

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

Centre Universitaire Salhi Ahmed de Naâma



Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Master Académique en Sciences Agronomiques

Spécialité « Agro-pastoralisme »

Thème

**Réponses biomorphologiques du *Moringa oleifera* Lam aux
contraintes physiques du sol, cas de substrat sableux amendé par la
bentonite.**

Par : M^{elle} **AMARA Chifaa**

M^{elle} **FEDDAL Sara**

Soutenue le : 08 /Septembre / 2020

Soutenu publiquement, devant le jury :

Président :	M. Derdour Abdessamed	M.C.B
Encadreur :	M. NOURI Tayeb	M.C.B
Examineurs :	M. Ferrah Nacer	M.C.A

Année Universitaire 2019/2020

DEDICACE

A la volonte du grand dieu notre ALLAH tout puissant et bienveillant qui nous
a aidé à présenter ce modeste travail que je dédie à :

La lumière de mes yeux et le bonheur de mon existence : **mes chers parents,**

Ceux qui m'ont encouragé et qui ont sacrifié les meilleurs moments de leurs vies

Pour ma réussite, que Dieu les protège

A Mon unique frère zakaria kamel

A mes chères sœurs Rania- Nour-et Assinet

A mon binôme **SARA** et sa famille **FEDDAL**

A mon très cher mari Mohamed Amine qui m'a éclairé le chemin du grand soutien et ses
encouragements et qui a toujours aimé me voire réussir.

A toute ma famille, et mes amis.

Enfin à tous ceux qui me sont chers et proches.

Merci d'être toujours là pour moi.

CHIFAA

DEDICACE

A la volonte du grand dieu notre ALLAH tout puissant et bienveillant qui nous

A aidé à présenter ce modeste travail que je dédie à :

La lumière de mes yeux et le bonheur de mon existence : **mes chers parents,**

Ceux qui m'ont encouragé et qui ont sacrifié les meilleurs moments de leurs vies

Pour ma réussite, que Dieu les protège.

A mon cher frère **Med Oussama**

A ma belle-sœur **Hedjer wissame**

A toute ma famille, et mes amis,

A mon binôme **Chifaa** et sa famille **Amara**

Enfin à tous ceux qui me sont chers et proches.

Merci d'être toujours là pour moi.

SARA

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir guidé toutes ces années d'étude et de nous avoir donné la santé, la volonté, la patience afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

En premier lieu, nous remercions tout particulièrement notre promoteur : M. **Nouri T** pour l'encadrement qu'il nous a assuré, ses orientations, et leur conseils judicieux et avisés. Et l'aide qu'il nous a donnée.

Nous voudrions également remercier les membres du jury M **Derdour Abdessamed** en qualité de président et M **Ferrah Nacer** en tant qu'examineur pour leur présence, pour leur lecture attentive de notre mémoire ainsi que pour les remarques qu'ils nous adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer notre travail.

Nous tenons à remercier le Dr Bouyahia. L pour son aide précieuse quant au travail.

Nos chères gratitudes s'adressent aux Messieurs : Abdelghani, Miloud et Hamid pour leur précieuse aide et leur compréhension au niveau du laboratoire d'écologie.

Nos remerciements vont aussi à nos amis de la promotion Agropastoralisme année
2019-2020

Enfin nous remercions tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie et plus particulièrement ceux du département des sciences agronomiques pour les informations reçus et les soutiens durant la période universitaire.

À tout ce qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici nos sincères remerciements.

الاستجابات البيومورفولوجية للمورينجا أوليفيرا للعوائق الفيزيائية للتربة، حالة وسط رملي محسن بالبنتونايت.

ملخص

تعتبر التربة الرملية مشكل رئيسي للخصوبة الفيزيائية للتربة وكذلك لتطور النباتات. تتميز بشكل عام بقوام خشن مع قدرة منخفضة على الاحتفاظ بالمياه. فلهذا يجب أن يحتوي وسط الزراعة على السماد أو الطين مثل البنتونيت في عمق التربة مما يؤدي إلى إمكانية تخزين المياه وتنشيط هذه التربة وزيادة تغذيتها وبالتالي ارتفاع المحصول. الهدف من هذا العمل هو دراسة الانتاش، النمو والمقاييس البيو مترية لنبات المورينجا أوليفيرا المزروعة في وسطين مختلفين، (التربة الرملية والرمل ممزوج بالبنتونيت). وقد أجريت هذه الدراسة على نبات المورينجا أوليفيرا، بحيث تم زرع البذور في أكياس بلاستيكية ذات حمولة 4 كجم. الدعامات الأولى للزرع مكونة من التربة الرملية. فيما يتكون الوسط الثاني من الرمل ممزوج مع 5 % من البنتونيت. كل وسط زراعي يشمل 50 تكرار في ظروف مناسبة في الدفيئة الآلية. تم الري حسب سعة الأكياس البلاستيكية مرتين بالماء ومرة واحدة بمحلول مغذي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن نبات المورينجا أوليفيرا لديه معدل إنبات بنسبة 94.59 % وظهور عالي. كما لاحظنا زيادة معتبرة في عدد الأوراق وطول السيقان والوزن الطري للأجزاء الهوائية للنبات في التربة الرملية الممزوجة بالبنتونيت مقابل انخفاض في طول ووزن الجذور. في حين أن الدفعات المزروعة في التربة الرملية سجلت نقص واضح في طول السيقان وعدد الأوراق. تفسر زيادة طول جذور نبات المورينجا بسبب استجابته لنقص المياه في هذا الوسط.

الكلمات المفتاحية: التربة الرملية، البنتونيت، المورينجا أوليفيرا، الانتاش، النمو، المقاييس البيو مترية.

Réponses Biomorphologiques du *Moringa Oleifera* Lam aux Contraintes Physiques du Sol, Cas du Substrat Sableux Amendé par la Bentonite.

Résumé

Le sol sablonneux constitue un problème majeur pour la fertilité physique du sol ainsi que le développement des plantes. Il est généralement caractérisé par une texture rugueuse à une faible capacité de rétention d'eau. Par conséquent, il doit soit incorporer le compost ou l'argile comme la bentonite plus profondément dans le sol, ce qui améliorera le stockage et l'activité de l'eau et la nutrition augmentera le rendement de cultures. Le but de ce travail est d'étudier la germination, la croissance et les paramètres biométriques de *Moringa oleifera* cultivé dans deux environnements différents, un sol sableux et sable plus bentonite. Cette étude a été menée sur une plante introduite « *Moringa oleifera* ». Il est cultivé sous serre automatisée dans des sacs en plastique contenant 4 kg de sol sableux mélangé avec 2% de terreau, et sable plus 5% de bentonite avec. Chaque milieu de culture contient 50 répétitions. L'irrigation a été faite selon la capacité au champs, deux fois par l'eau et une fois par la solution nutritive. Les résultats obtenus ont montré que la plante *Moringa oleifera* présente un taux de germination et de levée important soit 94.59 %. Le nombre de feuilles, longueur des tiges et poids frais des parties aériennes de la plante ont été augmentés dans les sols sableux amendé par la bentonite contre une diminution de la longueur des racines et le poids racinaire dans ce substrat. Alors que les lots cultivés dans les sols sableux ont une longueur des tiges, nombre de feuilles faible mais la longueur des racines était importante en raison de la réponse au déficit hydrique de ce substrat.

Mots clés : Sol sableux, bentonite, *Moringa oleifera*, germination, croissance, paramètres biométriques.

Biomorphological responses of *Moringa Oleifera* to the physical constraints of the soil, the case of a sandy substrate amended by bentonite.

Abstract

Sandy soil is a major problem for the physical fertility of the soil as well as the plants development. It is generally characterized by a rough texture that has a low water retention capacity. Therefore, it must either incorporate compost or clay like bentonite deeper into the soil, which will improve the storage and activity of water. Moreover, the nutrition will increase the yield. The aim of this work is to study the germination, growth and biometric parameters of *Moringa oleifera* cultivated in two different environments, sandy soil and more bentonite sand. This study was carried out on an introduced plant called "*Moringa oleifera*". It is grown in an automated greenhouse in plastic bags containing 4 kg of sandy soil mixed with 2% potting soil, and sand plus 5% bentonite. Each substrate contains 50 replications. Irrigation was done according to the hold capacity, twice by water and once by fertilizer solution. The results obtained have shown that the *Moringa oleifera* plant has a high germination and emergence rate i.e 94.59 %. The number of leaves, length of stems and fresh weight of aerial parts of plants were increased in sandy soils amended by bentonite. Against, a decrease in root length and root weight in this substrate. While the batches cultivated in sandy soils have a length of the stems, few leaves. But, the length of the roots was important because of the response to the water deficit of this substrate.

Key words: Sandy, soil, Bentonite, *Moringa oleifera*, germination, growth, Biometric parameters.

Liste des abréviations

GR : Germination

m : mètre

Cm : centimètre

Lam : Lamarck

H : heurs

Tg : taux de germination

N : Nombre

% : pourcent

g : gramme

mm : millimètre

Kg : kilogramme

°C : Température

J : jours

RFU : Réserve Facilement Utilisable

N : Azote

P₂ O₅ : Anhydride phosphorique

K₂O : Oxyde de potassium

Mg⁺⁺ : Magnésium

Méq : Milli équivalent

Ha : hectare

CEC : capacité d'échange cationique

Pf : poids frais

K⁺ : Ion de potassium

NPK : L'engrais hydrosoluble N₂O–P₂O–K₂O

P : Phosphore

K : Potassium

Liste des figures

Figure 1 : Eau contenue dans le sol selon sa texture.....	21
Figure 2 : Agriculteurs préparent un sol sableux pour la plantation de plants d'acacais,sénéga	22
Figure 3:Types de sécheresse	25
Figure 4:Relation entre les différents types de sécheresse.....	26
Figure 5 : la structure d'une montmorillonite.....	34
Figure 6: Structure multi-échelle de la monotmorillonite.....	35
Figure 7: Représentation schématique de l'état gel.....	37
Figure 8 : la distribution de la plante Moringa Oléifera dans le monde	42
Figure 9 : Pied de Moringa Oléifera	43
Figure 10 : Les feuilles de Moringa Oleifera	43
Figure 11:Les fleurs de Moringa Oleifera.....	44
Figure 12:Les fruits de Moringa Oleifera a)verts sur l'arbre b) les fruits sec	44
Figure 13: Les graines de Moringa Oleifera	45
Figure 14:Les racines tubéreuses de Moringa.....	45
Figure 15: Tige de Moringa Oleifera	46
Figure 16:Graines de Moringa Oleifera	51
Figure 17 : Serre automatisée du centre universitaire de Naama	53
Figure 18: Graines germé de Moringa Oleifera	54
Figure 19:Plantule de Moringa Oleifera aux stade de croissance.....	55
Figure 20: Protocole expérimentale adopté.....	56
Figure 21:Moringa Oleifera A) tige et feuilles B) racines tubereuses	58
Figure 22: Comparaison entre la longueur des tige de Moringa Oleifera , le nombre des feuilles dans les deux substrat sable plus bentonite(A) et sable (B).	61

Figure 23: Comparaison entre la longueur des racines de Moringa Oleifera ,le nombre de tubercules dans les deux substrats sable plus bentonite(A) et sable (B)	62
Figure 24: Effet de la bentonite sur le nombre de feuille de Moringa Oleifera	63
Figure 25: Effet de la bentonite sur la longueur des tiges de Moringa Oleifera	64
Figure 26: Effet de la bentonite sur le nombres de tubercules de Moringa Oleifera	65
Figure 27: Comparaison entre le nombre de tubercules de Moringa Oleifera dans les deux substrats sable plus bentonite (A) et sable (B)	65
Figure 28: Effet de la bentonite sur la longueurdes racines de Moringa Oleifera	66
Figure 29: Effet de la bentonite sur le pois frais de la partie aérienne de Moringa Oleifera ...	67
Figure 30: Effet de la bentonite sur le pois frais de la partie racinaire de Moringa Oleifera ..	68

