

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Salhi Ahmed -Naâma-
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'étude

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Domaine : Sciences de la Nature et
de la Vie**

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Agro-pastoralisme

Thème :

**Effet des Fertilisants Solubles NPK Sur La Croissance, Multiplication et
la Teneur en Chlorophylle d'*azolla Caroliniana* Willd**

Présenté par :

M^{lle} ARBAOUI Djamila

M^{lle} AMARI Zahra

Soutenu publiquement le : 08/09 /2020

Devant le jury :

President:	M. Kebdani Mohammed	M.C. B
Promoteur :	M. Nouri Tayeb	M.C.B
Examineur:	M. Bouyahia Hadj	M.A.A

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

Tout d'abord nous rendons grâce à Dieu

Tout puissant vers lequel vont tous les louanges, pour nous avoir accordé la volonté, les moyens et le courage afin de Mener à bien ce projet.

C'est un grand plaisir pour nous de remercier toutes les personnes qui ont permis à ce travail d'être ce qu'il est.

*Nous remercions tout d'abord notre encadreur **M^r. Nouri Tayeb** qui, s'est toujours montré à l'écoute tout au long de la réalisation de notre travail, ses conseils avisés, ses critiques*

Constructives. Il a su nous transmettre sa passion pour l'informatique et les réseaux, sans lui ce projet n'aurait jamais vu le jour.

A vrai dire, nous lui sommes profondément reconnaissants et on ne saurait le remercier assez

*Nos chères gratitudes s'adressent à **M^r. Bouyahia Hadj** pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et pour lui' avoir aidé dans notre cheminement académique. Les mots nous manquent pour nous remercier et d'adresser notre entière satisfaction.*

*Nos chères reconnaissances au **Dr KEBDANI Mohammed** de nous avoir fait l'honneur de présider le jury, pour les remarques qu'il nous adressera lors de cette soutenance afin d'améliorer notre travail.*

Sans oublier tous les autres enseignants qui nous ont prodigués leur savoir et leurs expériences.

*Nous exprimons notre gratitude et nos sincères remerciements à L'Ingénieur de laboratoire d'écologie **M^r. Otmani, Abd El-ghani** pour leurs aides.*



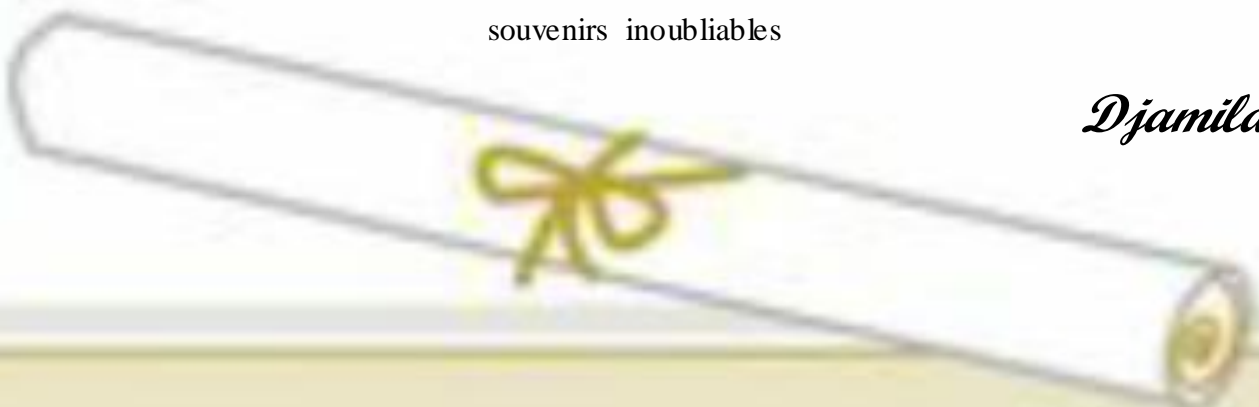
Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire qui est la conséquence de longues années d'études, en premier lieu
à :

- Mon cher **PERE** qui m'a donnée la volonté de réaliser et de finir ce travail.
- Ma très chère **MERE**, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien afin de me voir parvenir à ce que je suis devenue.
- Mes très chères sœurs **HABIBA, HANAN, MERIEM** et **RIHAB**.
- Mes très chers frères **MOUSTAPHA, ARBI** et **ABED RAHIM**
- Mon encadreur **Mr NOURI TAYEB** pour son aide précieuse pour nous et les conseils utiles illimités qu'il nous a donnés pour la réalisation de ce travail.
 - Tous **MES PROFESSEURS** durant tous mes études
- Ma très chère copine **ZAHRA** qui avait été comme une deuxième moitié de moi-même.

Je dédie également ce travail à tous mes amies et amis avec lequel je partage tous les souvenirs inoubliables

Djamila





Dédicace

Je dédie ce travail

A mes chers parents : Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour mon instruction et mon bien être.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de leurs vœux tant formulés, le fruit de leur innombrables sacrifices, bien que je ne m'en acquitterai jamais assez.

A mes chères sœurs et mes frères que j'aime plus que tout. En témoignage de mon affection fraternelle et de ma profonde tendresse.

A toute ma famille, mes oncles, tantes, cousins et cousines.

A mes ami(e)s : « Zakaria » et « Rafik »

A mon professeur Mr Nouri -T et mes enseignants qui ont toujours été là pour nous seconder, nous orienter Et une grande part de ce labeur a été le fruit de leurs professionnalismes.

Zahra



Effet des Fertilisants Solubles NPK sur la Croissance, Multiplication et la Teneur en Chlorophylle d'*Azolla Caroliniana* Willd

Résumé

L'*azolla* est une fougère aquatique, qui pousse rapidement à la surface de l'eau. Ce qui promet de fournir une alimentation durable aux bétail, poissons et à la volaille, car il contient d'une quantité importante de protéines, d'acides aminés et de vitamines. En outre, il peut également être utilisé en agriculture comme biofertilisant. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de différentes unités fertilisantes de NPK solubles plus oligo-éléments (0-0-0 ; 15-15-15 et 20-20-20) sur la biomasse, taux de croissance relative (RGR), temps de doublement (TD) et la teneur en chlorophylle dans les feuilles d'*Azolla caroliniana* willd dans des conditions contrôlées. L'essai a été réalisé dans une serre automatisée. L'*azolla* a été cultivé dans des cuves de 0,016 m³ dans différentes solutions de culture, le témoin ne constitue uniquement de l'eau, le deuxième lot contient une solution enrichie en NPK 15-15-15 plus oligo-éléments (FU15) et le dernier lot constitue un mélange d'eau plus NPK 20-20- 20 (FU20). Tous ces lots sont répartis en quatre répétitions. Les résultats obtenus montrent que la biomasse, l'indice de croissance, ainsi que la teneur en chlorophylle d'*Azolla caroliniana* Willd, étaient importants dans la solution de culture enrichie par NPK 15-15-15 (FU15) par rapport à celle trouvée dans le milieu eau pure et NPK 20-20- 20 (FU20). Cependant, le temps de doublement était élevé chez les sujets cultivée dans la solution qui ne reçoit aucun traitement de NPK.

Mots clés : *Azolla caroliniana* willd, NPK, Biomasse, Chlorophylle, Temps de doublement, RGR.

Effect of NPK Soluble Fertilizers on Growth, Multiplication and Chlorophyll Content of *Azolla Caroliniana* Willd

Abstract

Azolla is an aquatic fern. Which promises to provide sustainable feed for livestock, fish and poultry, as it contains huge amounts of protein, amino acids and vitamins. In addition, it can also be used in agriculture as a biofertilizer. The objective of this work is to study the effect of different fertilizing units of NPK plus trace elements (0-0-0; 15-15-15 and 20-20-20) on biomass, relative growth rate (RGR), doubling time and chlorophyll content of *Azolla caroliniana* willd under controlled conditions. The test was performed in an automated greenhouse. The azolla was cultivated in tanks of 0.016 m³ in different culture solutions, the control constitutes only water, the second batch contains a solution enriched in NPK 15-15-15 plus trace elements and the last batch constitutes a mixture of water plus NPK 20-20-20 plus trace elements. All these lots are divided into four slide repeats. The results obtained show that the biomass, the growth index, as well as the chlorophyll content of *Azolla caroliniana*, were important in the culture solution enriched in NPK 15-15-15 compared to that found in the pure water medium. and NPK 20-20-20. On the other hand, doubling time increases in *Azolla caroliniana* with water solution.

Keys words: *Azolla caroliniana* willd, NPK, chlorophyll, biomass, doubling time, RGR.

تأثير الأسمدة القابلة للذوبان NPK على نمو وتكاثر ومحتوى الكلوروفيل عند نبات الأزولا

كارولينيانا

ملخص

الأزولا هو سرخس مائي يتميز بنمو سريع على سطح الماء. والذي يعتبر علف مستدام للماشية، الأسماك والدواجن حيث يحتوي على كميات مهمة من البروتين والأحماض الأمينية والفيتامينات. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدامه أيضاً في الزراعة كسماد حيوي. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير وحدات التسميد المختلفة من NPK (0-0-0؛ 15-15-15 و 20-20-20) على الكتلة الحيوية، معدل النمو النسبي (RGR)، مضاعفة الوقت ومحتوى الكلوروفيل عند *Azolla caroliniana willd*. تم إجراء الاختبار في دفيئة آلية تحت ظروف بيئية خاضعة للرقابة. تمت زراعة الأزولا في خزانات سعة 0.016 م³ في محاليل استزراع مختلفة تتكون من ثلاث دفعات، الأولى عبارة عن مجموعة الشواهد والمعالجة بالماء فقط، أما الدفعة الثانية فتحتوي على محلول مدعم بـ NPK 15-15-15 بالإضافة إلى العناصر الصغرى والدفعة الأخيرة خليط من الماء بالإضافة إلى NPK 20-20-20. كل هذه المجموعات مقسمة إلى أربع شرائح مكررة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الكتلة الحيوية، ومعدل النمو النسبي، وكذلك محتوى الكلوروفيل في *Azolla caroliniana willd*، كانت مهمة في محلول الاستزراع المخصب في NPK 15-15-15 مقارنة بتلك الموجودة في وسط الماء فقط و NPK 20-20-20. من ناحية أخرى، لاحظنا تزايد الوقت المضاعف في الأزولا المزروعة في المحلول مائي دون سماد.

الكلمات المفتاحية: الأزولا كارولينيانا، وحدات الاسمدة NPK، كلوروفيل، الكتلة الحيوية، مضاعفة الوقت، معدل النمو النسبي

TABLE DES MATIÈRES

EFFET DES FERTILISANTS SOLUBLES NPK SUR LA CROISSANCE, MULTIPLICATION ET LA TENEUR EN CHLOROPHYLLE D'AZOLLA CARLINIANA WILLD..... I

RÉSUMÉ..... I

EFFECT OF NPK SOLUBLE FERTILIZERS ON GROWTH, MULTIPLICATION AND CHLOROPHYLL CONTENT OF AZOLLA CARLINIANA WILLDII

ABSTRACTII

TABLE DES MATIÈRES IV

LISTE DES TABLEAUX..... VII

LISTE DES FIGURES VIII

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS III

INTRODUCTION GÉNÉRALE..... 1

 PARTIE I..... 1

 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE..... 1

 1. Origine et distribution dans le monde5

 2. Description6

 3. Taxonomie de l'Azolla7

 4. La symbiose d'Azolla..... 8

 5. Composition générale.....9

 6. Écologie et exigences environnementales 10

 7. Conditions écologiques 11

 9. Impacts négatifs de la plante 16

 9.1. Impacts sur la santé humaine 16

IV

Table des matières

10. Maladies et ravageurs d’Azolla	17
11. Multiplication d’Azolla	17
11.1. Multiplication sexuée	18
11.2. Multiplication végétative.....	18
11.3. Propagation par l’homme	19
Chapitre II	20
Aperçu général sur les fertilisant NPK.....	20
La fertilisation.....	21
Les fertilisants.....	21
2.1.Les engrais organiques.....	21
Les engrais Minéraux.....	23
Les différentes catégories des fertilisations.....	24
3.1. L’azote.....	24
3.2. Le phosphore.....	25
3.3. Le potassium.....	28
4. Besoins d’azolla aux fertilisants	29
PARTIE II	30
ETUDE EXPERIMENTALE	30
1. Objectif de l’essai.....	32
2. Matériel végétal.....	32
2.1. Choix de l’espèce végétale	32
3. Lieu de l’essai.....	33
4. Conduite de l’essai	34

Table des matières

4.4. Techniques d'analyse	37
4.4.1. Paramètre biochimique	37
4.4.2. Paramètres morphologiques	37
5. Analyse statistique.....	38
1. Effet des unités fertilisantes NPK sur les paramètres morphologiques	41
DISCUSSION GÉNÉRALE	50
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	52
BIBLIOGRAPHIE	54
ANNEXE	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 -Taxonomie de l'Azolla	7
Tableau 2 : Caractéristiques la serre automatisée du centre universitaire de Nâama	33
Tableau 3 : Moyenne de biomasse de matériel végétal (g) de l'Azolla caroliniana sous Effet des unités fertilisantes NPK.....	43
Tableau 4 : Moyenne de taux de croissance relative (g g-1 j-1) de l'Azolla caroliniana willd sous l' effet des unités fertilisantes NPK.	44
Tableau 5 : Moyenne de Temps de doublement (J) de l'Azolla caroliniana willd sous Effet des unités fertilisantes NPK.....	45
Tableau 6 : Moyenne de Teneur en chlorophylle a de l'Azolla caroliniana Wild ($\mu\text{g/g}$ MF) sous l'effet des unités fertilisantes NPK.....	46
Tableau 7 : Moyenne de Teneur en chlorophylle b de l'Azolla caroliniana Wild ($\mu\text{g/g}$ MF) sous l'effet des unités fertilisantes NPK.....	47
Tableau 8 : Moyenne de la teneur en chlorophylle totale de l'Azolla caroliniana Wild ($\mu\text{g/g}$ /MF) sous l'effet des unités fertilisantes NPK.	48
Tableau 9 : Moyenne de la teneur en eau des feuilles de l'Azolla caroliniana willd sous l'effet des unités fertilisantes NPK	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1- Distribution d'Azolla dans le monde entier.....	5
Figure 2- Les différents organes de l'Azolla.....	6
Figure 3- Morphologie d'une fronde d'Azolla (2-3 cm) et section de la feuille	8
Figure 4- <i>Anabaena azollae</i> en forte densité de hétérocystes	9
Figure 5- Azolla comme biofertilisant des périmètres rizicole	15
Figure 6- Utilisation d'azolla comme ingrédient dans l'alimentation de la volaille.	15
Figure 7- Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'Azolla	18
Figure 8: L'espèce d' <i>Azolla caroliniana</i> Willd.	32
Figure 9: la serre automatisée du centre universitaire de Nâama	33
Figure 10- Préparation de milieu de la culture d' <i>Azolla caroliniana</i>	34
Figure 11- Contrôle de pH de la solution nutritive	35
Figure 12: Présentation de l'essai (Multiplication d'Azolla par l'utilisation des engrais NPK. NPK.....	35
Figure 13- Schéma du dispositif expérimental (Multiplication d'Azolla dans l'eau et par l'utilisation des engrais solubles type NPK).....	36
Figure 14- organigramme du protocole expérimental adopté.	39
Figure 15- Effets de fertilisants NPK 151515 sur la multiplication d' <i>Azolla caroliniana</i>	41
Figure 16- Effets des fertilisants NPK sur la multiplication d' <i>Azolla caroliniana</i>	42
Figure 17- Effet des unités fertilisantes NPK sur la biomasse d' <i>Azolla caroliniana</i>	43
Figure 18: Effet des unités fertilisantes (UF) sur le taux de croissance relative de <i>l'Azolla caroliniana</i> Willd.	44

Liste des figures

Figure 19: Effet des unités fertilisantes (UF) sur le Temps de doublements de <i>Azolla caroliniana</i> Wild.	45
Figure 20: Effet des unités fertilisantes (UF) sur la teneur en chlorophylle a de l' <i>Azolla caroliniana</i> Wild.	46
Figure 21: Effet des unités fertilisantes (UF) sur la teneur en chlorophylle b de l' <i>Azolla caroliniana</i> Wild.	47
Figure 22: Effet des unités fertilisantes (UF) sur la teneur en chlorophylle totale de <i>Azolla caroliniana</i> Wild.	48
Figure 23: Effet des unités fertilisantes NPK sur la Teneur en eau de l' <i>Azolla caroliniana</i> willd.	49

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

%	Pourcentage « pour cent »
°C	Degré Celsius
AA	Acide Aminé
Ca Cl ₂	Chlorure de calcium
Ca(NO ₃) ₂	le Nitrate de Calcium
Ca ²⁺	Calcium
CaCO ₃	Carbonate de calcium
Cl-	Chlorure
Cm	Centimètre
CO	Cobalt
CO ₂	Gaz carbonique
FAO	Food and agriculture organization
FCBN	Fédération des Conservatoires Botaniques Nationaux
Fe	Fer
g/l	gramme par litre
H ₂ CO ₃	L'acide carbonique
H ₂ O	L'eau
HCO ³⁻	Bicarbonate
Ht	Hauteur de tiges
K+	Potassium
K₂SO₄	Sulfate de Potassium
K₂SO₄	Sulfate de Potassium
Kcal/kg	Kilocalorie par Kilogramme
KCl	Chlorure de Potassium
KNO ₃	le Nitrate de Potassium
m	Mètre
m ³	Mètre cube

Mg /l	Milligramme par litre
Mg⁺⁺	Magnésium
MgCl₂	Chlorure de magnésium
MgCO₃	Carbonate de magnésium
MgSO₄	Sulfate de magnésium
Mm	Millimètre
Mn	Manganésien
Mo	Molybdène
N	Azote
N₂	Diazone
Na HCO₃	Bicarbonate de sodium
Na⁺	Sodium
Na₂CO₃	Carbonate de sodium
NaNO₃	le Nitrate de Sodium
NaSO₄	Sulfate de sodium
NO₃⁻	Nitrate
P	Phosphore
P5C	l'acide 5 carboxylique pyrroline
PH	Potentiel de l'hydrogène
PPm	Partie Par Million
SO₄²⁻	Sulfate
SP	Espèce
SPP	Plusieurs espèces
UF	Unité Fertilisante

Introduction générale

Introduction générale

L'Algérie, par la diversité de ses milieux et de ses terroirs, constitue un immense réservoir de plantes diverses en particulier d'intérêt pastoral et fourrager. Depuis des millénaires, la production animale a été associée à toutes les pratiques agricoles constitue un élément déterminant dans l'alimentation du cheptel (**Abdelguerfi, 2008**).

La répartition de l'offre par type de fourrages montre que les apports de la zone semi-aride sont essentiellement issus de la céréaliculture qui fournit 68,69% des apports. La contribution des parcours est marginale. Cette zone se caractérise par une forte concentration du cheptel et une dégradation accrue des parcours dont la contribution alimentaire est marginale (14,68% de l'offre). La charge animale est de l'ordre de 0,15 UGB/ha de SF pour une offre fourragère de 1 535 UF/UGB (**Merdjane, 2016**).

Dans ce contexte, l'azolla un aliment idéal pour le bétail, poisson, et volaille car il contient de très grandes quantités de protéines, d'acides aminés, de vitamines (vitamine A, vitamine B12, bêta-carotène), Lors de la recherche d'alternatives (concentrés, fourrages) pour différentes espèces animales, et elle devrait fournir un fourrage durable pour le bétail. Azolla contient la plupart des nutriments essentiels pour tout le bétail (**Gorey 2012**). La valeur nutritionnelle de l'azolla a été bien documentée, ce qui indique qu'il s'agit d'une bonne source de rendement élevé en protéines avec presque tous les acides aminés essentiels (en particulier la lysine) nécessaires à la nutrition animale (**Hossiny et al 2008 ; Brouwer 2018**). Et les provitamines pour la nutrition de la volaille (**Lejeunea et al 1999, Lumpkin 1984**).

Pour atteindre l'objectif d'augmenter la productivité du bétail ; Une étape importante consiste à simplifier la culture de l'Azolla dans les zones d'élevage (**Singh 2008**). De plus, il peut également être utilisé comme bio fertilisant dans une exploitation agricole. Et c'est pourquoi beaucoup d'agriculteurs s'orientent vers la culture de l'Azolla.

