH des bassins augmente régulièrement depuis la première semaine (7,14) jusqu'à la 3^{ème} semaine (7,34), ensuite il diminue vers la fin de l'essai à 7,30. Dans ces conditions du pH, l'azolla se multiplie sans difficulté. Selon (Ashton 1974 ; Peters *et al.* 1980 ; Lumpkin et Plucknett 1980 ; 1982.) Azolla est particulièrement tolérante en ce qui concerne le pH du milieu. Il survit dans une gamme allant de pH 3,5 à 10 et sa croissance est pratiquement identique de pH 4,5 à 7. Donc nos résultats corroborent les recommandations de ces auteurs, notre fougère se multiplie dans pH 3,5 à 10.

II.1.2.L'humidité :

L'humidité moyenne enregistré pendant la période de l'essai est de $38,99 \pm 5,08$. (Tableau 12 et figure 21).

Tableau 12 :Le taux d'humidité de l'azolla.

Les jours	Moyenne de l'humidité
1-7 j	44,53%
7-14 j	40,71%
14-21 j	32,39%
21-30j	38,33%
Moy	38,99
ET	5,08

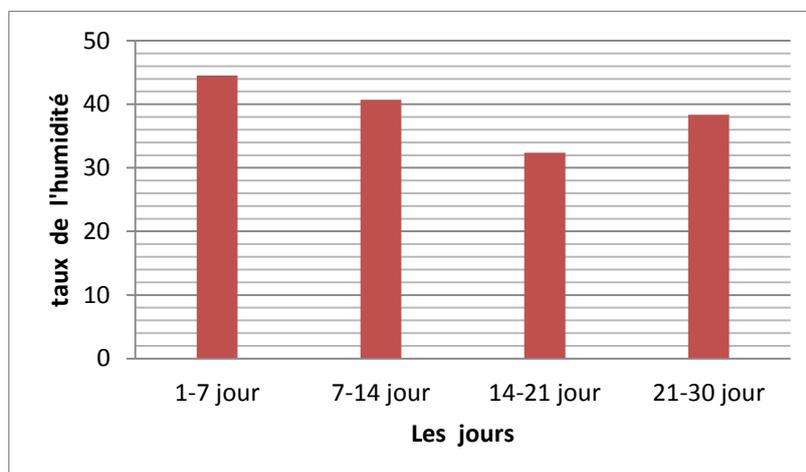


Figure 21 : évolution du taux d'humidité de l'azolla pendant l'essai.

L'humidité enregistré pendant la première semaine est de 44,50% c'est la moyenne maximale durant ces 30 jours pour régresser pendant la 2^{ème} et la 3^{ème} semaine à 40,71% et à 32,39% respectivement. A la dernière semaine le taux d'humidité a repris pour atteindre 38,33%.

D'après Bec King (1979), l'Azolla ne peut pas résister à un taux d'humidité inférieure à 60%. C'est une plante forte sensible à la sécheresse qui meurt en quelques heures si le sol s'assèche.

Cependant, Abouet *al.* (2010), a réussi la culture de l'azolla dans des conditions d'humidité atteignant 68-94%.

Nos résultats s'opposent à ce qu'ils rapportent ces auteurs, puisque nous avons pu réussir à multiplier l'azolla dans des conditions d'humidité inférieure à 60%.

II.1.3. La température :

Les températures enregistrées sont rapportées dans le tableau ci-dessous. La moyenne de T° enregistrée dans notre essai est de $32,08 \pm 1,01$.

Tableau13 : Letaux température de l'azolla.

