



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

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Berkane Benkoibich Imane

Dahami Marwa

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité: Production végétale

Thème

Utilisation des biofertilisants extraits d'*Azolla* sur la culture de l'aubergine (*Solanum Melongena L.*).

Soutenue publiquement le 26/09/2024

Devant le Jury

Président	M. Ghelamallah Amine	MCA	UNIV.Mostaganem
Encadrant	M. Benabdelmoumene Djilali	MCA	UNIV.Mostaganem
Examineur	M. Benguendouz Abdenour	MCB	UNIV.Mostaganem
Co-Encadrant	M.Arbaoui Mohamed	MCA	UNIV.Mostaganem

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

Année universitaire: 2023/2024

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier « Allah » le tous puissant, pour nous avoir donné la force et la patience.

Nos profonds remerciements à M. BENEABDELMOUMENE notre encadrant, pour sa patience, son expertise et ses précieux conseils qui ont été d'une aide inestimable tout au long de ce parcours académique, et aussi notre co-encadrant M. ARBAOUI MOHAMED

Nous tenons également à exprimer nos profondes reconnaissances à M. Benquenouna doctorant dont l'expertise pratique et les suggestions avisées ont grandement enrichi notre travail, nous avons beaucoup apprécié vos conseils et vos encouragements que vous n'avez jamais cessé de me donner.

Nous exprimons notre sincère gratitude au Dr. GHELAMALLAH Amine et nous le remercions pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury. Nous exprimons notre sincère gratitude au M. Benquendouz Abdenour et nous le remercions pour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner.

Nous souhaitons Également remercier nos professeurs de la facultÉ des sciences de la nature et de la vie pendant les cinq années précédentes.

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Merci ...

Dédicaces

Je dédie à ce mémoire

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

Mes frères Abdennour et Mohamed, mes sœur Walaa et Wissam et Sarah, qui m'a soutenu dans ma vie et mes études

Mes chère tantes qui m'a soutenu dans mes études et ma vie

A ma meilleur amie et ma binôme marwa

Pour tous les membres de la famille Berkane

Imane Berkane

Dédicaces

Je dédie à ce mémoire

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

ma sœur Romaisa , qui m'a soutenu dans ma vie et mes études

Ma chère tante Fadila qui m'a soutenu dans mes études et ma vie

A ma meilleur ami et ma copine Imane

Ma vie ma petite sœur Safaa

Pour tous les membres de la famille dahami

Marwa dahami

ملخص:

فحصت هذه الدراسة تأثير الأزولا المخمرة والأزولا المطحونة كسماد حيوي على زراعة الباذنجان، بالمقارنة مع السماد تم إجراء التجربة في أوعية تحت ظروف مسيطر عليها، مع ستة معالجات مختلفة: تطبيق كميات متفاوتة NPK الكيميائي من الأزولا المخمرة (25 جرام، 50 جرام، 75 جرام) والأزولا المطحونة (25 جرام، 50 جرام، 75 جرام)، بالإضافة (وشاهد سلبي بدون إضافة سماد NPK إلى شاهدين (شاهد إيجابي يستخدم

تشير النتائج إلى أن نباتات الباذنجان المعالجة بالأزولا المخمرة أظهرت نموًا أكثر حيوية. بلغ متوسط ارتفاع السيقان كما سمحت NPK 36.11 سم مع الأزولا المخمرة، مقارنة بـ 22.11 سم للشاهد بدون سماد و30.89 سم للشاهد مع NPK الأزولا المخمرة بإنتاج متوسط قدره 15.6 زهرة لكل نبات، متجاوزة الـ 11.1 زهرة مع (ورقة لكل نبات 22.89) كانت الأرقام متقاربة مع الأزولا المخمرة (21.44 ورقة لكل نبات) و

فيما يتعلق بالعائد، سجلت الأزولا المخمرة وزنًا متوسطًا لكل نبات قدره 115.11 جرام، مما يعكس فعاليتها كسماد حيوي، كما أظهرت الأزولا المطحونة بجرعة 75 جرام أداءً جيدًا أيضًا، بوزن متوسط قدره NPK مقارنة بـ 75.67 جرام مع 92.33 جرام لكل نبات

تشير هذه النتائج إلى أن الأزولا المخمرة تمثل بديلاً بيئيًا ومستدامًا للسماد الكيميائي، مما يعزز الزراعة المستدامة

الكلمات المفتاحية:

، زراعة مستدامة NPK أزولا، باذنجان، سماد حيوي، تخمير،

Résumé

Cette étude a examiné l'impact de l'azolla fermentée et de l'azolla en poudre en tant que biofertilisants sur la culture de l'aubergine, en comparaison avec l'engrais chimique NPK. L'expérimentation a été conduite en pots sous des conditions contrôlées, avec six traitements distincts : l'application de différentes doses d'azolla fermentée (25 g, 50 g, 75 g) et d'azolla en poudre (25 g, 50 g, 75 g), ainsi que deux témoins (un témoin positif utilisant le NPK et un témoin négatif sans apport d'engrais).

Les résultats indiquent que les plants d'aubergine traités avec l'azolla fermentée ont affiché une croissance plus vigoureuse par rapport aux témoins. La hauteur moyenne des tiges a atteint 36,11 cm avec l'azolla fermentée, contre 22,11 cm pour le témoin sans apport et 30,89 cm pour le témoin avec NPK. Concernant la floraison, l'azolla fermentée a permis une production moyenne de 15,6 fleurs par plant, dépassant les 11,1 fleurs observées avec le NPK. En ce qui concerne le nombre de feuilles, les résultats obtenus avec l'azolla fermentée (21,44 feuilles par plant) étaient comparables à ceux obtenus avec le NPK (22,89 feuilles par plant). En termes de rendement, l'azolla fermentée a enregistré un poids moyen par plant de 115,11 g, soit une augmentation significative par rapport aux 75,67 g obtenus avec le NPK, démontrant ainsi son efficacité en tant que biofertilisant. L'azolla en poudre, appliquée à une dose de 75 g, a également montré une performance compétitive, avec un poids moyen de 92,33 g par plant.

Ces résultats suggèrent que l'azolla fermentée constitue une alternative écologique et durable aux engrais chimiques, favorisant une agriculture respectueuse de l'environnement.

Mots clés : azolla, aubergine, biofertilisant, fermentation, NPK, agriculture durable.

Abstract:

This study examined the impact of fermented azolla and powdered azolla as biofertilizers on eggplant cultivation, in comparison with chemical NPK fertilizer. The experiment was conducted in pots under controlled conditions, with six distinct treatments: the application of different doses of fermented azolla (25 g, 50 g, 75 g) and powdered azolla (25 g, 50 g, 75 g), as well as two control groups (a positive control using NPK and a negative control without fertilizer).

The results indicated that eggplant plants treated with fermented azolla exhibited more vigorous growth compared to the controls. The average stem height reached 36.11 cm with fermented azolla, compared to 22.11 cm for the unfertilized control and 30.89 cm for the NPK control. Regarding flowering, fermented azolla resulted in an average production of 15.6 flowers per plant, surpassing the 11.1 flowers observed with NPK. In terms of leaf count, plants treated with fermented azolla produced an average of 21.44 leaves per plant, closely comparable to the 22.89 leaves achieved with NPK.

In terms of yield, fermented azolla recorded an average weight per plant of 115.11 g, showing a significant increase compared to the 75.67 g obtained with NPK, thus demonstrating its effectiveness as a biofertilizer. Powdered azolla, applied at a dose of 75 g, also showed competitive performance, with an average weight of 92.33 g per plant.

These results suggest that fermented azolla serves as an ecological and sustainable alternative to chemical fertilizers, promoting environmentally friendly agricultural practices.

****Keywords**:** azolla, eggplant, biofertilizer, fermentation, NPK, sustainable agriculture.

LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

% : Pourcentage

Cm : Centimètre

CE : Conductivité électrique

CEC : capacité d'échange cationique

MS : matière sèche

MM : matière minéral

MO : matière organique

g : gramme

Mg : Milligramme

L : litre

ml : millilitre

T : Témoin

C : Celsius

NPK : Azote Phosphore Potassium (engrais minéral)

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et de l'agriculture

INSID : institut national des sols de l'irrigation et drainage

Ph : potentiel hydrogène

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Les superficies, des productions, des rendements d'aubergine	4
Tableau 02 : Maladies et ravageurs d'aubergine	11
Tableau 03: Composition de l'azolla	20
Tableau 04: principaux minéraux de l'azolla	21
Tableau 05: Traitements de l'azolla poudre	44
Tableau 06: traitements d'azolla fermentés	45
Tableau 07: traitements NPK	46

LISTE DES FIGURE

Figure 01: Principaux pays producteurs d'aubergine selon les statistiques	4
Figure 02: Les types d'aubergine.	6
Figure 03 : Plante de l'aubergine (<i>Solanum melongena</i> L).	7
Figure 04 : les stades phénologique d'aubergine	9
Figure 05 : les différent ravageur d'aubergine	12
Figure 06 : Culture d'azolla en aquaponie	13
Figure 07 : <i>Azolla filiculoides</i>	14
Figure 08 : <i>Azolla pinnata</i>	15
Figure 09 : <i>Azolla caroliniana</i>	16
Figure 10 : <i>Azolla mexicana</i>	16
Figure 11 : <i>Azolla micropyle</i>	17
Figure 12 : Vitesse de croissance d' <i>Azolla pinnata</i>	19
Figure 13 : Situation géographique de la ferme expérimentale	24
Figure 14 : Le sol avant la fauche	24
Figure 15 : le sol après la fauche	24
Figure 16 : mise en place d'un couvert	25
Figure 17 : Forage des bassins	25
Figure 18 : la mise en place de bâches	26
Figure 19 : Ajout une couche de sable	26
Figure 20 : préparation de bouse de vache	26
Figure 21 : Bassin après la culture d' <i>Azolla</i>	27
Figure 22 : Suivi du rendement d' <i>Azolla</i>	28
Figure 23 : Multiplication d' <i>Azolla</i>	28
Figure 24 : plante d'aubergine variété panthère	30
Figure 25 : Prélèvement d'échantillon	31
Figure 26 : pH-mètre	32

Figure 27 : conductimètre	33
Figure 28 : mesure de capacité d'échange cationique	34
Figure 29 : Calcimètre de BERNARD	35
Figure 30 : bain de sable	38
Figure 31 : transplantation d'aubergine	39
Figure 32 : mesure des paramètres physiologie	39
Figure 33 : broyage d'azolla	43
Figure 34 : effectué le traitement d'azolla poudre sur les plantes	44
Figure 35 : photographie présente l'expérience de la fermentation d'azolla	45
Figure 36 : Valeurs moyennes de longueur de tige en fonction des traitements	47
Figure 37 : Valeurs moyennes du nombre de feuille en fonction des traitements	48
Figure 38: Valeurs moyennes du nombre de fleurs en fonction des traitements	50
Figure 39: Valeurs moyennes du nombre de fruit en fonction des traitements	51
Figure 40: Valeurs moyennes du espace foliaire en fonction des traitements	52
Figure 41: Valeurs moyennes du poids en fonction des traitements	53

Sommaire

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

Sommaire

1. partie bibliographique

Introduction	01
Chapitre 1 : Aubergine	
I. Aubergine	03
I.1. Origine et historique	03
I.2. Définition	03
I.3.La production mondiale d'aubergines	04
I.4.Variétés de L'aubergine	05
I.5. Importance économique de l'aubergine	06
I.7.Classification botanique	07
I.8.Caractéristiques botaniques L'aubergine	08
I.9.Cycle Végétatif	08
I.10.Besoins de la culture de l'aubergine	09
I.11. Protection contre les ravageurs et les maladies	10
I.12.Technique culturale	10
I.13.Maladies et Ravageurs de L'aubergine	11

Chapitre 2 : l'azolla

II. Azolla	13
II.1. Définition d'Azolla	13
II.2. Description morphologique	13
II.3. Taxonomie	14
II.4. Espèces d'Azolla	14
II.5. Culture d'azolla	17
II.6. Les conditions de croissance de l'Azolla	18
II.7. Composition chimique de l'azolla	19
II.8. Utilisation d'azolla	20
A. Utilisation de l'azolla en agriculture	21
B. Utilisation d'azolla en alimentation animale	22
C. Dépollution des milieux	22
II.9. Avantage d'Azolla dans l'irrigation des cultures agricoles Enrichissement en nutriments	22

Matériels et méthodes

1. Objectif de travail	23
2. Zone et durée de l'expérience	23
3. Situation géographique et présentation du lieu de l'expérience	23
4. Préparation du terrain	24
➤ Construction des bassins	25
➤ Culture d'azolla	26
➤ Irrigation d'azolla	27
➤ Suivi de rendement d'Azolla	27

5. Dispositif expérimental	28
6. Matériels utilisés	29
a. Matériels végétaux	29
b. Supports de culture	30
7. Le Protocole d'analyse de sol	30
8. Transplantation	38
9. Mesure du taux de croissance des feuilles et des racines	39
10. Analyses physico-chimiques d'azolla	40
11. Préparation d'azolla poudre	42
12. Traitements effectués (azolla poudre)	43
13. Préparation d'azolla fermentée	44
14. Traitement effectué (azolla fermentée)	45
15. Témoin positif (NPK)	46
Analyses statistiques	46

Résultats et discussions

Longueur de tige	47
Nombre de feuille	48
Nombre des fleurs	50
Nombre de fruit	51
Espace foliaire	52
Poids de l'aubergine	53

Conclusion

Introduction

Introduction générale

L'utilisation des pesticides à grande échelle est une pratique courante dans le secteur agricole à travers le monde, contribuant de manière significative à la protection des cultures et à l'amélioration de la productivité agricole (**Ecobichon, 2001; Jallow et al., 2017**). Selon les rapports de l'Organisation mondiale de la santé (**OMS, 2017**), environ 20 % de l'utilisation mondiale de pesticides est concentrée dans les pays en développement, et cette tendance est en constante augmentation. Bien que les pesticides offrent des avantages indéniables, notamment la protection des cultures et l'augmentation de la production, leur utilisation généralisée a suscité de sérieuses préoccupations quant à leurs effets sur l'environnement et la santé humaine (**Sharma et al., 2019; Sood, 2024**).

La lutte chimique est un élément central de l'agriculture conventionnelle, mais les pesticides de synthèse sont de plus en plus reconnus pour leurs effets néfastes sur l'environnement et la biodiversité (**Belhadi et al., 2016**). En effet, les résidus de pesticides ont la capacité de se disperser dans divers compartiments environnementaux, tels que l'air, le sol, l'eau, les sédiments et même les aliments. Ces substances, par leur migration à travers ces compartiments, présentent des risques considérables pour la santé humaine et les écosystèmes, entraînant des impacts à court et à long terme (**Fenibo, Ijoma, & Matambo, 2022; Hezakiel et al., 2023**).

En plus des préoccupations environnementales, le coût élevé des engrais et des produits chimiques, ainsi que la volatilité des prix sur les marchés agricoles mondialisés, soumettent les producteurs à des pressions économiques importantes. Ces défis ont suscité un intérêt croissant pour des alternatives plus durables, notamment les biofertilisants, qui représentent une solution écologique pour une agriculture durable (**Nollet & Mir, 2023**). Les biofertilisants, souvent d'origine naturelle, contribuent à une meilleure fertilité des sols tout en préservant la biodiversité et en minimisant les risques pour la santé humaine.

Parmi ces alternatives, l'*Azolla*, une fougère aquatique originaire des régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes d'Afrique, d'Asie, et d'Amérique, a attiré l'attention de la communauté scientifique pour son potentiel en tant que biofertilisant (**Mosha, 2018; Rashed, 2021**). Cette fougère a été largement étudiée pour sa capacité à enrichir les sols en azote, contribuant ainsi à l'amélioration de la fertilité des sols. Outre son rôle en tant que biofertilisant, l'*Azolla*, surnommée la « mine d'or vert » de la nature, a également des applications variées, notamment comme aliment pour le bétail, comme purificateur d'eau,

Introduction générale

comme médicament, et même comme source potentielle de biogaz (**Roy, Pakhira, & Bera, 2016**).

Objectifs de l'Étude

Cette étude vise à examiner le potentiel de l'Azolla en tant qu'alternative écologique aux pesticides de synthèse dans le cadre d'une agriculture durable. En analysant les avantages environnementaux et économiques de l'utilisation de l'Azolla comme biofertilisant, cette recherche cherche à contribuer au développement de pratiques agricoles plus durables, réduisant la dépendance aux pesticides chimiques tout en préservant la biodiversité et la santé humaine.