Introduction générale

Comme tous les êtres vivants, *Azolla caroliniana* a besoin pour croître, se développer et se reproduire aux nutriments en plus grand quantité c'est les trois éléments minéraux NPK, Il existe donc des engrais azotés, des engrais phosphatés et des engrais potassiques. Dans une moindre mesure, il y a aussi des engrais soufrés, des fertilisants calciques et magnésiens et des engrais destinés à combler les carences en oligo-éléments.

L'objectif de travail actuel est pour étudier l'effet de différentes unités fertilisantes de NPK plus oligo-éléments (0-0-0 ; 15-15-15 et 20-20-20) sur les paramètres morphologique (la biomasse, le taux de croissance relative (RGR), le temps de doublement) et biochimiques (la teneur en chlorophylle a, b et totale) et la teneur en eau d'*azolla caroliniana* willd où on va essayer de répondre à la question suivante :

Quel est l'étendue de l'effet des unités fertilisantes inorganique NPK sur la morphologie et la physiologie de la fougère aquatique et son rôle dans la multiplication *Azolla caroliniana* willd ? Ce travail était s'articulé comme suit :

La première partie de notre travail aborde une revue bibliographique selon l'organisation suivante :

- chapitre I : Généralité sur l'espèce : *Azolla Caroliniana*
- Chapitre II : Aperçu sur les fertilisants NPK

Dans la seconde partie, nous décrivons la méthodologie adoptée dans notre expérimentation et les résultats et discussions. Notre étude a été achevée par conclusion et perspectives.

PARTIE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

*Généralité sur l'espèce d'**Azolla***

1. Origine et distribution dans le monde

L'*Azolla* fausse-filicule est originaire des régions tempérées et subtropicales d'Amérique (Ooreka, 2016). Le nom *Azolla* vient du grec *azo*, qui signifie "être desséché" (Encyclopédie, 2016). Son épithète *filiculoides* vient du latin *filic* et *oides*, signifiant "fougère" et "qui ressemble à" (Dijon, 2016).

Dans la littérature, elle a pour synonymes principaux : *Azolla caroliniana* Willd., *Azolla majellanica* Willd., *Azolla arbuscula* Desv ou encore *Azolla squamosa* Molina.

Cette plante était cultivée depuis des siècles et l'est toujours au sud de la Chine et au Vietnam comme engrais azoté pour le riz (Kim Pham, 1982 in Rahagarison, 2005).

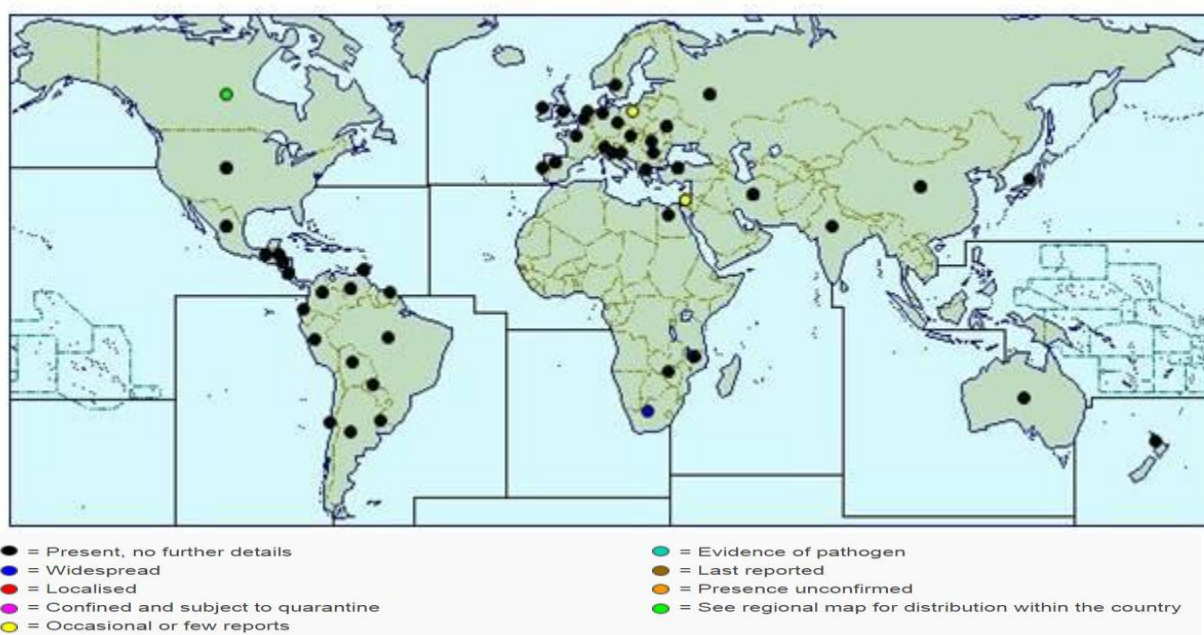


Figure 1- Distribution d'*Azolla* dans le monde entier (Martin, 2014).

Elle a été introduite en Europe au 19^{ème} siècle dans les jardins botaniques et leurs aquariums. Elle s'en est rapidement échappée, notamment en France où elle a été signalée pour la première fois dans la nature dès 1880 à proximité de Bordeaux. Son aire de répartition actuelle s'étend à toute l'Europe où elle est aujourd'hui naturalisée (FCBN, 2012). A noter que l'espèce

était toutefois native en Europe il y a longtemps, mais s'est éteinte lors des dernières glaciations (West, 1953).

2. Description

L'*Azolla* est une petite fougère aquatique flottant librement à la surface des écosystèmes d'eaux douces des régions tropicales, subtropicales, tempérées chaudes de l'Afrique, l'Asie et des Amériques (Costa et al. 2009). Elle pousse naturellement dans les milieux lentiques comme les étangs, les marécages, etc. Une plante d'*azolla* est souvent appelée fronde. Chaque fronde est constituée d'une tige principale (Van Hove, 1983) dont la longueur maximale excède rarement 3-4 cm, flottant à la surface de l'eau et couverte de petites feuilles alternes étroitement imbriquées et cachant ainsi la tige.

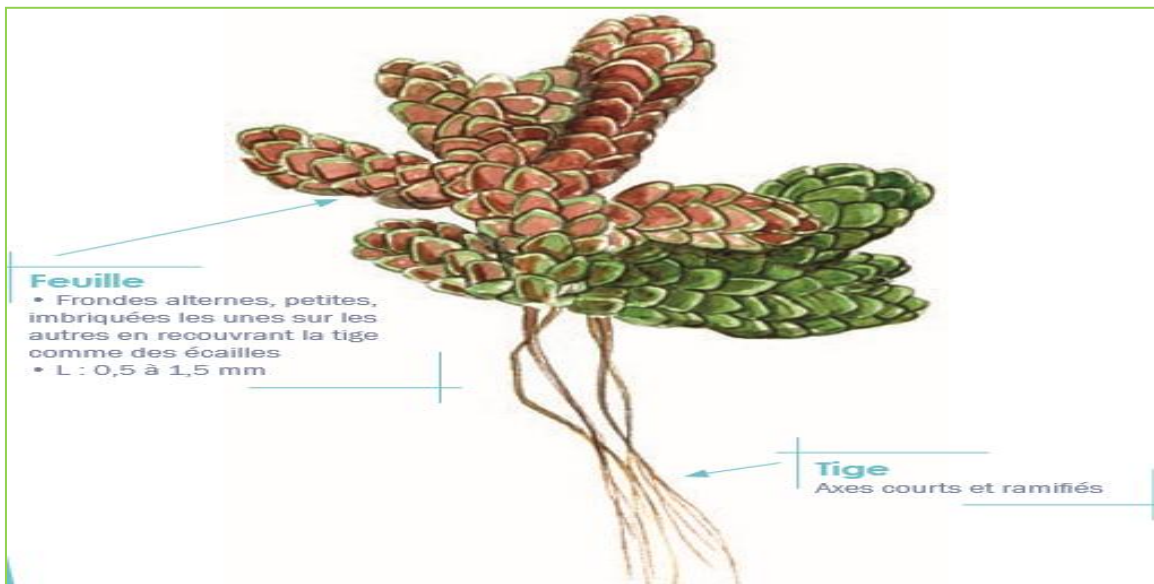


Figure 2-Les différents organes de l'*Azolla* (site-internet)

Ses tiges, capillaires, mesurent 2 à 5 cm et la principale est fortement ramifiée. Elles sont horizontales et émettent de longues racines adventives. Les rameaux sont alternes et paraissent dichotomes (coupés en deux) (Tela Botanica, 2005). Les feuilles mesurent environ 1 mm, d'un

vert allant au rouge brun lorsque la plante est directement exposée au soleil (Ooreka, 2016). Elles sont bordées d'une large bande membraneuse (FCBN, 2012).

Chaque feuille a deux lobes (figure 1), la première flotte et contient de la chlorophylle ainsi que des cyanobactéries, dans une cavité, avec lesquelles la plante est en symbiose. Le deuxième n'est pas photosynthétique et est immergé (Rahagarison, 2005).

3. Taxonomie de l'*Azolla*

Tableau 1-Taxonomie de l'*Azolla* (Ramilamina, 1995 ; Reynaud P.A ; Franche C.)

Règne	Plantae
Embranchement	Ptéridophytes
Classe	Liliopsida
Ordre	Salviniales
Familles	Azollaceae
Genre	<i>Azolla</i>

Il existe sept espèces qui en fonction de critères morphologique (morphologie des formes végétatives –frondes –et des organes reproducteurs), sont divisées en deux section :

1. La section *Azolla* ou *Euazolla* regroupées cinq espèces :

- *Azolla caroliniana* Willd
- *Azolla mexicana* Presl
- *Azolla microphylla* Kaulf
- *Azolla filiculoides* Lam
- *Azolla rubra* R. Br

2. La section Rhizosperma possède deux espèces :

- *Azolla nilotica* Decne. Ex Mett. (NI)
- *Azolla pinnata* R. Br

L'*Azolla Pinnata* comprend deux variétés :

- *Azolla Pinnata* Var. *Pinnata*
- *Azolla Pinnata* Var. *Imbricata* (Raja et al, 2012).

4. La symbiose d'*Azolla*

L'*Azolla* est une petite fougère aquatique réalisant une symbiose héréditaire avec *Anabaena azollae*, cyanobactérie diazotrophe, capable d'utiliser le diazote (N_2).

Cette association se caractérise par une productivité élevée des substances azotées et une forte teneur en protéines. L'intérêt principal de la symbiose *azolla – annabaena Azollae* réside de sa faculté de fixer l'Azote atmosphérique.

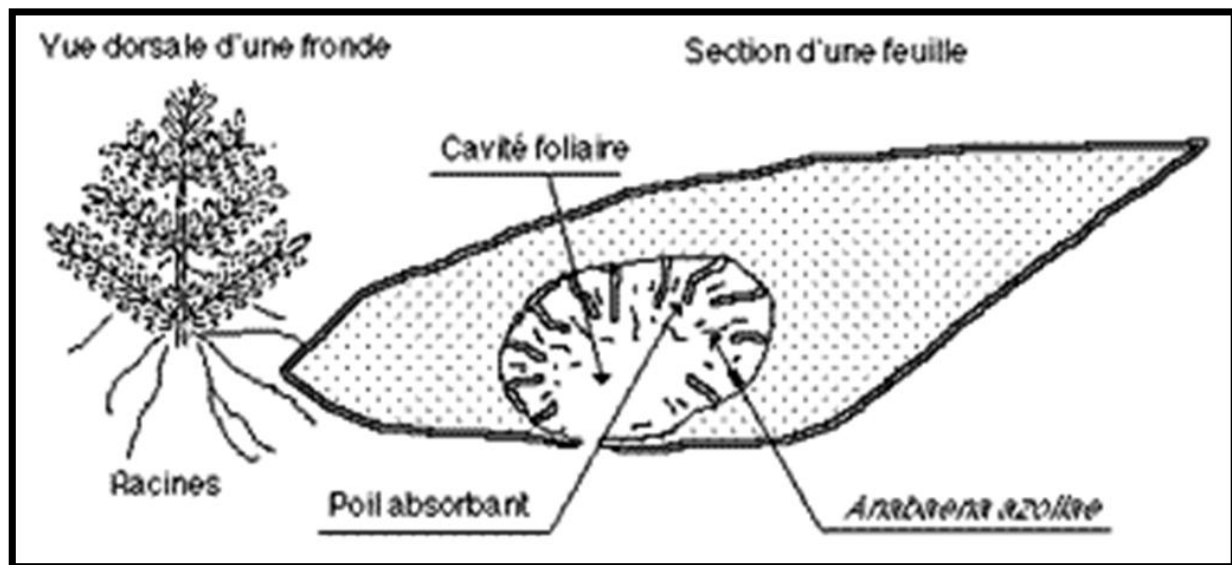


Figure 3- Morphologie d'une fronde d'*Azolla* (2-3 cm) et section de la feuille (Roger , Garcia, 2001).

Les filaments d'*Anabaena azollae* ont un pourcentage d'hétérocystes (20 - 30%) nettement plus élevé que celui observé chez les cyanobactéries hétérocystées libres. Ceci traduit une activité fixatrice d'azote élevée.

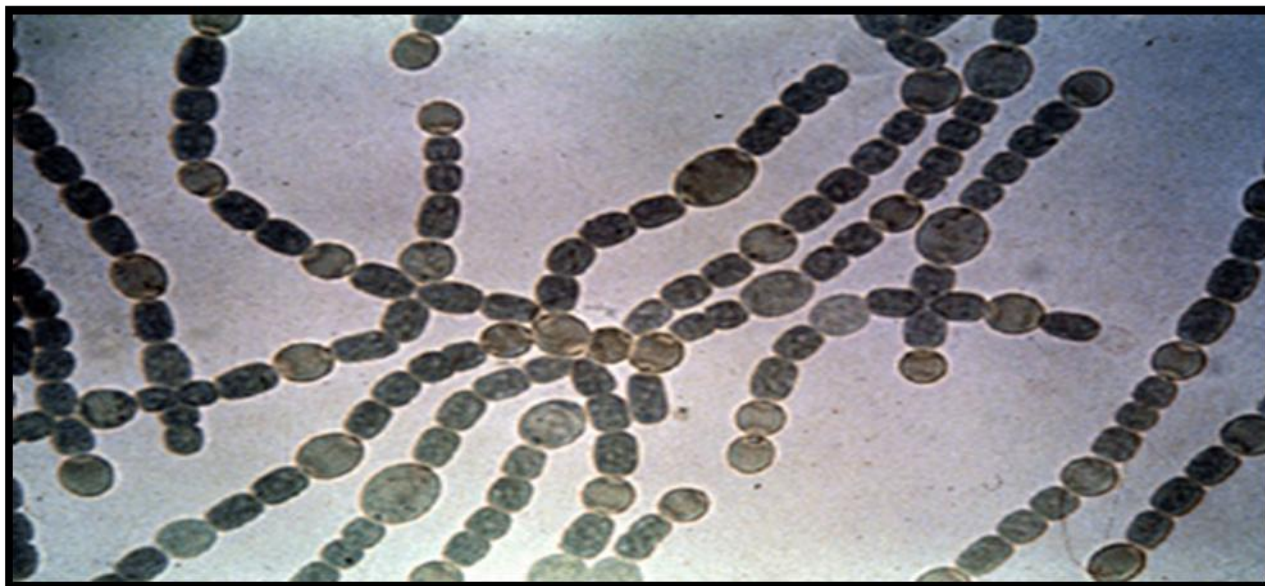


Figure 4-*Anabaena azollae* en forte densité de hétérocystes (Roger PA, Garcia J-L 2001)

La nutrition azotée de la fougère est assurée par l'excrétion de l'azote fixé par la cyanobactérie. Cette excrétion est favorisée par la répression de la glutamine-synthétase de la cyanobactérie. Les poils absorbants situés à l'intérieur de la cavité foliaire favorisent l'absorption des substrats azotés excrétés par la cyanobactérie symbiote.

En raison de son potentiel élevé comme fixateur d'azote, *Azolla* a été utilisé traditionnellement comme engrais vert en riziculture en Chine et au Vietnam

5. Composition générale

Selon Alalade et al. (2006), la farine d'*Azolla pinnata* contient 21,4% de protéines brutes, 12,7% de fibres brutes, 2,7% d'extrait à l'éther, 16,2% de cendres et 47,0% de glucides. L'analyse chimique de *A. pinnata* séché au soleil pendant 3 jours a montré qu'il contient 88,80% de matière sèche, 25,46% de protéines brutes, 2,66% d'extrait à l'éther, 14,80% de fibres brutes, 41,58%

d'azote libre, et 15,5% de cendres totales. L'*Azolla* séché contient également 2,25% de calcium et 0,40% de phosphore. La valeur de l'énergie métabolique calculée de *Azolla* séché est de 1807 kcal/kg (**Shamna et al. 2013**). La teneur en protéines de l'*Azolla* est proche de celle du soja. Par rapport aux autres plantes aquatiques (*Ipomea aquatica* et *Lemna minor*), l'*Azolla* contient approximativement la même quantité de protéines (27,5 % en moyenne) mais elle est plus riche en parois végétales (47,3 % en moyenne). L'*Azolla* contient en moyenne 5 g lysine/100 g protéines et a un profil en AA relativement bien équilibré (**Leterme et al, 2009**). *Azolla* peut être un supplément de protéines précieuses pour de nombreuses espèces animales comme les ruminants, la volaille, les porcs et les poissons (**Hasan et al, 2009**). (**Leterme et al. 2009**). **Paoletti et al. (1987)** ont mesuré 0,8-6,7% de lipides totaux dans *Azolla* spp. Avec une forte proportion d'acides gras poly-insaturés.

Castillo 1983, a mesuré 77-421 ppm de carotène et 254-2800 ppm de xanthophylle chez *Azolla* spp. Semblable aux autres plantes aquatiques, la concentration en nutriments et donc la valeur alimentaire d'*Azolla* dépendrait des conditions de culture (taux de minéraux, température et salinité de l'eau et durée d'ensoleillement), de la densité de la plantation et du stade de récolte (**Arora et Singh, 2003**).

6. Écologie et exigences environnementales

L'espèce est présente sur tous les continents : du sud des États-Unis (Californie) jusqu'en Argentine, en passant entre autres par le Brésil et le Chili, en Asie, en Océanie, en Afrique et en Europe où on la retrouve des régions atlantiques et méditerranéennes jusqu'en Scandinavie (**Hussner, 2010**). Dans les Andes, on la rencontre jusqu'à 5 000 m d'altitude (**Ooreka, 2016**).

Elle privilégie les eaux chaudes, non calcaires et riches en matière organique : dans ces milieux elle peut s'étendre rapidement pour recouvrir totalement un plan d'eau. On la trouve dans les milieux stagnants ou à faible courant comme les étangs, mares, chenaux, bras de décharge, fossés de drainage ou d'irrigation. (**Ooreka, 2016**).

Une dizaine de centimètres de profondeur d'eau est optimale, favorisant la nutrition minérale car les racines sont proches du sol (**Van Hove et al. 1983**). Elle peut mourir en quelques heures si le milieu s'assèche ou si l'humidité descend trop fortement (**Rahagarison, 2005**).

Bien que son développement soit favorisé par des eaux eutrophiques, l'azolla fausse-filicule peut croître en milieu pauvre en azote grâce à son association symbiotique avec une cyanobactérie de la famille des Nostocaceae, *Anabaena azollae*. Elle fixe l'azote Atmosphérique et le rend donc assimilable par la plante qui lui fournit en retour des composés carbonés (**Rahagarison, 2005**). La disponibilité du phosphore dans le milieu envahi semble avoir un effet limité sur la plante (**Fernandez-Zamudio, 2010**).