Les jours	Moyenne de température
1-7 j	31,92
7-14 j	32,05
14-21 j	33,42
21-30 j	30,95
Moy	32,08
ET	1,01

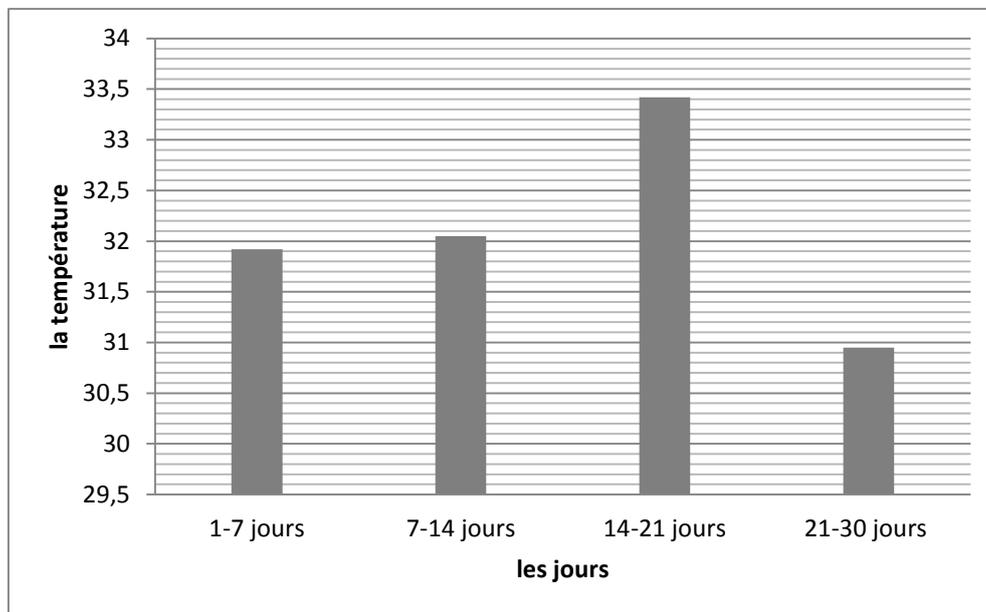


Figure 22 : Evolution de la température pendant l'essai de l'azolla.

La valeur de température enregistrée augmente de la 1^{ère} semaine à la 3^{ème} semaine soit de $31,92^{\circ}\text{C}$ à $33,42^{\circ}\text{C}$ respectivement. Pour régresser par la suite et atteindre $30,95^{\circ}\text{C}$ pour la dernière semaine.

D'après Becking (1979, l'Azolla peut survivre entre 15°C et 40°C (température ambiante de l'air).

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

Résultats et discussion

Pour ce paramètre , les résultats enregistrés dans notre essai se trouvent dans l'intervalle des températures toléré. Nous confirmons que l'azolla peut se multiplié dans des températeures allant de 15 à 40°C.

II.2.Le rendement :

Après deux semaines d'adaptation nous avons procédé à la récolte de l'azolla (figure 23). Rappelons que les pesées ont été faites 2 heures après égouttage dans des caisses perforées en plastic .