Liste des tableaux

Tableau 1:Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite	36
Tableau 2:Caractéristiques minéralogiques de la bentonite.....	36
Tableau 3:Représente la Position Systématique de Moringa oleiféra.....	42
Tableau 4:Limites écologiques de Moringa oleiféra.....	47
Tableau 5:Différents ravageurs de Moringa oleiféra	48
Tableau 6:Utilisation Traditionnelles de Moringa Oleiféra	50
Tableau 7:Caractéristiques de l'espèce étudiée "Moringa oleiféra "	52
Tableau 8:Pois sec de bentonite et de terreau en grammes par rapport au pourcentage de la dose de bentonite retenue	53
Tableau 9:Caractéristiques de la serre automatisée du centre universitaire de Naama.....	54
Tableau 10: Compositions chimique en éléments majeurs NPK.....	56
Tableau 11:Effet de la bentonite sur le nombre de feuille de Moringa Oleifera	64
Tableau 12: Effet de la bentonite sur la longueur des tiges de Moringa Oleifera	65
Tableau 13: Effet de la bentonite sur le nombre de tubercules de Moringa Oleifera	65
Tableau 14:Effet de la bentonite sur la longueur des racines de Moringa Oleiféra	67
Tableau 15 : Effet de la bentonite sur Poids frais de la partie aérienne de moringa oleifera.....	67
Tableau 16:Effet de la bentonite sur le poids frais de la partie racinaire de Moringa oleifera	68

Table des matières

Introduction	1
---------------------------	---

Première partie : Bibliographie

Chapitre I : Le sols sableux et sécheresse

I Le sols sableux et sécheresse	3
1.1 Généralité sur les sols sableux	3
1.2 Texture sableuse	4
1.3 Propriété physique et chimique des sols sableux	4
1.4 La capacité de rétention de sol sableux.....	5
1.5 Sol sableux et la culture.....	6
1.6 Avantages.....	8
1.7 Désavantages	8
1.8 Définition de la sécheresse	8
1.9 Les types de sécheresse	9
1.10 Les relations réciproques entre ces différents types de sécheresse.....	10
1.11 Conséquences et impact de la sécheresse.....	11
2. Stress hydrique chez les plantes	12
2.1 Définition du stress hydrique.....	12
2.2 Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique	12
2.2.1 Adaptation phénologique	13
2.2.2 Adaptations morphologiques	13
2.2.3 Adaptation physiologique.....	14

Chapitre II : Généralité sur la bentonite

1 Historique	16
2. Définitions de la bentonite.....	16
3. Structure et composition de la bentonite	16
4. La montmorillonite.....	17
5. Microstructure de la montmorillonite	17
6. Caractéristiques de la bentonite brute :	18
7. Propriétés de la bentonite	18

7.1 L'hydratation interne ou gonflement	19
7.2 Cations échangeables et adsorption :	19
8 Les différents types de bentonite	19
8.1 Bentonites naturelles	19
8.2 Bentonites activées	19
9. Le système bentonite-eau	20
10. Modes d'utilisation en alimentation animale	21

Chapitre III : L'espèce *Moringa oleifera* Lam

1. Historique	22
2. Dénomination et taxonomie.....	22
2.1 Dénomination	22
2.2 Taxonomie.....	22
3. Caractéristiques botaniques et physiologiques	22
4. Distribution géographique	23
5 Description botanique	24
5.1 Port.....	24
5.2 Les feuilles	24
5.3 Les fleurs.....	25
5.4 Les fruits	25
5.5 Les graines	26
5.6 les racines	26
5.5 Les tiges	27
6. Caractéristiques pédoclimatique de la plante <i>Moringa Oléifera</i>	27
6.1 Ecologie	28
6.2 Ravageurs et maladies	28
6.3 Fertilisation des cultures et biostimulant	29
7. Physiologie et stade végétatif	29
7.1 Germination.....	29
7.2 Croissance	29
8. Utilisations traditionnelles de Moringa.....	30
9. Le Moringa comme essence fourragère.....	30

Deuxième partie : Expérimentale

Chapitre V : Matériels et méthodes

Matériels et méthodes	32
I Matériels utilisés.....	32
1 Matériel végétal.....	32
2 Choix du Matériel végétal	32
3 Substrat sol.....	33
3.1 Préparation de substrat de culture	33
3.1 Site d'étude.....	33
II Méthodes.....	34
1 Préparation des grains de <i>Moringa oleifera</i> L pour la germination.	34
2 Transplantation des jeunes plants dans les Sacs à plante	35
3.4 Arrosage	36
4. Solution nutritive utilisée	36
5. Paramètres étudiés.....	38
5.1 Le taux de germination.....	38
5.2 Taux de réussite de la levée	38
6. Paramètres biométriques	38
a-Longueur aérienne et souterraine	38
b-Nombre de tubercules	38
c-Poids de la biomasse végétale	38
7. Analyse de résultats.....	39

Chapitre IV : Résultats et discussion

Résultats et discussion.....	41
1.Parametres visuels.....	41
2 Action de la bentonite sur les paramètres morphologiques	43
2.1 Nombre de feuilles	43
3.1 Longueur des tiges de <i>Moringa oleifera</i>	44
4 .1 Nombre de tubercules par plant de <i>Moringa oleifera</i>	44
4.2- La longueur des racines de <i>Moringa</i>	46
5. Poids frais de la partie aérienne de <i>Moringa oleifera</i>	46

6 Poids frais des racines	47
7 Corrélation entre les paramètres étudiés et paramètres –facteur.....	48
2. Discussion générale	50
Conclusion	51
Références bibliographiques	53

Introduction

générale

Introduction

Les Sols sableux ont généralement une texture grossière caractérisées à la fois par une fertilité très réduite induite par un fort lessivage en éléments minéraux et en fertilisants, une capacité de rétention en eau faible (Goa et al, 1993) et une activité microbienne fortement limitée créant un appauvrissement en matière organique . Cette faible fertilité des sols sableux est l'une des contraintes dans les zones arides et semi arides limitant la production agricole fourragère ce qui impose leur amendement physiques et chimiques pour augmenter les rendements des cultures (Reguieg et al, 1998).

En Afrique du Nord, l'utilisation des ressources naturelles des zones sahariennes reste très faible. En effet, en plus des contraintes climatiques, les contraintes pédologiques sont extrêmement fortes car les sols renferment parfois plus de 90 % de sable quartzueux. Pour faire face à une demande toujours croissante en produits agricoles, Dans ces régions à fort déficit hydrique, les pratiques agricoles doivent avoir pour objectif la conservation d'une eau facilement accessible aux plantes. Cela est encore plus indispensable lorsque les sols sont constitués de sables à forte capacité de drainage dans lesquels l'eau de pluie ou d'irrigation a tendance à drainer rapidement en dessous de la zone accessible aux racines (Halilat et Tessier., 2006).

Par ailleurs, pour une agriculture durable il sera plus avantageux d'opter pour une gestion rationnelle des terres cultivées en utilisant des ressources naturelles disponibles. C'est dans cette perspective que s'intègre l'action de mise en valeur des sols cultivés en introduisant la bentonite riche en argile. Cette action conduira à l'augmentation de la capacité d'échange cationique et de corriger les carences des propriétés originelles de ces sols en particulier la rétention en eau utile (Petr, 1985 ; Dejou., 1987). D'autres auteurs assurent que l'apport de la bentonite dans les sols sableux améliore ces propriétés physiques et hydriques (Benkhelifa et Daoud., 1998 ; Halilat et Tessier., 2006). L'addition de l'argile constitue une alternative afin d'améliorer le potentiel agricole du matériau sableux, ce qui permettrait d'augmenter à la fois leur réserve en eau et leur capacité à retenir les éléments minéraux (Halilat et Tessier., 2006).

Le *Moringa oleifera* est maintenant cultivé dans tout le Moyen-Orient, ainsi qu'en Afrique. Leurs propriétés nutritionnelles sont excellentes, ce qui en fait une bonne source

d'alimentation pour le bétail et facilement accessible. Les feuilles sont riches en protéines, en carotène, en fer et en acide ascorbique, et les gousses sont riches en lysine, en acides aminés (CSIR, 1962 ; Chawla et al., 1998 ; Dogra et al., 1975). De plus, il est connu pour sa tolérance à la sécheresse et les maladies.

Le Moringa a un avantage distinct dans la production d'une grande quantité de matières fraîches par unité de surface par rapport aux autres usines d'aliments pour animaux. *Moringa oleifera* L est une source intéressante de fourrage, soit économiquement, soit en termes de productivité.

En raison de l'importance de *Moringa oleifera* L dans l'agriculture pastorale D'un autre côté et son importance fourragère d'autre façon, nous avons mené un programme de recherche sur la germination des graines de *Moringa oleifera* et l'influence de la bentonite sur la croissance et la biométrie de cette plante dans l'environnement pastoral, car de nombreuses propriétés précieuses de cette plante en font un sujet d'étude intéressant. Ce travail était organisé comme suit :

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

Chapitre I : Sols sableux et sécheresse ;

Chapitre II : La bentonite ;

Chapitre III : L'espèce végétale étudiée : *Moringa oleifera* Lam.

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

Première partie

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Les sols sableux et sécheresse

I Le sols sableux et la sécheresse

1.1 Généralité sur les sols sableux

Les sols sableux, également appelés sols siliceux, contiennent plus de 70 % de sable siliceux. Ce sable peut être composé de grains plus ou moins fins. Un sol sableux ne s'agglomère pas. Si vous prenez une poignée de terre sableuse, elle ne se compactera pas dans votre poing. C'est une terre ni sombre ni claire, qui ne retient pas l'eau (Claire Geslot, 2018).

Les sols sableux se caractérisent par un faible pouvoir de cohésion entre les particules et sont mal structurés, ils possèdent généralement une structure fragmentaire, Par conséquent sont peu concernés par les changements pouvant se produire en matière de teneur en humidité, de ce fait, ces sols possèdent une faible capacité de rétention en eau et présentent un ressuyage rapide à cause de leur texture légère. (Reguieg Yssaad, 2007)

La stabilité structurale de ces sols généralement faible. Dayegamiye et al. (1993) puis Chantigny et al. (1999) pensent que la désagrégation est due à la dispersion des ciments argileux et humiques libérant les particules grossières de sables et limons. L'eau pénétrant dans les pores du sol exerce sur l'air emprisonné à l'intérieur une pression qui finit par éclater en fragments de terre. La faible cohésion des agrégats est due à la faible teneur en argile et celles des cations absorbés ainsi que la matière organique et les électrolytes absents dans la solution de sol (Vilain, 1987)

Chimiquement ces sols sont très pauvres et ne disposent pas de réserves remarquables en éléments nutritifs, vu leurs faibles capacités de stockage et d'échange cationique ce qui demande une application répétée des engrais chimiques et à petites doses pour éviter le lessivage. Ces sols présentent un faible potentiel agricole et font l'objet de plusieurs travaux scientifiques en vue de leur amélioration. Ces caractéristiques physiques et chimiques défavorables influencent directement les propriétés biologiques de ces sols, car les racines des plantes cultivées ne peuvent bénéficier facilement des facteurs de croissances telles que l'eau et la chaleur, des éléments chimiques et des composés organiques de ce point de vue (Reguieg, 2007).

1.2 Texture sableuse

La texture du sol est à la base de toutes les autres propriétés. C'est la propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine. (Gobat et al., 2010).