Chapitre 1 :

Aubergine

I. Aubergine

I.1. Origine et Historique

Le *Solanum Melongena*, ou aubergine, est une plante originaire d'Asie, où elle est cultivée depuis des milliers d'années. Elle est cultivée depuis environ 4 000 avant J.-C. en Inde, où elle était considérée comme un légume de luxe et cultivée pour ses vertus médicinales.

Produit de luxe et élaboré pour ses vertus médicinales. Par la suite, l'aubergine a été introduite en Chine au VI^e siècle, où elle s'est rapidement imposée comme un ingrédient culinaire. L'aubergine a été introduite dans de nombreuses autres parties du monde au cours des siècles, notamment au Moyen-Orient, en Afrique et en Europe. Elle a été introduite en Europe par les Arabes au XI^e siècle et était perçue comme un légume exotique et peu commun. Elle a été cultivée dans les jardins royaux et a gagné en popularité auprès de la haute société. Elle a été commercialisée au XVIII^e siècle en Europe, en Espagne et en Italie, où elle est devenue un élément essentiel de la cuisine régionale. L'aubergine est introduite aux États-Unis par les colons européens au XVIII^e siècle, mais n'est pas cultivée à grande échelle jusqu'à la fin du XIX^e siècle. De nos jours, l'aubergine est produite. **(Wahab et al., 2019).**

Elle se rencontre à travers le monde, avec des espèces allant de petits fruits ronds et violets à des fruits longs et minces, violets, blancs ou en vert. Outre sa popularité en tant qu'ingrédient culinaire, l'aubergine est également employée dans la médecine traditionnelle en raison de ses propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes et antivirales.

Elle renferme également des quantités importantes de nutriments tels que les fibres, les vitamines B et les minéraux.

En conclusion, la culture et l'utilisation culinaire de l'aubergine ont une longue histoire, ainsi que des propriétés médicinales bien connues. Son succès en tant qu'ingrédient culinaire et ingrédient de santé ne cesse de croître, et elle est largement accessible sur les marchés du monde entier **(Wahab et al., 2019).**

I.2. Définition

L'aubergine (en anglais eggplant) est un genre de plantes potagère de la famille des Solanacées et du genre *Solanum melongena*. On la cultive dans de multiples régions du globe. Le feuillage de la plante est ovale et allongé, les fleurs sont en forme d'étoile de couleur pourpre, et les fruits sont globuleux et allongés. Les fruits sont d'un blanc brillant, à la peau

lisse et brillante, avec une pulpe blanche et spongieuse, avec des graines. L'aubergine est une plante qui se développe chaque année, avec une température moyenne d'environ 25°C. On la cultive dans divers sols, mais elle préfère les sols bien drainés et abondants en matière organique. La culture de cette plante se fait généralement à partir de graines ou de plants, et elle requiert un arrosage régulier et une fertilisation appropriée afin de générer une récolte abondante (FAO, 2017).

I.3.La production mondiale d'aubergines

La production annuelle est d'environ 50 millions de tonnes, avec une valeur nette de plus de 10 milliards de dollars US, ce qui en fait les cinquièmes plus importantes solanacées après la pomme de terre. Selon la FAO (2014), la terre, la tomate, le poivron et le tabac.

La Chine (28,4 millions de tonnes ; 57 % du total mondial), l'Inde (13,4 millions de tonnes ; 27 % du total mondial), l'Égypte (1,2 million de tonnes), la Turquie (0,82 million de tonnes) et l'Iran (0,75 million de tonnes) sont les cinq principaux producteurs. (Environ 0,82 million de tonnes). Dans les pays d'Asie et de Méditerranée (Frery et al., 2007).

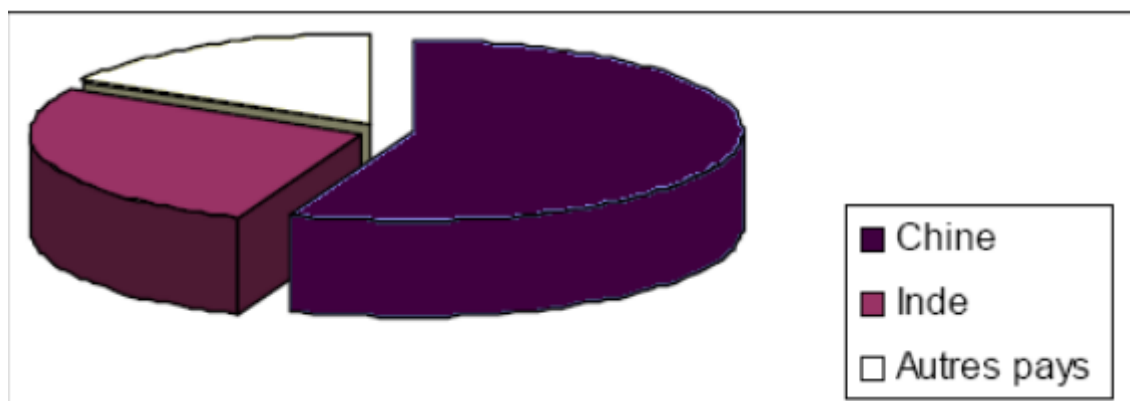


Figure 01: Principaux pays producteurs d'aubergine selon les statistiques (FAO, 2010)

Tableau 01 : Les superficies, des productions, des rendements et les taux d'accroissement d'aubergine en Algerie 2019/2018 (Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information 2019)

2018			2019			Taux d'accroissement %		
Sup	Prod	Rdt	Sup	Prod	Rdt	2018/2019		
ha	qx	ha/qx	ha	qx	ha/qx	Sup	Prod	Rdt
5 978	1816181	303,8	6 027	1841457	305,5	1	1	1

I.4.Variétés de L'aubergine

Diverses espèces d'aubergines sont cultivées à travers le monde, chacune ayant ses propres particularités en termes de forme, de couleur, de goût et de texture. Voici certaines des espèces les plus fréquentes :

- **"Beauty Noire"** : une espèce très appréciée aux États-Unis, présentant des fruits ovales d'un violet foncé presque noir.
- **Variété japonaise** : une espèce allongée du Japon, aux fruits minces et pourpres foncés.
- **Rosa Bianca** : une espèce italienne à fruits de taille moyenne, ovales et blancs avec des bandes violettes.
- **"Long Purple"** : une espèce originaire d'Asie qui présente des fruits de taille importante, allongés et d'un pourpre foncé.
- **La variété espagnole "Listada de Gandia"** : présente des fruits de taille moyenne, ovales et d'un violet clair avec des rayures blanches (**Baker Creek HeirloomSeeds. 2022**).

Toutefois, les espèces d'aubergines peuvent différer en fonction des régions et des cultures. De cette manière, il y a différentes espèces d'aubergines cultivées en Algérie, qui s'adaptent aux diverses conditions climatiques et agricoles du pays. Parmi les espèces les plus appréciées, on retrouve : « **Baladi** », « **Menza** », « **Beldi** », « **Nagami** » et « **Zerzara** ».

Baladi est une variété d'aubergines de petite taille, rondes et de couleur violette foncée, très savoureuse en Algérie. **Menza** est une variété d'aubergines allongées, d'un violet foncé, très appréciée pour sa chair ferme et son goût prononcé. **Beldi** est une aubergine ovale et verte de petite taille cultivée dans la région de Tlemcen. Cette aubergine de taille moyenne, ovale et violette-foncée, est très appréciée pour sa chair douce et peu fibreuse. La variété **"Zerzara"** est une aubergine de taille importante, allongée et d'un violet foncé, fréquemment employée pour la préparation de la moussaka. (**Benbelkacem, 2018**).



Figure 02: Les types d'aubergine. (Bhasker et Ramesh Kumar, 2015)

I.5. Importance économique de l'aubergine

L'aubergine est une culture importante à l'échelle mondiale, avec une production annuelle totale de plus de 51 millions de tonnes en 2020, selon les données de la FAO, cultivée dans de nombreux pays tels que l'Inde, la Chine, la Turquie, l'Égypte, l'Iran et l'Espagne. En plus de son importance pour l'alimentation humaine, l'aubergine joue un rôle économique important dans de nombreux pays, avec des revenus pour les agriculteurs, les producteurs, les exportateurs et les transformateurs, créant des emplois et stimulant les économies locales, et l'exportation d'aubergines est une activité économique importante dans quelques pays (FAO, 2021).

I.6. Importance nutritionnelle et médicinale de l'aubergine

Selon **Im et al. (2016)**, outre son importance nutritionnelle et agricole, l'aubergine offre également de nombreux avantages thérapeutiques. De nombreuses études démontrent que les extraits d'aubergines ont de puissantes propriétés curatives pour divers troubles tels que les brûlures, les verrues, les infections inflammatoires, la gastrite, la stomatite et l'arthrite. L'aubergine génère une variété de métabolites secondaires variés ainsi que d'autres composés tels que les glycol-alcaloïdes, les antioxydants et les vitamines, qui ont joué un rôle crucial dans le maintien d'une bonne santé. Par exemple, il y a un composé phénolique essentiel de l'acide chlorogénique (acide 5-O-caféoyl-quinique ; CGA) présent dans la peau des fruits (**Prohens et al., 2013**).

En plus de leurs propriétés colorantes, les aubergines sont une source importante de composés anthocyanes. Selon **Casati et al (2016)**, l'anthocyanine joue un rôle crucial dans la lutte contre le diabète. Les aubergines renferment de nombreux nutriments essentiels et leur contenu joue un rôle primordial dans la croissance du corps, la réparation des substances usées et la protection. Selon **Merzoug et Kherbi (2021)**, l'aubergine renferme une variété de minéraux, de vitamines, de fibres nutritionnelles, de protéines, d'antioxydants et de divers composés phytochimiques réparateurs.

I.7.Classification botanique

Suivant la classification de Cronquist (1988), nous avons la systématique suivante :

Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Tracheobionta*

Embranchement Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-classe : *Asteridae*

Ordre : *Solanales*

Famille : *Solanaceae*

Genre : *Solanum*

Espèce : *Solanum melongena L*



Figure 03 : Plante de l'aubergine (*Solanum melongena* L). (**BOUBEKRI, 2014**)

I.8. Caractéristiques botaniques L'aubergine

Solanum melongena est une espèce de plante herbacée vivace annuelle de la famille des Solanacées. Sa hauteur peut atteindre un mètre, mais la majorité des cultivars sont plus petits. L'aubergine a des feuilles grandes, lobées, pouvant atteindre 30 cm de long. Les feuilles de l'aubergine sont vert foncé et légèrement veloutées, les fleurs sont blanches ou violettes et sont en forme de trompette. Les baies d'aubergine sont des baies qui peuvent atteindre plusieurs centimètres de longueur et se trouvent généralement à l'aisselle des feuilles. Ils sont ovales ou allongés et peuvent être de diverses teintes, en fonction de la variété cultivée. Les aubergines peuvent être d'un violet, d'un blanc, d'un vert ou d'un noir, avec des graines petites, plates et d'un brun foncé. Selon **Aubret et Desbrosses (2013)**. Le développement de l'aubergine nécessite un climat chaud et elle est sensible au froid. Les sols bien drainés et riches en matière organique sont à sa préférence.

I.9. Cycle Végétatif

Le développement de l'aubergine est un processus complexe qui peut fluctuer en fonction de divers éléments tels que le climat, le type de sol, la sélection des semences et les méthodes de culture employées. Le cycle de l'aubergine est généralement réparti en quatre étapes :

La germination, l'épanouissement des plantes, la floraison et la production de fruits.

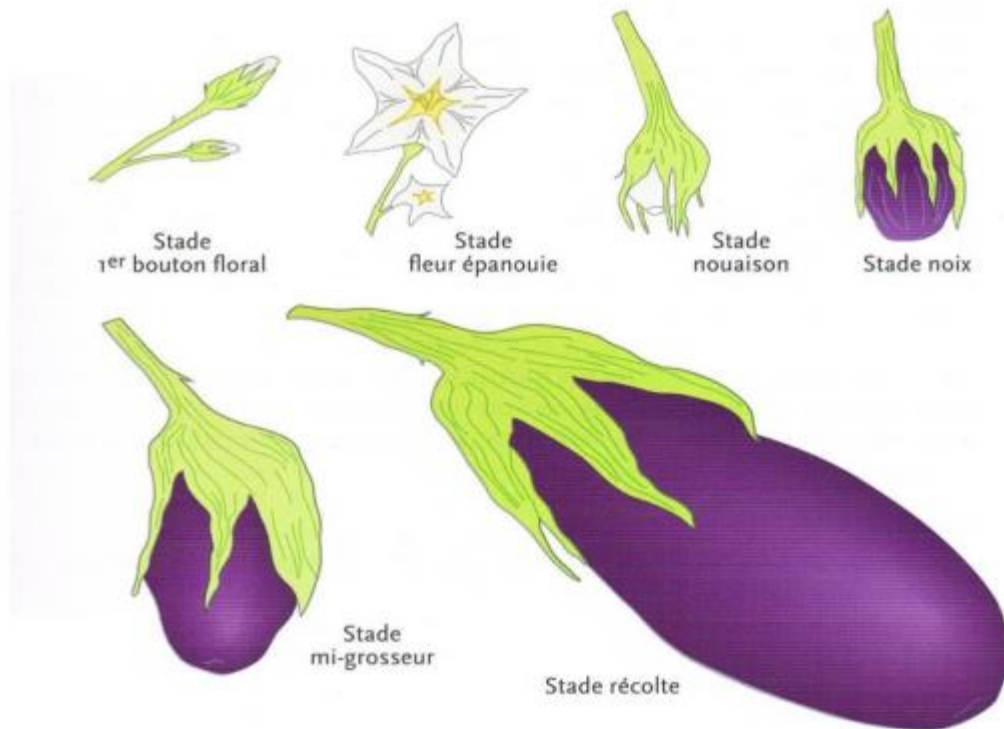


Figure 04 : les stades phénologique de l'aubergine (*Solanum melongena* L.)(ctifl ,2003)

I.10. Besoins de la culture de l'aubergine

Les conditions locales et les préférences variétales peuvent influencer les exigences de la culture de l'aubergine. Toutefois, voici quelques éléments essentiels à considérer.

pour une croissance fructueuse de l'aubergine :

Climat : La plante de l'aubergine apprécie les climats chauds et ensoleillés. La température moyenne pendant la saison de croissance est d'environ 25-30 °C. Les plants d'aubergine peuvent être endommagés par les gelées et les températures extrêmes, il est donc recommandé de les cultiver pendant les périodes chaudes.

Lumière : Une exposition directe au soleil est nécessaire pour l'aubergine, pendant au moins 6 à 8 heures par jour. Assurez-vous de trouver un endroit dans votre jardin où les plants d'aubergine pourront profiter de cette lumière directe sur le sol.

Sol : Le sol doit être bien drainé, fertile et riche en matière organique pour favoriser la culture de l'aubergine. On considère que le pH du sol est idéal entre 6 et 7. Pour améliorer la fertilité

du sol, il est recommandé de préparer le sol avant la plantation en ajoutant du compost ou du fumier bien décomposé.

Irrigation : Il est nécessaire d'arroser régulièrement l'aubergine afin de maintenir le sol humide mais pas détrempé. Il est préférable d'éviter les excès d'eau qui pourraient entraîner la pourriture des racines. Un système de goutte à goutte d'irrigation peut être avantageux pour assurer une distribution homogène de l'eau.

Fertilisation : La fertilisation consiste à apporter aux plants d'aubergine les nutriments nécessaires en utilisant un engrais équilibré. Un engrais supplémentaire à base de potassium peut encourager la croissance de fruits sains. Suite à l'analyse du sol et aux besoins de la plante, il est recommandé de suivre les recommandations spécifiques de fertilisation.

I.11. Protection contre les ravageurs et les maladies

Observez les plants d'aubergine avec soin afin de repérer les traces d'attaques de ravageurs tels que les pucerons, les aleurodes et les vers. Réalisez des actions de lutte intégrée contre les ravageurs, comme l'emploi de méthodes de lutte intégrée. (FAO, 2013)

I.12. Technique culturale

l'utilisation d'insecticides naturels ou de pièges, si besoin. Il est possible de prévenir les maladies fongiques telles que le mildiou ou la pourriture des fruits en rotation des cultures et en éliminant les plantes infectées (FAO, 2013). La culture de l'aubergine peut varier en fonction des pratiques culturales locales, des conditions environnementales et des variétés cultivées. Voici quelques-unes des techniques les plus courantes.

Préparation du sol : Il est nécessaire de préparer le sol avant de planter en utilisant des amendements organiques et minéraux afin d'améliorer sa fertilité et sa structure. En diminuant l'acidité du sol et en améliorant la disponibilité des nutriments, il est possible d'améliorer la croissance de l'aubergine (Rahman et al., 2021).