On la retrouve tant dans des conditions ensoleillées que ombragées (**Hussner, 2010**). Si elle est placée au soleil, la couleur verte de ses frondes peut tendre vers le rouge-brun (**Ooreka, 2016**). Cette plante ne supporte pas le gel, elle pourrait donc être considérée comme une annuelle sous nos latitudes : des résultats obtenus en laboratoire indique une résistance jusque -4 °C. Alors que les observations en situation naturelle vont jusqu'à -10 voire -15 °C (**Janes, 1998**). Dans certaines conditions, la plante peut donc survivre à l'hiver en France métropolitaine. La tolérance au gel augmente avec le pH (**FCBN, 2012**). Elle apprécie la chaleur, étant tropicale, et son développement est optimal avec des températures de 25 à 30°C (**Ooreka, 2016**) : certains auteurs présentent toutefois des températures optimales plus basses, entre 15 et 20°C (**Janes, 1998a**). *Azolla filiculoides* est décrite comme sensible au sel qui peut impacter s'il est en trop forte considération la croissance de la plante (**Rahagarison, 2005**). Cette plante survit dans un pH allant de 3,5 à 10, mais préfère un pH acide à neutre, de 4,5 à 7 (**Rahagarison, 2005**).

7. Conditions écologiques

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

7.1. Besoins en eau :

Azolla est une plante aquatique qui ne résiste pas à un taux d'humidité inférieure à 60%, elle est très sensible à la sécheresse et meurt en quelques heures si le sol s'assèche (**Becking, 1979**).

La nutrition minérale d'*Azolla* est favorisée par une couche d'eau n'excédant pas 5 à 10 cm, puisque les racines sont proches du sol.

Plante d'eau douce, *Azolla* ne supporte qu'un certain degré de salinité, allant de 0,05 à 0,1%. Sa croissance s'arrête dans une solution contenant 1,3% de sels (**Haller et Al, 1974**).

7.2. Température, lumière :

Azolla s'adapte à des conditions climatiques extrêmement variées. Elle peut survivre entre 15°C et 40°C (**Rahagarison, 2005**). Pour l'intensité lumineuse, en conditions thermiques optimales, la saturation est atteinte à environ 50% de l'intensité maximale. La croissance reste cependant bonne même aux intensités lumineuses maximales (**Becking, 1979**).

7.3. PH :

Azolla est particulièrement tolérant en ce qui concerne le pH du milieu. Il survit dans une gamme allant de pH 3,5 à 10 et sa croissance est pratiquement identique de pH 4,5 à 7 (**Ashton, 1974**).

8. Intérêts liés à l'usage de la plante

Azolla est utilisé comme :

- Engrais azoté pour le riz ;
- Aliment pour animaux d'élevage tels que : canards, poules, et même poissons (**FAO, 1978**).

Un certain nombre d'avantages secondaires a été attribué à *Azolla* :

- Diminution des pertes d'eau par évaporation ;
- Effet herbicide dû au tapis d'*Azolla* qui empêche les plantules de mauvaises herbes de croître ;
- Réduction de la prolifération des moustiques ;
- Amélioration de la texture du sol (**Rahagarison, 2005**).

Ces applications ne sont pas seules possibles. En effet, des recherches sont entreprises en vue d'évaluer le potentiel d'utilisation d'*Azolla* comme :

- Engrais verts pour des cultures sur terre ferme après compostage ;
- Aliment pour des animaux autres que ceux mentionnés ci-dessus et pour l'homme ;
- Matière première pour digesteur bio méthane.

- **Intérêts environnementaux**

Cette plante peut être utilisée pour décontaminer des plans d'eau car elle a la capacité d'absorber certains éléments polluants, dont des métaux lourds (**Ooreka, 2016**).

- **Intérêts économiques**

Cette espèce a fait l'objet de travaux pour la production de biogaz (**GIS, 1997 in FCBN, 2012**). Elle peut être utilisée pour nourrir des animaux d'élevage dont les canards, les poules, les porcs et les poissons, entre autres, car elle contient 25 à 30% de protéines (**F.A.O., 1978 ; Reynaud, 1984 in Rahagarison, 2005**).

Etant fixatrice d'azote grâce à sa symbiose, l'*Azolla* fausse filicule est utilisée comme engrais vert dans les rizières de nombreux pays asiatiques, permettant aussi de contrôler la prolifération des adventices, de limiter les pertes d'eau par évaporation et d'améliorer la structure du sol (**Kim Pham, 1982 ; Van Hove et al., 1983, dans Rahagarison, 2005**).

- **Intérêts social, culturel, patrimonial**

Cette plante est utilisée pour l'alimentation humaine (**Lumpkin et Plucknett, 1982 in Rahagarison, 2005**). Elle est traditionnellement utilisée à Madagascar comme dépurative contre les hémorroïdes (**Cabanis, 1969 in FCBN, 2012**) et pour faciliter l'expulsion du placenta lors de l'accouchement (**Descheemaeker, 1975 in FCBN, 2012**). *Azolla filiculoides* est utilisée dans certains pays pour contrôler les populations de moustiques, en entrant en compétition avec les larves de ces derniers (**Lumpkin & Plucknett, 1982 in FCBN, 2012**). La pêche, la baignade et le ski nautique (**Hill & Cilliers, 1999 in FCBN, 2012**).

- **Intérêts agronomiques**

La plante est utilisée comme engrais vert dans les rizières de nombreux pays asiatiques (**Serag et al. 2000**). Dans ces milieux, elle permet aussi de contrôler la prolifération des mauvaises herbes. *Azolla* est souvent utilisée suivant deux méthodes en riziculture (**Carrapiço et al. 2000**). Elle peut être produite soit en milieu inondé pendant deux à trois semaines et enfouie dans le sol deux semaines avant la transplantation des plants de riz, ou cultivée en même temps que le riz. Dans ce dernier cas, l'*Azolla* est inoculée une semaine après la transplantation du riz et la fougère produite est incorporée dans le sol après drainage temporaire de l'eau. En couverture de la surface du périmètre rizicole, elle permet de réduire la proportion d'azote ammoniacale volatilisable, améliorant ainsi l'efficacité de l'utilisation de l'azote par le riz.

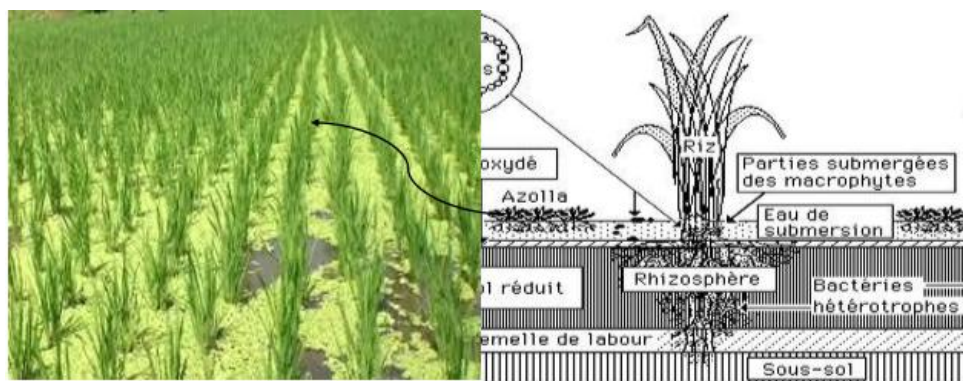


Figure 5- *Azolla* comme biofertilisant des périmètres rizicole (**Pierre, 1993**).

En foussement apporte également de la matière organique qui contribue à améliorer la structure des sols (**Caguan, 1999**). Elle est utilisée dans le traitement des eaux riches en nutriments par biofiltration (**Cohen-Shoel et al. 2002**). Du fait de ses caractéristiques nutritionnelles, l'*Azolla* est convenable pour la consommation humaine et pour supplément alimentaire à divers animaux comme : poisson, canards, bétail, volaille etc. afin de réduire le coût de l'alimentation (**Hassan et al. 2009 ; Raja et al. 2012**). En effet, l'*Azolla* est également utilisée avec succès comme ingrédient dans l'alimentation de la volaille (**Basak et al. 2002 ; Khatun et al. 1999 ; Alalade et Iyayi, 2006**).



Figure 6- Utilisation d'*azolla* comme ingrédient dans l'alimentation de la volaille.

L'*Azolla* a été utilisé avec succès dans l'aquaculture (**Shiomi et Kitoh, 2001 ; Fiogbé et al., 2004**) et dans l'alimentation des porcs (**Accodji et al. 2009**). L'*Azolla* peut être servi aux animaux sous forme fraîche ou séchée. Comme *Azolla* frais est très périssable, il est préférable de le sécher quand il ne peut pas être consommé immédiatement ou pour les espèces d'animaux d'élevage pour lesquels une forme séchée est plus pratique ou préférable. *Azolla* séché peut ainsi être incorporé dans l'aliment des poulets de chair jusqu'à un taux de 5 % sans affecter leur croissance (**Basak et al. 2002**). Une autre étude visant à évaluer la valeur alimentaire de l'*Azolla* sur les performances de ponte des poules a montré la possibilité de l'incorporer à des taux allant jusqu'à 15 % sans affecter la production d'œufs, l'indice de conversion, ou la taille et la couleur des œufs (**Khatun et al. 1999 ; Basak et al. 2002 et Esonu et al. 2006**). Par contre un taux de 10% a été recommandé pour améliorer les performances des poussins (**Alaladé et al. 2006**). Selon **Leterme et al. (2009) et Accodji et al. (2009)**, même si le profil en acides aminés est équilibré comparé à une ressource classique comme le tourteau de soja, la digestibilité de l'*Azolla* est faible et le taux de son incorporation dans le régime alimentaire du porc ne doit pas dépasser 10-15 %. Le taux d'inclusion de la farine d'*Azolla* dans les rations des porcs en croissance devrait être limité à 5% du régime alimentaire (**Raja et al. 2012**). L'*Azolla* peut-être utilisé jusqu'à 40% du régime du *Tilapia* élevé en étangs fertilisés (**Abou., 2007**).

9. Impacts négatifs de la plante

9.1. Impacts sur la santé humaine

Azolla filiculoides n'est pas toxique pour l'homme. En Asie, il est souvent difficile de se débarrasser des impuretés, dues au système racinaire, qu'on trouve dans les préparations culinaires faites avec la plante (**Lumpkin & Plucknett, 1982 in Rahagarison, 2005**).

9.2. Impacts économiques

En France, de nombreuses pépinières de production de plantes aquatiques ont cessé depuis de nombreuses années la production d'*Azolla* en raison de son caractère envahissant. Elle est néanmoins toujours présente en tant qu'adventices dans ses entreprises, ou dans d'autres entreprises de production de végétaux, ce qui entraîne des coûts de lutte.

En Afrique du Sud, une diminution de la qualité de l'eau potable a été attribuée à la présence de cette plante. Elle peut aussi obstruer les pompes d'irrigation, ralentir le débit de l'eau dans les canaux et limiter les activités de loisir telles que la pêche, la baignade et le ski nautique (**Hill & Cilliers, 1999 in FCBN, 2012**).

10. Maladies et ravageurs d'*Azolla*

Il existe un insecte qui peut prévenir une invasion d'*Azolla filiculoides* en contrôlant son développement en culture. Celui-ci, un charançon du nom de *Stenopelmus rufinasus*, se nourrit et se développe sur cette plante. Il est spécifique au genre *Azolla* et a prouvé son efficacité en tant qu'agent de lutte biologique dans plusieurs essais en laboratoire et sur le terrain en Afrique du Sud et au Royaume-Uni (**Cabi, 2016**). Après 5 ans d'essais, la plante ne représentait plus une menace, faisant de ce moyen de lutte le plus efficace connu (**Hill, 1998 ; Hill & Cilliers, 1999 ; Connachie et al. 2004 ; Gassmann et al. 2006 tous cités par FCBN, 2012**).

Des Diptères de la famille des Chironomidae, des mollusques, des gastéropodes d'eau douce, des larves de grenouilles et quelques poissons semblent aussi se nourrir de la plante et pourraient donc être utilisés pour contrôler son développement (**Fiore & Gutbrod 1985 in FCBN, 2012**).

Il est possible d'agir contre une invasion en arrachant manuellement les plantes d'un plan d'eau ou grâce à un filet, mais il faut agir délicatement car toute perturbation physique de la plante peut la casser et le moindre fragment restant peut permettre à la plante de recoloniser le milieu

Cette technique n'est donc préconisée que pour des populations de faible superficie, donc pour des débuts d'invasions. Il n'existe à ce jour aucune méthode mécanisée pour lutter contre l'*Azolla* fausse-filicule (**FCBN, 2012**).

11. Multiplication d'*Azolla*

Chez *Azolla*, il existe 2 modes de reproduction : la reproduction sexuée ou générative et la reproduction asexuée ou multiplication végétative.

11.1. Multiplication sexuée

Elle se multiplie par la production de sporocarpes qui apparaissent à la fin de l'été (septembre-octobre) et les zygotes issus de la fécondation correspondent à un pied feuillé. On estime la production de sporocarpes pour une population représentant 8 kg/m² de biomasse à 380 000 microsporocarpes et 85 000 mégasporocarpes. Ceux-ci peuvent survivre à des températures de 5°C pendant 3 mois, de -10 °C pendant 18 jours. Leur germination est possible après plusieurs années passées dans l'eau ou enfouies dans des terrains boueux (Janes, 1998).

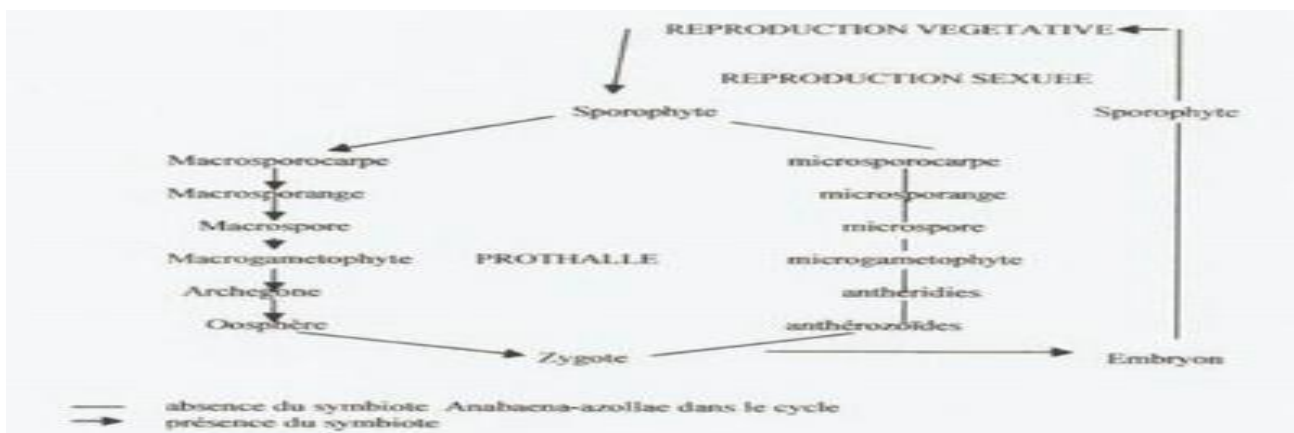


Figure 7-Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'*Azolla* (Anthony Ntendele bikela.2007)

L'*Azolla* est hétérosporé, la symbiose est maintenue durant le cycle sexuel. Les cellules d'*Anabaena*, notamment les akinètes (akinétospores) sont enfermées à l'intérieur des macrosporocarpes. Elles sont enfoncées dans une cavité sous le chapeau de l'indusie du macrosporange. Après fécondation de l'oosphère, un zygote se forme et se développe en sporophyte avec son algue associée (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

11.2. Multiplication végétative

La plante se multiplie par fragmentation des tiges, occasionnée par des perturbations physiques. Les oiseaux, les petits mammifères, les amphibiens ou encore le bétail s'abreuvant

dans les cours d'eau participent à la propagation de ces fragments, la plante ayant la faculté de s'accrocher facilement à ces animaux **(FCBN, 2012)**.

Pour se développer, le fragment doit simplement être placé dans de l'eau à température ambiante (15 à 18°C) contenant un peu de matière organique en suspension **(Ooreka, 2016)**.

La reproduction se fait par voie végétative dans les conditions climatiques favorables et par voie générative en saison défavorable caractérisée par la chaleur ou le froid intense **(Becking, 1979)**.

11.3. Propagation par l'homme

Bien que la plante puisse être disséminée par les voies d'eau naturelles et les courants, sa dissémination peut être facilitée par les activités humaines (aquatiques...). De mauvaises pratiques lors du nettoyage des aquariums, dans lesquels elle peut être utilisée, participent à sa dissémination dans le milieu naturel **(FCBN, 2012)**. Lorsqu'elle est cultivée, la division des tiges est préférée pour la multiplication **(Ooreka, 2016)**.

Chapitre II

Aperçu général sur les fertilisant NPK

1. La Fertilisation

La fertilité est la capacité d'un milieu à produire. Il s'agit d'une notion dépendant d'une part des fonctions productives assignées à ce milieu, et d'autre part des techniques mobilisables pour transformer le milieu et le coût de leur mise en œuvre (Ministère des affaires étrangères, 2002).

Cette capacité repose sur un ensemble des propriétés formant les caractéristiques physiques, biologiques et chimiques du sol lui-même, telles sa structure ; sa profondeur ; sa teneur en éléments nutritifs, en humus ; son pouvoir d'absorption et sa teneur en éventuels éléments toxiques.

La fertilisation est l'enrichissement du sol par des engrais et elle a pour buts :

- D'améliorer ou de maintenir les caractéristiques du sol citées ci-dessus, aptes à optimiser l'absorption par les plantes, des éléments nécessaires à leur croissance et au rendement ;
- D'assurer la complémentarité des fournitures nécessaires en provenance du sol (Falisse et Lambert, 1994).

2. les Fertilisants

Les fertilisants étant des substances destinées à fournir à la plante les éléments nutritifs dont elle a besoin, il va de soi que les engrais sont principalement composés des éléments dont la plante a le plus besoin, c'est-à-dire l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Il existe donc des engrais azotés, des engrais phosphatés et des engrais potassiques. Dans une moindre mesure, il y a aussi des engrais soufrés, des fertilisants calciques et magnésiens et des engrais destinés à combler les carences en oligo-éléments (FAO, 2005).

Les fertilisants sont des produits riches en éléments minéraux nécessaires aux plantes. Ils peuvent être naturels, transformés, synthétisés par l'industrie chimique ou sous-produits industriels (Ministère des affaires étrangères, 2002).

. Ils sont de deux types : organique et minéral

2.1. Les Engrais Organique

Les engrais organiques sont principalement issus de déchets naturels, végétaux ou animaux. Ils sont utilisés en fertilisant de fond et libèrent progressivement des éléments nutritifs tels que l'azote, la potasse ou le phosphore mais aussi des oligoéléments essentiels à la bonne santé de plantes. L'assimilation étant plus lente, il n'y a pas de risque de lessivage. Les principaux engrais organiques sont :

2.1.1. Fumier de ferme

Le fumier de ferme est constitué par un mélange de litière et de déjections animales ayant subi des fermentations plus ou moins poussées en étables et en tas. Sa composition varie dans très larges limites suivant la nature et la proportion des matières en présence (litière, excréments). La composition des excréments varie, à son tour, suivant l'espèce animale, l'âge et la production des animaux et le régime alimentaire de ceux-ci (Al Hassani et Persoon, 1994).

Doucet 2001, affirme que le fumier le plus riche est celui de volaille, suivi de celui de cheval, de mouton, et de porc. Le fumier peut être épandu sur tous les sols et presque toutes les cultures.

2.1.2. Purin

C'est un engrais organique constitué d'une fraction de liquide qui s'écoule du fumier, principalement composé des urines des animaux. La qualité des purins dépend du mode de gestion du bétail et de la dilution par les eaux de pluies ou de lavage (Mazoyer, 2002).

2.1.3. Lisier

C'est le mélange de déjections liquides et solides des animaux d'élevage et d'eau, et un excellent engrais organique, particulièrement riche en azote. En République Démocratique du Congo, on le trouve dans les élevages des porcs

2.1.4. Compost

Le compostage est le traitement de nombreuses matières végétales ou animales en vue de faire démarrer, en milieu normalement anaérobie, une fermentation aérobie en atmosphère confinée dont l'effet sera la prolifération de micro-organisme avec réorganisation de matières minérales dont l'azote nitrique et ammoniacal (Al Hassani et Persoon, 1994).