La texture sableuse qui est extrêmement aérée et facile à travailler, mais pauvre en matière organique. Les sables qui ont un diamètre compris entre 50 µm et 2 mm, ils sont bien aérés, faciles à travailler mais aussi très perméable et l'eau y passe comme dans un filtre entraînant avec elle les matières minérales fertilisantes, c'est pourquoi ils sont pauvres en éléments nutritifs. Pour améliorer un sol sableux, il faut avant tout apporter régulièrement un maximum de matière organique qui va jouer un rôle d'éponge naturelle pour retenir l'eau et les éléments nutritifs. L'arrosage sera moindre mais plus fréquent pour éviter le lessivage. (Jardiniers Professionnels Identifier la texture du sol).

1.3 Propriété physique et chimique des sols sableux

Différents sols sont caractérisés par un espace poral différent, ce qui a un grand impact sur l'activité microbienne. Les pores du sol sont en effet les habitats des microorganismes, mais ces habitats peuvent être plus ou moins avantageux ou contraignants. Un pore peut notamment :

- Être plus ou moins souvent rempli d'eau, donc plus ou moins favorable à une activité microbienne
- Être plus ou moins connecté à la surface du sol et à l'atmosphère, et donc plus ou moins manquer d'oxygène, nécessaire pour les métabolismes aérobies
- Être plus ou moins accessible : pour l'entrée de microorganismes ou d'enzymes, ou pour l'entrée d'organismes microbivores tels que les protozoaires et nématodes, qui régulent par prédation la composition et l'activité des communautés microbiennes.
- Contenir plus ou moins de matière organique et de nutriments qui servent de substrat aux microorganismes.

La texture et la structure du sol définissent la taille, la forme et la localisation des pores du sol, et donc leur accessibilité et la disponibilité d'eau et d'O₂. La teneur en matière organique et en certains composés chimiques, ainsi que le pH, déterminent la disponibilité d'énergie et d'éléments minéraux pour les décomposeurs. Dans un sol sableux, les pores entre particules sont de taille relativement grande et l'eau n'y reste pas, ce qui favorise des conditions relativement sèches et bien aérées ; d'autre part les particules de quartz sont très

peu propices à l'adsorption de cations et de composés organiques donc ces sols sont généralement pauvres en nutriments. Ainsi à l'approche d'une saison sèche, la décomposition sera initialement très rapide grâce à la bonne entrée d'oxygène (qui favorise les métabolismes aérobies les plus efficaces), puis elle pourra vite être bloquée par manque d'eau. (Claire Marsden, 2014).

Les propriétés physiques des sols sableux d'après (Dr. AbdulRasul bin Musa Al-Omran), les sols sableux se caractérisent par :

- Une forte proportion de gros pores.
- Poids spécifique élevé.
- Faible capacité au champ.
- Faible fertilité chimique et biologique.
- Pas de capacité d'échange cationique.
- Accès facile de la plante à l'eau.

1.4 La capacité de rétention de sol sableux

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" ou capacité de rétention du sol qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol. Près de la surface, le sol n'est pas saturé, les espaces vides contiennent de l'eau et de l'air ; l'eau est soumise aux forces de gravité et de capillarité. A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus : le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau : cette zone saturée forme une nappe ; les forces de gravité sont prédominantes. L'eau du sol ne représente que 0,064% de l'eau douce totale ; son rôle est cependant essentiel puisque c'est l'eau qu'utilisent les racines des plantes (Jacques Beauchamp juillet, 2006).

Les particules d'un sol sableux sont relativement espacées, souvent sèches, pauvres en substances nutritives et très drainantes, ce qui permet à l'eau de s'écouler rapidement. Les substances dissoutes dans l'eau qui s'infiltrent pénètrent vite dans les profondeurs du sol (Hilliard et Reedyk, 2014). Elles sont incapables de transporter l'eau depuis les couches profondes par capillarité, plus la texture est fine plus la capacité au champ sera élevée. La capacité des sols sableux à retenir les substances nutritives et l'eau peut être améliorée par un apport de matière organique très humifiée (figure 1).

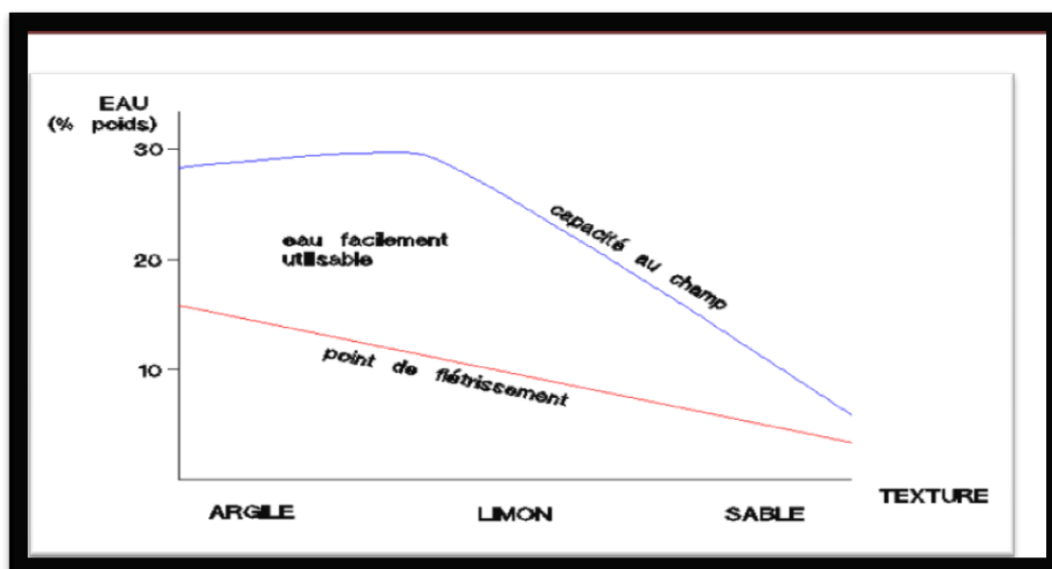


Figure1 : Eau contenue dans le sol selon sa texture (Duchaufour, 1993).

1.5 Sol sableux et la culture

Les Sols sableux ont généralement une texture grossière jusqu'à 50 cm de profondeur et par conséquent retiennent peu d'éléments nutritifs et ont une faible capacité de rétention d'eau. Les pratiques de gestion des sols qui conduisent à une augmentation de la fraction fine sont utiles pour améliorer les propriétés du sol et la productivité des cultures.

- La fertilisation de ces sols est considérée comme essentielle. La fertilisation minérale est principalement utilisée.
- L'application d'engrais organiques peut fournir des éléments nutritifs dans des formes lentement disponibles et améliorer les propriétés physico-chimiques des sols.
- Les engrais organiques épandus à la surface des sols sableux se décomposent rapidement ; par conséquent, soit le fumier doit être incorporé plus profondément dans le sol, soit une couche de fumier d'au moins un centimètre d'épaisseur doit être appliquée en surface, ce qui permettra d'améliorer le stockage de l'eau, l'activité biologique, l'état nutritionnel et l'augmentation des rendements.
- Un paillis peut être ajouté pour améliorer le stockage de l'eau en réduisant l'évaporation. Les résidus de culture épandus à la surface du sol permettent de réduire les pertes par évaporation, de diminuer l'écart entre les températures maximales et minimales du sol et de réduire l'érosion éolienne.

- Pour que le travail du sol soit vraiment efficace, il doit être fait le plus tôt possible après une irrigation ou une pluie, lorsque le taux d'évaporation est encore élevé.
- Le travail minimum, le maintien d'une culture de couverture, la culture en bandes, la rotation des cultures, le contrôle du pâturage et l'établissement de brise-vent sont quelques-unes des mesures de protection pour contrer la forte sensibilité des sols sableux à l'érosion.
- Outre la méthode classique de végétation sèche, des produits artificiels pour imperméabiliser la surface, tels que le pétrole, le caoutchouc synthétique, des produits chimiques et des plastiques solubles dans l'eau ont également été adoptés pour la stabilisation des dunes de sable.
- Le reboisement avec des arbres et arbustes choisis est une mesure complémentaire qui devrait suivre la stabilisation des dunes.
- Le surpâturage sur des sols à texture grossière doit être évité. L'introduction de la rotation des pâturages contribue à lutter contre ce danger. Ce serait mieux de ne pas permettre le pâturage, et de nourrir les animaux en coupant l'herbe sur les parcelles de fourrage (Gestion des sols sableux, FAO).



Figure 2 : Agriculteurs préparent un sol sableux pour la plantation de plants d'acacias, sénégal (FAO,2003).

1.6 Avantages

- Très facile à travailler et se réchauffent rapidement au printemps.
- Offrent une bonne aération et un bon drainage : sol poreux
- Offre une meilleure survie des plantes en hiver

1.7 Désavantages

- S'assèchent très rapidement en été : ne retient pas l'eau.
- Sujets au lessivage (eau et minéraux) donc besoin constant défertilisants.
- Généralement pauvres en éléments nutritifs et ont tendance à être acides. Pas ou peu de structure.

1.8 Définition de la sécheresse

La sécheresse n'a pas une définition universelle, il y a autant de définitions de la sécheresse qu'il y a d'utilisation de l'eau. Wilhite et Glantz (1985) ont évalué à plus de 150 le nombre des définitions publiées. Mais d'une façon générale la sécheresse peut être défini comme étant une période prolongée d'insuffisances de précipitations sur une ou plusieurs saisons voir années, qui causent un déficit hydrique dans certains secteurs de l'économie d'un pays Autrement dit, il y a sécheresse lorsque la rareté inhabituelle des précipitations provoque un grave déséquilibre hydrologique qui se traduit par l'abaissement du niveau d'eau dans les réservoirs, l'assèchement des puits et la destruction des cultures (OMM, 2005). Ce phénomène naturel se manifeste dans toutes les zones climatiques du globe terrestre. Dans certaines régions, les conditions de sécheresse peuvent être fortement influencés par certains mécanismes pouvant amplifier les effets et l'intensité (les changements de circulations des grands vents, les plus basses températures océaniques, des hautes températures, des humidités relatives basses ...). Selon le National Drought Mitigation Center (NDMC), il existe deux (2) définitions concrètes de la sécheresse :

- La sécheresse est une période de temps prolongée où un manque de précipitations provoque des dégâts sévères aux cultures et entraîne une perte de rendement ;
- La sécheresse est une aberration climatique temporaire et diffère de l'aridité car cette dernière restreinte aux régions à faible régime pluviométrique et est une caractéristique permanente du climat (NDMC, 2005).

La première définition dite opérationnelle renseigne sur l'importance et le degré de sévérité de la sécheresse. En effet elle permet de définir le début, la fin et le degré de sévérité de la sécheresse. Ceci peut être réalisé par une comparaison des conditions en cours avec des données historiques du climat. Cette information peut aider à mieux se préparer pour

d'éventuelle sécheresse. Quant à la deuxième définition dite conceptuelle, elle a été formulée en terme général afin d'aider les gens à mieux comprendre le concept de ce phénomène. Ces définitions sont aussi importantes dans l'établissement des politiques de la sécheresse. (Natacha, 2015).

1.9 Les types de sécheresse

La sécheresse est aussi définie selon les différents secteurs qui interagissent avec ses effets. On définit donc une sécheresse du point de vue météorologique, hydrologique, agricole ou socio-économique. (FAO, 1996).

➤ **La sécheresse météorologique (climatologique)**

C'est une sécheresse (climatologique) qui est, tout simplement, un déficit pluviométrique prolongé. C'est un phénomène naturel dû à des causes multiples, qui varient d'une région à l'autre (Jonathan et Angela, 2006). On parlera surtout du « nombre de jours sans pluies » Elle est définie par (Bied-Charreton,2007) comme étant le temps écoulé entre deux pluies efficaces, C'est-à-dire capables d'apporter réellement de l'eau dans le sol. L'état de sécheresse est signalé quand le pluviomètre annuel est en dessous de 20% de la normale (Bied-Charreton,2007).