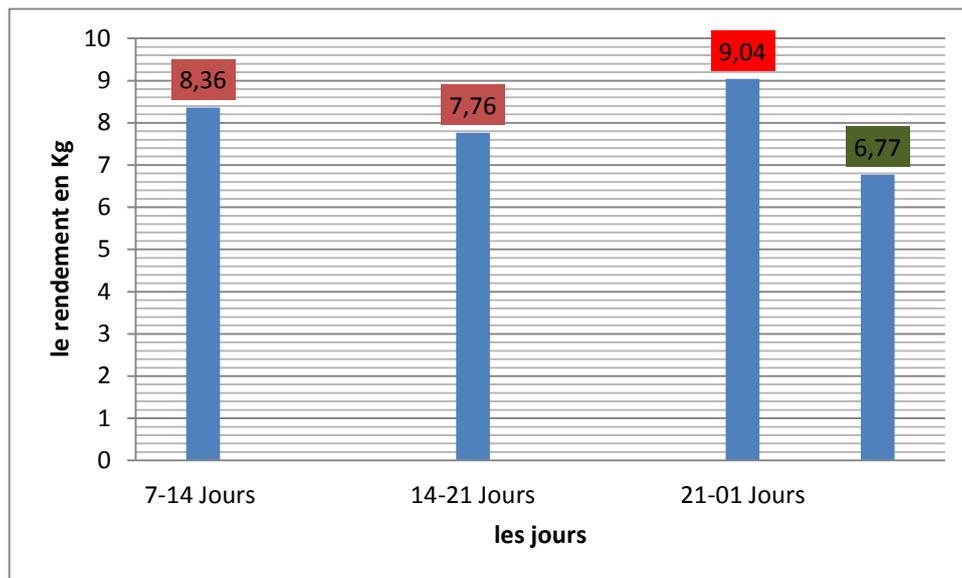


Figure 23: Le rendement d'azolla pendant 30 jours.

D'après cette figure nous avons collecté pour la première fois 8,36 Kg dans les conditions suivant : pH=4,25 , 40,71% de l'humidité et 32,05C° de température. Pour la deuxième collecte nous avons 7,76Kg dans les conditions climatiques : pH=7,43 et 32,39% de l'humidité et température de 33,42C°.

La quantité maximale collectée était à la troisième soit 9,04kg dans les conditions suivant : pH=7,30 , 38,33% de l'humidité et 30,95C° de la température. A la 4^{ème} semaine nous collecté que 6,77kg dans les mêmes conditions climatiques citées précédement.

Nous précisons que l'azolla se multiplie chaque jours mais la collecte ne pourra se faire que si la surface du bassin est remplie et occupée par l'azolla.

D'après nos résultats, nos conditions sont favorables pour la production de l'azolla.

II.3. Suivi de la couleur de l'azolla:

Le suivi de la couleur de l'azolla a été réalisé à l'œil nu (figure 24) pendant toute la semaine d'étude.



Figure 24 : La couleur de l'azolla dans la première semaine (Photo originale)

Nous avons constaté que la couleur de l'azolla pendant la première semaine était Marron rougâtre. Cela peut arriver dans la phase d'adaptation, mais aussi nous avons remarqué la présence des algues.

Pendant la 2^{ème} semaine, l'azolla a retrouvé sa couleur verte (Figure 25), et cela après avoir traité les abassin par des traitements anti-algues avec du sulfate de cuivre.

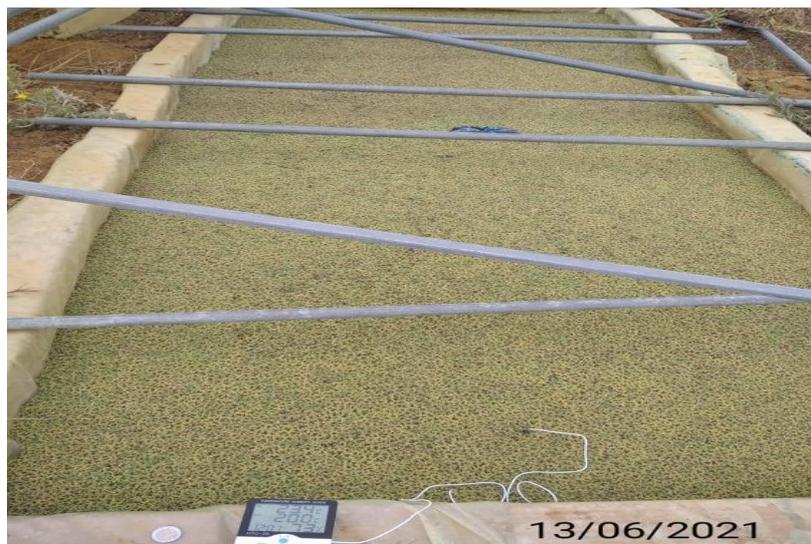


Figure 25: La couleur de l'azolla dans la deuxième semaine (Photo originale)

Résultats et discussion

De plus nous avons ajouté la solution nutritive (les fientes de volaille) pour nourrir l'azolla et favoriser sa multiplication.

A la 3^{ème} et la 4^{ème} semaine, la couleur de l'azolla est vert foncé (couleur caractéristique d'azolla en bonne santé, figure 26), l'ajout de la solution nutritive a stimulé sa multiplication de plus les conditions de l'humidité et pH et la température étaient favorables.