Les différents éléments qui entrent dans la composition du compost sont :

- Déchets organiques de domicile ;
- Résidus d'origine animale ;
- Déchets agricoles (pailles, broussailles, résidus de récoltes) ;
- Boues des rivières et des étangs ;
- Déchets agro-industriels (résidus de scieries, pulpes...) ;
- 1 à 2% de terre argileuse.

Dans les tropiques, le temps de compostage est de huit semaines minimum, mais réellement achevé au bout de 16 semaines. La durée de la phase de maturité dépend de l'usage qu'on veut faire du compost.

2.1.5. Engrais verts

C'est une façon d'apporter de la matière organique au sol. La technique consiste à enfouir une plante feuillue, des feuilles d'arbres ou de buissons pour améliorer les propriétés physicochimiques du sol et l'enrichir en humus. La culture d'une légumineuse comme engrais vert permet aussi la fixation de l'azote atmosphérique. La quantité fixée par hectare varie d'une culture à l'autre, et peut être en moyenne de 30 à 40 kg. La technique d'engrais verts nécessite une bonne quantité d'eau pour sa décomposition dans le sol (FAO, 1987).

Beaucoup de résidus végétaux peuvent être utilisés comme fumures organiques :

- Feuilles mortes.
- Déchets agroalimentaires tels que les bagasses de canne à sucre, les pulpes de café, les écorces des noix de coco, d'arachides, les résidus des scieries, les balles de riz ;
- Les pailles de céréales

2.2. Les Engrais Minéraux

Ce sont des engrais chimiques d'origine minérale destinés à favoriser la croissance des plantes cultivées. Ils apportent des éléments directement par des plantes. Leur libération est très rapide.

Les engrais chimiques contiennent 3 composants principaux : l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Les engrais minéraux contenant au moins deux des trois éléments fertilisants de base. Parmi ces engrais composés on peut citer par exemple les suivants :

- des engrais ternaires NPK.
- des engrais binaires NK, tels que le nitrate de potassium (13 % N et 46 % K₂O).

3. Les différentes catégories de la fertilisation

3.1. L'azote N

3.1.1. La fertilisation azotée :

Raisonnement la fertilisation azotée est une nécessité économique et environnementale. Les besoins de la plante dépendent de l'espèce, de la variété et de l'objectif de rendement. Le principe du bilan est la base du raisonnement, pour équilibrer au mieux les besoins de la plante cultivée et les différentes fournitures d'azote dont elle peut bénéficier. Les besoins de la plante dépendent de l'espèce, de la variété et de l'objectif de rendement. La quantité à apporter est calculée par différence entre les besoins totaux de la plante cultivée et les fournitures d'azote par le sol. L'agriculteur dispose d'un grand choix d'outils pour une conduite optimisée de sa fertilisation azotée (Unifa, 2005).

3.1.2. Rôle de l'azote

: L'azote entre, avec d'autres éléments (carbone, oxygène, hydrogène...), dans la composition des acides aminés formant les protéines. L'azote est un élément essentiel pour la constitution des cellules et la photosynthèse (chlorophylle). C'est le principal facteur de croissance des plantes et un facteur de qualité qui influe sur le taux de protéines des végétaux.

3.1.3. Formes d'azote absorbé par les plantes :

Dans les sols agricoles, l'azote se trouve à une proportion de 95 % sous forme organique. L'azote sous forme minérale, forme essentiellement assimilable par les plantes, ne représente que 100 à 200 Kg par hectare dans les régions tempérées. Les plantes absorbent les formes ioniques solubles dans la solution du sol seulement qui se trouvent sous formes ;

1. Nitrate (NO_3^-) constituant la forme préférentielle d'absorption de l'azote par les cultures.
2. Ammonium (NH_4^+): une grande partie de l'ammonium dans le sol est convertie en nitrate par les microorganismes du sol et d'autres parties sont absorbées directement par les racines (Soltner, 2003).

3.1.4. Les engrais azotés :

On distingue les engrais ammoniacaux (dans lesquels l'azote est sous forme d'ammoniac, NH_4^+ , ex. le sulfate et le chlorure d'ammoniac), les engrais nitriques (dans lesquels l'azote est sous forme d'ions nitrate, NO_3^- , ex. le nitrate de soude et le nitrate de chaux), les ammonitrates contenant à la fois des ions ammoniacs et des ions nitrates (ex. le nitrate d'ammoniac), et des amides comme l'urée (48-0-0).

3.2. Le phosphore P

Le phosphore est l'un des 17 éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes. Ses fonctions ne peuvent pas être effectuées par tout autre élément nutritif, et une quantité suffisante de P est nécessaire pour favoriser la croissance et la reproduction. Le phosphore est classifié comme substance nutritive importante, ce qui signifie qu'est souvent insuffisante pour la production agricole. Le phosphore (P) est vitale pour la croissance des plantes et se trouve dans chaque cellule vivante de la plante et sa concentration varie généralement de 0,5 à 1 % (Saouli, 2016).

3.2.1. La fertilisation phosphatée

La fertilisation phosphatée a pour objectif de satisfaire les besoins en phosphore de la plante selon les objectifs de rendement et de qualité, et donc de compléter l'offre du sol en maintenant son potentiel de production. La stratégie actuelle se fonde en premier lieu sur les besoins des plantes cultivées et ensuite sur la biodisponibilité en phosphore de la parcelle. Les critères principaux à prendre en compte sont : l'exigence en P_2O_5 de la culture, l'analyse de terre, le passé récent de fertilisation et les exportations de la culture (Unifa, 2005).

3.2.2. Rôle du phosphore dans les plantes

Le phosphore joue des rôles primordiaux dans le fonctionnement biologique des plantes puisqu'il participe à de nombreux processus physico-chimiques, biologiques et enzymatiques. Il est l'un des principaux constituants des acides nucléiques en joignant les nucléotides. Il est aussi un des constituants des phospholipides des membranes végétales (Sanchez et al., 2009). Le phosphore active la croissance des bourgeons et des racines et joue aussi le rôle d'activateur dans la mise en réserve des glucides. Le P est mis en réserve dans les grains/graines sous forme de phytate (Lerot, 2006).

3.2.3 Rythmes d'absorption du phosphore par la plante :

La nutrition phosphatée des plantes ne peut être assurée que par du phosphore présent sous forme de phosphates (Fardeau, 1993). Les prélèvements de phosphore par les végétaux, lors de leurs premiers stades de développement, sont extrêmement réduits. C'est ainsi qu'un blé d'hiver, du semis jusqu'à la fin du tallage, ne puise que tout au plus 1 g de P/m² dont 1/10 était déjà contenu dans le grain semé. Puis la marche des prélèvements s'accélère rapidement et passe au rythme de 400 g/ha/jour de P soit près de 1 KgP₂O₅/ha/jour pendant les périodes de montaison et d'épiaison (Gervy, 1970). L'absorption des éléments nutritifs par les cultures varie selon le stade végétatif. Les céréales à croissance rapide absorbent l'azote et le potassium au rythme journalier de 5 Kg/ha et le phosphore en quantité dix fois plus faibles (Buckman, 1990).

3.2.4. Les formes du phosphore dans le sol

- ❖ **Phosphore insoluble** : Les précipitations de phosphates de fer et d'alumine que l'on rendait autrefois responsable d'importantes pertes de phosphore dans les sols, n'interviennent en fait qu'à des pH très bas, inférieure à 4,5. Pourtant la précipitation des sels de fer et d'alumine reste possible jusqu'à des pH faiblement acide mais elle se fait en partie avec l'anion OH⁻, à l'état d'hydrate et totalement sous cette forme quand le pH est alcalin (Gervy, 1970). Les formes dites «insoluble» ne font néanmoins pas partie des réserves inassimilables de phosphore existant dans le sol. Des modifications de pH, l'action de la matière organique, l'activité microbienne, la

possibilité d'utilisation directe des phosphates minéraux par plusieurs espèces végétales font que ces formes de phosphore exercent un rôle non négligeable dans la nutrition des plantes (Gervy, 1970 cité par Zekkour, 2007).

- ❖ **Phosphore soluble** : L'absorption du phosphore par la plante se fait sous la forme du phosphore soluble dans la solution du sol, sa concentration est très faible est presque constante du fait des échanges continuels avec le phosphore adsorbé (Diehl, 1975). Nous notons aussi que l'absorption de l'acide phosphorique par les végétaux dépend toujours de la forme d'ion dominant dans la solution du sol et cette dominance dépend du pH. Certains végétaux sont susceptibles, grâce à leurs excréments racinaires d'utiliser les formes insolubles de P₂O₅ (Duthil, 1973).
- ❖ **Phosphore facilement échangeable** : Elle est constituée par l'ensemble des ions adsorbés sur les argiles du sol, elle participe aux échanges constants sol ⇌ solution et constitue l'essentiel du pool alimentaire, c'est la forme la plus intéressante elle représente une assez faible part du phosphore total = 15 à 30% (Gachon, 1969). Cette fixation par les argiles peut être faite, soit directement sur la surface des argiles, ou soit par l'intermédiaire d'un cation (Zekkour, 2007).

3.2.5 Excès et carence du phosphore :

Les excès de phosphore sont en général sans inconvénient pour la récolte (Duthil, 1974). Au contraire, la carence en phosphore se manifeste sur les végétaux par des symptômes extrêmement graves : - Une présence insuffisante de phosphore dans le milieu où le végétal puis son alimentation minérale se traduit le plus souvent par des retards de croissance, un moindre développement, des accidents végétatifs et, bien entendu, une production amoindrie (Gervy, 1970). - Réduction du développement des racines avec peu de ramification, l'alimentation est donc plus limitée (Brahimi, 1991). - Feuillage en général foncé et mat avec des teintes pourprées et une défoliation précoce commençant par la base de la plante (Charles, 1976).

3.2.6. Engrais phosphatés :

Les engrais phosphatés sont fabriqués à partir des roches phosphatées qui sont extraites de la terre. Le phosphore présent dans ces roches n'est pas disponible pour les plantes surtout dans les sols basiques. Pour rendre le phosphore soluble, ces roches sont attaquées avec l'acide sulfurique pour produire de l'acide phosphorique. Les processus de fabrication aboutissent au

superphosphate simple ou triple, qui est utilisés directement comme engrais phosphatés. Ils sont aussi utilisés en combinaison avec d'autres sources d'azote ou de potassium pour fabriquer des engrais composés (Moughli, 2000)

3.3. Le potassium K

3.3.1. Fertilisation potassique :

Le potassium est l'un des trois éléments qui entrent dans la formule des engrais composés(N.P.K). On remarque son rôle majeur dans le développement des végétaux. Il représente donc un des éléments essentiels de la nutrition des plantes, les besoins de ces dernières sont particulièrement importants

3.3.2. Sources du potassium :

Dans la nature, le potassium se trouve sous diverses combinaisons telle que les silicates, les végétaux. Une partie appréciable du potassium se trouve dans l'eau de mer. Les produits de la mer sont riches en potassium d'où l'utilisation par l'homme des gisements déposés (Cottgnies, 1977 cité par Nouari, 2006).

3.3.3. Le potassium et la plante :

Le potassium est toujours abondant dans la matière sèche des végétaux. Très mobile dans la plante, il y joue un rôle multiple :

- il intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules et régularise les échanges intracellulaires.
- il réduit la transpiration des plantes, augmentant la résistance à la sécheresse.
- il active la photosynthèse et favorise la formation des glucides dans la feuille.
- il participe à la formation des protéines, et favorise leur migration vers les organes de réserve (tubercules et fruits).
- il contribue à renforcer les parois cellulaires, offrant aux plantes une meilleure résistance à la verse et à l'agression des maladies ou parasites (Unifa, 2005).

3.3.4. Les différentes formes de potassium :

- ❖ Le potassium n'est présent dans le sol que sous forme minérale. En effet, le potassium de résidus végétaux est presque exclusivement du K^+ , libéré dans le sol dès la mort des cellules le potassium se trouve ainsi dans le sol sous quatre formes différentes (Christian et al., 2005).
- ❖ Intégré à la constitution des minéraux primaires des roches mères. Cette forme est très lentement libérée au cours des processus d'altération.
- ❖ Inclus entre les feuillets des argiles. Cette forme non échangeable ne peut être libérée que lorsque le sol s'appauvrit fortement en potassium et à l'occasion d'alternances d'humectations et de dessiccations.
- ❖ Adsorbé par les charges négatives de la capacité d'échange cationique du sol.
- ❖ En solution dans l'eau de sol.

3.3.5. Les engrais potassiques :

Les engrais potassiques proviennent essentiellement de l'exploitation minière de dépôts de sels de potassium. Dans la pratique, on utilise presque exclusivement le chlorure de potassium (KCl) et le sulfate de potassium (K_2SO_4), ce dernier ayant l'avantage de contenir également du soufre (FAO, 2005).

4. Besoins d'azolla aux fertilisants

Le besoin en minéraux d'Azolla comprend les macroéléments (P, K, Ca, Mg et Mn) et les micro-éléments (Fe, Mo, Co). Les carences en ces éléments entraînent les diminutions des croissances (Becking, 1979). Mais la caractéristique la plus remarquable dans ce domaine nutritionnel est l'indépendance totale à l'égard de la source d'Azote. Azolla croit parfaitement en absence d'azote combiné (Van Hove et Al, 1983).

PARTIE II

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III

Matériels et méthodes

1. Objectif de l'essai

Cette étude s'appuie principalement sur la culture hydroponique de l'*Azolla caroliniana* Willd dans des conditions contrôlées via de l'étude de l'action de différentes unités fertilisantes de NPK soluble (0-0-0 ; 15-15-15 et 20-20-20) sur les paramètres morphologique et physiologique (la biomasse, le taux de croissance relative (RGR), le temps de doublement, la teneur en chlorophylle et la teneur en eau) de *Azolla caroliniana*.

2. Matériel végétal

2.1. Choix de l'espèce végétale

Notre expérimentation a été menée sur une fougère aquatique «*Azolla caroliniana* Willd ». Flottante, annuelle voire vivace. Les plants d'*Azolla* sont fournis par la pépinière de l'élevage d'*Azolla* située dans la région de MEGHNIA, W Tlemcen. Cette espèce a été choisie pour sa croissance rapide. De plus, sa valeur fourragère et agrécologique importante.



Figure 8: L'espèce d'*Azolla caroliniana* Willd.

3. Lieu de l'essai

L'expérience a été réalisée au niveau de la serre automatisée située au centre universitaire Salhi Ahmed Naâma. La figure 09 et le tableau 2 représentent les caractéristiques abiotiques de cette serre.



Figure 9: la serre automatisée du centre universitaire de Nâama (Arbaoui,2020).

Tableau 2 : Caractéristiques la serre automatisée du centre universitaire de Nâama (Degga ,2017)

Facteurs abiotiques	
Photopériode (h)	8
Température	(20 à 27)°C
Humidité	(20 à 80)
Vent	0 m/s
Intensité lumineuse	400 w/m2
Ensoleillement	95000 Lux

4. Conduite de l'essai

4.1. Préparation de milieu de culture

Le milieu de culture se constitue de trois solutions amendées ou non par NPK se trouvant dans des bassins de volume de 0.016 m³ selon le dispositif suivant :

- Le premier lot se compose uniquement d'eau soit NPK 00-00-00 (UF00)
- Le second lot contient une solution enrichie de NPK 20-20-20 (UF20)
- Le troisième lot forme un mélange d'eau plus NPK 15-15-15 (UF15).

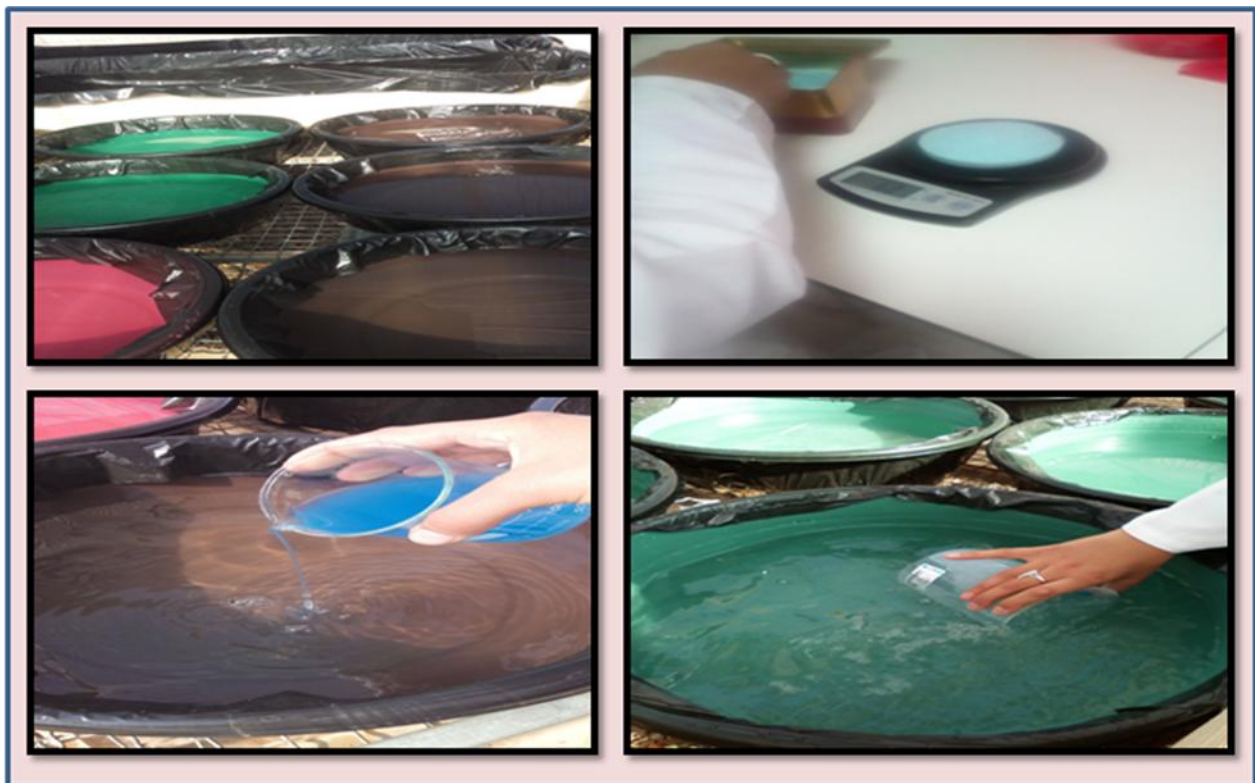


Figure 10- Préparation de milieu de la culture d'*Azolla caroliniana*.

4.2. Mesure du pH :

Le pH et la température de milieu de la culture d'*Azolla* ont été déterminés par un pH mètre de type « Awa AD103 » muni d'une sonde mesurant la température (19°C). La lecture

s'effectue directement sur l'écran de pH mètre après étalonnage par des solutions Standards selon la température affichée.



Figure 11- Contrôle de pH de la solution nutritive (Amari, 2020).

4.3. Repiquage :

Le repiquage d'azolla a eu lieu le 27/02/2020 dans des bassins en plastique sous serre automatisée, les lots sont réparties en trois bloc randomisés, chacun compte quatre répétitions selon le plan ci-dessous et illustration de la figure12 :



Figure 12: Présentation de l'essai (Multiplication d'Azolla par l'utilisation des engrais NPK).

- **Bloc 01** : Quatre bassins sont remplis uniquement de l'eau avec une hauteur de 10 cm au sein duquel on cultive 20 g d'Azolla caroliniana.
- **Bloc 02** : Il contient 20 g d'azolla, cultivé dans des bassins en plastique contenant une solution enrichie par NPK 202020 sur une profondeur de 10 cm et une concentration de 5g/l avec quatre répétitions.
- **Bloc 03** : On cultive 20 g d'azolla dans des bassins qui sont remplis de 10 cm d'hauteur d'une solution contenant l'engrais soluble NPK151515 avec une concentration de 3g/l en quatre répétitions.