➤ **La sécheresse de type hydrologique**

Elle correspond à une diminution des réserves d'eau dans les cours d'eau, les réservoirs de surface et la nappe phréatique. La sécheresse hydrologique est causée par un manque de précipitations accompagné d'une évaporation massive. Cependant, des facteurs non météorologiques, comme la demande en eau, la disponibilité de réservoirs de surface et le forage de puits artésiens, en aggravent l'effet (OMM, 2006).

➤ **La sécheresse agricole**

Ces types de sécheresses font un rapport entre les caractéristiques des sécheresses météorologiques ou hydrologiques et les impacts sur le milieu agricole. Elles portent sur l'insuffisance des précipitations, la différence entre l'évapotranspiration réelle et potentielle, et le manque en eau des sols et des réserves hydriques (Beaudin, 2007). Ces sécheresses dépendent grandement des conditions climatiques, des caractéristiques biologiques et phréologiques des cultures ainsi que des propriétés physiques et biologiques des sols.

➤ La sécheresse socio-économique

Que la sécheresse différée des autres types de la sécheresse car son occurrence et son intensité dépendent de la conjoncture socio-économique régionale ainsi que l'offre et de la demande, la demande des biens économique augmente à cause de l'augmentation de la population et de la consommation (Aghrab, 2005).

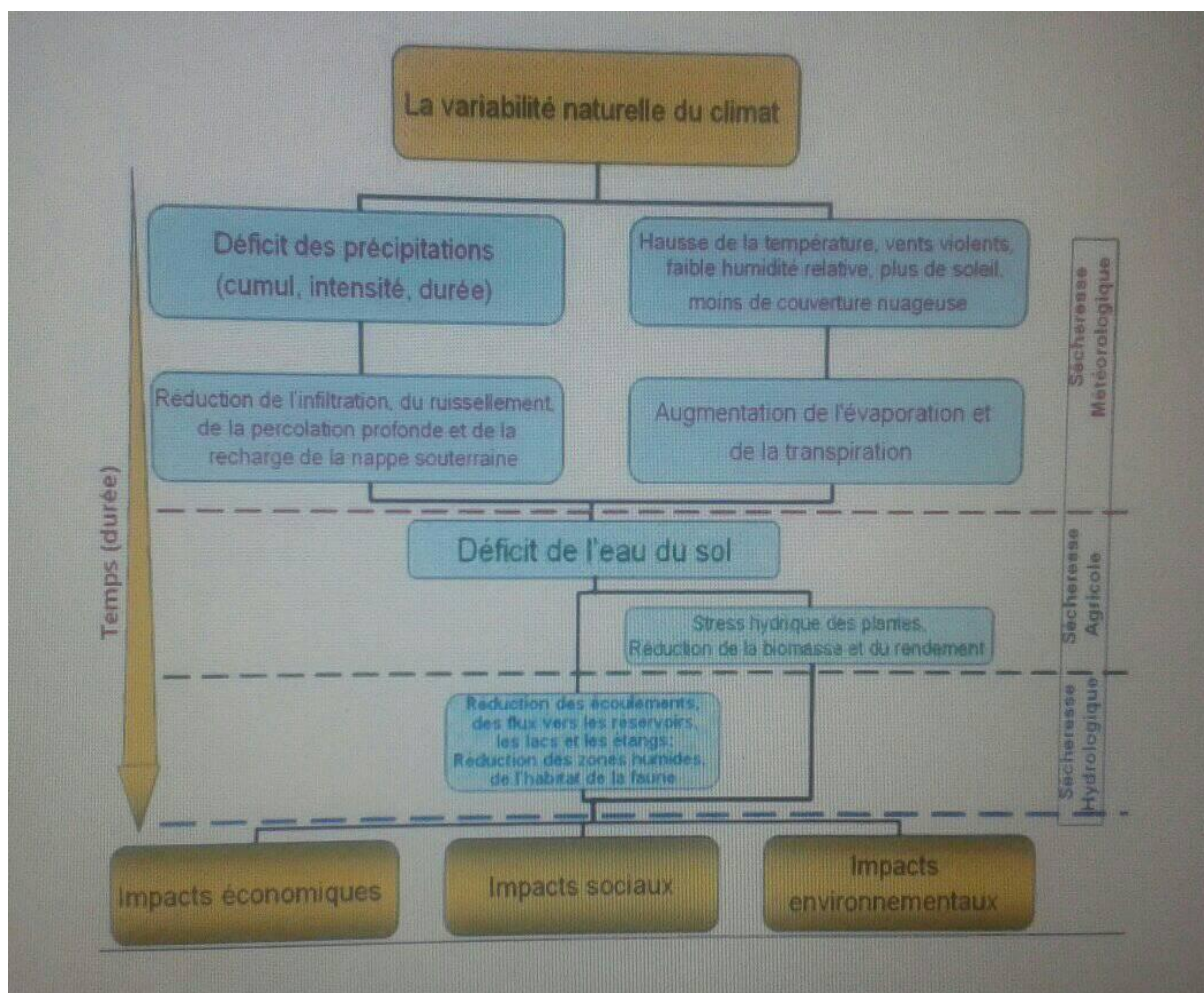


Figure 3-Types de sécheresse (le National Drought Mitigation Center, 2005).

1.10 Les relations réciproques entre ces différents types de sécheresse

Ces différents types de sécheresse sont évidemment intimement liés. Pour autant leurs relations sont complexes. Tout d'abord, les sécheresses agricoles, forestières, hydrologiques ou socio-économiques se manifestent dans un deuxième temps par rapport aux sécheresses météorologiques (OSS, 2013). Lorsqu'il y a un déficit pluviométrique (sécheresse météorologique), la sécheresse agricole est la première à être sentie, le secteur agricole étant le premier à être affecté du fait de sa dépendance directe à l'humidité du sol, facilement épuisable. Il faut cependant souvent plusieurs semaines de déficit avant que les cultures et les

pâturages soient atteints. Si la déficience des pluies persiste sur plusieurs mois, c'est le débit des cours d'eau, le niveau des lacs, voire celui des nappes d'eau souterraines qui est touché, c'est la sécheresse hydrologique. Et si la sécheresse se maintient encore, les différents types de sécheresses se conjuguent et les effets de la sécheresse socio-économiques font alors sentir (OSS, 2013). Il paraît évident que les différentes sécheresses interagissent les unes avec les autres, et que dans cette interaction, le facteur temps est déterminant.

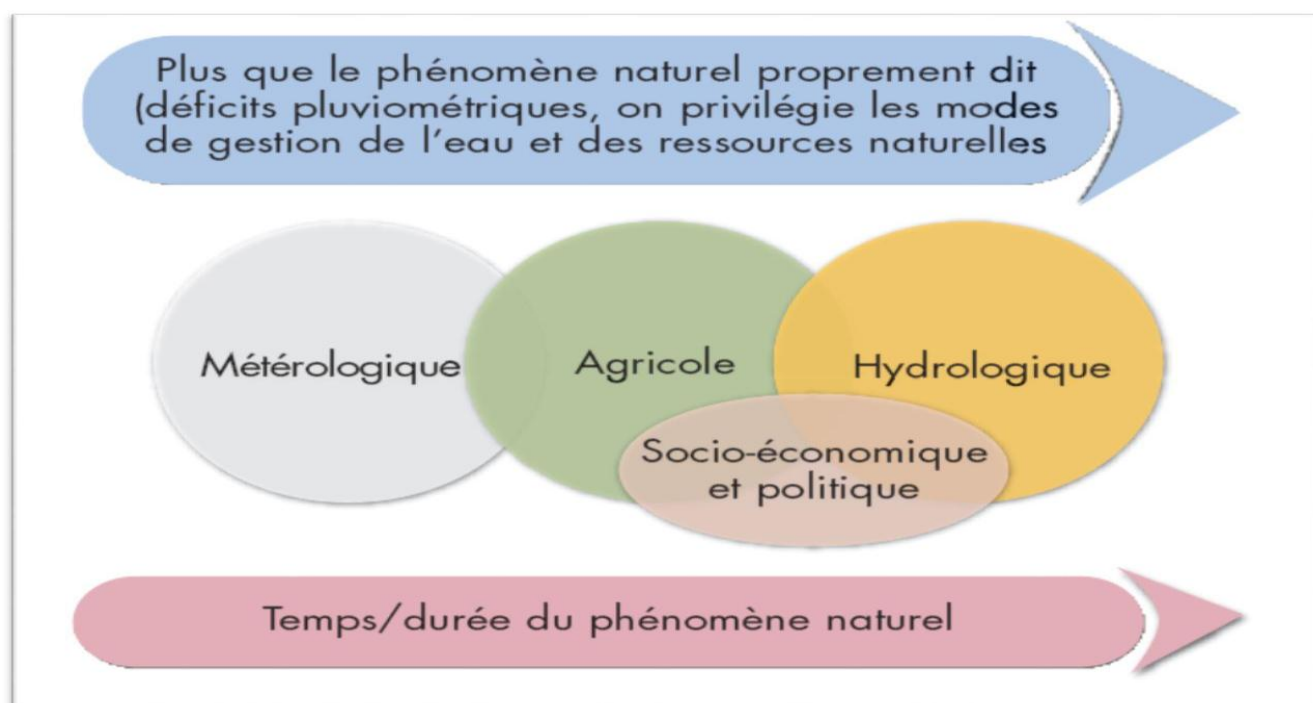


Figure 4-Types de sécheresse (le National Drought Mitigation Center .2005).

1.11 Conséquences et impact de la sécheresse

Les principales conséquences de la sécheresse sont :

- ✓ **Sur la population** :la santé des enfants et des personnes âgées est très fragile et sensibles aux fortes chaleurs car ils n'ont pas le réflexe, ni l'envie de boire pour lutte contre leur déshydratation qui peut tuer.
- ✓ **Sur la faune**
- ✓ **Sur les forêts**
- ✓ **Sur l'agriculture.**
- ✓ **Sur les sols**
- ✓ **Sur les réserves d'eau potable**

✓ sur la production d'électricité

✓ **Sur l'économie** : Chômage causé par la baisse de production, Une moindre production en agriculture, foresterie, pêche, énergie hydroélectrique, tourisme, industrie, et activités financières qui dépendent de ces secteurs.

✓ **Sur l'environnement** : Augmentation des incendies, Dommages aux écosystèmes et zones humides, biodiversité et maladies (érosion du sol, poussière, couvert végétal réduit)

2. Stress hydrique chez les plantes**2.1 Définition du stress hydrique**

Un stress hydrique peut se produire aussi bien sous l'effet d'un excès que d'un manque d'eau. Un exemple d'excès d'eau est l'inondation. Le stress provoqué par l'inondation est habituellement une réduction de l'apport d'oxygène aux racines. La réduction de l'apport d'oxygène limite à son tour la respiration, l'absorption de nutriment et d'autres fonctions racinaires cruciales.

Le stress provoqué par un déficit hydrique est bien plus fréquent, de sorte que l'expression de stress de déficit hydrique est abrégée en stress hydrique. Comme le stress hydrique dans des environnements naturels est dû à l'absence de pluies, une condition dite de sécheresse, ce stress est appelé stress de sécheresse. En laboratoire, le stress hydrique peut être simulé en favorisant de dessiccation. Le stress hydrique intervient aussi dans le stress salin et stress osmotiques.

Le terme déficit hydrique ou stress hydrique se rapporte à l'état physiologique de la plante, lorsque les conditions d'eau sont défavorables à la croissance optimum (Blum., 1974). D'après Koslowski (1968), le déficit hydrique des plants résulte d'une combinaison entre la plante, les facteurs du sol et l'atmosphère contrôlant le taux d'absorption de l'eau et les pertes d'eau par transpiration.