Plantation : On peut cultiver les plants d'aubergine à partir de graines ou de plants. Il est recommandé de faire la plantation à une profondeur de 2 à 3 cm et à une distance de 60 à 80 cm entre les rangs. Une étude récente a démontré que l'emploi de plants de première qualité peut apporter des améliorations. L'aubergine améliore sa croissance et son rendement (Sohrabi et al., 2021).

Irrigation : Il est essentiel d'arroser régulièrement l'aubergine afin de garantir une croissance optimale des plantes et une production de fruits de haute qualité. Il est possible d'effectuer l'irrigation par goutte-à-goutte, par aspersion ou par submersion. Selon **Ahmed et al. (2021)**, une étude récente a démontré que l'irrigation par goutte-à-goutte peut améliorer les rendements de l'aubergine en diminuant les pertes d'eau et en offrant une quantité d'eau précise et adéquate.

I.13.Maladies et Ravageurs de L'aubergine

En Algérie, l'aubergine est exposée à de nombreuses maladies et est caractérisée par sa vulnérabilité. (Voir le tableau 02)

Tableau 02 : Maladies et ravageurs d'aubergine (HORTIPRATIC CTIFL, 2003).

PARASITES OU MALADIES	SYMPTOMES	FACTEURS FAVORABLES	OBSERVATIONS
Aleurodes ou mouches blanches (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	Piqûres des feuilles Présence de miellat, Fumagine.	Présences d'adventices, plants infestés.	Auxiliaires parasitoïdes ou prédateurs sous abris.
Pucerons (<i>Aphis gossypii</i>)	Déformation des feuilles, fumagine.		Auxiliaires parasitoïdes et prédateurs sous abris.
Doryphores (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	Défoliation	Proximité de pomme de terre.	Bacillus Thurengiensis Sp tenebrionis (Efficace sur jeunes larves).
Noctuelles	Perforation des feuilles.		Surtout en fin de saison (Efficace sur jeunes larves).
Acarions tétranyques	Piqûres sur feuilles Jusqu'à dessèchement.	Temps chaud et sec.	Surtout sous abris Prévoir des bassinages.
Punaises (<i>Lygocoris pabulinus Linnaeus</i>)	Flétrissement des feuilles, couleur des bourgeons floraux.	Proximité de cultures type soja ou bois	
Verticilliose Champignon du sol	Plage décolorée du feuillage flétrissement des plantes.	Températures fraîches. Asphyxie racinaire. Luminosité faible.	Eviter précédents tomates, cucurbitacées Plantes greffées (pour cultures sous abris).
Botrytis	Sur feuilles et fruits.	Climat humide et brouillard.	Bien conduire l'aération sous abris.
Virus mosaïque du tabac et virus 1du Concombre	Uniquement sur variété		Lutter contre les pucerons.

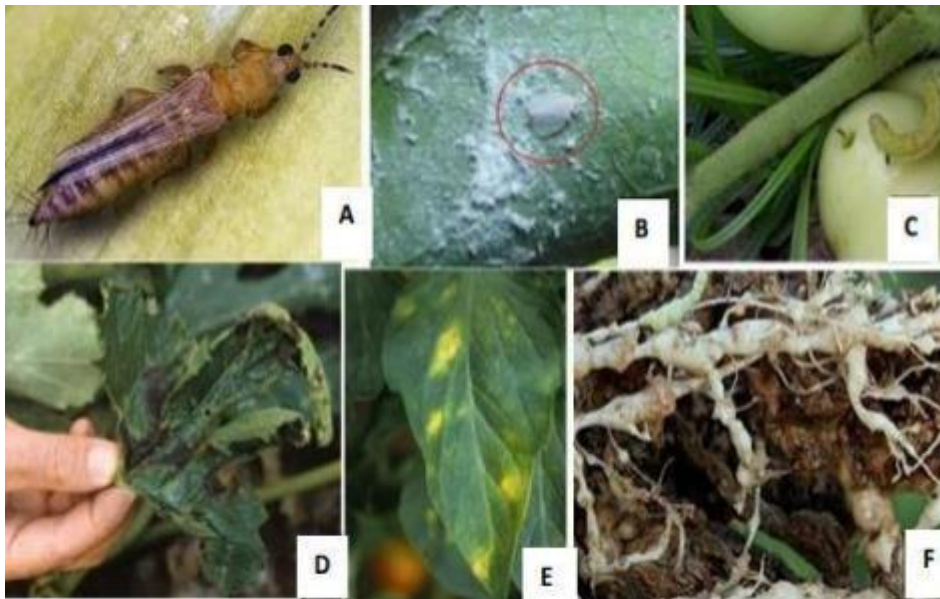


Figure 05 : Thrips (A), Mouches blanches (B), *Helicoverpa armigera* (C) sur tomates, *Phytophthora capsici*(D), *Leveillulataurica* (E) sur des feuilles de solanacées et *Meloidogynespp* (F) sur les racines de plantes de tomates. Source : (Sall et Edbo, 2017 ; Tendeng, 2017 ; INRA, 2021).

Chapitre 2 :

L'azolla

II. Azolla

II.1. Définition d'Azolla

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

II.2. Description morphologique

L'Azolla est une espèce de fougère aquatique qui se développe dans les eaux douces, tempérées ou tropicales, dans les champs de cresson, les rizières, les étangs et les rivières.

Sa croissance est exponentielle dans des conditions optimales, avec une augmentation de sa biomasse tous les trois jours (**Reynaud et Franche, 1985 ; Raelina, 1995 ; Chander et al., 2017**).



Figure 06 : Culture d'azolla en aquaponie (**Harlaut. 2019**).

On retrouve cette fougère avec une tige ou un rhizome, des feuilles et des racines. On nomme l'arbre Azolla une fronde. Sa structure est composée d'un rhizome principal, rarement

supérieur à 3 ou 4 cm de long, avec des branches subsidiaires pouvant donner naissance respectivement à des rhizomes tertiaires et à des rhizomes quaternaires. Selon **Van-Hove (1989)** et **Raolina (1995)**, cette structure donne à la plante une forme triangulaire ou circulaire. Chacun de ces lobes est constitué de deux feuilles. Au-dessus de la tige, l'une d'entre elles est plus épaisse et chlorophyllienne, et elle abrite une cavité interne qui abrite une population de cyanobactéries (algues vertes) connues sous le nom d'*Anabaena azollae* (**Van-Hove, 1989 ; Amroune, 2020**).

II.3. Taxonomie

Azolla est un genre de plantes de la famille des Azollaceae, du phylum des Ptéridophytes, de l'ordre des Salviniiales (**Reynaud et Franche, 1985**). Selon **Amroune (2020)**, il y a au moins huit espèces d'Azollas à travers le monde : *Azolla caroliniana*, *Azolla circinata*, *Azolla japonica*, *Azolla mexicana*, *Azolla microphylla*, *Azolla nilotica*, *Azolla pinnata* et *Azolla rubra*.

Le système de position d'*Azolla* sp est le suivant (**Diomande et al., 2017**)

Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Tracheobionta*

Division : *Pteridophyta*

Classe : *Liliopsida*

Ordre : *Hydropteridales*

Famille : *Azollaceae*

Genre : *Azolla*

II.4. Espèces d'Azolla

a. *Azolla filiculoides*

Espèce commune dans de nombreux pays, connue également sous le nom d'*Azolla* flottante ou Fougère flottante, présentée dans la (**figure 09**). Elle a des feuilles vertes, petites et anguleuses, avec des racines suspendues sous l'eau. Elle crée fréquemment des colonies compactes. (Martin, 1982)



Figure 07 : *Azolla filiculoides* (Cabi.2008)

b. *Azolla pinatta*

Cette espèce, également connue sous le nom d'Azolla à feuilles pennées, se caractérise par ses feuilles vertes éclatantes et segmentées. Elle se rencontre en Asie et en Afrique dans les régions tropicales et subtropicales. Selon **Triest et al. (2013)**.

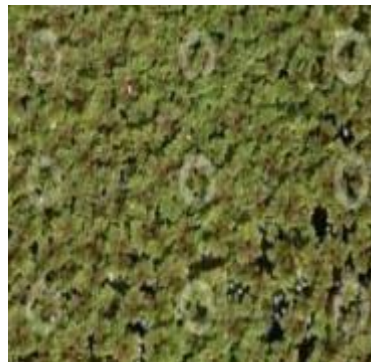


Figure 08 : *Azolla pinnata* (Saurav, 2022).

c. *Azolla caroliniana*

Cette espèce, originaire des Amériques, est communément connue sous le nom d'Azolla de Caroline (**figure11**). Elle a des feuilles vertes, un peu dentelées, en rosettes denses. On l'utilise fréquemment en tant qu'engrais organique dans les cultures de riz **Lumpkin et al., 1980**.



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

d. *Azolla mexicana*

On l'appelle aussi *Azolla* du Mexique (**figure 13**), elle a des feuilles vertes pâles et des racines très fines. On la retrouve fréquemment dans les milieux aquatiques doux et elle est fréquemment employée dans les systèmes de traitement des eaux usées. **Johansson et al., 2006.**



Figure 10 : *Azolla mexicana* (Russ et al., 2008)

e. *Azolla microphylla*

La fougère aquatique flottante est une petite fougère d'Asie, d'Afrique et d'Amérique. De la famille des algues, elle surmonte les difficultés rencontrées par les cultures non comestibles, car elle peut se développer dans toutes les eaux usées, stagnantes ou saumâtres. Elle ne requiert pas de terres arables et peut être cultivée même dans des étangs artificiels, y compris les terres marécageuses avec une température allant de 15 à 35 °C. C'est donc une matière première potentielle pour la production de biodiesel. Selon **Nuraini et Mirzah (2021)**, l'*Azolla* présente d'autres avantages importants tels que son taux de croissance élevé, qui lui permet de doubler sa masse en 3 à 10 jours, sa production élevée et sa contribution significative au processus de biofixation du dioxyde de carbone en absorbant le dioxyde de

carbone de l'atmosphère. En effet, elle nécessite une quantité importante de dioxyde de carbone, également connue sous le nom de mine d'or verte. La plante d'Azolla se compose d'une tige principale qui croît à la surface de l'eau et dont les feuilles alternes et les racines adventives se forment à intervalles réguliers. Des tiges secondaires se forment à l'aisselle de certaines feuilles, présentant les mêmes caractéristiques que la tige principale. Les tiges de troisième ordre sont elles-mêmes portées. Toutes les feuilles sont bilobées : l'une est flottante et chlorophyllienne, tandis que l'autre est immergée dans la chlorotique (Grzegorz et al., 2017).



Figure 11 : Azolla micropyle (Saurav, 2022).

II.5. Culture d'azolla

Les espèces d'Azollas connaissent une croissance maximale en été, puis au printemps, avec un temps de doublement de 2 à 5 jours. Environ 40 à 55 kg d'Azolla frais peuvent être obtenus à partir de 8 kg d'inoculum en 15 jours dans une rizière à 10 cm de profondeur d'eau, avec des nutriments supplémentaires (10 kg de fumier de vache et 100 g de super triple phosphate répartis entre trois lots à 4 jours d'intervalle) (Sebastian et al., 2021). La vie en symbiose de l'Azolla avec une microalgue lui permet de capter l'azote de l'air. Grâce à cette combinaison, il peut se développer rapidement et devenir envahissant à grande vitesse. Il est capable de créer une couche de végétation d'une épaisseur de deux centimètres dans l'aquarium, empêchant ainsi la lumière de pénétrer. Il est donc nécessaire de les prendre régulièrement, comme à chaque fois qu'il y a un changement d'eau. Cette plante aquatique a une préférence pour les eaux douces. Il est préférable de ne pas le placer dans un réservoir où il existe un courant de surface. La jonquille fraise s'étend très vite par les rejets qu'elle génère. Il convient donc de maintenir une température comprise entre 18° et 25° et un pH compris entre 3,5 et 10, mais l'optimum est de 4,5 à 7. Selon Amroune (2020), un pH trop acide ou alcalin a des conséquences néfastes sur cette fougère.

II.6. Les conditions de croissance de l'Azolla

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

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

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

Eau

La croissance d'Azolla est favorisée par une couche d'eau de 5 à 10 centimètres en moyenne. La proximité des racines avec le sol favorise la nutrition minérale (**Rahagarison, 2005**). La valeur idéale de l'humidité relative serait de 85 à 90 %. Selon **Dommergues et Diem (1982)**, lorsque l'humidité relative est inférieure à 60 %, l'algue devient sèche, cassante et plus vulnérable aux conditions défavorables.

Température

La culture d'Azolla nécessite une température comprise entre 20 et 30°C. Certaines souches peuvent certainement survivre à des températures de -5 et 45°C. Certains génotypes d'Azolla pinnata sont extrêmement sensibles aux températures inférieures à 10°C, mais peuvent supporter des températures supérieures à 35°C (**Rasoloarivony, 2003**). Conséquent pour la diffusion de l'Azolla (**Amroune, 2020**)

pH de milieu

En général, l'Azolla a une préférence pour les milieux proches du neutre ou de l'acide. Afin d'assurer une croissance optimale de cette algue, le pH idéal du milieu est compris entre 4,5 et 7,5. La croissance et la fixation de l'azote sont favorisées par un pH moyen de 5 à 8 chez A. pinnata. La tolérance de l'azolla au pH environnemental est remarquable (**Sebastian et al., 2021 ; Ntendele, 2007**).

Lumière

L'intensité lumineuse augmente le taux de croissance d'Azolla, atteignant environ 50 klx ou 50 à l'intensité maximale de la lumière naturelle. Au-delà de ce seuil, le taux de croissance est soit stable, soit décroissant en fonction des interactions non évidentes avec d'autres facteurs écologiques (**Van, 1989**). L'Azolla prend une teinte brun rougeâtre lors de l'exposition à une lumière intense en été et se teint de vert lorsque l'ombre revient. Selon **Sebastian et al. (2021)**, la durée idéale pour cultiver l'Azolla est d'environ 20 heures.

Nutriments

Les minéraux nécessaires à Azolla sont des macro-éléments (P, K, Ca, Mg et Mn) et des oligo-éléments (Fe, Mo, Co). Les carences de ces éléments entraînent des taux de croissance réduits (**Becking, 1979**). Cependant, la caractéristique la plus remarquable dans ce domaine de la nutrition est l'indépendance totale des sources d'azote. Azolla est convaincue de l'absence d'azote combiné (**Amroune, 2020**), tandis que Mo et Co favorisent la capacité d'Azolla à fixer l'azote (**Sebastian et al., 2021**).



Figure 12 : Vitesse de croissance d'Azolla pinnata

II.7. Composition chimique de l'azolla

La composition chimique des espèces d'Azollas (**voir tableau 02 et 03**) diffère en fonction des écotypes, des conditions écologiques et de la phase de croissance (**Tran, 2015**). En

général, la concentration en MS est faible, allant de 5 à 7 %. Les protéines représentent environ 19 à 30 % de la matière sèche dans des conditions optimales de croissance. Selon **Liu et al. (2016)**, le profil en acides aminés de l'Azolla varie en fonction de l'espèce, mais la quantité de lysine est assez élevée (4 à 6 % de la protéine). Le taux de protéines de l'Azolla est similaire à celui du soja. Elle présente à peu près la même quantité de protéines (27,5 % en moyenne) que les autres plantes aquatiques, mais elle est plus riche en parois végétales (47,3 % en moyenne). Les fibres de la fougère sont assez abondantes : le NDF peut atteindre plus de 50 % de MS, la fibre brute est d'environ 15 % de MS et la lignine est d'environ 10 à 13 % de MS. À l'instar de la plupart des plantes aquatiques, l'Azolla est très riche en minéraux (10-20% MS) et peut servir de source de nutriments macro et micro.

Tableau 03: Composition de l'azolla (**Feedpedia, 2019**).

Analyse principale	Unité	MOY	DAKOTA	Min	Max	Nb
Matière sèche	% alimenté	6.7	1.3	5.1	8.7	8
Matière 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	52.8	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
Energie brute	MJ/kg DM	17.0	-	-	-	-

Tableau 04: principaux minéraux de l'azolla (**Feedpedia, 2019**).