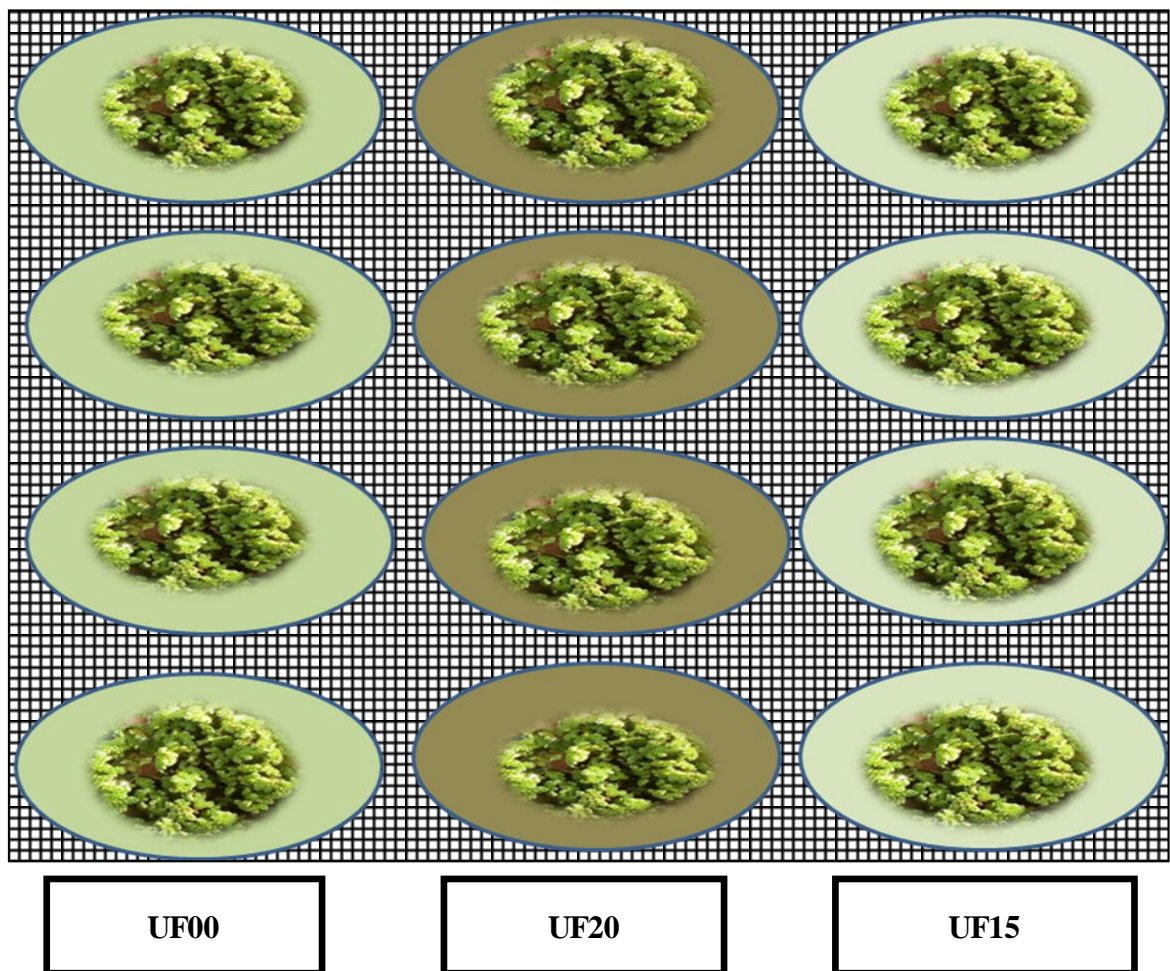


Figure 13-Schéma du dispositif expérimental (Multiplication d'Azolla dans l'eau et par l'utilisation des engrais soluble type NPK).

4.4. Techniques d'analyse

4.4.1. Paramètre biochimique

4.4.1.a. Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle (a) et (b) est réalisée selon la méthode de Francis et al (1970). Qui consiste en une macération des feuilles (0.1 g) dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 20%) de concentration ; les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boîtes noires (pour éviter l'oxydations de la chlorophylle par la lumière), après 48h , on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm). La détermination des teneurs réalisée selon les formules

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO (663)} - 2,59 \times \text{DO (645)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO (645)} - 4,68 \times \text{DO (663)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{Chl (a+b)} (\mu\text{g/g MF}) = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

V : volume solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon

4.4.1.b. Teneur en eau

Le contenu en eau est mesuré à partir des masses fraîches (MF) et sèche (MS) d'un matériel végétal est donnée par la formule suivante : Tel que :

$$\Theta : \text{teneur en eau en \% } \Theta = (\text{MF} - \text{MS}) / \text{MF} * 100$$

La masse fraîche est mesurée immédiatement après le prélèvement des feuilles et la masse sèche est obtenue après 48 h de séchage dans une étuve à 60° (poids constant).

4.4.2. Paramètres morphologiques

4.4.2.a. Poids de la biomasse végétale

Pour chaque échantillon d'azolla, on a déterminé le poids frais juste après le prélèvement. On pèse le matériel végétal avec une balance de précision.

4.4.2. b. Taux de croissance relative et Temps de doublement :

Le poids de la biomasse fraîche a été déterminé juste après le prélèvement et en les épongeant soigneusement sur une serviette en papier avant de les peser en (g).

Le temps de doublement et le taux de croissance relative (g / g / j) ont été calculés en utilisant la formule rapportée par **Badayos (1989) et Hechler et Dawson (1995)**, respectivement.

$$TD = 0.69 t \ln Af / A0$$

Où : Af : biomasse finale

Ao : biomasse initiale

T = période de croissance

$$RGR1-2 = \ln \text{masse2} - \ln \text{masse1} / T2 - T1$$

Où : masse2 = masse à la fin de la période de croissance

masse1 = masse au début de la période de croissance

T2 - T1 = intervalle de temps de la période de croissance exprimée en jours

5. Analyse statistique

L'expérience a été organisée dans une conception complètement aléatoire avec quatre répétitions. Le niveau de signification de l'ANOVA a été fixé à $p < 0,05$. Les données ont été soumises à des analyses à l'aide de logiciel STATISTICA 8, les valeurs indiquées sont des moyennes \pm écart-type.



Figure 14- organigramme du protocole expérimentale adopté.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Effet des unités fertilisantes NPK sur les paramètres morphologiques

1.1. Constat visuel :

Dans cette étude, nous nous intéressons sur la multiplication de l'Azolla sous l'effet des unités fertilisantes NPK (UF15 et UF20).

Les photos ci-dessous montrent l'impact des unités fertilisantes sur la multiplication de l'Azolla (*Azolla caroliniana* Willd).

Les constats visuels montrent que la biomasse était importante dans les plantes qui se trouvent dans les solutions de culture UF15 (figure 15).



Figure 15-Effets de fertilisante NPK 151515 sur la multiplication d'*Azolla caroliniana*.

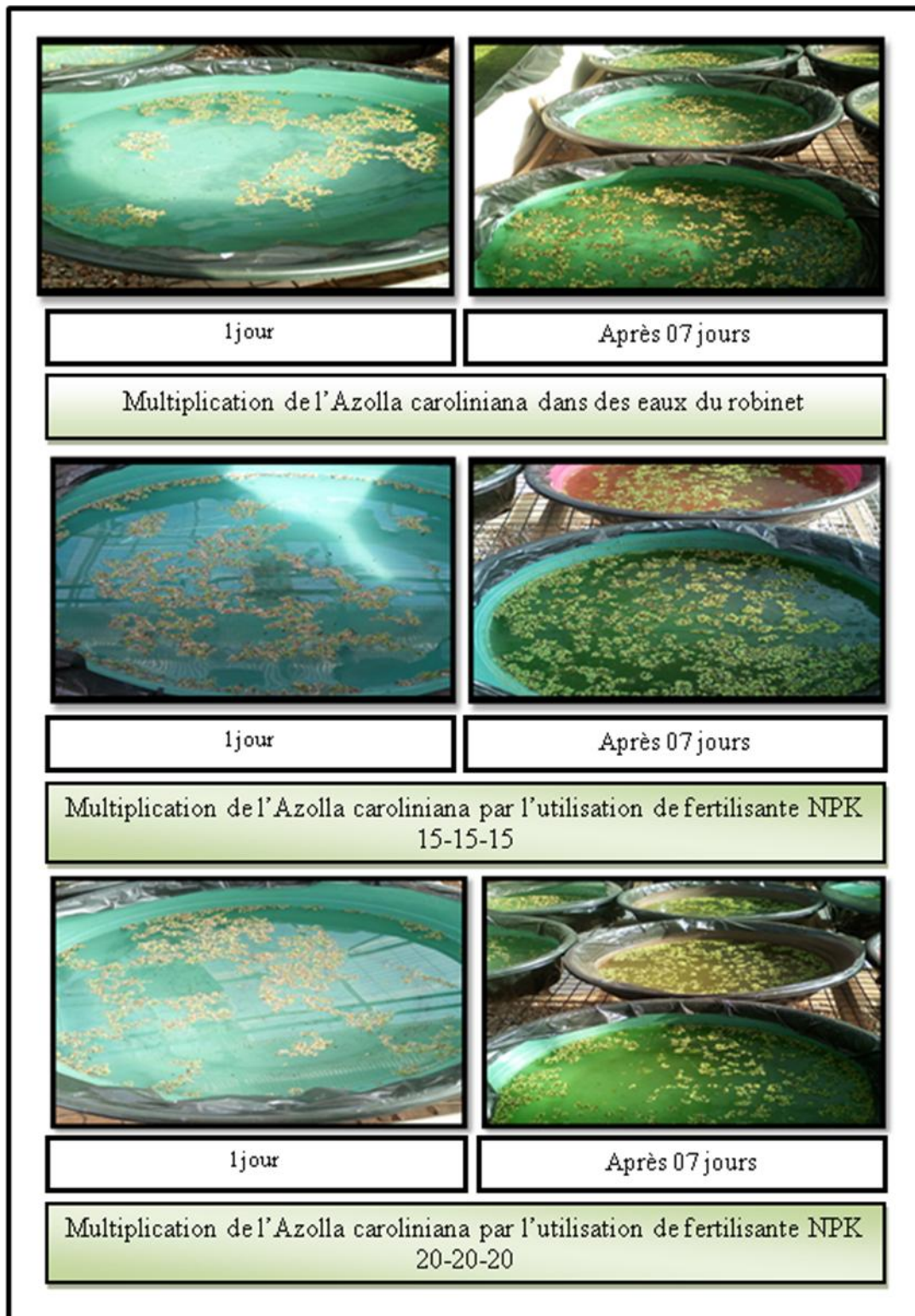


Figure 16- Effets des fertilisantes NPK sur la multiplication d'Azolla caroliniana.

1.2. Poids de la biomasse végétale

Le tableau ci-dessous représente la biomasse d'*Azolla caroliniana* sous l'effet des unités fertilisantes NPK.

Tableau 3 : Moyenne de biomasse de matériel végétal (g) de l'*Azolla caroliniana* sous Effet des unités fertilisantes NPK

Traitement (unité fertilisante)	Biomasse de matériels végétal (g)
UF00	33
UF15	40
UF20	38

L'illustration de la figure 17 représente l'évolution de la biomasse d'*Azolla* (*Azolla caroliniana* Willd) sous l'effet des unités fertilisantes NPK. Elle montre que la biomasse a été importante dans les plantes qui se trouvent dans les solutions de culture UF15 et UF20 avec des valeurs de 40 et 38 g respectivement. Cependant, les valeurs de biomasse les plus faibles d'*Azolla caroliniana* Willd ont été enregistrées dans les plantes cultivées dans une solution hydroponique de UF00 avec une masse de 33g. L'analyse statistiques au seuil d'une probabilité $p < 0,05$ révèle une corrélation positive entre ce paramètre et le facteur NPK avec $r = 0.28$ (figure 01 annexe 01,

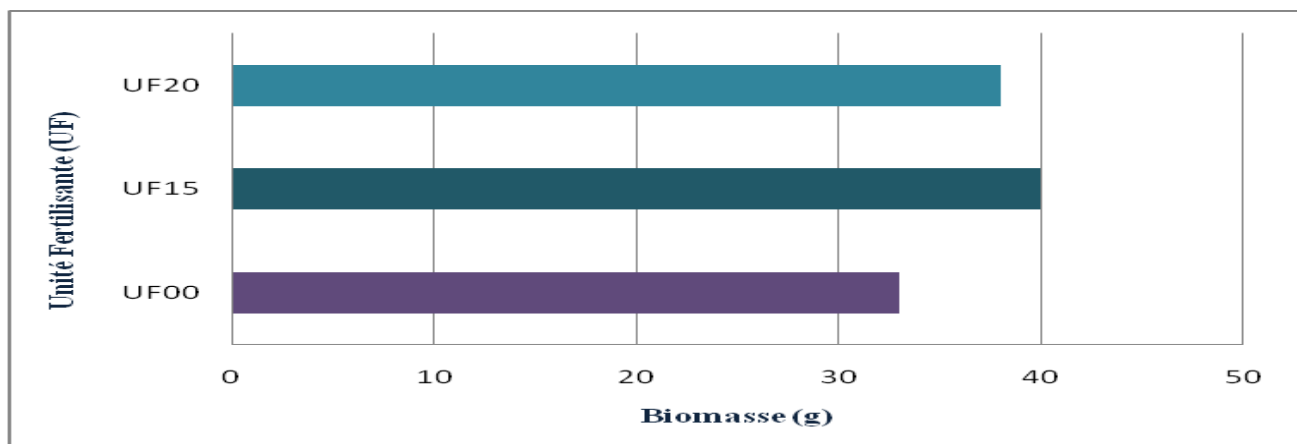


Figure 17- Effet des unités fertilisantes NPK sur la biomasse d'*Azolla caroliniana*.

1. 3. Taux de croissance relative

Tableau 4 : Moyenne de taux de croissance relative ($\text{g g}^{-1} \text{j}^{-1}$) de l'*Azolla caroliniana* Willd sous l'effet des unités fertilisantes NPK.

Traitement (unité fertilisante)	Taux de croissance relative ($\text{g g}^{-1} \text{j}^{-1}$)
UF00	0.07
UF15	0.10
UF20	0.09

D'après le tableau 4 et la figure 18, le traitement de la solution de culture d'*Azolla caroliniana* Willd par UF15 et UF20 figure des moyennes plus élevées de taux de croissance relative, atteint 0,10 et 0,09 $\text{g g}^{-1} \text{j}^{-1}$ progressivement, ce paramètre ralentissait plus sévèrement en FU00 avec 0,07 $\text{g g}^{-1} \text{j}^{-1}$. L'analyse statistique au seuil d'une probabilité $p < 0,05$ révèle une corrélation positive entre le taux de croissance relative et NPK avec $r = 0.30$ (figure 2 annexe 1, tableau 4, annexe 2).

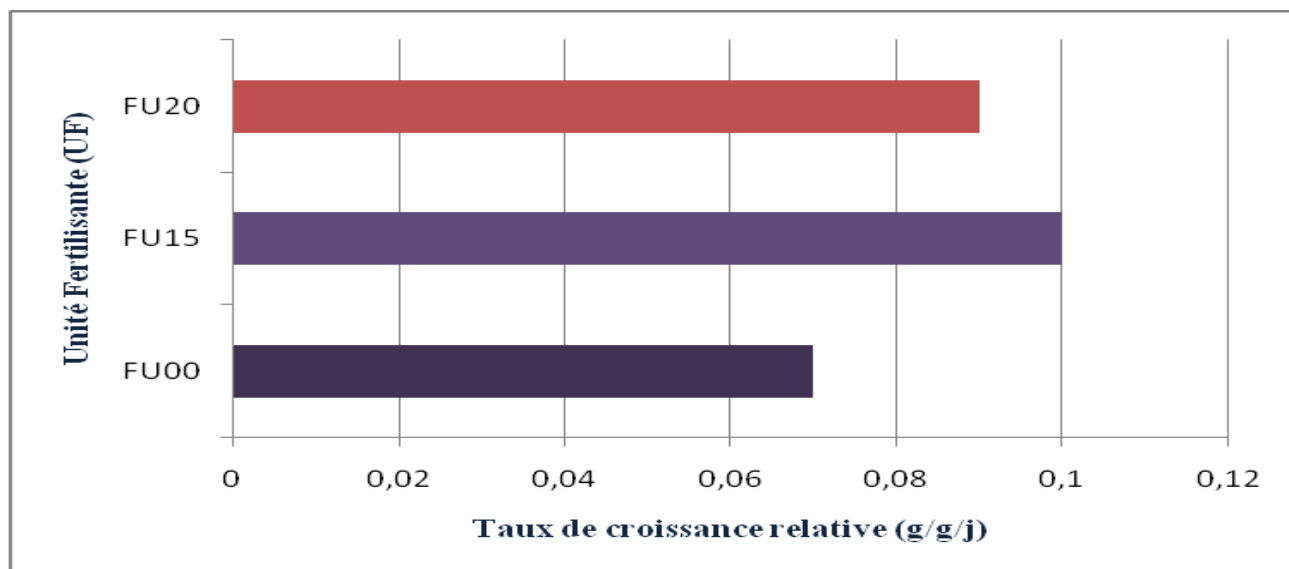


Figure 18: Effet des unités fertilisantes (UF) sur le taux de croissance relative de l'*Azolla caroliniana* Wild.

1.1.4. Temps de doublement d'*Azolla caroliniana*

Tableau 5 : Moyenne de Temps de doublement (J) de l'*Azolla caroliniana* wild sous Effet des unités fertilisantes NPK

Traitement (unité fertilisante)	Temps de doublement (J)
UF00	11.12
UF15	7.35
UF20	8.51

Les résultats obtenus dans la figure 19 et tableau 5 mettent en exergue que le temps de doublement d'*Azolla caroliniana* qui a été repiqué dans UF00 atteignait 12 jours par rapport aux plants cultivés dans les solutions de UF15 et UF20 qui enregistrent moins de temps pour doubler leur masse avec 7 à 8 jours. L'analyse statistiques au seuil d'une probabilité $p < 0,05$ révèle que NPK et le temps de doublement de l'*Azolla caroliniana* wild sont corrélés négativement, avec $r = -0.31565$ (Tableau 04 Annexe 02).

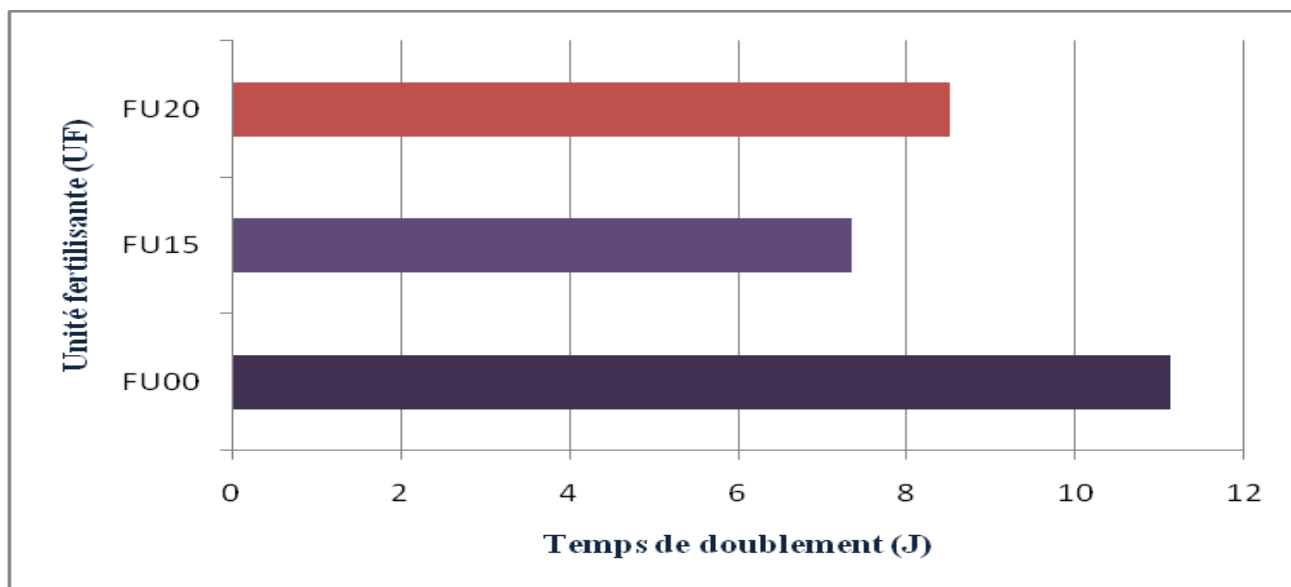


Figure 19: Effet des unités fertilisantes (UF) sur le Temps de doublements de *Azolla caroliniana* Wild.