Il y a stress hydrique lorsque la quantité d'eau perdue par transpiration est supérieure à celle que la plante est incapable d'absorber par ses racines (Bousmaha et Boulebene, 1991).

2.2 Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, évitement et tolérance) (Turner, 1986). La résistance d'une plante à une contrainte hydrique

peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Madhava Rao et al., 2006). La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (Hsissou, 1994).

2.2.1 Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de stress hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement au stress hydrique de fin de cycle (Ben Naceur et al., 1999). Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (Ben Naceur et al., 1999).

La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999). Le rendement en grains est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (Gonzalez et al., 1999). En effet, les variétés qui ont une vitesse de croissance élevée ont la capacité de mieux utiliser les sources nutritives à la fin du cycle de développement lorsque celles-ci deviennent limitantes (Poorter, 1989).

La précocité de l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches. C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au stress hydrique (Ben Salem et al., 1997).

2.2.2 Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Slama et al., 2005).

2.2.3 Adaptation physiologique

○ La régulation stomatique

Lorsque l'évapotranspiration potentielle, déterminée par les caractéristiques de l'atmosphère, devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher (INRA, 2000). Cependant, il faut garder à l'esprit que les stomates sont des cellules isolées au milieu de l'épiderme et qui possèdent leurs propres mécanismes de régulation de la turgescence. Aussi leur fonctionnement peut être relativement indépendant de la turgescence du mésophylle. (Laffray et Louguet, 1991). Ils sont constitués de deux cellules affrontées qui peuvent ainsi se déformer sous l'effet de variations de leur pression hydraulique interne et ouvrir plus ou moins l'ostiole à travers lequel s'échappe l'eau transpirée (Durand, 2007). La fermeture des stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophylle. Une hormone l'acide abscissique (ABA) semble jouer un rôle important de la fermeture des stomates (Hopkin, 2003). L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les plantes en conditions hydriques limitantes, est due d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (Cornic, 2008). D'après Tardieu et Simonneau, (1998) on peut classer les plantes en deux groupes :

- **Les plantes dites isohydriques**: comme le maïs, ferment rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique. Ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse.

- **Les plantes dites anisohydriques**

Comme le tournesol, maintiennent tardivement leurs stomates ouverts. L'état hydrique des tissus de ces plantes tend à suivre celui du sol lorsque ce dernier se dessèche. La densité stomatique paraît également un autre moyen pour esquiver une sécheresse. En effet, Miskin et al., (1972), en étudiant l'effet de la densité stomatique sur la transpiration, la photosynthèse et la résistance stomatique de 05 variétés d'orge, ont conclu que la sélection des plantes à faible densité stomatique serait un moyen efficace et logique pour trouver des cultivars résistants au stress hydrique.

- **Ajustement osmotique**

Le stress hydrique provoque la mise en place d'un état de régulation hydrique de la plante qui se manifeste par la fermeture stomatique et par une régulation du potentiel osmotique (Brisson et Delecolle, 1992). L'ajustement osmotique est généralement considéré comme un élément important dans la tolérance des plantes au stress hydrique (Bajji et al., 2001). Cet ajustement implique l'accumulation, au et principalement sur l'activité des photosystèmes PSII (Krause et Weis, 1991).

Les investigations basées sur des évaluations de la fluorescence chlorophyllienne ont prouvé que le PSII est tout à fait résistant au stress hydrique. Une grande partie du stress hydrique a été attribuée pour diriger les effets de la déshydratation sur les réactions biochimiques de la photosynthèse (Heitholt et al., 1991).

Pendant que les teneurs en eau des feuilles diminuent, une diminution d'efficacité photochimique de PSII et du transport d'électron se produit (Giardi et al., 1996). Ceci peut être dû aux dommages des centres de réaction de PSII, mais peut également être provoqué par la diminution de la capacité de transport d'électron de PSII (Osmond, 1994). La majeure partie de la variation de l'utilisation d'énergie pour la photochimie pendant un stress hydrique peut être expliquée en termes de variation de l'efficacité de la capture d'électron par les centres ouverts de PSII (Cornic et Fresneau, 2002). Ykhlef et Djekoun, (2000) suggèrent que la survie des plantes au manque d'eau est en partie dû à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles, permettant le rétablissement rapide des plantes suite à une période de stress hydrique.

Chapitre II

Généralité sur la bentonite

1 Historique

La bentonite fût découverte, en 1888 à Fort Benton, région de Roche-Greek dans le Wyoming (États-Unis d'Amérique). Le nom de Bentonite lui fût donné par Knight qui a publié déjà une étude très complète. Son principal constituant est la montmorillonite, minérale dont le nom proposé en 1847 par Domour et Salvetat. La bentonite est un minerai friable à grains fins contenant comme minéral prédominant, la montmorillonite (Plus de 82%), associée à d'autres minéraux argileux comme la Kaolinite, l'illite, le chlorite, en présence d'impuretés sous forme de quartz et de carbone.

2. Définitions de la bentonite

C'est une argile connue sous le nom de "*bentonite*". Elle désigne généralement une poudre minérale constituée essentiellement de l'argile de montmorillonite (famille des smectites). Dans leur état naturel, la plupart des gisements de bentonite sont hétérogènes ; ils sont constitués de smectites mélangées ou inter stratifiées avec l'illite et/ou la kaolinite et d'autres impuretés (Laribiet *al.*, 2005). La bentonite est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels (pharmacie, cosmétique, chimie, génie civil, agroalimentaire ...). Elle est utilisée sous forme pâteuse ou à l'état de poudre pour la réalisation de barrières étanches pour les déchets industriels et ménagers (géomembranes bentonitiques) et les déchets radioactifs (barrières ouvragées ; poudre compactées). A l'état liquide, la boue de bentonite se définit comme une suspension eau-argile. L'origine de l'usage de la boue est sans aucun doute les forages pétroliers (Besq, 2000). Elle permet, du fait de ses propriétés rhéologiques, de faire face aux nombreuses exigences du forage, telles que la stabilité de l'ouvrage (par imprégnation du terrain et par fabrication d'un cake pour limiter la filtration vers la paroi) et l'évacuation des déblais (Jozja ,2003 et, Besq ,2000).

3. Structure et composition de la bentonite

La bentonite est une roche argileuse, friable, tendre et onctueuse au toucher, sa teinte dépend des composés minéraux et impuretés (matière organique et oxydes des métaux) qui lui sont étroitement associés. Elle est blanche, grise ou légèrement jaune. Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement (Bougdah, 2007). Elle est constituée, principalement, par un minéral argileux appelé montmorillonite dont la structure est schématisée par la figure 5.

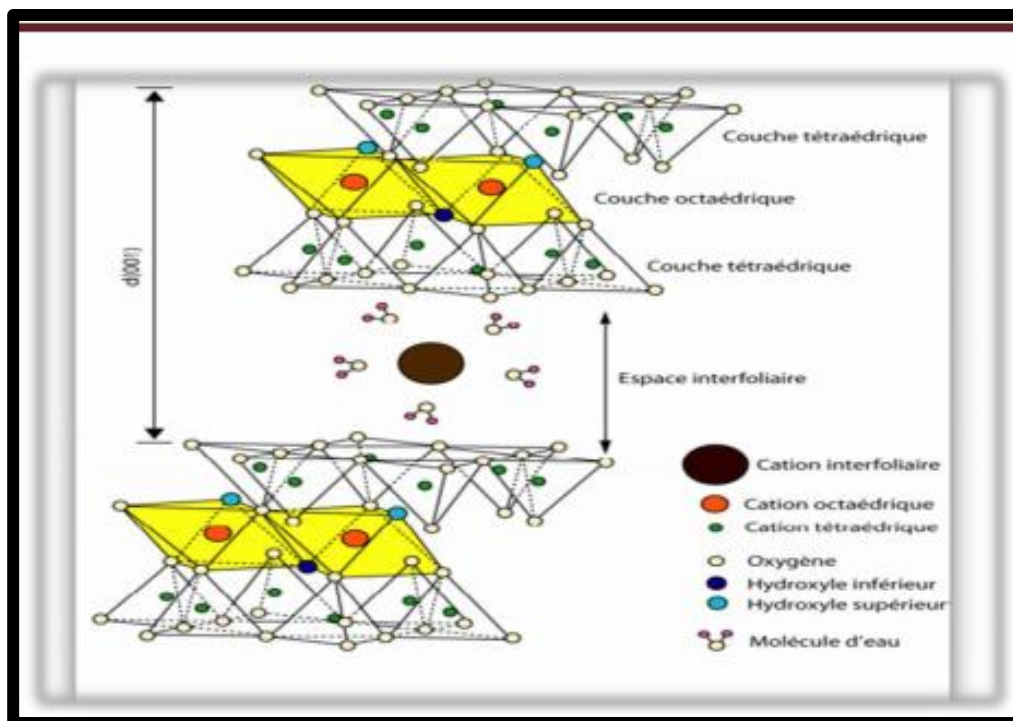


Figure 5- Structure d'une montmorillonite(Grim,1968).

4. La montmorillonite

C'est des phyllosilicates de formule de base : $4\text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3 2\text{H}_2\text{O}$, plus riche en silice que la kaolinite ; l'adsorption d'eau et la fixation de cations sont donc très marquées. La montmorillonite fait partie des smictites, correspondant à un feuillet à 3 couches : tétraédrique-octaédrique- tétraédrique (2 :1) d'épaisseur 10 \AA avec des substitutions au sein de la couche octaédrique où Al^{3+} est remplacé par Mg^{2+} . La capacité d'échange cationique (CEC) élevée varie de 100 à 130 méq/100g d'argile calcinée à 900°C (Bougdah,2007). L'une des argiles la plus connue de cette famille est la terre décolorante, cette argile n'est jamais pure à l'état naturel mais accompagnée d'impuretés minérales (quartz, muscovite, calcite...), des minerais au moins 75% de cette argile porte l'appellation commerciale de bentonite.

5. Microstructure de la montmorillonite

Les montmorillonites ont la particularité de présenter différents niveaux d'organisation selon l'échelle d'observation (A Joubert, M. Jauzein, L. Lucas, C. Joulian) (Figure 6).

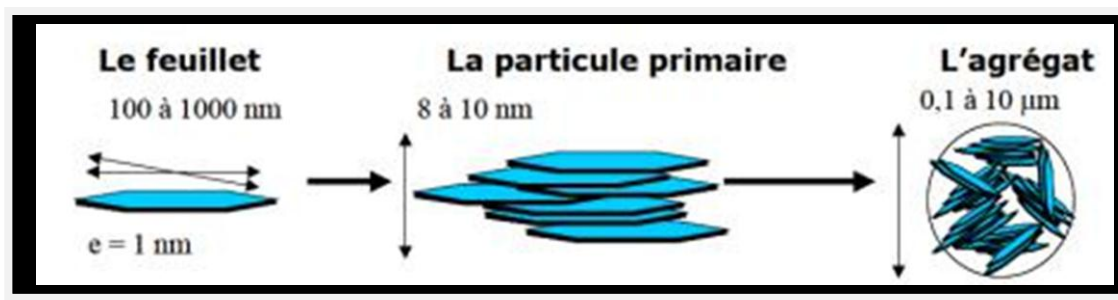


Figure 6- Structure multi-échelle de la montmorillonite.

6. Caractéristiques de la bentonite brute :

La bentonite de Mostaganem du gisement de M’zila, les chercheurs basant sur les caractéristiques déterminées par le laboratoire des analyses de la bentonite de l’unité (ENOF) de Mostaganem. Les caractéristiques physico-chimiques (tableau1). Le cation majoritaire dans cette argile est le calcium, elle est donc calcique.