Les	Unité	MOY	DAKOTA	Min	Max	Nb
-----	-------	-----	--------	-----	-----	----

minéraux			DU SUD			
Calcium	g/kg DM	1.0	4.1	5.8	17.0	8
Phosphore	g/kg DM	6.1	5.5	0.3	15.5	1
Potassium	g/kg DM	17.4	3.7	10.9	22.5	7
Sodium	g/kg DM	9.0	4.3	2.8	12.5	4
Magnèse	g/kg DM	5	0.8	3.9	6.1	5
Manganèse	g/kg MS	762	43	208	1429	5
Zinc	g/kg MS	38	28	11	77	5
Cuivre	g/kg MS	16	7	Dix	28	5
Fer	g/kg MS	3600	3794	711	8200	5

II.8. Utilisation d'azolla

Depuis longtemps, les agriculteurs utilisent l'Azolla pour nourrir leurs animaux et comme engrais écologique. Azolla est considérée comme l'une des plantes aquatiques les plus riches en nutriments, en raison de sa forte teneur en protéines brutes et en caroténoïdes, ainsi que d'un profil d'acides aminés complet. Il peut être utilisé pour nourrir les poissons, les porcs, les volailles, les lapins, les bovins et même les êtres humains. Plusieurs laboratoires et études de terrain ont démontré clairement que l'azolla, en tant qu'azote organique, a un effet positif sur les engrais, principalement en augmentant la production de rendement. De plus, il a été prouvé que la présence d'un tapis d'azolla sur la surface de la masse d'eau diminue considérablement la croissance des mauvaises herbes.

A. Utilisation de l'azolla en agriculture

L'Azolla présente un intérêt agronomique en tant que fertilisant azoté. Selon **Nurhidayati et al. (2020)**, 10 tonnes d'Azollas par hectare renferment généralement 20 à 30 kg de N, et au moins 70 % de cette quantité est issue de la fixation biologique de l'azote atmosphérique (N₂). Selon **Nurhidayati et al. (2020)**, il existe d'autres applications possibles, et des études sont menées pour évaluer le potentiel d'utilisation d'Azolla comme engrais verts pour des cultures sur terre ferme après fanage ou compostage.

B. Utilisation d'azolla en alimentation animale

Selon **Rajesh (2020)**, cette fougère est employée depuis longtemps pour nourrir les porcs, les canards, les poulets, les bovins, les poissons, les moutons, ainsi que les chèvres et les lapins.

C. Dépollution des milieux

La biosorption permet d'éliminer les substances toxiques des environnements aquatiques. Grâce à la biomasse d'Azolla, Boisrobert a pu utiliser efficacement les métaux lourds tels que le Pb, le Cd, le Cu et le Zn. Les eaux usées des huileries ont été très efficaces en éliminant la demande chimique en oxygène et les polyphénols grâce à cette biomasse. Selon **Sebastian et al. (2022)**, le biofiltre a réussi à éliminer jusqu'à 4 000 ppm de polyphénols présents dans les eaux usées.

II.9. Avantage d'Azolla dans l'irrigation des cultures agricoles Enrichissement en nutriments

L'Azolla est capable d'accumuler des nutriments tels que l'azote, le phosphore, le potassium et d'autres micronutriments. Lorsqu'elle est appliquée à l'eau d'irrigation, l'Azolla se décompose et libère ses nutriments, contribuant ainsi à améliorer la fertilité du sol. Réduction de l'évaporation : lorsqu'elle est utilisée comme couverture flottante sur les plans d'eau utilisés pour l'irrigation, l'Azolla peut réduire l'évaporation de l'eau en formant une couche protectrice à la surface. Cela permet de conserver l'eau d'irrigation et de réduire les besoins en eau. Suppression des mauvaises herbes : l'Azolla peut également aider à supprimer la croissance des mauvaises herbes en empêchant la lumière du soleil d'atteindre le fond de l'eau. Cela réduit la concurrence des mauvaises herbes avec les cultures irriguées et permet d'économiser des efforts de désherbage supplémentaires. Amélioration de la qualité du sol : lorsque l'Azolla se décompose, elle libère des substances organiques dans le sol, ce qui peut améliorer la structure du sol, l'activité microbienne et la rétention d'eau. Cela favorise un environnement favorable à la croissance des plantes et peut améliorer la qualité du sol dans son ensemble (**Kumari et al, 2018**)

Matériels et méthodes

1. Objectif de travail

Cette étude vise à évaluer l'impact de l'Azolla, une plante aquatique aux propriétés fertilisantes, sur la croissance des plants d'aubergine (*Solanum melongena*). Des expériences ont été réalisées en appliquant l'Azolla sous trois formes (incorporée au sol, en engrais liquide et en poudre), en comparant ces conditions à un groupe témoin sans Azolla. Les paramètres de croissance mesurés incluent la hauteur des plants, le nombre de feuilles, la biomasse et le rendement en fruits. L'objectif est de déterminer si l'Azolla améliore significativement la croissance des aubergines et d'évaluer son potentiel comme fertilisant écologique pour des pratiques agricoles durables.

2. Zone et durée de l'expérience

L'expérience a été conduite dans deux bassins distincts, établis entre mars et juin 2024, sur une parcelle de recherche de l'Institut de Technologie Agricole (ITA) de Mostaganem. La période totale de l'expérimentation, incluant le suivi des paramètres de croissance, a duré quinze semaines.

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

L'étude a été réalisée au laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, situé sur le campus universitaire II INÈS de Mostaganem, qui dispose d'une ferme expérimentale située dans la commune de Mazagran. Cette ferme, utilisée comme centre d'apprentissage pratique, comprend des installations pour la production animale (bovins, ovins, volailles, abeilles) et végétale. La figure ci-dessous, provenant de Google Maps, montre l'emplacement précis de la ferme expérimentale au sein de l'ITA.



Figure 13 : Position géographique de la zone d'étude l'ITA – Mostaganem (google maps, 2024)

4. Préparation du terrain

La préparation du sol en vue de l'installation des bassins est une étape fondamentale pour assurer la réussite de l'expérience. Comme illustré par les figures 2 et 3, le sol a été fauché pour éliminer les herbes susceptibles d'endommager la bâche des bassins et de provoquer des fuites d'eau. Afin de réduire davantage ce risque, la surface délimitée des bassins a été recouverte de cartons après le fauchage, offrant ainsi une protection supplémentaire contre les perforations éventuelles de la bâche.



Figure 14 : Le sol avant la fauche
(Photo originale 2024)



Figure 15 : le sol après la fauche
(Photo originale 2024)

➤ Construction des bassins

La construction des deux bassins a été réalisée selon un protocole rigoureux. La première étape a consisté à sélectionner un emplacement optimal, en tenant compte de facteurs tels que l'ombrage, indispensable au développement de l'Azolla. Afin de garantir un équilibre entre l'ombre et la lumière solaire (50 % d'ombre et 50 % d'exposition), un toit en canne a été installé. Cette structure permet de créer des conditions idéales pour la croissance de l'Azolla en assurant un environnement propice à son développement.



Figure 16 : mise en place d'un couvert (photo originale)

La phase suivante du protocole a consisté à préparer les bassins, ce qui a impliqué le creusement de cavités de 2 mètres de long et de large, avec une profondeur de 20 cm (voir figures 16 et 17). Ces dimensions ont été sélectionnées afin d'optimiser l'espace disponible pour la culture de l'Azolla.



Figure 17 : Forage des bassins (photo originale).

L'étape suivante du protocole a impliqué la mise en place de bâches dans chaque bassin. Celles-ci ont été déployées et fixées solidement autour du bassin à l'aide de briques pour garantir leur stabilité. Ensuite, une couche de sable a été ajoutée au fond des bassins pour faciliter le drainage de l'eau, assurer une bonne circulation, et fournir les nutriments nécessaires à la croissance de l'Azolla.



Figure 18 : la mise en place de bâches dans chaque bassin (photo originale 2024)



Figure 19 : Ajout une couche de sable (photo originale 2024)

Les bassins ont été remplis d'eau de puits jusqu'à une profondeur de 10 cm. Pour assurer une croissance optimale de l'Azolla, une solution nutritive a été préparée en mélangeant 5 kg de bouse de vache avec 25 litres d'eau. La solution a ensuite été filtrée afin d'obtenir une consistance homogène, ce qui permet d'éliminer les particules indésirables et les matières organiques non dissoutes. Ce processus assure une dilution correcte des nutriments, rendant ces derniers facilement accessibles à l'Azolla.



Figure 20 : préparation de bouse de vache (photo originale 2024)

➤ Culture d'azolla

La culture de l'Azolla représente une étape fondamentale dans notre protocole expérimental. Pour chaque bassin, nous avons soigneusement mesuré environ 4 kg d'Azolla. Cette quantité a été précisément calculée pour optimiser la croissance de l'Azolla tout en évitant les risques de surpopulation qui pourraient nuire à son développement.

Après avoir déterminé la quantité nécessaire, nous avons réparti l'Azolla uniformément sur la surface de l'eau dans chaque bassin, comme illustré dans la figure 21 . Cette répartition homogène est cruciale pour garantir que chaque plante d'Azolla dispose de suffisamment d'espace pour se développer correctement sans interférer avec les autres.

Il est également essentiel de s'assurer que l'Azolla flotte librement à la surface de l'eau, comme le montre la figure 10. Cette position permet à l'Azolla d'absorber efficacement la lumière du soleil, indispensable pour la photosynthèse, et d'absorber les nutriments présents dans l'eau, favorisant ainsi une croissance saine et vigoureuse.



Figure 21 : Bassin après la culture d'Azolla (photo original)

➤ Irrigation d'azolla

L'irrigation régulière des bassins a été assurée, en utilisant de l'eau de puits cette pratique est essentielle pour maintenir un niveau d'eau adéquat dans les bassins, ce qui est crucial pour la croissance de l'Azolla.

➤ Suivi de rendement d'Azolla

Chaque jour, une récolte d'Azolla était effectuée, permettant un suivi détaillé de la croissance et de la productivité de la culture. Cette approche quotidienne a facilité la surveillance des variations de croissance, influencées par des facteurs environnementaux tels que la température, la lumière et la disponibilité des nutriments. Après chaque récolte, l'Azolla était minutieusement pesée pour mesurer avec précision le rendement. Cette méthode de quantification rigoureuse a fourni des données fiables sur la production d'Azolla, tout en

permettant d'évaluer l'efficacité de différentes techniques de gestion et d'identifier les facteurs clés influençant la productivité. Grâce à cette rigueur, nous avons pu obtenir des données précises sur la production d'Azolla au fil du temps, ce qui est essentiel pour comprendre ses dynamiques de croissance et développer des stratégies de gestion efficaces. Ces informations contribuent également à mieux évaluer la valeur de l'Azolla comme ressource durable pour l'agriculture et l'aquaculture (voir les figures 22 et 23).



Figure 22 : Suivi du rendement d'Azolla (photo originale)



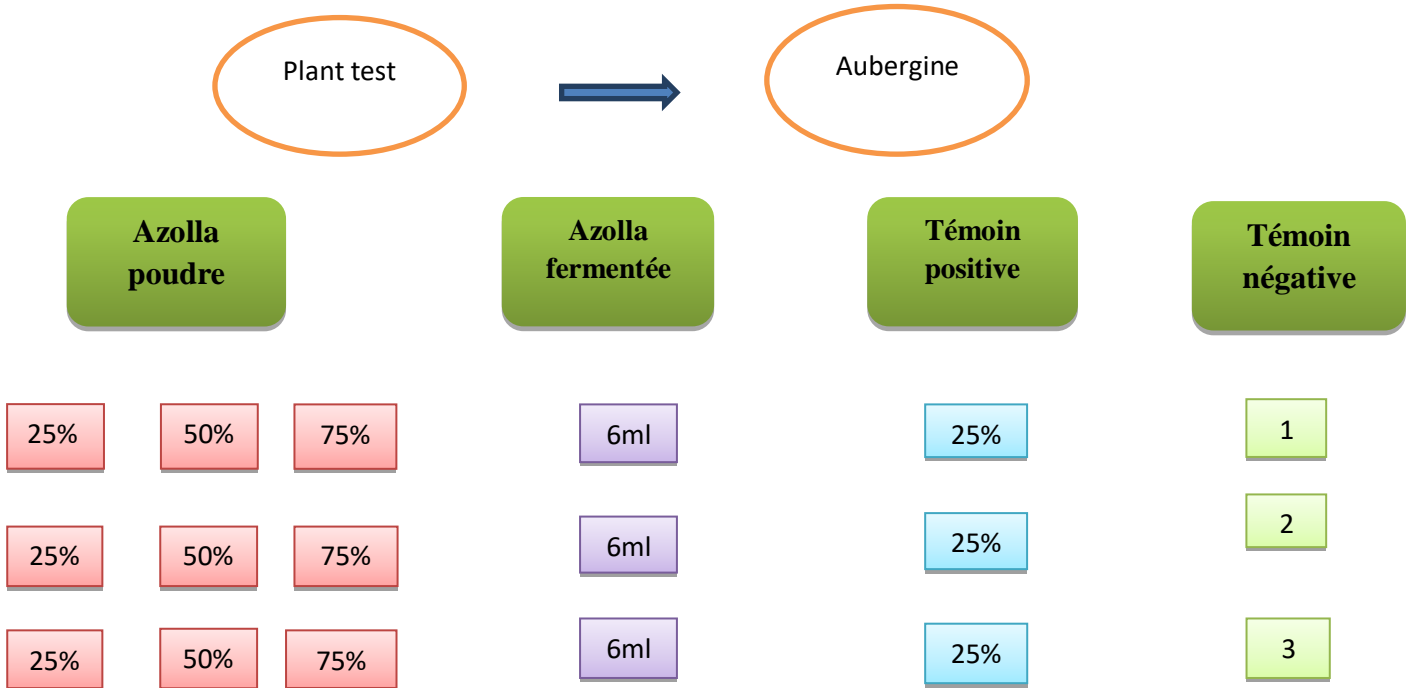
Figure 23 : Multiplication d'Azolla (photo originale).

5. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été mis en place en utilisant la variété d'aubergine "Panthère" et en appliquant quatre traitements distincts : T0, T1, T2 et T3. Le traitement T0 a servi de témoin négatif (sans fertilisant), tandis que le traitement T3 a été le témoin positif, utilisant un engrais NPK. Le traitement T1 a été réalisé avec de l'Azolla sous forme sèche, et le traitement T2 avec de l'Azolla fermentée. En tout, 9 pots ont été dédiés au traitement avec l'Azolla sèche, 3 pots ont reçu l'Azolla fermentée, 3 pots ont été utilisés pour le témoin positif avec l'engrais NPK, et 3 autres pots ont été réservés au témoin négatif. Ce dispositif a permis d'évaluer

Matériels et méthodes

l'impact des différentes formes d'*Azolla* sur la croissance des plants d'aubergine, en les comparant aux témoins positifs et négatifs.



6. Matériels utilisés

a. Matériels végétaux

L'expérimentation a été menée sur la variété d'aubergine "Panthère", achetée chez un grenetier local. Les plants ont été mis en terre le 6 mai 2024, et la période de croissance s'est poursuivie jusqu'au 6 août 2024, date à laquelle la récolte a été effectuée.



Figure 24 : plante d'aubergine variété panthère (photo originale)

b. Supports de culture

➤ **Spécificités des pots**

Des pots en plastique avec un diamètre de 30 cm, une base de 13 cm et une hauteur de 60 cm ont été utilisés pour la culture.

➤ **Sol**

La terre utilisée provient de la station expérimentale de Hassi Mamèche et présente une texture sableuse légère et lumineuse.

7. Le Protocol d'analyse de sol

7.1 Prélèvements d'échantillons du sol

Le 25 mars 2024, trois échantillons ont été prélevés sur chaque site, comme l'indique la Figure 25 . L'objectif de cet échantillonnage était de mesurer les éléments majeurs et les métaux traces présents dans le sol avant le traitement (temps t0). À chaque point de prélèvement, trois carottes de sol ont été extraites à l'aide d'une tarière, puis regroupées et homogénéisées dans un sachet pour assurer une représentativité optimale de l'échantillon.



Figure 25 : Prélèvement d'échantillon (photo originale)

7.2 Les analyses physico-chimiques de sol

L'analyse physico-chimique comprend généralement l'évaluation de la granulométrie (argiles, limons et sables), du pH, de la capacité d'échange cationique, ainsi que la mesure de la teneur en divers éléments, tels que le carbone organique, l'azote total, le calcaire, le phosphore, le potassium, le calcium, le sodium, et les oligo-éléments (zinc, cuivre, fer, manganèse et bore). Cette analyse permet de caractériser les potentialités du sol en termes de rétention d'eau et de disponibilité en éléments nutritifs. Les teneurs en ces éléments servent de base pour les calculs de chaulage, les fertilisations de fond (phosphore et potassium) et les apports en oligo-éléments. Les échantillons de sol ont été broyés, tamisés à 2 mm, puis conservés dans des tubes en plastique en vue de mesurer les différents paramètres.