Figure 26 : la couleur de l'azolla pendant la 3^{ème} et la 4^{ème} semaine de l'essai (Photo originale)

Conclusion

Conclusion

Notre essai de culture d'azolla, dans nos conditions, s'est inscrit dans le projet de recherche de doctorat. Il est considéré le premier de son genre en Algérie.

Nos résultats ont permis de conclure que l'Azolla peut se cultiver en plein air sous nos conditions climatiques telles

- pH 7.
- l'humidité de 38% à 85.
- la température de 20C° à 35C°.
- les rendements dépendent de la capacité des bassins et de la source nutritive ajoutée qui stimule la croissance de la fougère et lui donne une coloration caractéristique.

A l'instar de ces premiers résultats, nous proposons ces quelques recommandations :

- Réaliser des essais sur les besoins nutritifs de l'azolla pour meilleur rendement en biomasse.
- Azolla est une bonne source de protéines et peut être utilisée dans l'alimentation des poulets de chair pour obtenir de meilleures performances.
- Réaliser des essais sur l'effet en alimentation du lapin, bovins et ovins.
- Encourager les éleveurs vers la valorisation des sources alimentaires non conventionnelles locales.
- Vulgariser les méthodes de cultures auprès des éleveurs et les encourager à valoriser les ressources locales pour minimiser les charges liées à l'alimentation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

1. **Alalade. O. A., Iyayi. E. A., ET Alalade. T. O., 2007.**The nutritive value of Azolla (Azollapinnata) meal in diets for growing pullets and subsequent effect on laying performance. *The Journal of Poultry Science*, 44(3), 273-277.
2. **Alloui. N., 2006.** Cours zootechnie aviaire, université - El hadj 1-, Lakhdar- Batna Département de vétérinaire, 60 p.
3. **Amroune. N., 2020.** Alimentation de lapin : valorisation de l'azolla dans l'alimentation des lapins étude bibliographique Bouira Thèse de mastre. Université de Bouira.
4. **Arnold van Huis, Joost Van Itterbeeck, Harmke Klunder, and Esther Mertens Afton Halloran Giulia Muir ET Paul Vantomme, 2013.** *Edible insects - future prospects for food and feed security*, FAO Forestry Paper No. 171.
5. **Arora. A., Saxena. S., ET Sharma. D. K., 2006.** Tolerance and phyto accumulation of chromium by three Azolla species. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 22(2), 97-100.
6. **Ashton. P.J, 1974.** The effect of some environmental factors on the growth of Azolla filiculoides Lam, *The Orange River* E.M.V. Zinderen-Bakker (ed.), Progress Report, Bloemfontein, South Africa, 123-138.

B

7. **Balaji. K., Jalaludeen. A. C.R., Richard. P.A., Peethambaran. S., ET Senthilkumar, 2009.** Effect of dietary inclusion of Azolla (Azolla pinnata) on production performance of broiler chicken. *Indian J. Poult. Sci.*, 44(2):195-198.
8. **Baudoin. J.P., Maquet A.** Improvement of protein and amino acid contents in seeds of food legumes: a case study in *Phaseolus*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 1999, **3**, 220-224.
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. **Becking. J.H, 1979.** Environmental requirements of Azolla for use in tropical rice production, *Nitrogen and Rice. International rice Research Institute*. Los Banos, Laguna, Philippines, 345-374.

Références bibliographiques

11. **Benedetti. F., Zamalao. M. D. C., Gandolfo. M. A., ET Cúneo. N. R, 2018.** **Heterosporous Ferns from Patagonia:** The Case of Azolla. In Transformative Paleobotanypp. 361-373.
12. **Bessa. D, 2019 :** Représentation de la filière avicole dans la région de Tizi-Ouzou et évaluation de la production et de la consommation de viande de poulet.
13. **Blair. R, 2018.** *Nutrition and Feeding of Organic Poultry.*CAB International.