Tableau 1 - Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite (ENOF.1997)

Surface spécifique (m ² /g)	pH	Cations échangeables (meq/100g)			Na/Ca
		Ca	Mg	Na	
65	9	43.6	4.8	25.2	0.58

7. Propriétés de la bentonite

La bentonite se disperse facilement dans l'eau. On obtient une suspension dont les propriétés sont en fonction des caractéristiques minéralogiques suivantes :

Tableau 2 -Caractéristiques minéralogiques de la bentonite (ENOF,1997)

Montmorillonite	Quartz	Feldspaths	Biotites
45 à 60 %	15 à 20 %	3 à 5 %	8 à 10 %

7.1 L'hydratation interne ou gonflement

Le caractère dipolaire des molécules d'eau a donné naissance à une ancienne théorie qui consistait à dire que la surface des argiles étant chargée négativement, les molécules d'eau s'orientaient de façon que leur extrémité positive soit dirigée vers l'argile et leur extrémité négative vers l'extérieur. Cette première couche d'eau forme alors une nouvelle surface négative ou d'autres molécules peuvent se fixer et ainsi de suite.

7.2 Cations échangeables et adsorption :

Les argiles ont la propriété d'adsorber certains anions et cations et de les retenir dans un état où ils sont échangeables avec d'autres ions en solution. Dans les argiles, les cations échangeables les plus communs sont par ordre décroissant : Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , NH_4^+ et Na^+ . Comme il a été dit précédemment dans le cas de la montmorillonite, le motif cristallin présente une charge négative au sein du feuillet par suite de la substitution d'ions Al^{3+} par des ions Mg^{2+} , en couche octaédrique, et des ions Si^{4+} par des ions Al^{3+} en couche tétraédrique. Cette charge négative est évidemment compensée par un nombre équivalent de cations. Pour des raisons de neutralisation électrique, ces cations se logent dans les espaces inter foliaires ainsi qu'à la surface des feuillets. Le cation majoritairement représenté conditionne largement les propriétés physico-chimiques des bentonites. Le dosage des cations permet donc de déterminer la nature de l'argile : sodique, calcique ou magnésienne. Blade et Boulton cités par Marchal classent les bentonites en tenant compte des deux cations échangeables. Pour le Na^+ et le Ca^{++} , ils obtiennent ainsi 4 Catégories : Na, Na-Ca, Ca-Na, Ca.

8 Les différents types de bentonite

8.1 Bentonites naturelles

- Les bentonites sodiques, où le sodium :** est le cation échangeable majoritaire, elles ont un fort pouvoir de gonflement et d'adsorption.
- Les bentonites calciques où le calcium :** est le cation échangeable majoritaire, elles ont un pouvoir de gonflement et d'adsorption plus faible que les bentonites sodiques.

8.2 Bentonites activées

Afin d'améliorer les propriétés d'adsorption des bentonites calciques, ces dernières sont le plus souvent activées par du carbonate de sodium puis séchées et broyées ; on obtient ainsi des bentonites calciques activées dont les propriétés sont égales ou supérieures à celles des bentonites sodiques. Les propriétés de ces bentonites ainsi activées ou permutées sont moins stables dans le temps (3 à 18 mois) et dépendent de l'activation et des taux de magnésium, calcium et sodium. Ces différents types de bentonites se présentent sous forme

de poudre ou de granulés sphériques ou cylindriques. Elles ont des couleurs très variables allant du blanc pour les produits les plus purs au gris, beige ou vert pour les autres.

9. Le système bentonite-eau

Les particules de la bentonite présentent une grande affinité pour l'eau qui s'exprime d'un part par la quantité d'eau qu'est susceptible de retenir l'argile et d'autre part par l'énergie avec laquelle cette eau est retenue. Ce phénomène d'ordre capillaire résultant de la granulométrie fine des particules ainsi que de la présence de charges à la surface des feuillets vont contribuer à accentuer les interactions bentonite-eau. Pour comprendre cela, on s'intéresse à l'échelle des particules où les feuillets sont séparés par un nombre variable de Couches d'eau (entre 0 et 4) et des pores lenticulaires de l'ordre de 30 à 50 Å [Touret et al. (1990)]. Les particules sont plus ou moins épaisses, selon la nature du cation compensateur et les propriétés physico-chimiques de la bentonite. Les particules sont séparées les unes des autres par une quantité d'eau, relativement importante, mais elles ne sont cependant pas Indépendantes. Du fait de la très grande étendue des feuillets dans leur plan et des forces d'attraction inter- feuillet, il se forme des connections entre particules par rapprochement de deux zones de feuillets extérieurs à deux particules adjacentes, ou par interaction entre feuillets que l'on détaillera par la suite (Luckham et Rossi ,1999). Comme cela a été expliqué plus haut, les particules ainsi connectées forment des agrégats ou des super-agrégats suivant la densité des suspensions. Cette organisation est caractéristique de ce qu'on appelle "milieu granulaire". Lorsque l'hydratation se poursuit par le gonflement des particules, on désigne l'état de la bentonite hydratée sous le terme de "gel". Ces types de gels sont caractérisés par des particules très lâches constituées d'un nombre faible de feuillets (en moyenne 5), voire des feuillets isolés, situés à des distances allant de 30 à quelques centaines (figure 7). L'ensemble forme un réseau très souple, aux propriétés importantes de viscosité et de thixotropie (Glaeser ,1953 ; Jozja , 2003).

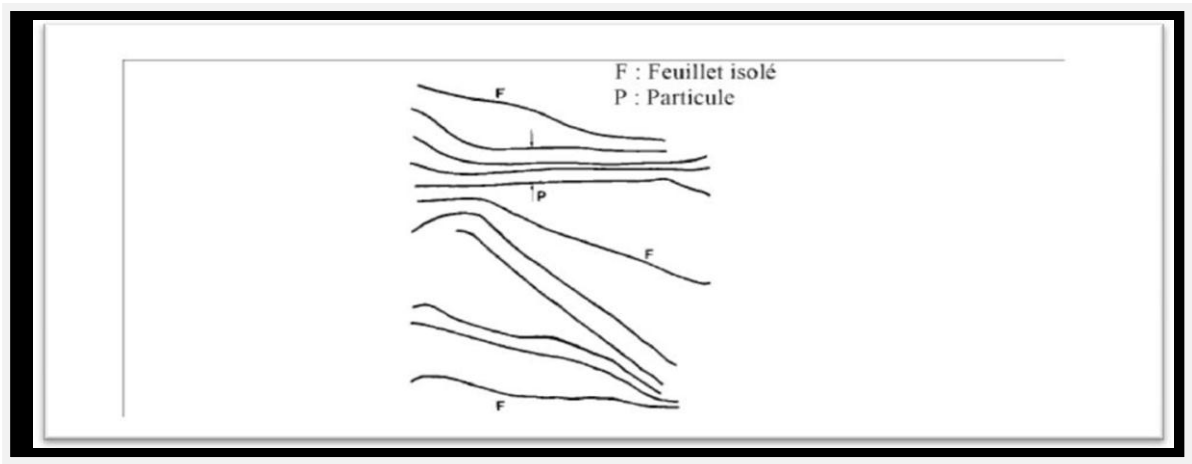


Figure 7 - Représentation schématique de l'état gel de la bentonite (Jozja, 2003).

10. Modes d'utilisation de la bentonite en alimentation animale

La bentonite est utilisée de plusieurs façons en alimentation animale.

- Comme agent liant dans les aliments en comprimés ou pastilles (pellets)

Comme agent antiagglomérant dans les moulées non-médicamenteuses

- Comme agent de remplissage dans les mélanges humides
- Comme absorbant avec l'ensilage faible en matière sèche
- Comme "dispensateur" de minéraux.

Chapitre III

L'espèce :

***Moringa Oleifera* Lam**

1. Historique

Moringa oleifera Lam. Est une espèce originaire des régions d'Agra et d'Oudh, au Nord-est de l'Inde, au sud de la chaîne de montagne de l'Himalaya, mais elle est cultivée aujourd'hui dans toutes les régions tropicales et subtropicales du monde (Rajangam et al., 2001). Son introduction en Afrique de l'Est a eu lieu au début du 20^e siècle par le biais du commerce et des échanges maritimes durant cette période (Foidl et al., 2001). On peut rencontrer cette espèce sur trois continents et dans plus de cinquante pays tropicaux et subtropicaux (Afrique, Arabie, Sud-est asiatique, Iles du pacifique, Amérique du sud). Dans ces pays, elle est utilisée comme plante médicinale et alimentaire.

2. Dénomination et taxonomie

2.1 Dénomination

- **Nom scientifique :** *Moringa oleifera* Lamark 1795. (Agroconsult, 2016).
- **Nom vernaculaire :** **En anglais** connue sous « west Indian tree », ou « Drumstick Tree », ou encore « Never die tree » en référence à sa résistance à la sécheresse (Hêdjiet al., 2014).
- **En arabe :** « Rawag », ou « Shagara Al Ruwag » (Yongabi et al., 2012, Yusoff, 2016).

2.2 Taxonomie

Moringa oleifera est mentionné dans le « Shushruta Sanhita », écrit au début du premier siècle avant J-C, sous le nom de « Shigon » (Odee, 1998). Il est connu plus généralement dans le monde sous le nom de moringa et il est appelé aussi acacia blanc, ben ailé, moringa benzolive, pois quenique, neverdie, mother's best et ne meurt jamais. *Moringa oleifera* lam (synonyme : *moringa pterigosperma* Gartner) appartient à la famille des Moringaceae contient 13 espèces (Olson, 2002) les 12 autres sont bien connues *M. arborea*, *M. conxanensis*, *M. borziana*, *M. drauhardii*, *M. hildebrandtii*, *M. longituba*, *M. peregrina*, *M. ovalifolia*, *M. pygmaea*, *M. rival*, *M. uspoloniana*, *M. stenopetala* (Hêdji et al., 2014).

3. Caractéristiques botaniques et physiologiques

Moringa appartient à une famille monogénérique dont on connaît 14 espèces. Neuf d'entre elles sont africaines, deux malgaches, deux indiennes et une en Arabie. Les espèces les plus courantes sont : *Moringa oleifera*, *M. stenopetala*, *M. conxanensis*, *M. Drouhardii*, *M. Longituba* et *M. Peregrina*. « *Moringa* » vient de *muringa* en malayalam une langue indienne. La plupart des langues s'utilisent un dérivé phonétique de ce mot pour désigner la plante. *Moringa oleifera* est un arbre qui est connu sous diverses appellations. En Afrique francophone, le nom le plus général est nébéday, nom vraisemblablement dérivé de l'anglais

"never die" (immortel), en référence à sa capacité de résistance à la sécheresse, à son aptitude à se propager rapidement à partir de semis ou de boutures et à se régénérer même après des coupes très sévères (Fuglie, 2001). En Inde, il est appelé Dumstick pour rappeler la forme du fruit qui ressemble à une baguette (Pousset, 1999). Au Burkina Faso, le nom varie en fonction des ethnies et reflète les qualités nutritionnelles miraculeuses de l'arbre :

- ✓ En mooré (Arzan Tiiga) ;
- ✓ En dioula (ArdjilUi Yiri) ;
- ✓ En fulfuldé (Leggal Aljenna).

Tableau 3 - Position Systématique de *Moringa oleifera* (Chukwuebuka,2015)

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Brassicales
Famille	Moringaceae
Genre	<i>Moringa</i>
Espèce	<i>Oleifera</i>

4. Distribution géographique

La plante *Moringa oleifera* est considérée comme l'un des arbres les plus utiles au monde (**Figure 8**). Elle possède de nombreuses propriétés intéressantes qui lui confèrent un grand intérêt scientifique, elle est décrite comme l'arbre miracle, l'arbre de vie, et le don de Dieu à l'homme (Ijarotomi *et al.*, 2013 ; Haldar et Kosankar., 2017).



Figure 8 -Distribution de la plante *Moringa oléifera* dans le monde (Saini et al., 2016).