2. Effet des unités fertilisantes NPK sur les paramètres physiologiques

2.1. Teneur en chlorophylle

2.1.1. Teneur en chlorophylle a (Chl a)

La chlorophylle est un critère de sélection vue la production d'énergie en photosynthèse, le tableau 6 et l'illustration de la figure ci-dessous (figure 20) profilent la variation de ce pigment en fonction du traitement de la solution nutritive par NPK.

Tableau 6 : Moyenne de Teneur en chlorophylle a de l'Azolla caroliniana Wild ($\mu\text{g/g MF}$) sous l'effet des unités fertilisantes NPK.

Traitement (unité fertilisante)	Moyenne Chl a ($\mu\text{g/g MF}$)
UF00	3
UF15	6.4
UF20	4.88

L'analyse de l'ANOVA au seuil d'une probabilité $p < 0,05$ (tableau 01 annexe 02) révèle que l'effet des unités fertilisantes NPK est significative sur la teneur en chlorophylle (a) des feuilles de l'azolla caroliniana wild soit $p = 0.0012$. De plus, la corrélation entre ce pigment et NPK était positive et significative avec $r = 0.48657$ (figure 3 annexe 1, tableau 4 annexe 2).

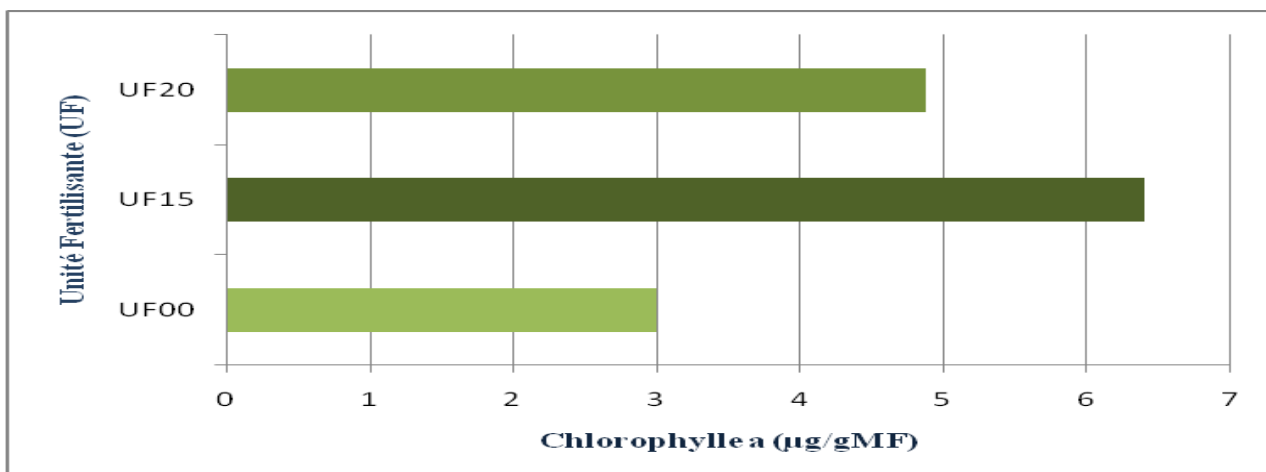


Figure 20: Effet des unités fertilisantes (UF) sur la teneur en chlorophylle a de l'Azolla caroliniana Wild.

Les résultats concernant la teneur en chlorophylle a dans azolla caroliniana willd Montrent que la teneur la plus élevée en ce pigment a été enregistrée chez les plantes cultivés dans la solution enrichie en UF15 avec une moyenne de 6,4 µg / g FW. Alors que les plantes qui se trouvent dans le milieu de culture UF00 et UF20 atteignent 3 et 4,88 µg / g FW de chlorophylle (a) dans les feuilles d'Azolla caroliniana willd respectivement.

2.1.2. Teneur en chlorophylle b (Chl b)

Tableau 7 : Moyenne de Teneur en chlorophylle b de l'Azolla caroliniana Wild (µg/g MF) sous l'effet des unités fertilisantes NPK.

Traitement (unité fertilisante)	Moyenne Chl b (µg/g MF)
UF00	2.29
UF15	4.18
UF20	4.4

L'analyse de l'ANOVA au seuil d'une probabilité $p = 0.034960 < 0,05$ (Tableau 02 annexe 02) révèle que l'effet des unités fertilisantes NPK est significatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles de l'azolla caroliniana willd (corrélation positive significative) avec $r = 0.65915$ (Figure04 Annexe01, Tableau04 Annexe02).

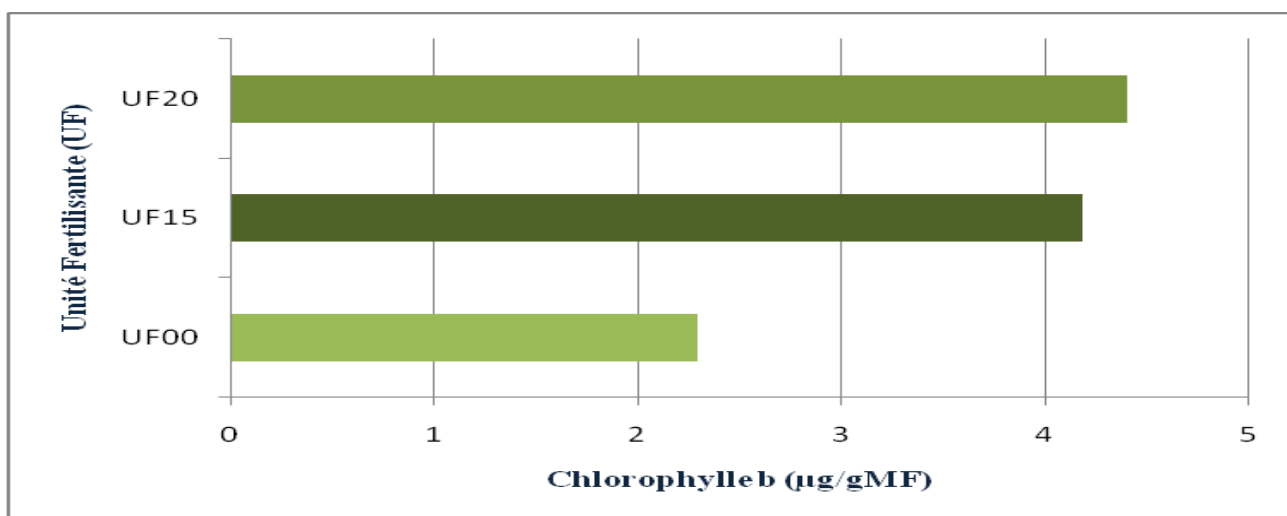


Figure 21: Effet des unités fertilisantes (UF) sur la teneur en chlorophylle b de l'Azolla caroliniana Wild.

Selon l'illustration de la figure 21, la teneur en chlorophylle (b) est proportionnelle à la fertirrigation de l'azolla par la solution enrichie en NPK (UF 15 et UF 20) ou la teneur la plus élevée de ce pigment a été affichée soit 4.18 et 4.4 $\mu\text{g/g}$ MF progressivement par rapport aux lots témoins (UF00) qui n'atteignent que 2.29 $\mu\text{g/g}$ MF.

2.1.3. Teneur en chlorophylle totale (Chl totale)

Le tableau 8 et la figure 22 reflètent l'effet des fertilisants solubles NPK sur la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles d'*Azolla caroliniana*.

Tableau 8 : Moyenne de la teneur en chlorophylle totale de l'*Azolla caroliniana* Wild ($\mu\text{g/g}$ /MF) sous l'effet des unités fertilisantes NPK.

Traitement (unité fertilisante)	Moyenne Chl totale ($\mu\text{g/g}$ MF)
UF00	5.29
UF15	10.58
UF20	9.28

L'analyse de l'ANOVA au seuil d'une probabilité $p < 0,05$ (tableau 3, annexe 2) révèle que l'effet des unités fertilisante NPK est significatif sur la teneur en chlorophylle totale des feuilles de *azolla caroliniana* willd ($p= 0.0044$) (corrélation positive significative) soit $r = 0.60592$ (figure5 annexe1, tableau 4 annexe 2).

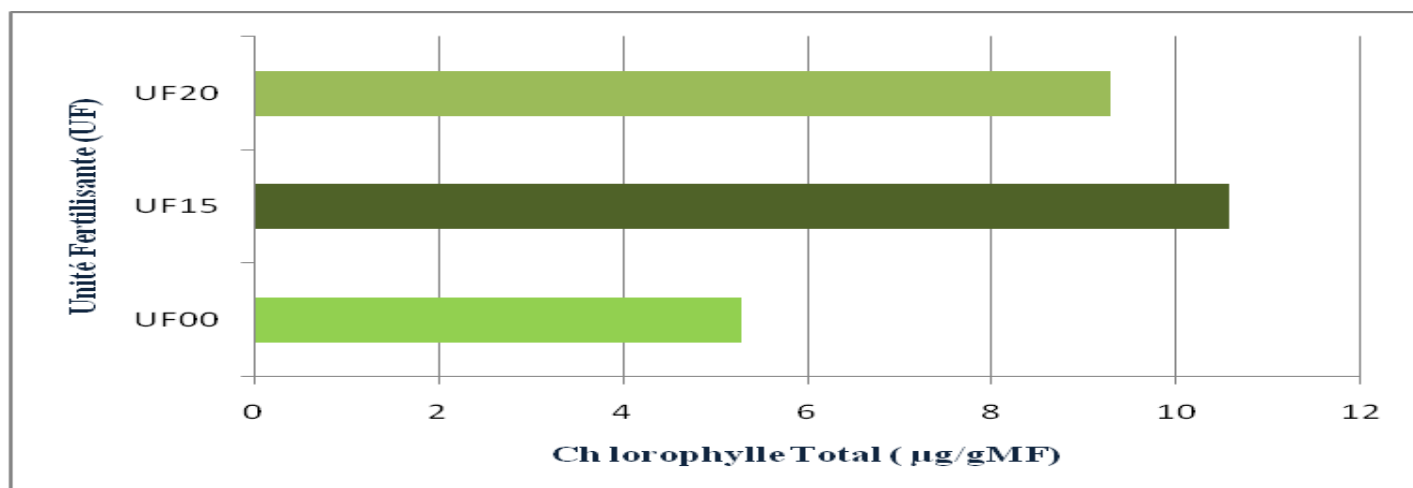


Figure 22: Effet des unités fertilisantes (UF) sur la teneur en chlorophylle totale de *Azolla caroliniana* Wild.

Les résultats trouvés dans la figure 22 mettent en exergue que la teneur en chlorophylle totale était proportionnelle aux fertilisants. En effet, le UF00 (chez les plantes témoins) a provoqué une diminution significative de la chlorophylle totale par rapport à l'Azolla cultivé en UF15 où le pigment atteignait son minimum de 10,58 µg / g MF.

2.2. Teneur en eau dans les feuilles d'Azolla caroliniana

Le tableau et la figure ci-dessous décrivent l'effet des fertilisants solubles NPK (UF) sur le paramètre hydrique représenté par la teneur en eau dans les feuilles d'azolla.

Tableau 9 : Moyenne de la teneur en eau des feuilles de l'Azolla caroliniana willd sous l'effet des unités fertilisantes NPK

Traitement (unité fertilisante)	Moyenne de Teneur en eau
UF00	90.60
UF15	90.80
UF20	90.50

Les résultats de la teneur en eau de la plante en fonction de l'Effet des unités fertilisantes NPK montrent que la variation de ce paramètre était légère avec un taux maximum de 90.80 %. Alors, les analyses statistiques au seuil d'une probabilité p 0.05 n'ont enregistré aucun effet significatif de NPK sur la teneur en eau dans les feuilles d'azolla caroliniana.

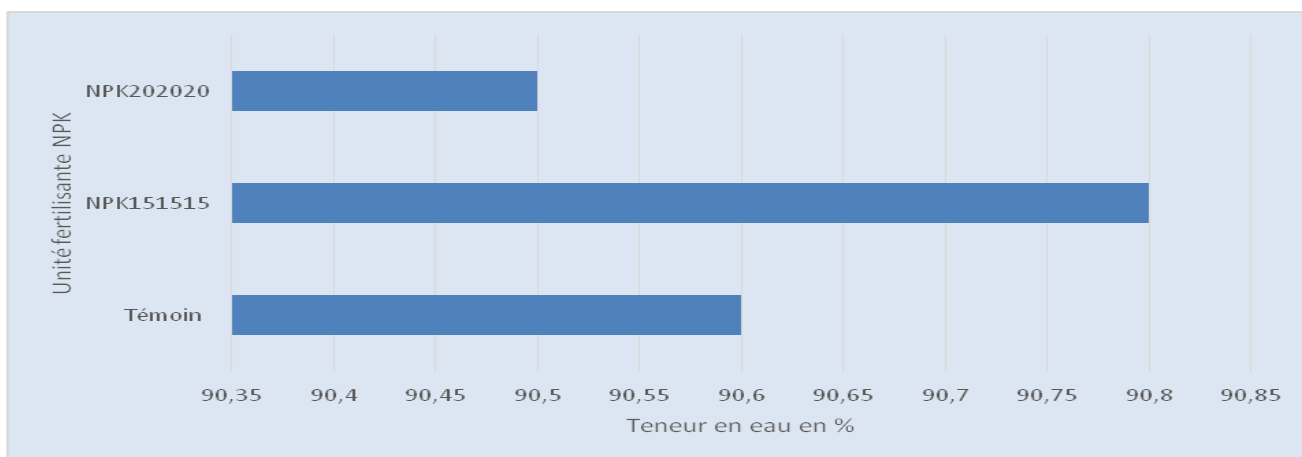


Figure 23: Effet des unités fertilisantes NPK sur la Teneur en eau de l'Azolla caroliniana willd.

Discussion Générale

Les résultats obtenus mettent en évidence la croissance et la physiologie de l'azolla sous l'effet des fertilisants NPK (UF), cette étude a permis de relever les points essentiels suivants :

Le résultat de cette étude a montré que l'unité fertilisante UF15 augmentait considérablement la biomasse et le taux de croissance relative d'*Azolla caroliniana* Willd par rapport aux lots de plantes. L'application de phosphore a augmenté la croissance, la biomasse et la fixation du N d'*Azolla* (Singh et al 1990).

L'*Azolla* enrichi en phosphore a maintenu une teneur en phosphore végétale plus élevée et a produit un meilleur rendement en biomasse et en azote que l'*Azolla* non enrichi. L'application de phosphore pendant les cultures associées a considérablement augmenté le poids sec (Singh 2008). (Liu et al.1982) a montré que 1 g de biomasse d'*Azolla* est capable d'absorber environ 70% de K de 800 ml de solution de culture contenant 0,85 ppm de K_2O en 1 jour. Cela peut être considéré comme le point critique physiologique des besoins en K d'*Azolla*.

Ehab et Abdel-fatah (2020) ont rapporté que les traitements fertilisés (organiques et inorganiques) étaient associés à une augmentation de la biomasse par rapport au groupe témoin, les valeurs les plus élevées se produisant avec le traitement organique. La croissance a augmenté après le traitement avec des engrais organiques et inorganiques d'*Azolla* Sp. Par contre, nous avons noté une augmentation du temps de doublement dans le groupe témoin mais lors de l'enrichissement de la solution de culture avec NPK, ce paramètre diminue considérablement.

La teneur maximale en chlorophylle dans les échantillons d'*Azolla caroliniana* Willd s'est produite dans les lots cultivés dans la solution hydroponique enrichie en NPK 15-15-15 (UF15), tandis que la valeur minimale de ce pigment a été trouvée dans le groupe de traitement témoin et NPK 20-20 -20 (UF20) respectivement. Ren et al (2017) ont montré qu'avec une augmentation de la densité des plantes, les teneurs en chlorophylle (a) et (b) diminuaient considérablement, entraînant une diminution du taux de photosynthèse pendant la croissance des plantes. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour cette étude. La fertilisation augmente la chlorophylle, les teneurs en nutriments (N et P), la composition biochimique et le taux de croissance des espèces *Azolla*. Ajout de fertilisante à *Azolla* sp. Améliore sa valeur nutritionnelle (Temminck et al 2018)

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Cette étude a été menée sur la croissance et la réponse biochimique d'*azolla caroliniana* aux différentes unités fertilisantes NPK plus oligo-éléments (UF15 et UF20) à travers la biomasse, teneur en eau et la chlorophylle a, b et totale. Dans ce contexte on peut relever les points essentiels suivants :

Les résultats de l'effet de NPK sur la biomasse et RGR, révèlent que l'Azolla traité par NPK 15-15-15 présente des valeurs importantes par rapport aux lots témoins et celui traité par NPK 20-20-20.

L'application de fertilisation minérale par l'utilisation de NPK 15-15-15 augmente significativement la teneur en chlorophylle a, chlorophylle b et la chlorophylle totale avec une corrélation positive.

Le temps de doublement a été élevé lorsque les plantes d'*Azolla caroliniana* ne reçoivent aucun traitement de NPK. Cependant, ce paramètre a été diminué chez les sujets amendés par NPK 15-15-15. De plus, on a enregistré une corrélation négative et significative du temps de doublement d'*azolla* avec NPK, RGR et la teneur en chlorophylle.

Ces résultats étaient encourageants, ce qui ouvre plusieurs axes de recherches sur cette espèce, parmi les perspectives on peut citer :

L'azolla Caroliniana willd en tant qu'un fourrage riche en protéines présente un certain intérêt pour son utilisation comme culture économique et durable compte tenu de sa biomasse élevée sous l'effet du NPK 15-15-15 en hydroponie. Il serait plus avantageux de mener une recherche approfondie sur l'association d'*azolla* avec d'autres plantes fourragères steppiques afin d'atteindre la ration idéale et équilibrée notamment pour l'élevage des ovins, bovin laitier dans les zones arides de l'Algérie.

Sur le plan environnemental, une étude sérieuse serait souhaitable sur la possibilité d'utilisation de l'*azolla* pour la phytoremédiation des eaux polluées par les métaux lourds comme le plomb, le cuivre et l'uranium.

Conclusion et perspectives

Pour une agriculture durable, il serait plus avantageux de mettre en place des essais sur le compost de la matière sèche d'azolla en tant qu'une fougère capable de fixer et transformer l'azote atmosphérique.

BIBLIOGRAPHIE

- **Abdelguerfi A., Laouar M., M'Hammedi Bouzina M., 2008.** Les production fourragères et pastorales en Algérie : Situation et 14 Possibilités d'Amélioration. Revue Semestrielle 'Agriculture & développement'' (INVA, Alger), janvier 2008, n°6 : 14-25.
- **Abou Y, Fiogbé D and Micha J, 2007.** Effects of stocking density on growth, yield, and profitability of farming Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed Azolla-diet, in earthen ponds. Thèse de doctorat : Effet de l'alimentation à base d'Azolla sur la production du tilapia du Nil en zones humides au Bénin.
- **Accodji J, Fiogbé D et Gangbazo K, 2009.** Essai de valorisation d'Azolla (*Azolla microphylla* Kaulf) dans la production porcine en zone humide.
- **Al hassani T & persoon E,1994.** Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale, hatier - aupelf - uref, paris, 544 pages.
- **Alalade O, Iyayi E, 2006.** Chemical composition and the feeding value of Azolla (*Azolla pinnata*) Meal for egg-type chicks. International Journal of Poultry Science, vol. 5, no. 2. pp.137-141.