C

14. **Chander H et Kumar G, 2017.** A Study on the Potential of Azolla pinnata ase Livestock Feed Supplement for Climate Change Adaptation and Mitigatio. Climat eresilient agriculture in Himalayas Characterization and comparisons of five N2-fixing Azolla-Anabaena associations.
15. **Costa. M.L., Santos. M.C.R., Carrapico. F., Pereirac. A.L., 2009.** Azolla-Anabaena'sbehavior in urban wastewater and artificial media-Influence of combined nitrogen.Water Res., 43: 3743-3750.

D

16. **Driouche, Hamidi, 2017 :** Etat des lieux de la pratique de l'aviculture type chair dans la wilaya de Ain Defla. Cas des exploitations agréées.
17. **Dusart. L., Carriere. J., Roinsard. A., Moriniere. F., Juin. H., Bordeaux. C., Brachet.** Distribution moderne approximative d'azolla, (Small & Darbyshire, 2011).

E

18. **Eqcma.** (s.d.). <http://www.eqcma.ca/elevage-de-basse-cour/mangeoires-et-abreuvoirs>
Consulté le 12 16, 2019, sur <http://www.eqcma.ca/elevage-de-basse-cour/introduction>

F

19. **Fasuyi. A. O., ET Aletor. V. A, 2005.**Protein Replacement Value of cassava (Manihotesculenta) Crantz leaf protein concentrate (CLPC) in broiler starter: affection performance, muscle growth, hematology and serum metabolites. International Journal of Poultry Science.4 (5), 339-349.
20. **feedipedia.** (s.d.). Récupéré sur <https://www.feedipedia.org/node/565>.

Références bibliographiques

G

21. **Gafpam, (guide pratique du poulailler familial) 2016.** Mission ADM-Janvier, 2014.P 5.
22. **Gerpacio ET Pascual, 1981.** Ferns and allied plants, with special reference to tropical America. Springer, New York.

H

23. **Hanini. f z, 2017** : Suivre d'élevage de poulet chair dans la région de Regaia wilaya d'Alger Institut des Sciences Vétérinaires Blida 2016 2017.
24. **Heuze. V., Tran, G., Lebas. F, 2015.** Faba bean (*Vicia faba*):1-5.*Feedipedia Researsh Gate*: <https://www.researchgate.net/publication/282646696>
25. **Hippolyne, (2018, 06 06).** *Les Techniques pour l'élevage des volailles – Aviculture.* Consulté le 12 19, 2019, sur <http://techniques-avicoles.com/chauffage-poussins-un-jour>.
26. **Hubbard, 2015** : www.hubbardbreeders.com Guide d'élevage poulet de chair. (Consulte le 25novembre 2015).
27. **Hubbard.** Bibliothèque technique, Guide d'élevage poulet de chair [**en ligne**]. (Consulté11mai2018).https://www.hubbardbreeders.com/media/20180827__convent_broiler_manual__fr__file__042935500_1235_27082018pdf

I

28. **Itavi, 2001.** Elevage des volailles. Paris. Décembre 2001.
29. **ITAVI, 2003.** Bien être de poulet de chair. Mémoire de fin d'étude : Détermination des conditions d'ambiance et des caractéristiques physico-chimiques de la litière responsables de l'apparition de dermatites de contact en poulet de chair. P31. Edition URA.P9. 2010.

J

30. **Journal de l'Afrique agriculture 9/10/2019.**

Références bibliographiques

K

31. **Katunda, 2006** : Conduits de l'élevage du poulet de chair dans la région d'Ouargla (cas de sidi Amran).
32. **Kololgi. SD., Hosamani. SV., MalshetKaruna and Nagraj. MS., 2009.** Azolla an organic feed supplement feed for livestock. National symposium on Organix Livestock Farming- Globle issue, trends and challenges, 26-28 Feb, Kolkata, pp. 35.
33. **Konar. R. N., 1972.** Anatomical studies on Azolla pinnata. *Phytomorphology*.22, 211-223.
34. **Kumar. G. ET Chander. H., 2017.**A Study on the Potential of Azolla pinnataas livestock Feed Supplement for Climate Change Adaptation and Mitigation. *Asian J. Adv. BasicSci.* : 5(2), 65-68.
35. **Kumar. U., Nayak. A. K., Panneerselvam. P., Kumar. A., Mohanty. S., Shahid. M., ET Dash. P. K., 2019.** Cyanobiont diversity in six Azolla spp. and relation to Azolla-nutrient profiling. *Planta*, 1-13.