5 Description botanique

5.1 Port

Selon (Rajangam et al, 2001). *Moringa oleifera* est une plante qui a l'aspect d'un arbuste dont la hauteur peut atteindre 4 à 5m. Le diamètre du tronc varie entre 20 et 40 cm selon (Foidl et al, 2001). Le tronc est généralement droit, mais il est parfois très peu développé. En général, il se ramifie lorsque la hauteur atteint 1,5 à 2m. Les branches poussent de manière désorganisée (Figure 9) et la canopée est en forme de parasol (Foidl et al, 2001).



Figure 9 - Pied de *Moringa oléifera* (Yusoff, 2016)

5.2 Les feuilles

Sont caduques, duveteuses, recouvertes d'un duvet gris lorsqu'elles sont jeunes, et se développent principalement dans la partie terminale des branches, ont un long pétiole mesurant 20 à 70 cm de long, comptent 2 à 6 paires de pinnules comprenant chacune 2 à 5

paires de pinnules secondaires, divisées elles-mêmes en 1 à 2 paires de folioles opposés plus une foliole terminale à l'apex plus grande que les autres, de forme ronde ou ovale de 1 à 2 cm de long (Ijarotomi *et al.*, 2013; Hédji *et al.*, 2014; Agroconsult, 2016).



Figure 10 - Les feuilles de *Moringa Oleifera* dans les deux substrat sable (A) et sable plus bentonite(B) (Photo originale)

5.3 Les fleurs

Les fleurs (Figure 11) mesurent 2,5 cm de large et se présentent sous forme de panicules axillaires et tombantes de 10 à 25 cm. Elles sont généralement abondantes et dégagent une odeur agréable (Foidl *et al.*, 2001) Elles sont blanches ou couleur crème, avec des points jaunes à la base (Olson., 2001).



Figure 11 - fleurs de *Moringa Oleifera* (Photo originale) .

5.4 Les fruits

Forment des gousses à trois lobes, mesurant 20 à 60 cm de long et de 2 cm de diamètre, ses côtés forment un triangle, la capsule a une extrémité aiguë, une surface bosselée qui pendent des branches. Les fruits (gousses) sont initialement vert clair, minces et tendres, devenant finalement marron et ferme. Lorsqu'ils sont secs, ils s'ouvrent en trois parties, en

libérant 12 à 35 graines de forme ronde. Un arbre peut produire 15000 à 25000 graines par an. (Yusoff, 2016).



Figure 12- Fruits de *Moringa Oleifera* a) verts sur l'arbre b) les fruits sec (Yusof,2016).

5.5 Les graines

Les graines sont rondes, avec une coque marron semi-perméable. La coque présente trois ailes blanches qui s'étendent de la base au sommet à 120 degrés d'intervalle. Un arbre peut produire 15000 à 25000 graines par an. Une graine pèse en moyenne 0,3 g et la coque représente 25% du poids de la graine (Maevalandy, 2006) (**Figure13**).



Figure 13 -Graines de *Moringa Oleifera* (Photo originale).

5.6 les racines

Le système racinaire est de structure tubulaire, il est formé d'un pivot central qui peut s'enfoncer dans le sol jusqu'à 1,30 m de profondeur lui offrant ainsi une grande résistance à la sécheresse. Des racines secondaires issues du pivot central se ramifient ensuite latéralement jusqu'à constituer une chevelure dense (Rosa, 1993).



Figure 14-Racines tubéreuses du *Moringa oleifera* (Photo originale).

5.5 Les tiges

La tige à une écorce de couleur brun-pâle et lisse, parfois tachetée de marron et son bois tendre et mou ne lui permet pas de résister aux vents agressifs.



Figure 15- Tige du *Moringa oleifera* (Photo originale).

6. Caractéristiques pédoclimatique de la plante *Moringa oleifera*

Le Moringa peut se trouver dans des zones très arides comme le Sahara, mais il préfère les climats semi-tropicaux humides. Il peut s'accommoder à tout type de sol mais s'adapte mieux les collines et les bordures de rivières. Elle résiste bien à la sécheresse grâce à ses racines tubéreuses lui permettant d'accumuler de l'eau (Madi et al., 2012). Les limites écologiques de *Moringa oléifera* sont rapportées dans le (tableau 4) (Louni, 2009).

6.1 Ecologie

Tableau 4 - Limites écologiques de *Moringa oleifera*, (Iouni, 2009)

Caractéristiques	Conditions acceptables	Conditions optimales
Altitude	0 – 1500 m	100 – 700 mètres
Température moyenne Annuelle	8°C – 45°C	22°C – 25 °C
Précipitations	100 – 1500 mm	700 - 900 mm
Types de sols	Tous sauf les vert sols	Les sols sablonneux ou limoneux bien drainés
pH du sol	4.5 et 8	Neutres à légèrement acide

6.2 Ravageurs et maladies

Selon DAO et *al.*, (2015), les ravageurs de feuilles de *M. oleifera* sont variés et constitués d'araignées, d'escargots et d'insectes, dont les principaux sont récapitulés (tableau 5). D'après Malo (2014), les sauterelles, criquets, chenilles et les termites constituent les principaux ravageurs. Ces attaques sont surtout fréquentes en début de saison sèche lorsque les organes verts et tendres sont rares.

Selon De Saint Sauveur et Broin (2010), les maladies fongiques sont de loin les plus sérieuses dans la culture du Moringa. Des taches sombres peuvent apparaître sur les feuilles et finir par les couvrir entièrement, ce qui cause le jaunissement de la feuille et sa mort. Ceci est provoqué par les champignons *Cercospora spp* et *Septoria lycopersici*. L'alternariose serait également courante.

Tableau 5 - Différents ravageurs de *Moringa oleifera*

	Ordres	Familles	Genres	Espèces
Insectes	Lepidoptera	<i>Lymantriidae</i>	Euproctis	Euproctis pasteopa
		<i>Pyralidae</i>	Noorda	Noorda blitealis
		Noctuidae	Scoliopteryx	Scoliopteryx libatrix
Araignées	Acari	Tetranychidae	Tetranychus	Tetranychus urticae
Escargot	Stylommatophora	Helicidae	Cepaea	Cepaea sylvatica

6.3 Fertilisation des cultures et biostimulant

Les bio-pesticides et engrais issus des plantes ont des avantages multiples surtout pour les paysans agriculteurs, de par leur accessibilité et leur moindre cout sans oublier leur faible toxicité et résistance. Selon Foidl et *al.*, (2001), l'extrait à l'éthanol à 80 % obtenu à partir des feuilles de *Moringa* contient des facteurs de croissance (hormones du type cytokinine) Son aspersion après dilution dans l'eau produit des effets significatifs : croissance plus vigoureuse sur un cycle de vie plus long ; racines, tiges et feuilles plus robustes, fruits plus gros, teneur plus élevée en sucres. L'utilisation de cet extrait permet d'augmenter globalement les rendements de 20 à 35%. Selon Mudjahid et *al.*, (2015), l'extrait de *Moringa* est un agent d'amorçage des graines et un activateur de croissance du blé, il augmente le rendement, la teneur en matière sèche, la surface foliaire et l'indice foliaire. Le tourteau de graines de *Moringa*, après séchage, peut être utilisé comme engrais naturel à haute teneur en azote. Source d'hormones qui stimulent la croissance végétale, l'extrait de feuilles et de jeunes tiges contient l'hormone Zéatine qui stimule la croissance des plantes. Selon Culver et *al.* (2012) l'extrait de *Moringa* agit significativement sur le rendement de la tomate, les effets sur la croissance seraient dus à la très forte concentration de Zéatine (entre 5mcg/g et 200mcg/g de matière), hormone du groupe de cytokinines reconnue comme hormone pouvant augmenter les rendements des plantes quand celles-ci reçoivent des aspersion d'extrait de feuilles fraîches de *Moringa*.

7. Physiologie et stade végétatif

7.1 Germination

Le *Moringa* peut se planter par semis, en repiquage ou en plein champ ou encore par Boutures. Le semis se fait à mi- ombre, en situation pas trop chaude après un trempage des graines dans l'eau pendant 24 heures. Le taux moyen de germination est de 70% avec une durée de germination comprise entre 4 à 10 jours.

7.2 Croissance

La croissance de l'arbre, la floraison et la production de fruits sont influencées par L'écartement entre les pieds et le mode de récolte des feuilles. Une étude menée au sud du Niger par (Abaisse et Oni, 2001). A montré que :

Les meilleures performances en terme de valeurs moyennes de hauteur, diamètre, nombre de feuilles et nombre de branches ont été observées dans l'écartement de 2 x 1 m, avec des valeurs respectives de 30,68 cm ; 0,65 cm ; 36 et 6.

Le plus grand nombre de fleurs (634,95 + 76,2) par arbre s'obtient en collectant directement les folioles sur la plante. La meilleure production de fruits (7,7 + 1,2 fruits par arbre) s'obtient également avec la collecte des folioles.

La valeur la plus élevée en production de graines (13,8 + 0,4 graines par gousse) était rencontrée avec un écartement de 0,5 x 0,5 m. (Olivier, 2004).

8. Utilisations traditionnelles de *Moringa*

Le tableau suivant représente l'utilisation de différents organes du *Moringa oleifera* :

Tableau 6 - Utilisation traditionnelles de *Moringa oleifera* (Saint Sauveur A et Broin M, 2006)

Parties utilisées	Utilisations traditionnelles de <i>Moringa oleifera</i>
Feuilles	Nutrition, Remède, Médicinal
Fruits	Nutrition, Remède, Médicinal
Fleurs	Médecine, Remède, Miel
Graines	Clarification de l'eau, Remède médicamenteux, Huile de cuisine, Huile cosmétique, Lubrifiant
Ecorce	Remède médicamenteux
Racines	Remède médicamenteux

9. Le *Moringa* comme essence fourragère

Les qualités nutritives du *Moringa* sont excellentes, ce qui en fait une source de fourrage de très bonne qualité pour les bovins et facilement accessible. Les feuilles sont riches en protéines, en carotène, en fer et en acide ascorbique, et les gousses ont une teneur élevée en lysine, un acide aminé (CSIR, 1962 ; Chawla *et al.*, 1998 ; Dogra *et al.*, 1975). D'autre part, le *Moringa* présente le net avantage de produire une grande quantité de matière fraîche à l'unité de surface par rapport à d'autres plantes fourragères (voir ci-dessous : productivité des plantations de *Moringa*). Le *Moringa* est une source de fourrage particulièrement intéressante tant en termes économiques qu'en termes de productivité, compte tenu des problèmes que connaissent les éleveurs (les petits élevages représentent 70 % du cheptel national du Nicaragua). Les principaux problèmes sont les suivants :

- a) Fourrage rare en saison sèche, qui s'étend de décembre à mai.
- b) Manque de pâturage, du fait que les paysans sont propriétaires de petites superficies généralement peu entretenues et mal gérées.
- c) Déséquilibres alimentaires en raison du manque de protéines, de féculents et de minéraux.

d) Faible maîtrise de la reproduction des troupeaux, qu'il s'agisse de la planification dans le temps des accouplements ou de la qualité des reproducteurs.

Deuxième partie
Expérimentale

Chapitre IV

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériels et méthodes

Cette étude s'appuie principalement sur l'action de l'amendement de sol sableux par la bentonite de Mostaganem sur le développement et la croissance d'un arbre fourrager *Moringa oléifera* à travers la germination, les paramètres biométriques comme la longueur des tiges, racines, poids frais des organes et le nombre de tubercules racinaires produit par plant.

I Matériels utilisés

1 Matériel végétal

2 Choix du Matériel végétal

Les graines de *Moringa oleifera* utilisées dans cette étude ont été collectées de la wilaya d'Adrar, Algérie. La plante a été choisie en raison de son meilleur taux de germination, sa croissance rapide ainsi que son excellente valeur fourragère. Le tableau ci-dessous représente quelques caractéristiques du *Moringa oleifera*.