Paramètres étudiés

a. pH du sol

L'acidification des sols est un phénomène courant en agriculture, car il influence directement la "fertilité" des sols cultivables. Bien que ce processus soit d'origine naturelle, il peut être accéléré par les activités humaines, telles que la pollution atmosphérique et l'utilisation d'engrais (**Benmezroua, 2014**). Le pH du sol joue un rôle crucial dans la dynamique des éléments nutritifs, influençant particulièrement les propriétés chimiques du sol. La mesure du pH consiste à évaluer la force électromotrice d'une solution aqueuse de sol, généralement réalisée avec un rapport eau/sol de 2,5, à l'aide d'un pH-mètre (**Belhacini, 2011**).

Mode opératoire

- Peser 40 g de terre (< 2 mm) séchée à 40 C° dans un bécher.
- Ajouter 1000ml de solution d'eau déminéralisée et agiter durant 2 h par l'agitateur rotatif

. • Laisser reposer 2 h. plonger l'électrode dans le liquide surnageant et effectuer le messer. Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.



Figure 26 : pH-mètre (photo originale)

b. Conductivité électrique (CE)

Pour la mesurer un conductimètre de type (JEBWAY 3540) a été utilisé dans un l'extrait aqueux (terre/eau) (1/5) (Mathieu et al., 2003). Cet essai nécessite aussi une balance digitale, un flacon bouché, un agitateur rotatif et un bécher (250 ml).

Mode opératoire : on a

- en introduit 20 g de sol sec de diamètre inférieur à 2 mm dans un flacon bouché et en l'ajoute 100 ml d'eau déminéralisée
- l'agiter durant 2h à l'aide d'un agitateur rotatif et en le laisse de décanter ; • Transvasez le liquide surnageant dans un bécher de 250 ml
- Et en fin, en introduit le Conductimètre pour lire la valeur de CE



Figure 27 : conductimètre (photo originale)

c. CEC

On appelle capacité d'échange cationique du sol (CEC) l'ensemble des sites électronégatifs susceptibles de fixer, à un pH déterminé et de façon réversible, des anions échangeables. La CEC est toujours exprimée en cmolc kg^{-1} de sol. Elle correspond pratiquement à la quantité maximale de cations pouvant être retenus sous forme échangeable (**Aldja, 2016**).

La capacité d'échange des cations est très variable dans les sols : de 1 à 5 cmolc kg^{-1} en sol sableux jusqu'à 60 à 80 cmolc kg^{-1} en sol argileux et humifère. Au plan agronomique, on considère qu'une CEC < 10 cmolc kg^{-1} est très faible, qu'entre 10 et 15 cmolc kg^{-1} elle est faible, moyenne entre 15 et 20 cmolc kg^{-1} , élevée entre 20 et 25 cmolc kg^{-1} et très élevée lorsqu'elle est > 25 cmolc kg^{-1} (**Chamayou et Legros, 1989**).

PRINCIPE

Les étapes nécessaires pour déterminer la C.E.C (elles sont identiques à tous les sols).

A- étape de saturation.

B- étape de lavage.

C-étape de déplacement



Figure 28 : mesure de capacité d'échange cationique (photo originale)

d. CaCO₃ calcaire total

Le calcaire est un élément particulièrement important dans le sol, il se trouve sous diverses formes (grains grossiers et durs, particules fines). Le dosage du calcaire a été effectué par la méthode volumétrique à l'aide du Calcimètre de Bernard (**Moussaoui, 2016**).

Principe

Le calcaire à base de carbonate de Calcium ; CaCO₃ (poids moléculaire=100) est décomposé par l'acide chlorhydrique (HCL) (norme ISO 1093)

On mesure le volume de CO₂ (P.M.=44) obtenu et on calcule le poids.



Mode opératoire

Pour estimer la teneur en calcaire (CaCO₃) d'un échantillon de sol, deux pincées de terre fine sont déposées dans un verre de montre, puis 2 à 3 gouttes d'acide chlorhydrique (HCl) à 30 % sont ajoutées. La réaction qui s'ensuit permet d'évaluer l'intensité de l'effervescence afin de déterminer la quantité de terre à utiliser pour le dosage du calcaire total. Si aucune réaction n'est observée, le sol est non calcaire et il faut peser entre 5 à 10 g de terre. En cas de réaction faible, indiquant un sol peu calcaire, 1 g de terre est nécessaire. Pour une réaction moyenne, correspondant à un sol moyennement calcaire, 0,5 g est utilisé, tandis qu'une réaction forte, caractéristique d'un sol fortement calcaire, nécessite 0,25 g. L'appareil de mesure, le

calcimètre de BERNARD, doit être étalonné avant chaque série d'analyses en utilisant 0,3 g de CaCO_3 pur et sec, afin d'assurer la précision des résultats.



Figure 29 : Calcimètre de BERNARD (photo originale)

e. Dosage du calcaire actif (CaCO_3)

Contrairement à la détermination du calcaire total, qui repose sur une réaction violente et complète, la mesure du calcaire actif implique une réaction plus modérée, ciblant uniquement les particules calcaires les plus fines ou la surface des particules plus grossières. C'est pourquoi il est essentiel de respecter les conditions conventionnelles d'agitation lors de cette procédure. Pour le dosage du calcaire actif, on utilise la capacité du calcium à se combiner avec les oxalates pour former de l'oxalate de calcium insoluble (Drouineau, 1942).

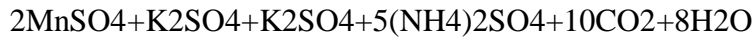
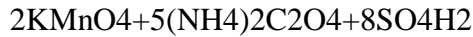
Objectif :

Le dosage du calcaire actif est réservé aux échantillons contenant plus de 5 % de calcaire total, car l'objectif est de mesurer uniquement la fraction chimiquement active du calcaire dans le sol. Cette analyse permet d'évaluer l'activité du calcaire et d'en déduire ses conséquences sur la fertilité du sol. La distinction entre le calcaire total et le calcaire actif est cruciale, car elle permet de mieux comprendre l'influence du calcaire sur la disponibilité des nutriments et le pH du sol, facteurs essentiels pour la croissance des plantes.

Principe

Dans le sol, une partie plus ou moins importante du calcaire total se trouve à l'état de fines particules actives pour les végétaux et facilement solubilisées par les eaux riches en gaz carbonique.

Pour le dosage du calcaire actif on utilise la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de solution d'oxalate est ensuite dosé (oxalate d'ammonium) par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.



Mode opératoire « Méthode Drouineau-Galet)

Cette méthode ne concerne que les sols peu humifères, parce que certains composés humiques sont également solubilisés par l'oxalate d'ammonium et ces composés réducteurs consomment du permanganate lors du tirage final, ce qui conduit à une sous-estimation du taux de calcaire actif. Les sols humifères donnent en effet une coloration brune à la solution d'oxalate d'ammonium qui masque le virage et rend le dosage impossible. Cette méthode ne convient donc qu'aux sols contenant peu de fer et de matière organique (moins de 2%) car les résultats obtenus par cette méthode sont aussi enroués dans les sols riches en fer par formation d'oxalate de fer ferreux oxydé par le permanganate de potassium

f. Granulométrie.

La granulométrie est définie comme étant la classification des éléments constitutifs d'un sol selon leur taille et la détermination de la quantité et le pourcentage respectif des différents éléments constituant (sables, limons, argiles). L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur, et de terminer le pourcentage de chaque fraction (Soltner, 1988).

Préparation des échantillons

Les échantillons de sols et sédiments sont séchés à l'air et tamisés à 2 mm. Les prises d'échantillon (0-2 mm) sont de 30 gr. La matière organique est détruite pour l'analyse granulométrique par attaque à l'eau oxygénée à 30 volumes, d'abord à froid, puis en chauffant à 400 c. Le sol est ensuite dispersé par agitation rotative dans des flacons de 300 cc après

adjonction d'hexamétaphosphate de sodium (1 g/litre de suspension). La suspension est alors tamisée à 200 um et 50 pm pour récupérer les sables grossiers (2 000 - 200 um) et les sables fins (200-50 lm). Ces derniers sont abondamment lavés à l'eau distillée, séchés à l'étuve à

105 C pendant 24 h puis pesés. Les eaux de lavage sont ajoutées à la suspension 50 - 0 um qui est alors transférée en allonges et amenée à un volume de 1 000 cc. La même suspension (50 - 0 um) est utilisée pour déterminer les teneurs en limons grossiers, limons fins et argiles selon les deux méthodes « pipette » et « Sedigraph ». 184 Granulométries selon la méthode « pipette » L'analyse est effectuée selon la technique en cours à l'orstom (SSC - Orstom, s. d.) : des fractions aliquotes de 20 cc de suspension 50 - 0 l.trn sont prélevées à 10 cm au bout de 4 minutes environ (le temps est fonction de la température au moment de l'analyse), puis au bout de 8 heures pour estimer les teneurs des fractions : argiles + limons fins (20- 0 um) et argiles (2 - 0 um). Les prélèvements sont séchés à 1050 C puis pesés. En ramenant ces poids à un volume de 1 000 cc et en tenant compte de la quantité d'hexamétaphosphate ajoutée on détermine les poids des fractions 2 - 0 urn et 20 - 2 um, le poids de cette dernière étant calculé par différence entre les quantités de fractions 20 - 0 urn et 2 - 0 um. La totalité de la suspension restante est ensuite épuisée par siphonnages successifs de la fraction 20 - 0 lrn et le culot représentent la fraction 50 - 20 um. Tous les résultats sont exprimés en pourcentages du poids de l'échantillon initial sec à l'air. L'humidité de l'échantillon est déterminée par séchage à l'étuve à 1050 C jusqu'à poids constant. La teneur en matière organique (% MO) est calculée à partir de la teneur en carbone (C %) selon la formule $MO \% = C \% * 1,72$. Le carbone est dose par voie sèche à l'aide d'un analyseur automatique CHN Carlo Erba.

g. Matière organique

La matière organique joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du sol. Elle contribue à assurer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Elle contribue à permettre aux sols de résister aux phénomènes de désagrégation , de tassement (stabilité de structure) et de compaction grâce à sa capacité à former des complexes organominéraux stables qui confèrent au sol des propriétés plastiques .Elle contribue ainsi à assurer la capacité de respiration des sols (porosité) , c'est-à-dire la bonne circulation des flux gazeux et liquides nécessaires au bon fonctionnement des sols. **(Web master 06)**



Figure 30 : bain de sable (photo originale)

h. Phosphore

Méthode : joret et hebert Méthode de **JORET et HEBERT (1955)**.

Principe

Le sol est agité à froid dans une solution aqueuse d'oxalate d'ammonium à pH=7, à une température de 20°C et sous agitation bien définie dans un rapport déterminée de prise d'essai/solution. Le dosage se fait par spectrophotométrie à 825 nm du complexe phosphomolybdique réduit par l'acide ascorbique en milieu sulfurique à chaud.

8. Transplantation

8.1 Transplanter les Aubergines

Creusez un trou dans le pot assez large pour accueillir les racines du plant d'aubergine. Retirez délicatement le plant de son pot ou de son contenant d'origine en veillant à ne pas abîmer les racines. Placez ensuite le plant dans le trou que vous avez préparé, en vous assurant que le niveau du sol autour de la base du plant soit identique à celui du pot d'origine. Remplissez ensuite autour des racines avec du terreau, puis tassez légèrement pour éliminer les poches d'air.



Figure 31 : transplantation d'aubergine (photo originale 2024)

8.2 Méthodes d'arrosage

Les traitements sont appliqués tout au long du cycle de croissance d'aubergine. Irrigation se fait avec de l'eau uniquement tous les deux jours avec un environ de 0.5 litre dans chaque pot.

9. Mesure du taux de croissance des feuilles et des racines

Les mesures de la hauteur des plantes, de la longueur des racines et des tiges, ainsi que de la surface foliaire des feuilles d'aubergine les nombre des feuilles des fleurs et des fruits ont été pris à l'aide d'une règle, et ces mesures ont été effectuées après 5 jours depuis la transplantation.



Figure 32 : mesure des paramètres physiologie (photo original2024).

10. Analyses physico-chimiques d'azolla

10.1 Détermination de la teneur en matière sèche (Afnor, 1985)

Principe

La teneur en matière sèche de l'échantillon (écorces de grenade, rhizomes de curcumin et les feuilles d'eucalyptus) est déterminée en séchant 5g de produits dans l'étuve à 105°C pendant 24h (Afnor, 1985).

Méthode

La première étape consiste à peser la matière brute. Pour ce faire, on pèse 5g de chaque échantillon à l'aide d'une balance de précision. L'aliquote est mise dans un creuset en porcelaine. Il faut noter que le creuset doit être pesé préalablement. La deuxième étape fera l'objet de déshydratation de l'aliquote à l'étuve (105°C pendant 24h). Après 24 heures, les creusets seront refroidis dans le dessiccateur pendant 45 minutes, la matière sèche restante est alors pesée par différence avec la masse initiale, la quantité d'eau évaporée est ainsi déduite (AFNOR, 1985).

Après séchage

La teneur en matière sèche (MS) en gramme de l'échantillon est calculée par l'expression suivante:

MS (g) = (Poids du creuset + l'aliquote après séchage) – poids du creuset

$$\% \text{ MS} = \text{M2} / \text{M1} \times 100$$

Avec :

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

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

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

10.2 Détermination de la matière organique (Afnor, 1985)

$$\text{MO} (\%) = \text{MS} (\%) - \text{MM} (\%).$$

10.3 Détermination de la teneur en matière minérale (Afnor, 1985)

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

$$\text{MM (g)} = (\text{Poids du creuset contenant les cendres} - \text{poids du creuset vide})$$

Calcul de la matière minérale en % :

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

Avec :

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

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

10.4 Détermination du Polyphénol (Boizot N. Charpentier J-P. 2006)

Les extraits utilisés dans notre étude pour le dosage des Polyphénols, flavonoïdes et les tanins sont préparés comme le suit : 5g d'échantillon en poudre; elles ont été trempées dans un flacon qui contient un mélange de méthanol et de l'eau distillée (80 :20), puis les flacons sont placés dans un agitateur pendant 24h (Boizot N. Charpentier J-P. 2006).

10.5 Dosage des composés phénoliques (Miliauskaset al., 2004)

Le dosage des composés phénoliques a été fait selon la méthode de Folin-Ciocalteu. Ce réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique (H3PW12O40) et d'acide phosphomolybdique (H3PMO12O40). Lors de l'oxydation, il est réduit en un mélange d'oxyde bleu. La coloration produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait analysé (Boizot et Charpentier, 2006). La teneur des polyphénols contenus dans les extraits a été déterminée suivant la méthode décrite par (Miliauskaset al., 2004). Cette méthode consiste à mélanger un volume de 1 ml d'extraits (5g de l'échantillon / 80ml de méthanol + 20 ml d'eau distillée) avec 5 ml de Folin Ciocalteu (2M) dilués 10 fois. Après 5 minutes d'incubation, 4 ml de carbonate de sodium à concentration de 75g/l a été additionné. Parallèlement, dans les mêmes conditions, un étalon a été réalisé avec des concentrations

croissantes d'acide gallique (standard) allant de 100 à 1000 µg/l. Après une heure d'incubation à la température ambiante, l'absorbance a été lue à 760 nm contre un blanc (absorbance de la solution en absence de molécules testées) à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (Jenway 7205). Les teneurs en Polyphénols totaux ont été exprimées en milligramme équivalent standard (acide gallique) par gramme d'extraits "lyophilisat" (mg EAG/g). Toutes les mesures ont été réalisées en triplicata.

10.6 Dosage des flavonoïdes (Chern *et al.*, 2002)

La méthode du trichlorure d'aluminium AlCl₃ (Chang *et al.* 2002) a été adoptée pour quantifier les flavonoïdes totaux dans les différents extraits des écorces de grenade, rhizomes de curcumine et les feuilles d'eucalyptus. Un volume de 1 ml d'AlCl₃ (2 %) dans le méthanol a été mélangé à un volume égal d'extraits, puis l'ensemble a été incubé à l'ombre à la température ambiante pendant 10 minutes, et l'absorbance a été lue à 430 nm. La quantification des flavonoïdes a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage réalisée par un flavonoïde standard ; la quercétine. Trois lectures ont été faites par échantillon et les expressions des résultats ont été obtenues à partir de l'équivalence du standard (quercétine) par gramme de matière sèche (mg EQ/g)

10.7 Dosage des protéines brutes (Lowry *et al.*, 1951)

Principe

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

11• Préparation d'azolla poudre

➤ Séchage de l'azolla

Après la récolte de l'Azolla, une étape cruciale de séchage a été entreprise pour garantir sa qualité et prolonger sa conservation. Nous avons opté pour une méthode de séchage naturel à l'air libre, tout en prenant soin de protéger l'Azolla des rayons directs du soleil afin de

prévenir la dégradation de ses nutriments. L'Azolla a été soigneusement étalée sur un drap, créant ainsi une surface plane et bien aérée, propice à l'évaporation efficace de l'humidité. Durant une période de 3 à 4 jours, le processus de séchage a été régulièrement surveillé pour s'assurer que l'Azolla perdait l'excès d'eau tout en maintenant ses éléments nutritifs essentiels. Bien que la technique de séchage à l'air libre soit simple et couramment utilisée pour préserver les propriétés nutritionnelles de l'Azolla, elle nécessite une vigilance particulière afin d'éviter une exposition excessive aux intempéries qui pourrait altérer sa qualité

➤ Broyage

Pour évaluer l'efficacité de l'Azolla en tant qu'amendement de sol, nous avons broyé l'Azolla séchée en une poudre fine. Cette opération a permis de transformer le matériau en une forme plus facilement incorporable dans le sol. Le broyage a facilité une meilleure dispersion des nutriments contenus dans l'Azolla, optimisant ainsi son intégration dans le substrat. En réduisant l'Azolla en poudre, nous avons également amélioré son absorption par les plants d'aubergine, permettant une évaluation plus précise de ses effets sur la croissance des cultures. Cette méthode a contribué à une meilleure compréhension de la manière dont l'Azolla séchée influence la fertilité du sol et la productivité des plantes.