L

36. **Le Dr Subramaniam, mentionné dans The Hindu (2004),** Circum-Antarctic continental distribution patterns in pteridophytespecies. *Brittonia*.53 (2), 270-283.
37. **Lebret. B, et Picard. B, 2015** : Les principales composantes de qualité des carcasses et des viandes dans les différentes espèces animales.
38. **Lejeune. C. v. (2002, septembre).**Récupéré sur : <http://www.jstor.org/stable/20500136>
39. **Liorca. A., 1995.** Les issues du riz, les sons de mil et de maïs, les tourteaux d'arachides et les farines de poissons du SENEAL. Mémoire de stage, DESS productions animales en régions chaudes. IEMVT, INA -PO, ENVA, 57.
40. **Liu. H. W., Dong. X.F., Tong. J. M., Zhang. Q, 2010.** Alfalfa polysaccharides improve the growth performance and antioxidant status of heat-stressed rabbits. *Livestock Science* 131, 88-93
41. **Lumpkin. T.A. & D.L. Plucknett, 1980.** Azolla: Botany, physiology and use as a green manure. *Economic botany* 34; 2: 111-153. 1982. Azolla as a Green Manure: Use Management in crops production. *Westview Tropical Agriculture* 5. Boulder, Colorado.
42. **Lumpkin. T, 1987.** AGRIS. Récupéré sur agris.fao.org : <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PH8811535>

Références bibliographiques

M

43. **M., Uzureau. A., Nayet. C, 2015.** Cahier technique, Alimentation des volailles en agriculture biologique. 68P.
44. **Malek. M.A., Khan. M.J., Islam. K.M.S, 2008.** Amélioration nutritionnelle de la paille de riz ensilée grâce à la supplémentation en urée, mélasse, farine de graines de soja et plantes aquatiques. *Indian J. Anim. Sei.*, 78 (12) : 1404-1407.

N

45. **New-Life Mills, (2015, 11 16).** Récupéré sur <http://www.newlifemills.com/wp-content/uploads/2016/10/Broiler-Management-Guide-Saskatchwan-16-Nov-2015-web-pdf>.
46. **Nouha .M, 2016 :** L'impact des facteurs d'ambiance (température, humidité, éclairage...) sur l'élevage du poulet de chair à Touggourt (cas de Sidi Mahdi).

O

47. **ONG Ramilamina, 1995.** Utilisation de l'Azolla comme source de protéine pour l'alimentation animale à Madagascar, Antsirabe p18.

P

48. **Parris. B. S., 2001.** Circum-Antarctic continental distribution patterns in pteridophyte species. *Brittonia*.53 (2), 270-283.
49. **Peters G.A., R.E. Toia Jr., W.R. Evans, D.K. Crist, B.C. Mayne & R.E. Poole, 1980.** Characterization and comparisons of five N₂ fixing azolla-Anabaena associations. I. Optimization of growth conditions for biomass increase and N content in a controlled environment. *Plant, Cell and Environment*, 3: 261-269.