Anthony N ,2007. Essai comparatif de la qualité fertilisante d'Azolla Cristata et d'autres fumues (fiente, lisier et urée)

- **Arora et Singh, 2003.** Comparison of biomass productivity and nitrogen fixing potential of Azolla Spp. Biomass and Bioenergy 24 175- 178
- **Ashton P, 1974.** The effect of some environmental factors on the growth of *Azolla filiculoides* Lam, The Orange River E.M.V. Zinderen-Bakker (ed.), Progress Report, Bloemfontein, South Africa, pages 123-138.
- **ASMIDAL,2004.** La nouvelle stratégie commerciale. ASMIDAL infos, 22 (janvier).
- **Basak B, Pramanik M, Rahman M, Tarafdar S, Roy B, 2002.** Azolla (*Azolla pinnata*) as a feed ingredient in Broiler ration. International Journal of Poultry Science 1 (1), 29-34.
- **Becking J, 1979.** Environmental requirements of Azolla for use in tropical rice production, Nitrogen and Rice. International rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines, pages 345-374.
- **Brahimi ,1991.** Contribution à l'étude de l'utilisation des phosphates naturels dans la fertilisation phosphatée d'un sol saharien, à Biskra, Mémoire Ing. Agro. Ouargla 68p.
- **Brouwer P, Bräutigam A, BuijsV ,Tazelaar A ,Werf A, SchlüterU, Schluempmann H 2018** .Metabolic adaptation, a specialized leaf organ structure and vascular responses to diurnal N₂ fixation by Nostoc azollae sustain the astonishing productivity of Azolla ferns without nitrogen fertilizer. Frontiers in plant science, 8, 442.
- **Buckman O , 1990.** Agriculture et fertilisation. Ed norsk Rydro a. s. 258p
- **Cabi, 2016.** Azolla Control. Cabi [en ligne]. [Consulté le 7 décembre 2016].

Bibliographie

- **Cagauan A, 1999.** Production, economics and ecological effects of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)), a hybrid fern Azolla (*Azolla microphylla* Kaulf. x *Azolla filiculoides* Lam.) and mallard duck (*Anas platyrhynchos* L.) in integrated lowland irrigated rice-based farming system in the Philippines. PhD Thesis, UCL, Louvain-LaNeuve, Belgique, 404 p.
- **Carrapiço F, Teixeira G, Adélia D, 2000.** Azolla as a biofertilizer in Africa. A challenge for the future. *Revista de Ciências Agrárias* 23 (3-4), 120138.
- **Castillo L, 1983.** Feeding value of crop residues of food crops grown in rice-based farming systems, p 23. In Asian Cropping Network, Crop-Livestock Research Workshop, Los Banos, 25-28 April 1983, (off-print)
 - **Charles, 1976.** Diagnostic de la carence phosphorique des sols par symptomatologie végétale *Annales de l'INA* vol 22 pp 119-121
- **Cohen-Shoel N, Barkay Z, Ilzyer D, Gilath I, Tel-Or E, 2002.** Biofiltration of toxic elements by Azolla biomass. *Water, Air, and Soil Pollution* 135: 93-104
- **Costa M, Santos M, Carrapico F, Pereirac A, 2009.** Azolla-Anabaena's behaviour in urban wastewater and artificial media-Influence of combined nitrogen. *Water Resource*. 43, 37433750.
 - **Diehl J, 1975.** *Agriculture générale*, pp 205-211
- **Dijon, 2016.** Azolla filiculoides. *Biologie Végétale*, UFR Sciences de la Vie [en ligne]. [Consulté le 6 décembre 2016].
- **Doucet R, 2001.** La science agricole : climat, sols et production végétale du Québec, Berger, Québec, 699 pages.
 - **Duthil J, 1973.** *Eléments d'écologie et d'agronomie*, T3, Ed. J.B. Baillièrre. 654p.
- **Esonu B, Opara M, Okoli I, Obikaonu H, Udedibie C, Iheshiulor O, 2006.** Physiological response of laying birds to Neem (*Azadirachta Indica*) leaf meal-based diets : body weight organ characteristics and haematology. *Online J. Health Allied Sc*, 5
- **Falisse A., Lambert J, 1994.** Fertilisation minérale et organique, in Hatier - Aupelet, 544 pages.
- **FAO (1978).** La multiplication de l'Azolla et son utilisation dans l'agriculture. *Bulletin pédologique* 41, FAO, ROME, 68 pages
- **FAO (1987).** Guide sur les engrais et la nutrition des plantes. Service des engrais et de la nutrition azotée, Rome, 190 pages
 - **Fardeau J, 1993.** Le phosphore assimilable des sols: Sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. *Agronomie* ; 13 : 317-33
- **Fédération des Conservatoires Botaniques Nationaux (FCBN), 2012.** Fiche Azolla filiculoides. FCBN [en ligne]. [Consulté le 5 décembre 2016]. Disponible à l'adresse :
- **Fernandez-Zamudio R., Garcia-Murillo P., Cirujano S, 2010.** Germination characteristics and sporeling success of Azolla filiculoides Lamarck, an aquatic invasive fern, in a Mediterranean temporary wetland. *Aquatic Botany*, Vol. 93 (2), 89-92

Bibliographie

- **Fiogbé E, Micha J, Van Hove C, 2004.** Use of a natural aquatic fern, *Azolla microphylla*, as a main component in food for the omnivorous– phytoplanktonophagous tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 20, pp. 517– 520
 - **Gachon L , 1969.** La fertilisation phosphatée. Panorama des recherches récentes Effectuées en France. *Phosphore Agri.*, 53. 17 -26
 - **Gervy R ,1970.** Les phosphates et l’agriculture. Ed. Dunod. Paris. 298p

- **Gouri M , Sanganal J , Gopinath, C , Kalibavi C , 2012.** Importance of azolla as a sustainable feed for livestock and poultry-A review. *Agricultural Reviews*, 33(2), 93-103.
- **Haller W, Sutton D & Barlome W,1974.** Effects of salinity on the growth of several aquatic macrophytes. *Ecology* 55, pages 891-894
- **Hasan M, Chakrabarti R, 2009.** Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review. *FAO Fisheries and Aquaculture technical paper*, 531. FAO, Rome, Italy
- **Hechler W , Dawson J, 1995.** Factors affecting nitrogen fixation in *Azolla caroliniana*. *Transactions of the Illinois State Academy of Science*, 88, 97–107.

- Hossiny H, Setoudeh M, Rokni H, Dehghanzadeh H, Cheraghcheshm M ,2008 .**Using of silage azolla in Guilan male calves nutrition. *Proceedings of Third National Congress of Recycling and Reuse of Renewable Organic Resources in Agriculture Islamic Azad University, Khorasgan branch (Isfshan) Agricultural faculty, waste and water research centre..*

- **Hussner A, 2010.** NOBANIS - Invasive Alien Species Fact Sheet – *Azolla filiculoides*. – From: Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS www.nobanis.org, Accès le 25/02/2017.
- **Janes R, 1998a.** Growth and survival of *Azolla filiculoides* in Britain. 1. Vegetative reproduction. *New Phytologist* 138: 367-376
- **Janes R, 1998b.** Growth and survival of *Azolla filiculoides* in Britain. 2. Sexual reproduction. *New Phytologist* 138: 377-384
- **Jardin! L’encyclopédie, 2016.** *Azolla caroliniana*, *Azolla de Caroline*. *Nature Jardin* [en ligne]. [Consulté le 6 décembre 2016].
- **Khatun A, Ali M, Dingle J, 1999.** Comparative of the nutritive value for laying hens of diets containing *Azolla* (*Azolla pinnata*) based on formulation using digestible protein and digestible amino acid versus total protein and total amino acid. *Animal Feed Science and Technology* 81, 43-56.
- **Kim Pham, 1982.** *Azolla pinnata*, plante miracle des rizières du Vietnam. *Biofutur*, 1, 11-21.
- **Lejeune A, Cagauan A, Van Hove C 1999.** *Azolla* research and development: recent trends and priorities. *Symbiosis*.
- **Leterme P, Londono I, Munoz J, Suarez J, Bedoya C, Souffrant W, Buldgen A, 2009.** Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 149 135-148.
- **Liu G, Wei G, Zhin B, Weng, and Zhang Y, 1982.** Study on the potassium enriching physiology of *Azolla*. *scientia Agricultura Sinica*, 4 :82-87.

Bibliographie

- **Lumpkin T & Plucknett D, 1982.** Azolla as a green manure: Use and Management in crop production. Westview Tropical Agriculture Series No. 5. Westview Press, Bolder, Colorado. 230pp.
- **Lumpkin T, 1984.** Assessing the potential for Azolla use in the humid tropics. International Rice Commission Newsletter (FAO).
- **Mazoyer M, 2002.** Larousse agricole : le monde paysan au 21ème siècle, 4ème édition, Paris, 767 pages.
- Merdjane L, Yakhlef H ,2016.,** Le déficit fourrager en zone semi-aride : une contrainte récurrente au développement durable de l'élevage des ruminants, / Revue Agriculture. Numéro spécial 1 (2016) 43 – 51.
- **MINISTERE DES AFFAIRES ETRANGERES 2002.** Mémento de l'Agronome, CIRAD - GRET, Paris, 1691 pages.
 - **Moughli L,2000.** Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations. Transfert de Technologie en agriculture MADREF/DERD PNTA .No72.1page
 - **Nouari S ,2006.** Etude de l'effet de quatre types d'engrais potassiques sur la culture d'orge (*Ordeum vulgare* L var Rihane 3) sous pivot dans la région de Ouargla. Mémoire d'Ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, Option Production Végétale Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla Algérie, p54
 - **Ooreka, 2016.** Fiche plante : Azolla. Ooreka.fr [en ligne]. [Consulté le 5 décembre 2016].
 - **Paoletti C, Bocci F, Lercker G, Capella P, Materassi R, 1987.** Lipid composition of *Azolla caroliniana* biomass and its seasonal variation. *Phytochemistry* 26 (4), 1045-1047.
 - **Rahagarison, 2005.** Etude bibliographique de l'Azolla ou la «ramilamina» plante fertilisatrice d'Azote (N2). taloha.info [en ligne]. [Consulté le 6 décembre 2016].
 - **Raja W, Rathaur P, John SA, Ramteke PW, 2012.** Azolla: an aquatic pteridophyte with great potential. *International Journal of Research in Biological Sciences* 2012; 2(2): 68-72.
 - **Ramilamina,1995.** Utilisation de l'azolla comme source de protéine pour l'alimentation animale à madagascar Antsirabe p18 (ONG Ramilamina).
 - **Ren B, Liu W, Zhang J, Dong S, Liu P, Zhao B ,2017.** Effects of plant density on the photosynthetic and chloroplast characteristics of maize under high-yielding conditions. *Sci. Nat.*, 104.
 - **Reynaud P, Franche C, 1984.** « *Azolla pinnata* Var .*Pinnata* » , Sakar : orstome P15 (cirad Antananarivo).
 - **Roger P, Garcia J, 2001.** Introduction à la microbiologie du sol. Polycoché de cours (Université de Provence, Université de la Méditerranée, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Luminy. 191pp.
 - **Sanchez E., Muñoz E., Anchondo Á., Ruiz J.M., Romero L., 2009.** Nitrogen impact on nutritional status of Phosphorus and its main bioindicator: response in the roots and leaves of green bean plants. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2): 177-182
 - **Saouli N, 2016.** Contribution à l'étude de l'effet de quelques engrais sur la disponibilité du phosphore dans les sols calcaires Touggourt. Mémoire de mastère en Agronomie. Spécialité

Bibliographie

- Protection de la Ressource Sol, Eau et Environnement, Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla Algérie, 45p
- **Serag M, El-Hakeem A, Badway M, Mousa M, 2000.** On the Ecology of *Azolla filiculoides* Lam. in Damietta District, Egypt. *Limnologica* 30:73-81.
 - **Shamna T, Peethambaran P, Jalaludeen A, Leo J, Muhammad A, 2013.** Broiler characteristics of japanese quails (*coturnix coturnix japonica*) at different levels of diet substitution with *azolla pinnata*. Shiomu N, Kitoh S, 2001. *Azolla* in a pond, nutrient composition, and use as fish food. *Soil Sci, Plant Nutr.*, vol. 47(1), pp. 27-34.
 - **Singh P , Bisoyi R , Singh R P,1990.** Collection and germination of sporocarps of *Azolla caroliniana*. *Annals of Botany*, 66(1), 51-56.
 - **Singh S, Upadhyay R , Mishra A , 2008.** Physiological interactions in *Azolla Anabaena* system adapting to the salt stress. *Journal of Plant Interactions*, 3(3), 145-155.
 - **Soltner D.2003.** Les basses des productions végétales. Ed 23^{ème} T1 : le sol et son Amélioration 464p
 - **Tela Botanica, 2005.** *Azolla filiculoides* Lam. Tela Botanica [en ligne]. [Consulté le 5 décembre 2016]. Disponible à l'adresse : <http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn9057synthese>
 - **Temmink R , Harpenslager S , Smolders A , van Dijk G, Peters R , Lamers L , Van Kempen M , 2018.** *Azolla* along a phosphorus gradient: biphasic growth response linked to diazotroph traits and phosphorus-induced iron chlorosis. *Scientific reports*, 8(1), 18. <http://doi:10.1038/s41598-018-22760-5>.
 - **Van Hove C, DIARA H & GODARD P,1983.** *Azolla* en Afrique de l'Ouest (ADRAO).
 - **West, R, 1953.** The occurrence of *Azolla* in British interglacial deposits. *New Phytologist* 52 : 267-272
 - **Zekkour M,2007.** Effet de la fertilisation phosphatée sur le comportement et la productivité d'une culture de blé dur (*Triticum durum* L.var.Simeto) conduite en conditions sahariennes dans la région D'El Goléa W Ghardaïa. Mémoire d'Ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, Option Production Végétale Département des Sciences Agronomiques, Université d'Ouargla Algérie, 94p.

Bibliographie

Les Sites-Internet :

- <http://www.especes-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2016/05/Azolla-ARPE.pdf>
- <http://www.azollacontrol.com/>
- http://serres.ubourgogne.fr/flore/article.php3?id_article=59
- <http://www.taloha.info/document.php?id=117>
- http://www.fcbn.fr/sites/fcfn.fr/files/ressource_telechargeable/fiche_azolla_filiculoides_v2.pdf
- <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/628/azolla>.
- <http://www.taloha.info/document.php?id=117#tocto1>
- <https://doi.org/10.1007/s00114-017-1445-9>.
- <https://doi.org/10.1080/17429140802238916>

ANNEXE

Annexe 01

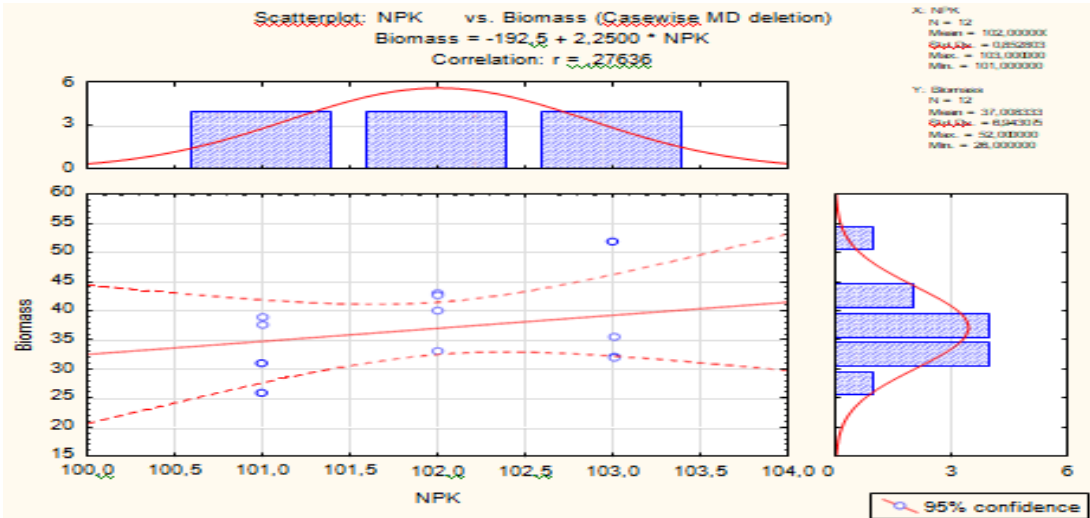


Figure 01 : Corrélation entre Unités Fertilisantes NPK et la Biomasse de l’Azolla caroliniana willd

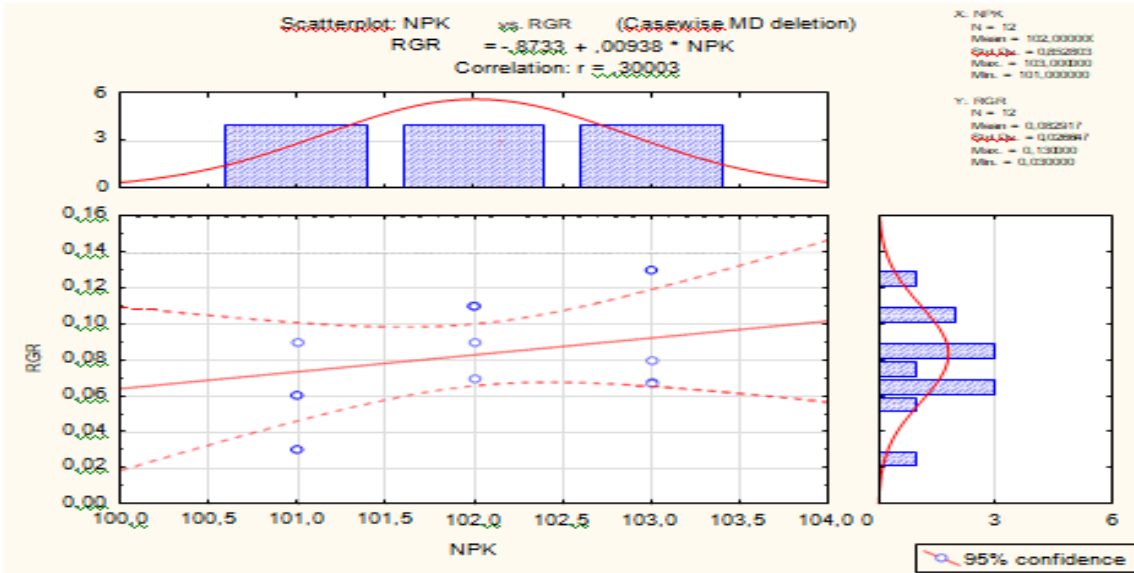


Figure 02 : Corrélation entre Unités Fertilisantes NPK et le taux de croissance relative de l’Azolla caroliniana willd

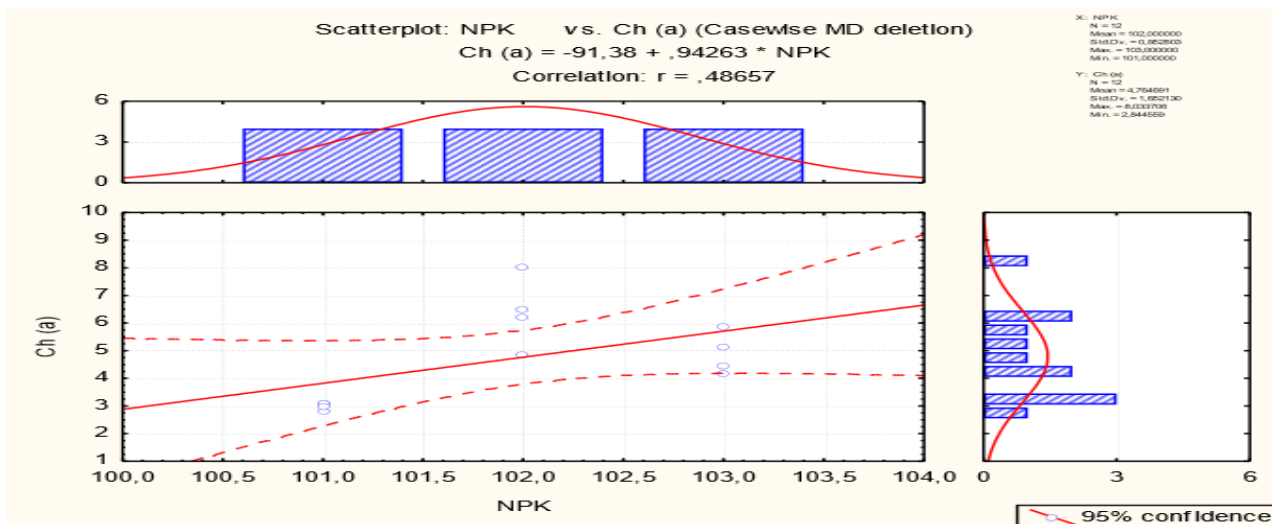


Figure 03 : Corrélation entre Unités Fertilisantes NPK et la teneur en chlorophylle a des feuilles de l'Azolla caroliniana willd