Figure 33 : broyage d'azolla (photo originale)

12. Traitements effectués (azolla poudre)

Tableau 05: Traitements de l'azolla poudre

Traitement (T)	Dilution (%)	Quantité d'Azolla en poudre (g)	Procédure d'application
T1	25%	25 g	Appliquer au niveau du collet de la plante, puis couvrir avec du sol.
T2	50%	50 g	Appliquer au niveau du collet de la plante, puis couvrir avec du sol.
T3	75%	75 g	Appliquer au niveau du collet de la plante, puis couvrir avec du sol.



Figure 34 : effectué le traitement d'azolla poudre sur les plantes (**original 2024**)

13.Préparation d'azolla fermentée

Pour la préparation des matériaux, commencez par préparer 1 kg d'Azolla, une plante aquatique qui servira de base pour la fermentation. Utilisez un sac en plastique résistant capable de contenir le mélange sans se déchirer, et mesurez 5 litres d'eau propre, sans impuretés, pour l'étape suivante. Placez les 1 kg d'Azolla dans le sac en plastique, puis ajoutez les 5 litres d'eau propre. Mélangez délicatement afin d'assurer une répartition homogène de l'Azolla dans l'eau.

Ensuite, fermez hermétiquement le sac en utilisant des élastiques ou un autre dispositif de fermeture approprié, en veillant à ce qu'il soit bien scellé pour éviter toute fuite ou intrusion d'air qui pourrait altérer le processus de fermentation. Placez le sac dans un endroit chaud et ensoleillé, car la température idéale pour la fermentation se situe entre 20°C et 30°C. L'exposition au soleil permet de maintenir une température constante, ce qui favorise le processus de fermentation. Laissez le mélange fermenter pendant environ 6 jours, en surveillant les signes de fermentation tels que des bulles ou une odeur distincte.

Matériels et méthodes

Après les 6 jours, ouvrez soigneusement le sac et filtrez le liquide fermenté à l'aide d'un tamis ou d'un filtre fin pour séparer les résidus solides de la solution liquide. Conservez ensuite le liquide filtré dans des récipients hermétiques pour éviter l'évaporation ou la contamination, et placez-les à l'abri de la lumière directe pour préserver la qualité du liquide. Le produit final obtenu est un engrais liquide qui peut être utilisé pour nourrir les plants d'aubergine, offrant ainsi un apport nutritif naturel et efficace.

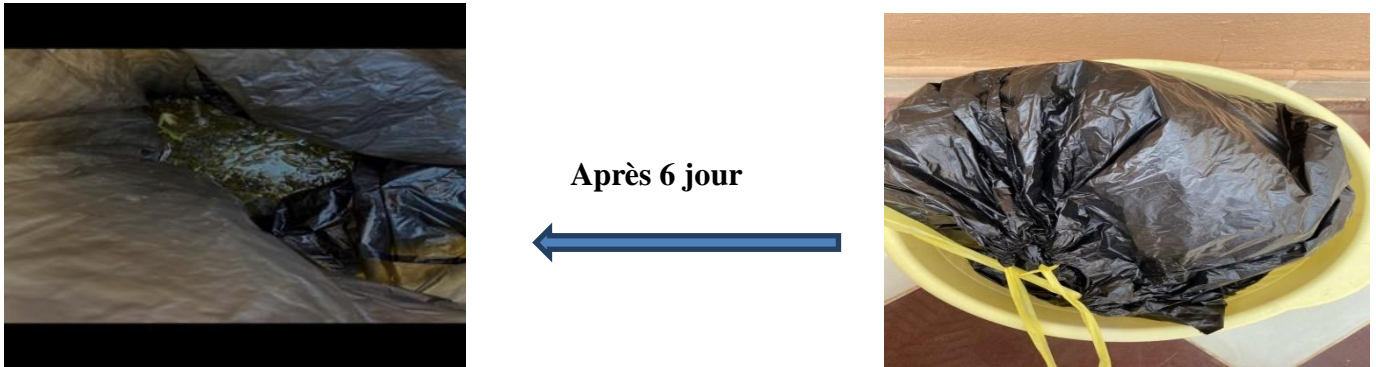


Figure 35 : photographie présente l'expérience de la fermentation d'azolla (photo originale)

14. Traitement effectué (azolla fermentée)

Tableau 06: traitements d'azolla fermentés

Traitement	Composant	Procédure
T1	6ml de liquide fermenté + irrigation	Irrigation au niveau du collet de plante+ répète le traitement chaque semaine pendant 3 semaines
T2	6ml de liquide fermenté + irrigation	Irrigation au niveau du collet de plante+ répète le traitement chaque semaine pendant 3 semaines
T3	6 ml de liquide fermenté + irrigation	Irrigation au niveau du collet de plante+ répète le traitement chaque semaine pendant 3 semaines

15. Témoin positif (NPK)

La préparation du traitement NPK (15-15-15) est cruciale pour assurer une croissance optimale des plantes. Le NPK est un engrais contenant ces trois nutriments essentiels, chacun ayant un rôle spécifique dans le développement des végétaux :

1. **Azote (N)** : Stimule la croissance des feuilles et des tiges.
2. **Phosphore (P)** : Favorise le développement des racines et la floraison.
3. **Potassium (K)** : Renforce la résistance aux maladies et améliore la qualité des fruits.

Traitement effectué

Tableau 07: traitements NPK

Traitement	Dilution	Composant	Procédure
T1	25%	25g (NPK)+ irrigation	Au niveau du col de plant et bien, couvre
T2	25%	50g (NPK)+ irrigation	Au niveau du col de plant bien, couvre
T3	25%	75g (NPK)+ irrigation	Au niveau du col de plant et bien, couvre

Analyses statistiques : L'analyse statistique de l'étude a été réalisée en utilisant le logiciel Statbox, permettant une évaluation rigoureuse des données collectées. Le test de Newman et Keuls a été appliqué pour effectuer des comparaisons multiples des moyennes, ce qui permet d'identifier les différences significatives entre les traitements à un seuil de probabilité de $p \leq 0,05$. L'expérimentation a été mise en place selon un dispositif en blocs aléatoires complets, garantissant ainsi une minimisation de la variabilité expérimentale et une meilleure précision des résultats. Cette méthodologie statistique robuste a permis d'assurer la fiabilité et la validité des conclusions tirées de l'étude, en respectant les exigences d'une analyse scientifique rigoureuse.

Résultats et discussions

Longueur de tige

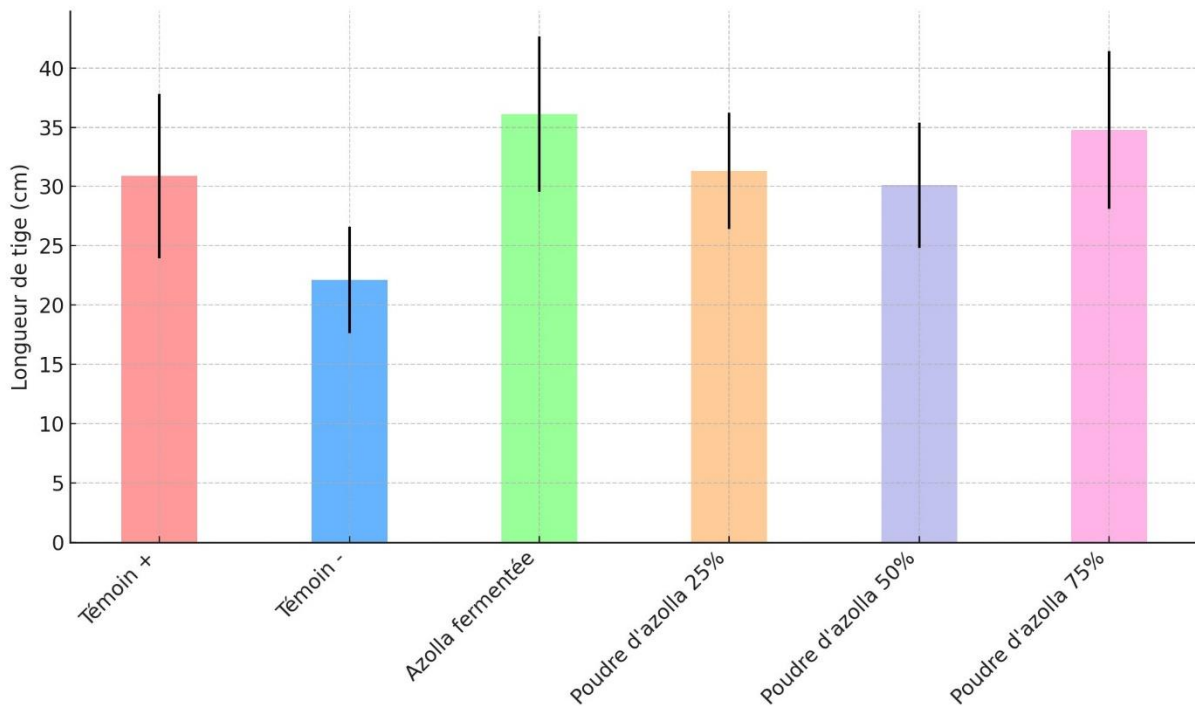


Figure 36 : Valeurs moyennes de longueur de tige en fonction des traitements

L'étude présentée montre les effets de l'ajout d'Azolla sous différentes formes (fermentée et en poudre à des doses de 25 g, 50 g, et 75 g), ainsi que deux témoins (Témoin + avec NPK à 25 g et Témoin - sans apport) sur la longueur des tiges d'aubergines. Les résultats révèlent une variation significative dans la croissance des tiges en fonction des traitements appliqués, avec des moyennes allant de 22,11 cm pour le Témoin - à 36,11 cm pour l'Azolla fermentée. Ces observations montrent clairement que l'ajout d'Azolla, sous ses différentes formes, favorise la croissance des plantes comparé à l'absence de fertilisation.

Le Témoin +, qui représente l'apport classique de NPK, a montré une longueur moyenne de tige de 30,89 cm avec un écart-type de 6,936, confirmant l'effet bénéfique de la fertilisation chimique sur la croissance des plantes. À l'inverse, le Témoin -, sans apport, a produit les tiges les plus courtes avec une moyenne de 22,11 cm et un écart-type de 4,485, soulignant l'importance des apports nutritifs pour le développement végétal. Parmi les traitements, l'Azolla fermentée a montré la longueur moyenne de tige la plus élevée (36,11 cm), avec un écart-type de 6,547, suggérant que la fermentation améliore la disponibilité des nutriments pour la plante, favorisant ainsi une croissance optimale.

Les traitements avec Azolla en poudre ont également montré des résultats prometteurs, avec une augmentation de la longueur des tiges en fonction de la dose appliquée : 31,33 cm pour 25 g, 30,11 cm pour 50 g, et 34,78 cm pour 75 g. Ces résultats indiquent que l'Azolla en poudre, particulièrement à haute dose, peut rivaliser avec l'Azolla fermentée en termes d'efficacité. L'Azolla en poudre à 75 g se distingue par des performances comparables à celles de l'Azolla fermentée, suggérant que l'Azolla en poudre à haute dose peut remplacer ou compléter efficacement les fertilisants chimiques comme le NPK.

La comparaison entre les différents traitements révèle que l'Azolla fermentée et l'Azolla en poudre à 75 g surpassent le Témoin + en termes de croissance des tiges, tandis que le Témoin - présente un écart significatif par rapport aux autres groupes. L'ajout de NPK dans le Témoin + favorise la croissance, mais il semble que l'Azolla fermentée, avec ses propriétés biologiques uniques, et l'Azolla en poudre à haute dose, apportent des avantages supplémentaires pour la croissance des tiges.

Nombre de feuille

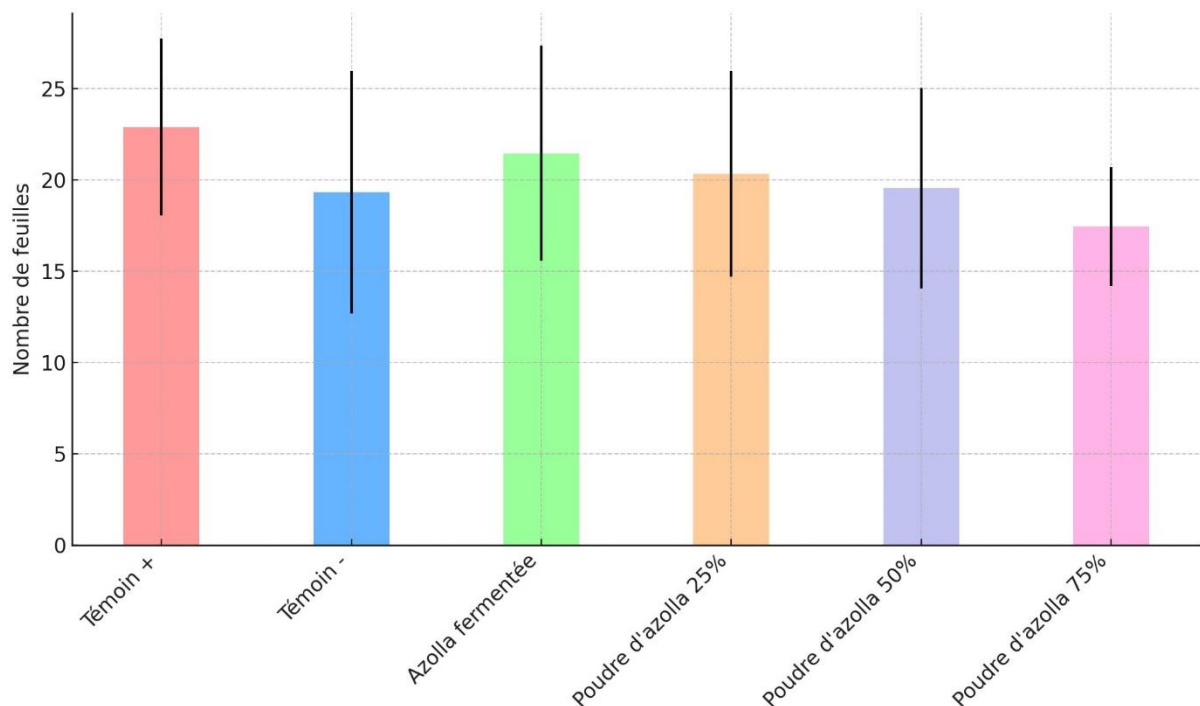


Figure 37 : Valeurs moyennes du nombre de feuille en fonction des traitements

L'étude présentée ci-dessus examine les effets de différents traitements à base d'Azolla (fermentée et en poudre aux doses de 25 g, 50 g, et 75 g) et de témoins (Témoin + avec NPK

Résultats et discussions

et Témoin - sans apport) sur le nombre de feuilles des plants d'aubergine. Les moyennes des résultats obtenus varient de 17,44 feuilles pour l'Azolla en poudre à 75 g à 22,89 feuilles pour le Témoin + (NPK), indiquant des différences notables dans l'efficacité des traitements.

Le Témoin + a montré la plus grande moyenne (22,89 feuilles) avec un écart-type de 4,851, confirmant que l'apport de NPK reste un stimulant efficace de la croissance foliaire. À l'inverse, le Témoin -, sans apport, a montré une baisse de performance avec une moyenne de 19,33 feuilles, indiquant que l'absence de fertilisation limite la production de feuilles.

Les résultats obtenus avec l'Azolla fermentée montrent une moyenne de 21,44 feuilles avec un écart-type de 5,897, ce qui suggère que la fermentation de l'Azolla fournit un apport en nutriments favorable au développement du feuillage, bien qu'un peu moins efficace que le Témoin +.