Références bibliographiques

R

50. **Rabeson. R., Rakotoarisoa. j., Razafinjara. a.l., 1987.**L'Azolla, source d'Azote en riziculture malgache.
51. **Rahagarison, 2005.** «Etude bibliographique de l'Azolla ou la « ramilamina » plante fertilisatrice d'Azote (N₂)». TALOHA, numéro 14-15, page consultée, le 17 juillet 2007 <http://www.taloha.info/document.php?id=117>.
52. **Rai, R. B.; Dhama, K.; Damodaran, T., Hamid A., Sweta R., Balvir S., Bhatt, P., 2012.** Evaluation of azolla (*Azollapinnata*) as a poultry feed and its role in poverty alleviation among landless people in northern plains of India. *Vet. Pract.*, 13 (2) : 250-254.
53. **Raja, W., Rathaur, P., John, S. A.; Ramteke, P. W., 2012.**Azolla: an aquatic pteridophyte with great potential. *Int. J. Res. Biol. Sci.*, 2 (2): 68-72.
54. **Rajesh S, 2020.** Production of azolla as livestock feed supplement in India. *Pashudhan praharee. Indian Dairy & Poultry industry.*43p.
55. **Reynaud P A and Franche, 1987.** *Azollapinnata* var. *africana*. De la biologie moléculaire aux applications agronomiques. ORSTOM edition 1-15.
56. **Reynaud, P., Franche, C, 1986.** *Azolla pinnata* var. *Africana* "de la biologie moléculaire aux Applications Agronomiques". Dakar Sénégal. ORSTOM.15 p.
57. **Rezig et ghelimi, 2017** : Comparaison entre les paramètres zootechniques de deux élevages de poulet de chair dans la région de Relizane.
58. **Riley,J, (2018,Avril23).** Récupéré sur poultryworld: <https://www.poultryworld.net/Home/General/2018/4/Getting-ventilation-right-on-broiler-farms-275703E/>.
59. **Ross, 2010** : Guide d'élevage du poulet de chair.
60. **Ruben, 1987,** Cyanobiont diversity in six *Azolla* spp. In addition, relation to *Azolla* nutrientprofiling. *Planta*, 1-13.

S

61. **Sagna R-F, 2010** : Essai de substitution du tourteau d'arachide par le tourteau de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) sur les performances en vif et en carcasse du poulet de chair. Thèse doctorat.

Références bibliographiques

62. **saiki et nacef, 2019** : Evaluation des performances zootechniques et sanitaires de quelques élevages du poulet de chair de la région de « Bouira ».
63. **Saunders et Fowler, 1993**. La classification d'azolla.
64. **Schrank E., 1987**. Biostratigraphic importance of microfloras from the Late Cretaceous elastic series of northwestern Sudan. *Cretaceous Res* 8: 29–42.
65. **Seddi et Didani, 2016** : Etude des paramètres d'élevage d'une bande de poulet de chair dans la région de Bouira.
66. **Shoukat, A., Adil, S., Banday, M.T. etManzoor, A. K., 2015**. Feeding Potential of Aquatic Fern-Azolla in Broiler Chicken Ration. *Journal of Poultry Science and Technology*, 3: 15-19.
67. **Subduhi et al, 1978**. Feeding Potential of Aquatic Fern-Azolla in Broiler Chicken Ration. 16 – 20p.

T

68. **Tacon, A.G.J, 1987**. The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp- A Training Manual. 2. Nutrient Sources and Composition. Brasilia, FAO Field Document, Project GCP/RLA/075/ITA, Field Document 5/E. 129 pp.
69. **TIS, 2016**. Informations sur la prévention des pertes de fret. Service d'information sur le transport des assureurs maritimes allemands.
70. **Toradmal, S.D., Shelke, R.R., Kahate, P.A. &Bidwe, K.U., 2017**. Studies on supplementation of green Azolla (*Azolla pinnata*) on growth performance of Osmanabadi goat kids. *Asian J. Animal Sci.*, 12(2) : 124-128.
71. **Tryon RM, Tryon AF., 1982**. Ferns and allied plants, with special reference to tropical America. Springer, New York.

U

72. **USDA, 2016**. Production, approvisionnement et distribution en ligne. Service agricole étranger.

V

73. **Van Hove C, Diara H F and Godard P, 1983** .Azolla en Afrique de l'Ouest-in West Africa. Ed. C Van Hove. Ed Oleffe, Gourt St Etienne, Belgium, 56 p.