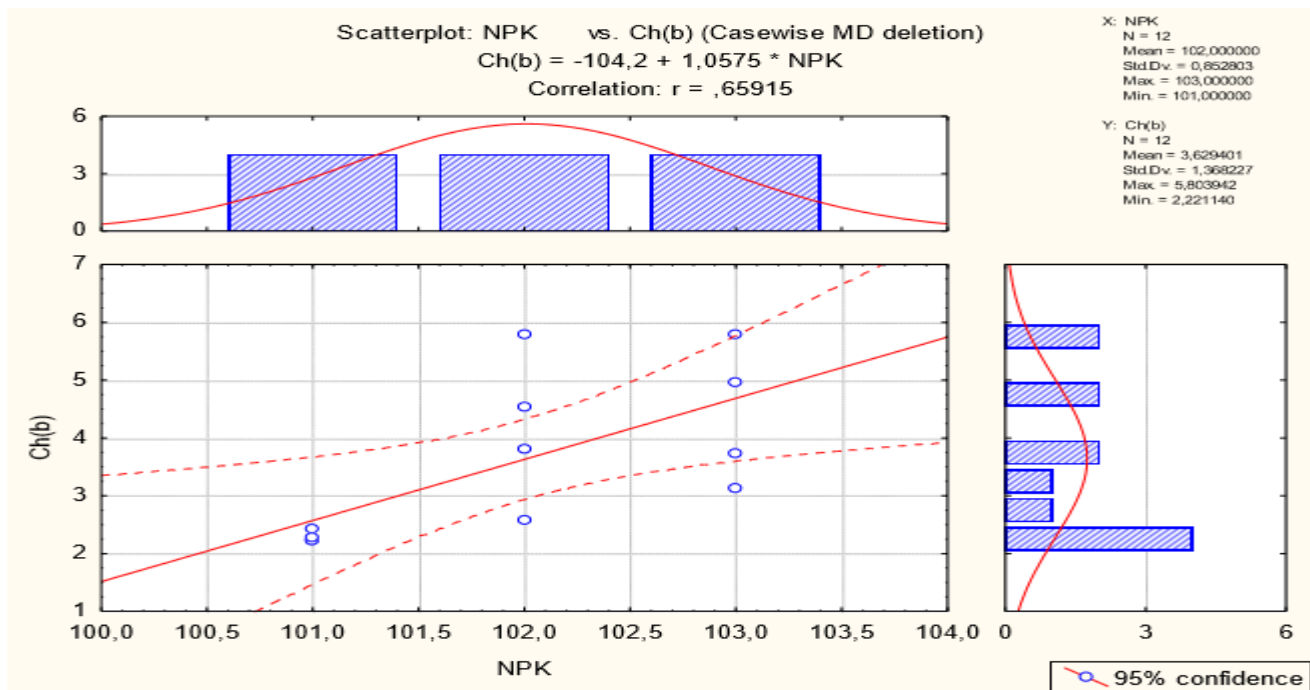


Figure 04: Corrélation entre Unités Fertilisantes NPK et la teneur en chlorophylle b des feuilles de l'Azolla caroliniana willd

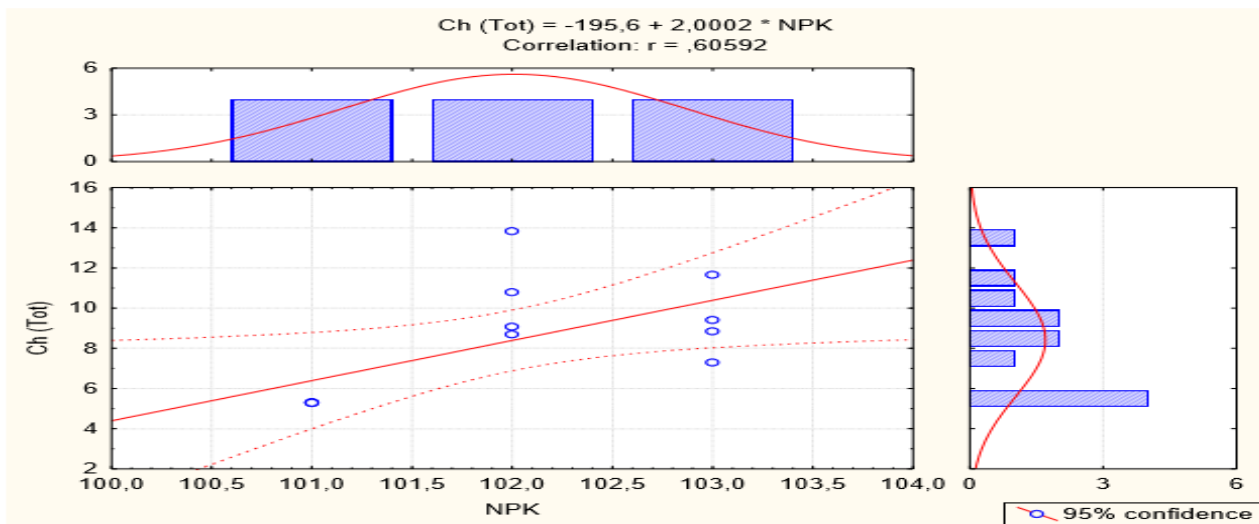


Figure 05: Corrélation entre Unités Fertilisantes NPK et la teneur en chlorophylle totale des feuilles de l’Azolla caroliniana willd

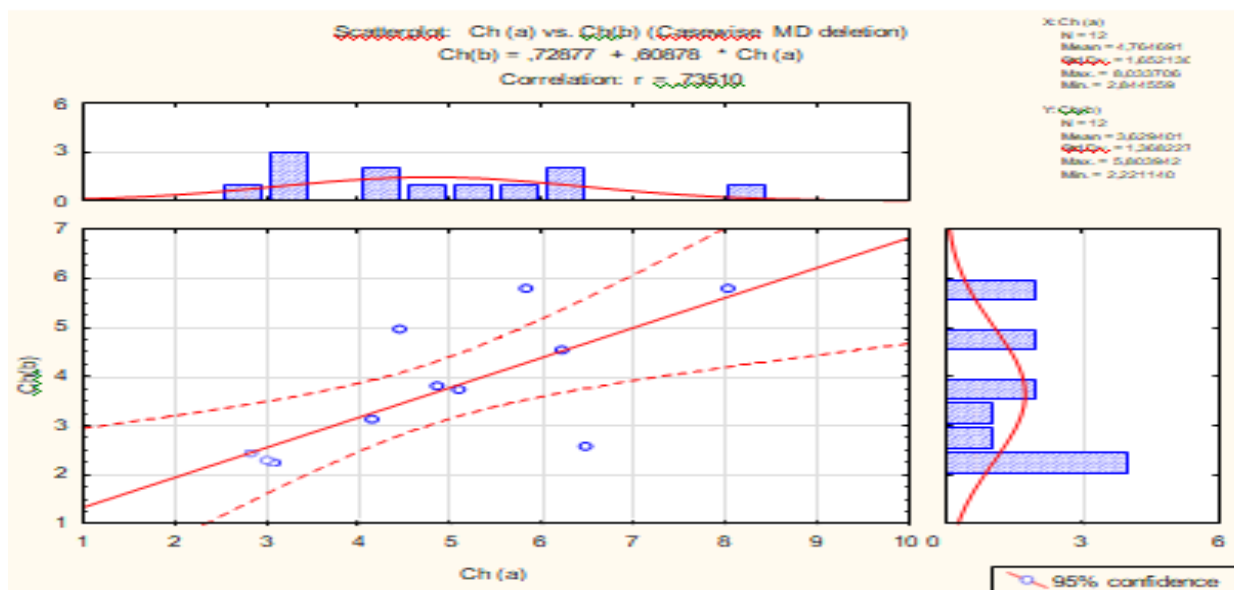


Figure 06: Corrélation entre Chlorophylle a et Chlorophylle b

ANNEXE

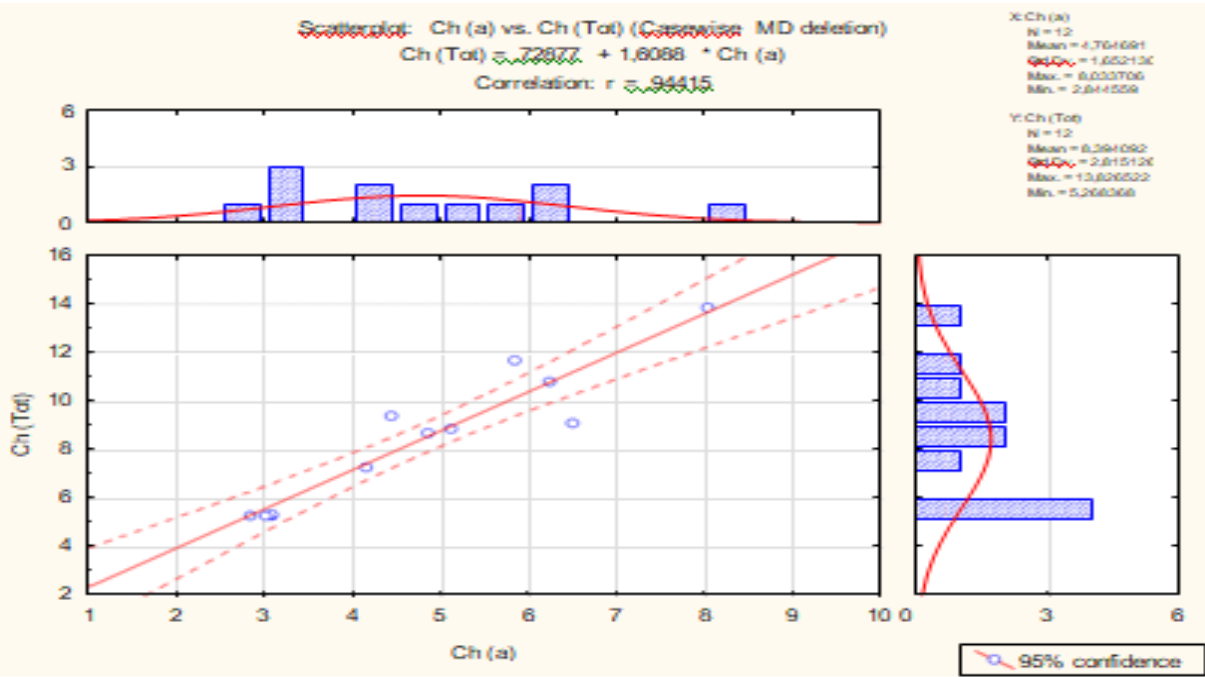


Figure 07: Corrélation entre Chlorophylle a et Chlorophylle totale

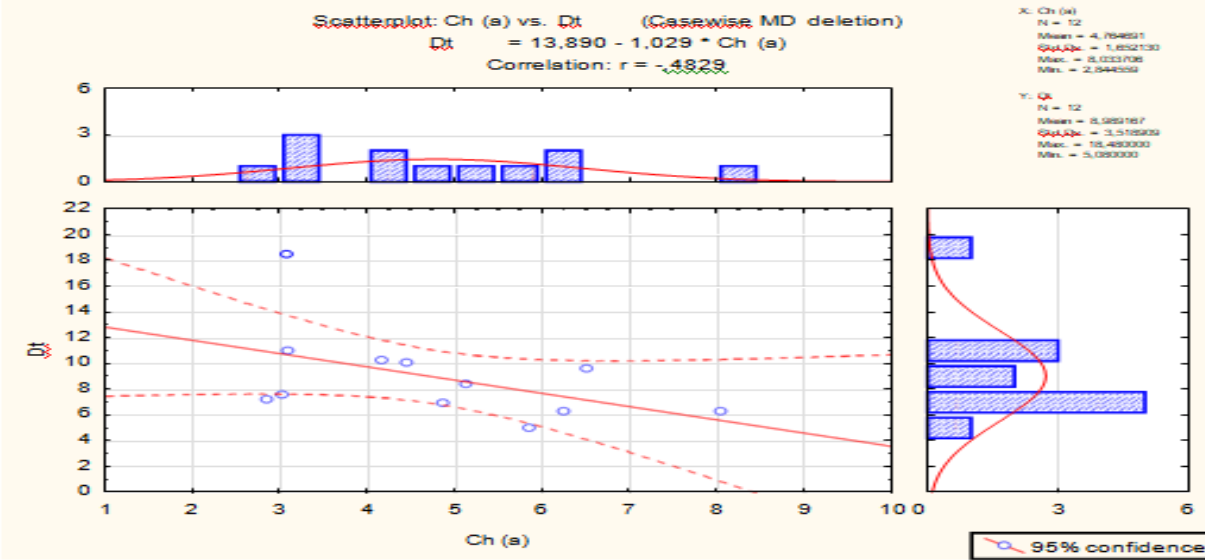


Figure 08: Corrélation entre Chlorophylle a et le temps de doublement

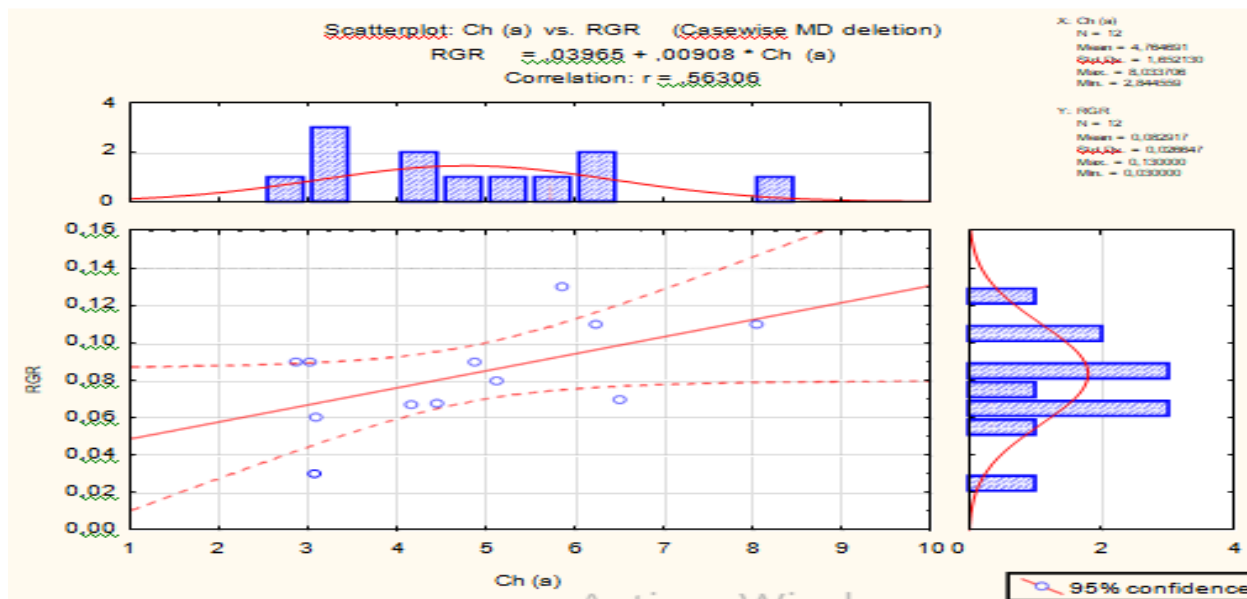


Figure 09: Corrélation entre Chlorophylle a et le taux de croissance relative

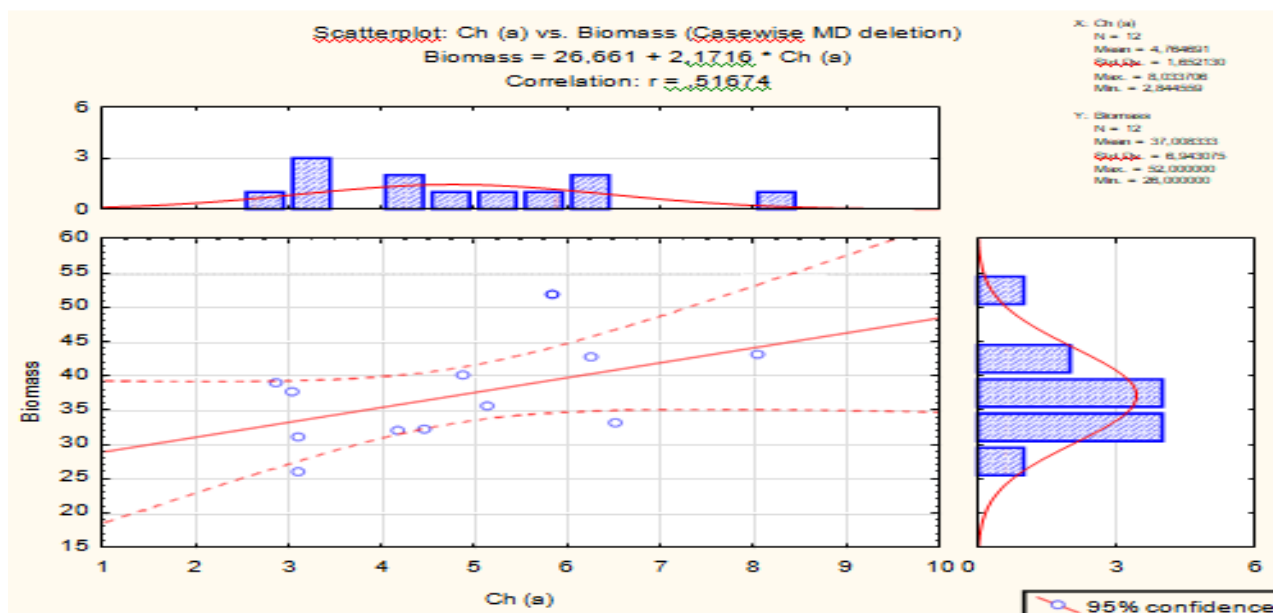


Figure 10: Corrélation entre Chlorophylle a et la biomasse

Annexe 02

Tableau 01 : Test de corrélation de l'effet de l'Unité Fertilisante NPK sur Chlorophylle a

Univariate Tests of Significance for Ch (a) (Spreadshe Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition)					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	272,4274	1	272,4274	359,3040	0,000000
NPK	23,2010	2	11,6005	15,2999	0,001272
Error	6,8239	9	0,7582		

Tableau 02 : Test de corrélation de l'effet de l'Unité Fertilisante NPK sur Chlorophylle b

Univariate Tests of Significance for Ch(b) (Spreadsheet202 Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition)					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	158,0706	1	158,0706	145,5575	0,000001
NPK	10,8188	2	5,4094	4,9812	0,034960
Error	9,7737	9	1,0860		

Tableau 03 : Test de corrélation de l'effet de l'Unité Fertilisante NPK sur Chlorophylle Totale

Univariate Tests of Significance for Ch (Tot) (Spreadsh Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition)					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	845,5294	1	845,5294	290,1419	0,000000
NPK	60,9465	2	30,4733	10,4568	0,004494
Error	26,2277	9	2,9142		

ANNEXE

Tableau 04 : Corrélations entre les paramètres étudiés

Variable	StDev.	NPK	Ch(a)	Ch(b)	Ch(tot)	Dt	RGR	Biomass
NPK	0.85280	1.00000	0.48657	0.65914	0.60591	-0.31565	0.30003	0.27636
Ch(a)	1.65213	0.48657	1.00000	0.73509	0.94415	-0.48291	0.56306	0.51674
Ch(b)	1.36822	0.65914	0.73509	1.00000	0.91743	-0.55209	0.69024	0.68927
Ch(Tot)	2.81512	0.60591	0.94415	0.91743	1.00000	-0.55174	0.66592	0.63826
Dt	3.51890	-0.31565	-0.48291	-0.55209	-0.55174	1.00000	-0.92910	-0.85934
RGR	0.02664	0.30003	0.56306	0.69024	0.66592	-0.92910	1.00000	0.97796
Biomass	6.94307	0.27636	0.51674	0.68927	0.63826	-0.85934	0.97796	1.00000

Valeurs significatives à: $p < 0,05$, ($n = 12$). Les données ont montré les coefficients de corrélation (r) et la probabilité (p) entre chaque paire de variables. En corrélation significative en gras; RGR: taux de croissance relatif; Dt: temps de doublement, Ch (tot): chlorophylle totale.