Concernant les différents dosages de l'Azolla en poudre, les résultats varient en fonction de la quantité appliquée. L'Azolla en poudre à 25 g a permis d'obtenir une moyenne de 20,33 feuilles, légèrement inférieure à celle de l'Azolla fermentée, tandis que les doses de 50 g et 75 g ont montré une baisse progressive du nombre de feuilles (respectivement 19,56 et 17,44 feuilles). Ces résultats suggèrent qu'il existe une dose optimale d'Azolla en poudre pour favoriser la croissance foliaire, et que des doses plus élevées n'apportent pas nécessairement des bénéfices supplémentaires, voire peuvent être moins efficaces.

La comparaison entre les traitements révèle que le Témoin + et l'Azolla fermentée offrent les meilleurs résultats en termes de nombre de feuilles, tandis que l'Azolla en poudre à 75 g semble avoir un effet inhibiteur, produisant moins de feuilles que les autres traitements.

Nombre des fleurs

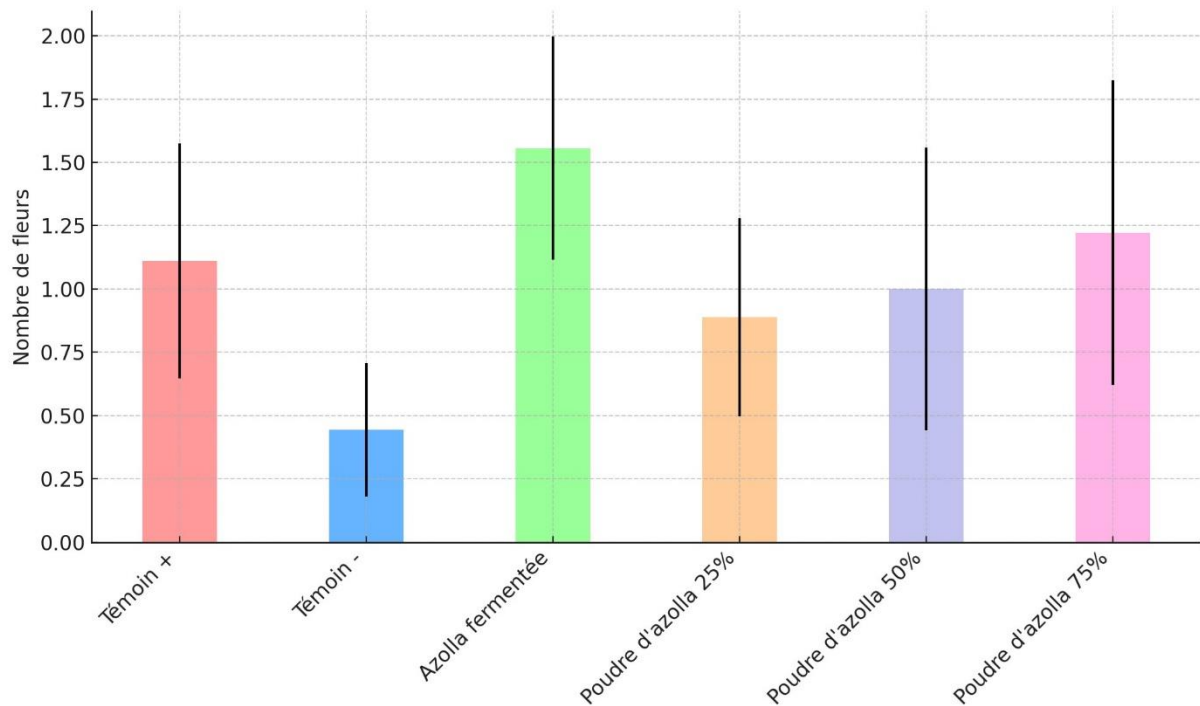


Figure 38: Valeurs moyennes du nombre de fleurs en fonction des traitements

L'étude porte sur l'effet de différents traitements à base d'Azolla (fermentée, en poudre à des doses de 25 g, 50 g, et 75 g) et de témoins (Témoin + avec NPK et Témoin - sans apport) sur le nombre de fleurs produites par les plants d'aubergine. Les résultats montrent des variations importantes selon les traitements, avec des moyennes de fleurs allant de 0,44 pour le Témoin - à 1,56 pour l'Azolla fermentée.

Le **Témoin +** présente une moyenne de 1,11 fleurs par plant avec un écart-type de 0,928. Ce résultat montre que l'apport de NPK stimule la floraison, bien que l'Azolla fermentée semble plus efficace. Le **Témoin -**, quant à lui, avec une moyenne de 0,44 fleur et un écart-type de 0,527, illustre la faible productivité en l'absence de fertilisation.

L'**Azolla fermentée** a montré la plus grande moyenne de fleurs (1,56 fleurs par plant) avec un écart-type de 0,882, démontrant ainsi une efficacité significative pour favoriser la floraison. Ce traitement semble améliorer la disponibilité des nutriments, favorisant ainsi la production de fleurs.

Concernant l'**Azolla en poudre**, les résultats varient en fonction de la dose appliquée. À 25 g, la moyenne est de 0,89 fleur par plant, à 50 g, elle est de 1 fleur, et à 75 g, elle monte à 1,22 fleurs par plant. Ces résultats suggèrent que l'augmentation de la dose d'Azolla en poudre entraîne une amélioration progressive de la floraison, bien que les écarts-types relativement élevés (entre 0,782 et 1,202) montrent une certaine variabilité.

Nombre de fruit

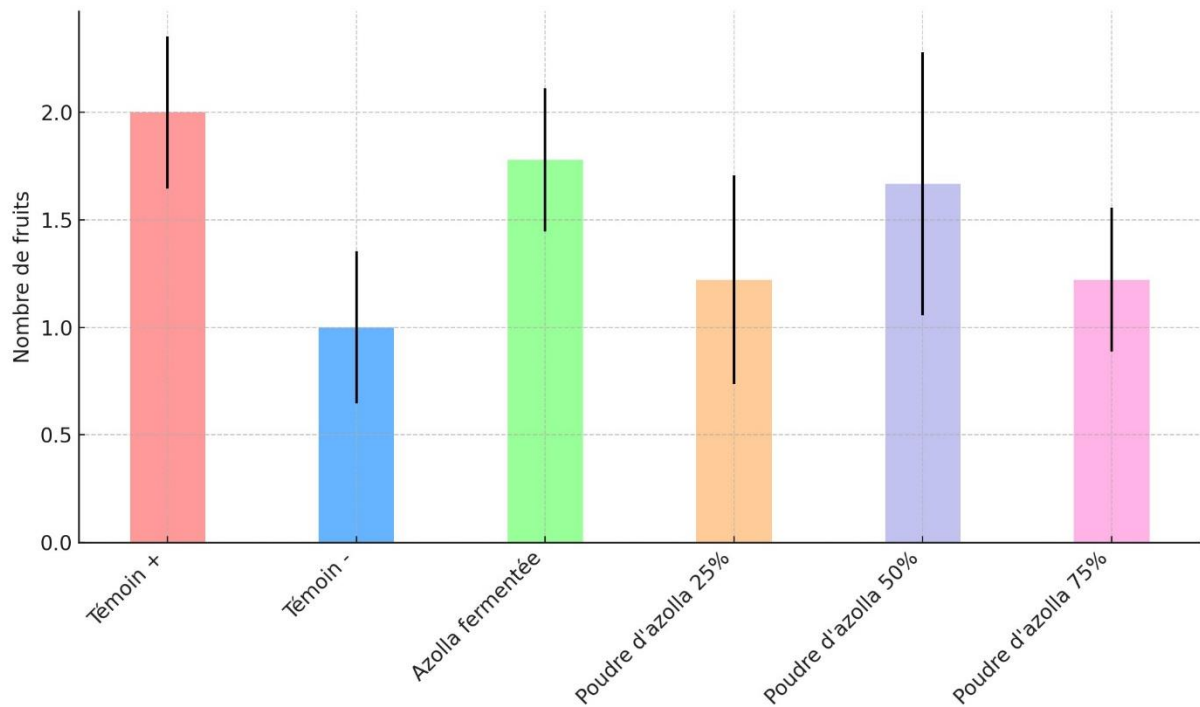


Figure 39: Valeurs moyennes du nombre de fruit en fonction des traitements

L'étude porte sur l'effet des différents traitements à base d'Azolla (fermentée et en poudre à des doses de 25 g, 50 g, et 75 g), ainsi que de témoins (Témoin + avec NPK et Témoin - sans apport) sur le nombre de fruits produits par les plants d'aubergine. Les résultats montrent une variation importante dans la production de fruits selon les traitements, avec des moyennes allant de 1 fruit pour le Témoin - à 2 fruits pour le Témoin +.

Le **Témoin +** a la plus grande moyenne avec 2 fruits par plant et un écart-type de 0,707, confirmant que l'apport de NPK favorise une production maximale de fruits dans les conditions de cette étude. En revanche, le **Témoin -** montre une production réduite avec seulement 1 fruit par plant en moyenne, ce qui souligne l'importance des apports en nutriments pour soutenir la fructification.

L'**Azolla fermentée** se distingue par une moyenne de 1,778 fruits par plant avec un écart-type de 0,667, ce qui la rend presque aussi efficace que le Témoin +, tout en offrant une alternative organique intéressante.

Les traitements avec l'**Azolla en poudre** révèlent une production de fruits qui varie selon la dose appliquée. La dose de 25 g a permis d'obtenir en moyenne 1,222 fruits par plant avec un écart-type de 0,972, tandis que la dose de 50 g a généré 1,667 fruits avec un écart-type de 1,225, et la dose de 75 g a donné 1,222 fruits avec un écart-type de 0,667. Ces résultats montrent que l'augmentation de la dose d'Azolla en poudre peut améliorer la production de fruits, mais avec une variabilité plus importante.

Espace foliaire

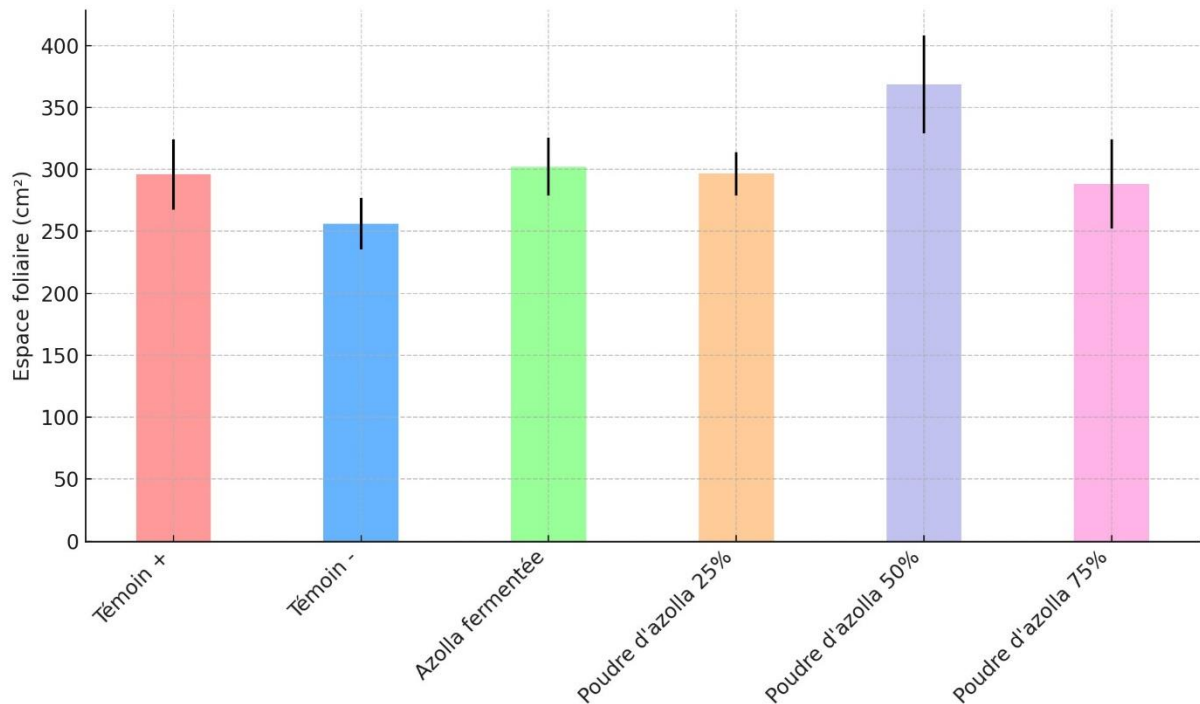


Figure 40: Valeurs moyennes du espace foliaire en fonction des traitements

L'étude suivante examine l'effet des différents traitements à base d'Azolla (fermentée et en poudre à des doses de 25 g, 50 g, et 75 g), ainsi que de témoins (Témoin + avec NPK et Témoin - sans apport) sur l'espace foliaire des plants d'aubergine, exprimé en cm². Les résultats révèlent une variabilité selon les traitements, avec des moyennes allant de 256,156 cm² pour le Témoin - à 368,631 cm² pour l'Azolla en poudre à 50 g.

Résultats et discussions

Le **Témoin +** présente une moyenne d'espace foliaire de 295,889 cm² avec un écart-type de 56,813, montrant l'effet positif du NPK sur la surface des feuilles. En revanche, le **Témoin -** (256,156 cm² avec un écart-type de 41,509) a l'espace foliaire le plus réduit, soulignant l'importance des apports nutritifs pour le développement foliaire.

L'**Azolla fermentée** présente la deuxième plus grande surface foliaire (302,163 cm²) avec un écart-type de 47,05, ce qui montre son efficacité dans l'amélioration de la surface foliaire, surpassant même le Témoin +.

Les résultats pour l'**Azolla en poudre** varient selon les doses. La dose de 25 g permet d'obtenir une moyenne de 296,512 cm² avec un écart-type de 35,215. La dose de 50 g donne les meilleurs résultats avec une moyenne de 368,631 cm², bien que l'écart-type soit assez élevé (78,836). À 75 g, l'espace foliaire est plus faible (288,218 cm²) avec un écart-type de 72,446, suggérant qu'une dose trop élevée pourrait avoir un effet moins bénéfique sur la surface des feuilles.

Poids de l'aubergine

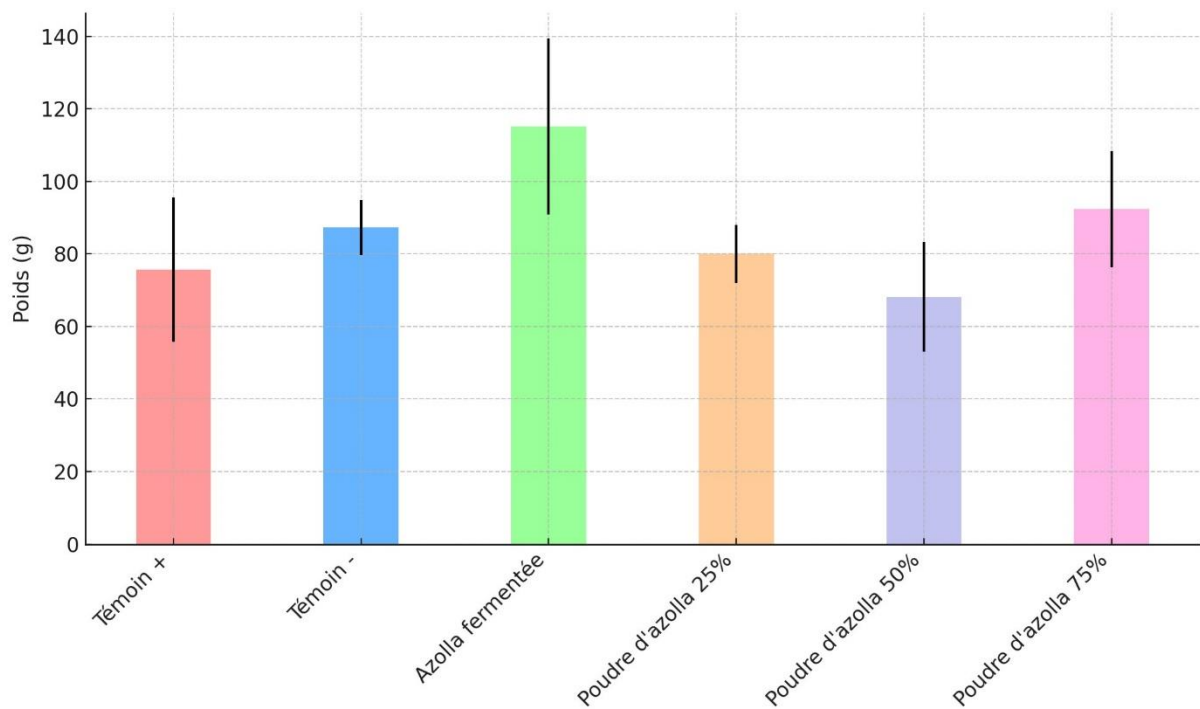


Figure 41: Valeurs moyennes du poids en fonction des traitements

L'étude suivante examine l'effet des différents traitements à base d'*Azolla* (fermentée et en poudre à des doses de 25 g, 50 g, et 75 g), ainsi que de témoins (Témoin + avec NPK et

Témoin - sans apport) sur le poids des plants d'aubergine. Les résultats montrent une variabilité selon les traitements, avec des moyennes allant de 68,111 g pour l'Azolla en poudre à 50 g à 115,111 g pour l'Azolla fermentée.