Références bibliographiques

74. **Van Hove, C. ; Lejeune, A., 1996.** Azolla a-t-il un avenir dans l'agriculture. Dans : Biological Nitrogen Fixation Associated with Rice Production (Rahman M, Podder AK, Van Hove C, Begum ZNT, Heulin T et Hartmann A eds.) pp. 83-94. Éditeurs académiques Kluwer.
75. **VAN HOVE, C., 1989.** Azolla et ses emplois multiples (Publié à la demande de la FAO). Saint-Etienne Biologique, E.Oleffe, 52 p.
76. **Vedette ET Jupiter.** (Ross 208), Cobb 500, Hubbar.

W

77. **Wagner, G. M., 1997.** Azolla: à review of its biology and utilization. The Botanical Review.63 (1), 1-26.
78. **Widyodroto B.P., 1989.** Lavaleuralimentaire des issues de rizdistribuées aux animaux domestiques. Mémoire de DEA Univ.RenneI, 107p.

Y

79. **Y. ABOU et al.** / Int. J. Biol. Chem. Sci. 4(1) : 201-208, 2010.

Résumé.

L'élevage en Algérie rencontre plusieurs problèmes dont l'alimentation qui représente la charge la plus importante de l'élevage en raison des matières premières utilisées dans l'aliment qui sont importées. Une des solutions afin de produire des aliments à moindre coût serait la substitution par des sources alimentaires disponible localement. Azolla est une fougère aquatique flottante riche en protéines brutes (plus de 20%) avec la présence d'acides aminés essentiels (haute teneur en lysine). un essai de culture d'azolla a été réalisé à l'université de Bouira. Les paramètres de T°, d'H et de pH ont été mesurés et à la fin de l'essai nous avons évalué le rendement, la coloration de l'azolla a été également noté tout au long de la culture. Les résultats obtenus étaient très pertinents. Des études plus poussées sur son efficacité alimentaire et son mode d'utilisation en alimentation animales sont recommandés pour une meilleure valorisation de cette plante.

Mots clés : Azolla, sources alimentaires, valorisation, rendement.

Abstract.

Breeding in Algeria encounters several problems including feed, which represents the most important burden of breeding because of the raw materials used in feed, which are imported. One of the solutions in order to produce food at a lower cost would be the substitution by locally available food sources. Azolla is a floating aquatic fern rich in crude protein (over 20%) with the presence of essential amino acids (high lysine content). an azolla cultivation trial was carried out at the University of Bouira. The parameters of T °, H and pH were measured and at the end of the test, we evaluated the yield, the coloring of the azolla was also noted throughout the culture. The results obtained were very relevant. Further studies on its food efficiency and its method of use in animal feed are recommended for a better valuation of this plant.

Keywords: Azolla, food sources, valuation, yield.

ملخص.

تواجه التربية في الجزائر عدة مشاكل من بينها العلف الذي يمثل العبء الأهم في التربية بسبب المواد الخام المستخدمة في العلف والتي يتم استيرادها. سيكون أحد الحلول لإنتاج الغذاء بتكلفة أقل هو الاستبدال بمصادر الغذاء المتاحة محليًا. الأزولا هو سرخس مائي عائم غني بالبروتين الخام (أكثر من 20٪) مع وجود الأحماض الأمينية الأساسية (نسبة عالية من ليسين). أجريت تجربة زراعة الأزولا في جامعة البويرة. تم قياس معلمات T° و H و pH في نهاية الاختبار قمنا بتقييم المحصول، كما لوحظ تلويين الأزولا في جميع أنحاء الثقافة. النتائج التي تم الحصول عليها كانت وثيقة الصلة جدًا. يوصى بإجراء مزيد من الدراسات حول كفاءة الأعلاف وطريقة استخدامها في علف الحيوانات من أجل تقييم أفضل لهذا النبات.

الكلمات المفتاحية: الأزولا، مصادر الغذاء، التقييم، المحصول.