Le **Témoin +** présente une moyenne de poids de 75,667 g avec un écart-type de 39,711, ce qui montre un effet modéré du NPK sur le poids des plants. Le **Témoin -** présente une moyenne légèrement plus élevée de 87,333 g, avec un écart-type de 15,256, suggérant une performance légèrement meilleure en l'absence d'ajout.

L'**Azolla fermentée** présente la plus grande moyenne de poids (115,111 g) avec un écart-type de 48,535, ce qui montre son efficacité pour augmenter le poids des plants d'aubergine.

Les résultats pour l'**Azolla en poudre** révèlent des tendances variables selon la dose appliquée. La dose de 25 g permet d'obtenir une moyenne de 80 g avec un écart-type de 16,125, tandis que la dose de 50 g entraîne une diminution du poids à 68,111 g avec un écart-type de 30,238. La dose de 75 g améliore la situation avec un poids moyen de 92,333 g et un écart-type de 32,059. Ces résultats montrent que la dose optimale d'Azolla en poudre semble se situer autour de 75 g.

Discussion

La présente étude a examiné les effets de l'utilisation de l'Azolla sous différentes formes (fermentée et en poudre à divers dosages) sur plusieurs paramètres de croissance des plants d'aubergine, tels que la longueur des tiges, le nombre de feuilles, le nombre de fleurs, le poids des fruits, et l'espace foliaire. Ces résultats s'alignent et enrichissent les travaux existants sur l'utilisation de l'Azolla en tant que biofertilisant, tout en offrant des perspectives supplémentaires sur son application pour des cultures au-delà du riz.

L'Azolla fermentée a montré une performance remarquable dans presque tous les paramètres étudiés, surpassant même les résultats obtenus avec l'apport de fertilisants minéraux (Témoin + avec NPK). Par exemple, en ce qui concerne le poids des plants, l'Azolla fermentée a permis d'atteindre une moyenne de 115,111 g, soit la valeur la plus élevée parmi tous les traitements. Cela peut être attribué à la fermentation, qui améliore la biodisponibilité des nutriments essentiels, ce qui correspond aux résultats observés dans d'autres études sur l'Azolla utilisée comme biofertilisant.

En effet, Thapa et Poudel (2021) soulignent que l'*Azolla* a un fort potentiel en tant que biofertilisant en raison de sa capacité à fixer l'azote atmosphérique et à améliorer la fertilité du sol. Cette amélioration de la fertilité pourrait expliquer la hausse significative du poids et de l'espace foliaire observée dans notre étude. D'un autre côté, les performances plus faibles des doses élevées d'*Azolla* en poudre (50 g et 75 g) suggèrent qu'une concentration trop élevée peut entraîner une diminution des bénéfices. Cette observation rejoint les conclusions de Yao et al. (2018), qui ont démontré que l'*Azolla* peut améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote dans les systèmes agricoles intensifs, mais que son efficacité dépend de la dose et de la gestion des nutriments.

L'utilisation de l'*Azolla* fermentée a également montré des avantages comparables, voire supérieurs, à l'utilisation de fertilisants minéraux. Par exemple, en termes de nombre de fleurs et de fruits, l'*Azolla* fermentée s'est montrée plus performante que le Témoin + (NPK). Cela est conforme aux résultats de Hanafy et El-Emary (2018), qui ont démontré que l'extrait biofertilisant d'*Azolla pinnata* pouvait augmenter la productivité des tomates et améliorer la santé des plantes en réduisant les maladies. Les résultats de cette étude montrent donc que l'*Azolla* peut offrir une alternative viable aux fertilisants minéraux traditionnels, tout en étant plus respectueuse de l'environnement.

En parallèle, Prabakaran et al. (2022) ont mis en lumière les nombreux bénéfices environnementaux de l'*Azolla*, notamment son rôle dans la bioremédiation et la fertilisation des sols. L'*Azolla*, grâce à sa capacité à fixer l'azote, peut non seulement améliorer la croissance des plantes, mais aussi aider à la régénération des sols appauvris. Cette propriété pourrait expliquer pourquoi l'*Azolla* fermentée a montré une augmentation notable de la surface foliaire, ainsi qu'une augmentation du nombre de fruits et de feuilles dans notre étude.

Cependant, comme le souligne Handajani (2011), l'optimisation des niveaux de nutriments tels que l'azote et le phosphore est essentielle pour maximiser les avantages de l'*Azolla* en tant que biofertilisant. Notre étude montre que la dose d'*Azolla* en poudre nécessite une optimisation précise pour éviter des rendements décroissants, comme observé avec les doses élevées (75 g), qui ont parfois montré des résultats inférieurs à des doses plus faibles (25 g ou 50 g). L'optimisation des apports en *Azolla* pourrait donc être un levier pour améliorer l'efficacité de l'*Azolla* dans diverses cultures.

Globalement, les résultats de cette étude confirment que l'*Azolla*, particulièrement sous sa forme fermentée, peut être un excellent biofertilisant pour stimuler la croissance des plants d'aubergine, améliorer la production de fruits, et accroître la surface foliaire. Elle se présente également comme une alternative viable et durable aux fertilisants minéraux traditionnels, tout en offrant des avantages environnementaux. Ces résultats sont soutenus par des études antérieures sur l'*Azolla*, qui ont démontré son potentiel en tant que biofertilisant, ainsi que ses bénéfices pour la régénération des sols et la réduction des apports en nutriments minéraux (Thapa & Poudel, 2021; Yao et al., 2018; Prabakaran et al., 2022; Hanafy & El-Emary, 2018; Handajani, 2011). Des recherches futures devraient se concentrer sur l'optimisation des doses et la gestion de l'*Azolla* dans différents types de cultures.

conclusion

Conclusion

Notre étude a mis en évidence l'efficacité de l'*Azolla* en tant qu'amendement organique pour améliorer la croissance des plants d'aubergine. Les résultats obtenus démontrent que l'incorporation de l'*Azolla* contribue significativement à l'enrichissement de la fertilité du sol, ce qui se traduit par une amélioration notable des paramètres de croissance des aubergines, tels que la hauteur des plants, le nombre de feuilles, et le poids des fruits. Ces effets positifs s'expliquent par la capacité de l'*Azolla* à fixer l'azote atmosphérique, à enrichir le sol en matière organique, et à améliorer la disponibilité des nutriments essentiels.

Notre travail suggère que l'intégration de l'*Azolla* dans les pratiques culturales des aubergines est une approche durable, écologique, et potentiellement rentable, qui peut jouer un rôle clé dans le développement d'une agriculture plus résiliente face aux défis environnementaux et aux contraintes d'utilisation des engrais chimiques. L'adoption de l'*Azolla* comme fertilisant organique offre une alternative prometteuse qui pourrait non seulement améliorer la productivité des cultures, mais également contribuer à la préservation de la santé des sols à long terme.

Toutefois, afin d'optimiser pleinement les avantages de l'*Azolla*, il est impératif de poursuivre les recherches pour approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents à son action et d'explorer les conditions d'application optimales en fonction des différentes variétés d'aubergine et des types de sols. De plus, l'évaluation des effets de l'*Azolla* à plus grande échelle et sur d'autres cultures pourrait renforcer son potentiel en tant qu'amendement organique. En somme, cette étude souligne la nécessité d'encourager l'adoption de pratiques agroécologiques qui favorisent la durabilité des systèmes de culture tout en assurant des rendements satisfaisants et une meilleure rentabilité pour les agriculteurs, tout en répondant aux enjeux de la durabilité environnementale et de la sécurité alimentaire.

Références bibliographiques

Amroune N. 2020. Alimentation du lapin : Valorisation de l'Azolla dans l'alimentation des lapins étude bibliographique. Mémoire de master. Université Akli Mohand Oulhadj.

Assisted and Amendment-Enhanced Sustainable Remediation Technology. First Edition. ED John Wiley & Sons Ltd. 517-532pp

Aubert, C., Desbrosses, P. (2013). Le Potager Fait de la Résistance. Actes Sud.

Afnor, 1985 BENCHIKH Khamza, G. N. (2021). *Etude de quelques paramètres physico-chimiques de la viande agneau* (Doctoral dissertation).

Boizot N. Charpentier J-P. 2006 Giordanengo, T., Charpentier, J. P., Boizot, N., Roussel, S., Roger, J. M., Chaix, G., ... & Mourey, N. (2009). Oakscan: procédé de mesure rapide et non destructif des polyphénols du bois de chêne de tonnellerie. *Revue Française d'œnologie*, (234), p-10

Belhacini Fatima., (2011). Contribution à une étude floristique et

biogéographique des matorrals du versant sud de la région de Tlemcen », En vue

de l'obtention du Diplôme de Magistère, UNIVERSITE ABOU BAKR

Becking J.H. Environmental requirements of Azolla for use in tropical rice production, Nitrogen and rice symposium proceedings. (1979). 345-373.

Baker, D. D. (1982). Azolla filiculoides Lam. (Azollaceae) in Africa, south of the Sahara: A threat to freshwater resources. *South African Journal of Science*, 78(4), 162-164.

BENTAMRA, A. (2017). *Etude de l'effet de la salinité sur la germination de l'aubergine (Solanum melongena L.)* (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).

Chander H., Kumar G. A Study on the Potential of Azolla pinnata as Livestock Feed Supplement for Climate Change Adaptation and Mitigation. 2017

Chamayou et Legros., (1989), Melle Bounedjoum Aldja. (2016).

Diomande M., Grogga N. & Kouame K.B. (2017). Effet des filtrats de fiente de poulet et bouede vache sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de farine d'algues vertes (*Azolla filiculoidales* et *Azolla caroliniana*). *International Journal of Scientific & Engineering Research*,

Dommergues Y.R., Diem H.G. *Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity*. *Developments in plant and soil science*. (1982)

Drouineau, 1942. AICHA, A. (2021). *Effet de la salinité des carbonates et bicarbonates sur la variation du stock organique du sol* (Doctoral dissertation, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie).

Edbo, M. S. (2021). Effets des amendements organiques sur les traits fonctionnels de l'aubergine douce (*Solanum melongena* L.) Haute Casamance, Sénégal.

El Massassi, A., & Salama, V. (2019). Des stars au garde-à-vous: la pop arabe, écho des raidissements politiques et sociétaux. *Maghreb-Machrek*

FEEDIPEDIA. (2019). Récupéré sur <https://www.feedipedia.org/node/565>. • fertilisatrice d'Azote (N₂).

FAO. (2017). Eggplant: Production, Importance, and Marketing in the Asia-Pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2021). Eggplant (*Solanum melongena*)

Fenibo, E. O., Ijoma, G. N., & Matambo, T. (2022). Biopesticides in sustainable agriculture: Current status and future prospects. *New and future development in biopesticide research: biotechnological exploration*

Hezakiel, H. E., Thampi, M., Rebello, S., & Sheikhmoideen, J. M. (2023). Biopesticides: a green approach towards agricultural pests. *Applied biochemistry and biotechnology*,

Im K, Lee JY, Byeon H, Hwang KW, Kang W, Whang WK, Min H, (2016): In Vitro antioxidative and anti-inflammatory activities of the ethanol extract of eggplant (*Solanum melongena*) stalks in macrophage RAW 264.7 cells. *Food Agr Immunol.*, 27: 758-771.

Johansson, M., &Lantto, R. (2006). Efficiency of phosphorus removal from wastewater using the water fern Azolla. *Water Research*,

Lumpkin, T. A., &Plucknett, D. L. (1980). Azolla: Botany, physiology, and use as a green manure. *Economic Botany*, 34(2), 111-153.

LIFA, N., GHENAIM, M., & BELAROUSSI, M. E. H. *Etude de la résistance variétale de deux variétés d'aubergine cultivés sous serre vis-à-vis des aleurodes dans la région de Ouargla* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).

Mathieu et al., 2003 LANOUAR, H. (2023). Caractérisation physico-chimique du sol entourant la zone humide du lac El-Maleh (Wilaya d'El-Menia).

Moussaoui, 2016. BENAICHA, C., & YAHIAOUI, K. (2022). Analyse physico-chimique du sol d'une plante médicinale: Daphne gnidium L au niveau de la région de Ain Temouchent.

MOUSSAOUI, D. E. (2016). *Contribution à l'étude morphométrique de Leucaena leucocephala (Lam.) dans la région d'Adrar* (Doctoral dissertation).

.

(Miliauskaset al., 2004) Mahboub, N., Slimani, N., & KHELIL, A. (2022). Effet Des Différents Modes De Séchage Sur Le Contenu Phénolique Et Biologique D'une Plante Spontanée A Caractère Médicinale Du Sahara Septentrional Algérien. *Revue des bioressources*, 12(1), 36-51

Nurhidayati, T., Hariyadi, T., &Safitri, R. (2020). Effect of Azolla pinnata Biofertilizer Application on Growth and Yield of Mustard (Brassica juncea L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 423(1), 012026.

Nollet, L. M., & Mir, S. (Eds.). (2023). *Biopesticides handbook*. CRC Press.

Prohens J, Whitaker BD, Plazas M, Vilanova S, Hurtado M, Blasco M, Gramazio P, Stommel JR,(2013).Genetic diversity in morphological characters and phenolic acids content resulting

from an interspecific cross between eggplant, *Solanum melongena*, and its wild ancestor (*S. incanum*). *Ann Appl Biol.*, 162: 242-257.

Russ Kleinman & Danielle Walkup, Burro Mtns., Pancho Canyon, July 17, 2008. *Azolla mexicana*, photo :Vascular Plants of the Gila Wilderness Presented in Association with the Western New Mexico University Department of Natural Sciences *Azolla mexicana* Schlechtendal & Chamisso ex K. Presl

Reynouda P.A., Franche C. 1985. *Azolla Pinnata* Var. *Pinnata*, Dakar: ORSTOM. 15p

Rahagarison. 2005. Etude bibliographique de l'Azolla ou la « ramilamina » plante

Rasoloarivony R. 2003. Contribution a l'étude de l'influence des conditions climatiques sur la sporulation d'azolla, en pépinière, dans la région d'Antananarivo. Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat de troisième cycle option : physiologie végétale. 173p.

Rajesh S. Production of Azolla as livestock feed supplement in India. Pashudhan prepare

Saurav Saha (2022). Implications and future prospects of Azolla as a low – cost organic input in agriculture

Sebastian A., Deepa P. and Narasimha Vara P.M. 2021. Azolla Farming for Sustainable Environmental Remediation. In : Narasimha Vara Prasad M. Handbook of 5. 329p.

Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., ... & Thukral, A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1, 1-16.

Sood, P. (2024). Pesticides Usage and Its Toxic Effects—A Review. *Indian Journal of Entomology*, 339-347.

Soltner., (1988). Les grandes productions végétales. Les collections sciences et SOTO G., (1997). *Atriplex nummularia*, espèce pionnière contre la désertification. FAO. XI Thèse de doctorat, Université Layon, 140 P. Thèse Doctorat. Université Sc. Tech. De Languedoc

Montpellier, OPU, Alger, 1984. 177 p. Travaux et document. OST ROM. N° 116. Paris. 555 P.

Triest, L., &Stiers, I. (2013). Azolla pinnata as a biofertilizer for wetland rice. International Journal of Environmental Studies, 70(6), 962-971.

Van Hove C. Azolla et ses emplois multiples (publié à la demande de la FAQ) SaintEtienne, Biologique, E, Oleffe, 1989, 52 p.

Van Hove C., 1989. Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa. FAO, Rome,FAO. 53p

Van Hove C., 1989. Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa. FAO, Rome,FAO. 53p

Wahab, A. A., Al-Mehdawi, B. F., Al-Kazaz, M. S., Al-Naseri, A. M. (2019). Review on Solanum melongena L.(Eggplant). World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 8(6), 85-98.

Web master 1 : [.https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompndium.8119](https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompndium.8119)

Web master 02 : <http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rapp>