Tableau 7 : Caractéristiques de l'espèce étudiée "*Moringa oleifera* "

Espèce	Type	Hauteur	Floraison	Couleur de la graine
<i>Moringa oleifera</i>	Arbre	10 m	Avril	Marron

De plus, la taille de graines de *Moringa oleifera* est illustrée dans la figure 16.



Figure 16 - Graines de *Moringa oleifera* (Photo originale).

3 Substrat sol

3.1 Préparation de substrat de culture

Le substrat utilisé correspond à un mélange sable et sable plus bentonite. Le sable est récupéré au bord d'oued de la commune de Naama ayant subi plusieurs tamisages pour éliminer les cailloux et débris végétaux.

L'argile benthonique de Mostaganem sous sa forme naturelle granulée a été préalablement broyée à l'aide d'un broyeur électrique et tamisée au tamis à maille de 2mm pour obtenir une poudre fine afin de faciliter son enfouissement et son mélange. La quantité de bentonite ajoutée au sol sableux correspond à une dose exprimée en pourcentage du poids sec du sol.

Les substrats choisis ont été remplis dans des Sacs à plante en plastiques de couleur noir de 30cm de hauteur et 5 kg de poids de sable et sable plus bentonite au sein de chacun on a ajouté 2% de terreau pour faciliter la lever de graines (**tableau 6**).

Tableau 8 - Poids sec de bentonite et de terreau en grammes par rapport au pourcentage de la dose de bentonite retenue.

Substrats	Poids de sable (Kg)	Terreau (g)	Poids de Bentonite (g)	Poids (kg)
Substrat 1 (S1)	4.9	10	0	5
Substrat 2 (S2)	4.65	10	25	5

3.1 Site d'étude

L'expérimentation a été réalisée au niveau de laboratoire d'écologie (test de germination) et sous serre automatisée (semis et repiquage), elle est située au Centre universitaire Salhi Ahmed wilaya de Nâama où toutes les facteurs climatiques sont maîtrisés (figure 17 et tableau 9).



Figure 17 - Serre automatisée du centre universitaire de Naama (Photo originale).

Le tableau ci-dessous représente quelques caractéristiques de la serre automatisée du centre universitaire de Naama.

Tableau 9- Caractéristiques de la serre automatisée du centre universitaire de Naama

Période	Jour	Conditions
Photopériode		8
Température		(20 à 27)°C
Humidité		(20 à 80)
Vent		0 m/s
Intensité lumineuse		400 w/m ²
Ensoleillement		95000 Lux

II Méthodes

1 Préparation des grains de *Moringa oleifera* L pour la germination.

Les graines de *Moringa Oleifera* L ont été sélectionnées selon leurs tailles, couleurs et poids. Le semis a eu lieu le 11-02-2020 soit cent (100) graines ont été mises à germer dans des boîtes en plastique stériles tapissées avec deux couches de papier filtre, la boîte a été imbibée

avec l'eau distillée. Ensuite, elles sont incubées dans une étuve à une température de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, et suivi tous les 24h pendant 6 jours (figure17).

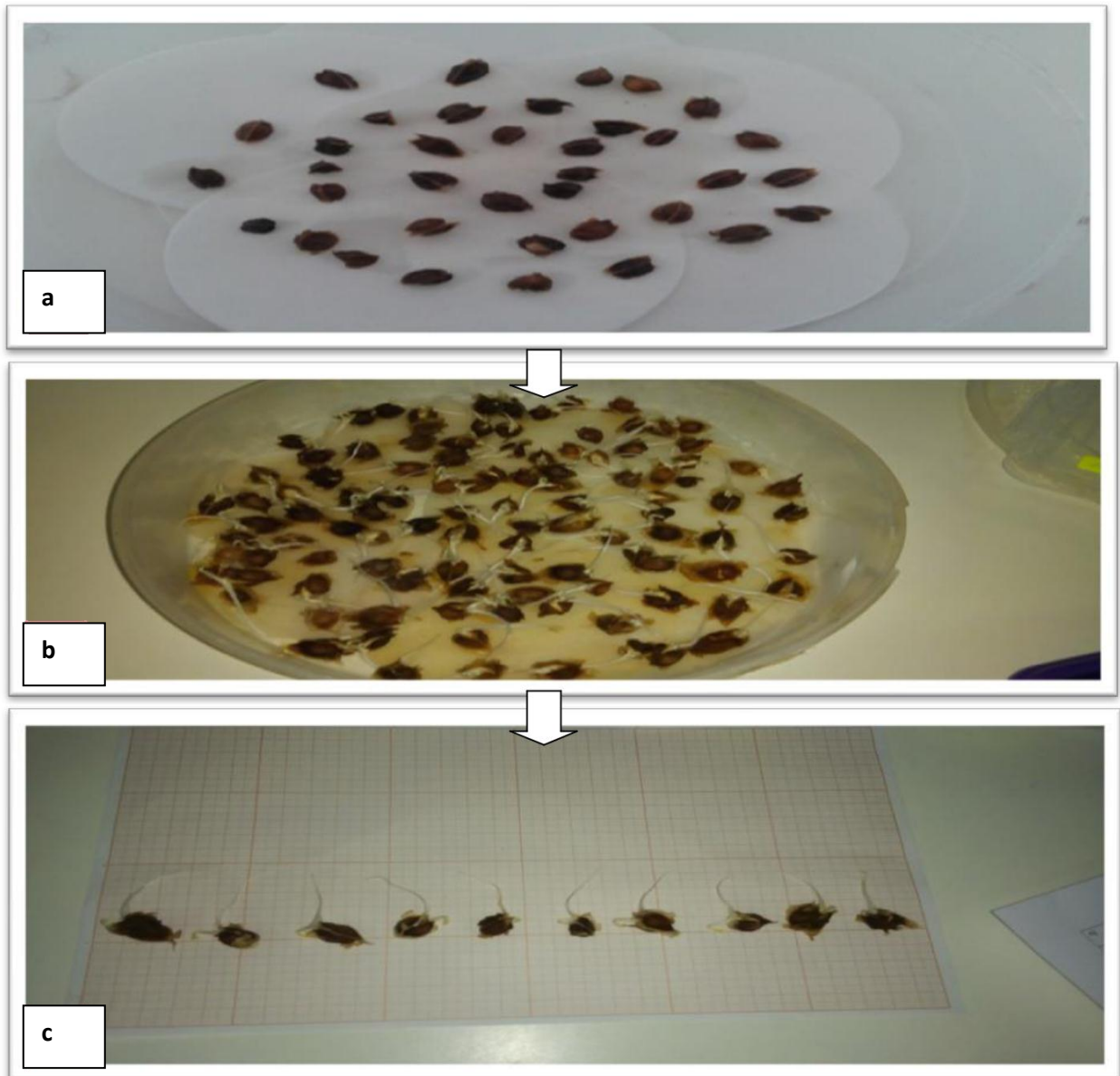


Figure 18 - Graines germées de *Moringa Oleifera* (Photo originale).

2 Transplantation des jeunes plants dans les Sacs à plante

Après la Pré germination des graines de *Moringa Oleifera*. Le repiquage a eu lieu le Lundi 17 Février 2020 dans des sacs à plante contenant le substrat sable (substrat1) et sable plus bentonite (substrat 2) soit cinquante (50) répétitions pour chaque substrats (substrat1 et substrat 2).



Figure 19 - Plantule de *Moringa Oleifera* au stade de croissance (Photo originale).

3.4 Arrosage

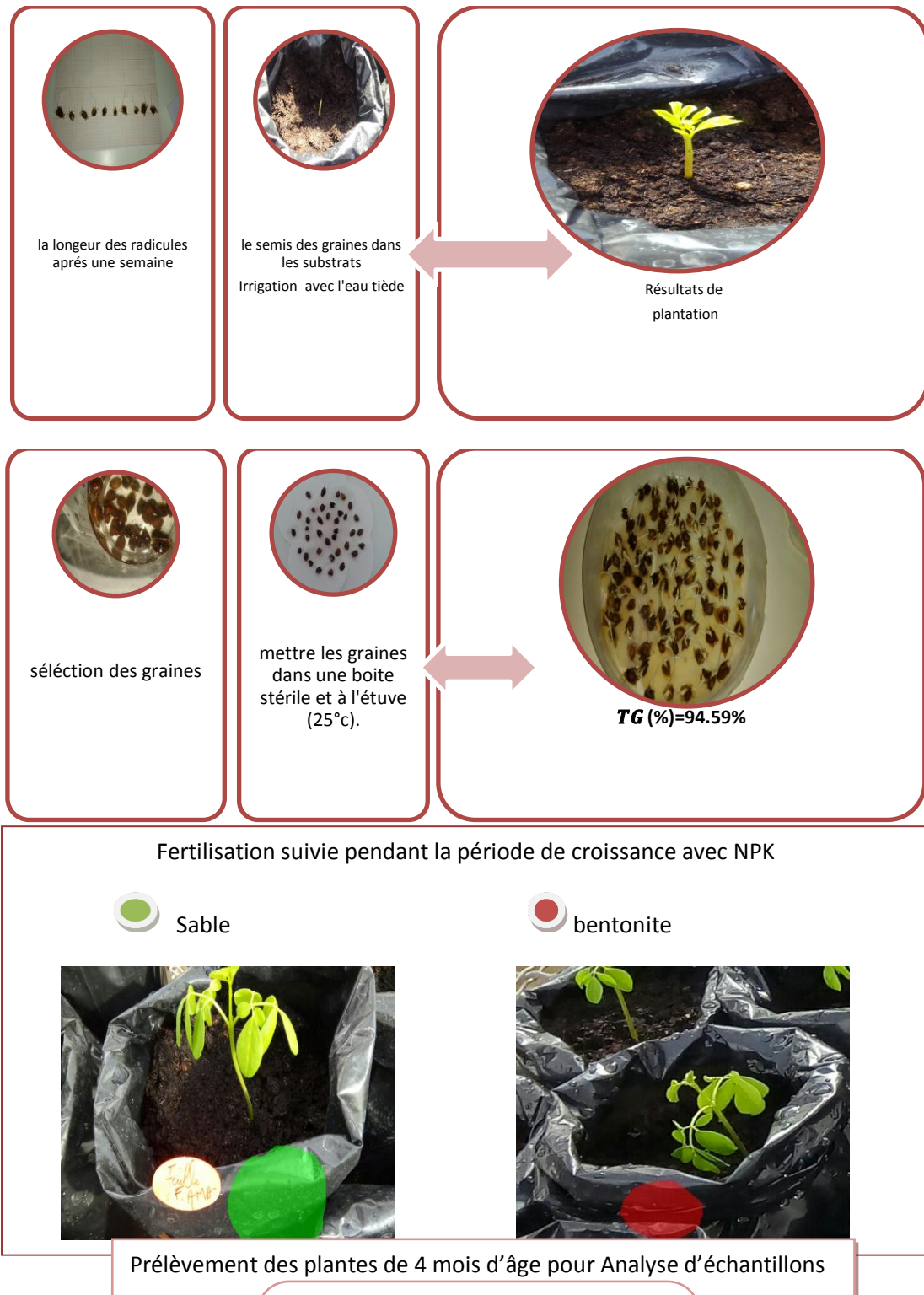
L'irrigation est effectuée selon la capacité de rétention qu'est déterminé par la différence entre la quantité d'eau apportées avant l'arrosage et celle récupéré après 48 h de décantation. La réserve facilement utilisable RFU correspond à 40 et 48 % de la capacité de rétention soit 267 et 320 ml respectivement par sacs. La fréquence d'arrosage est effectuée par la pesé des échantillons de sacs à raison de trois fois par semaine, deux fois à l'eau normal et une fois à la solution nutritive.

4. Solution nutritive utilisée

Elle est de type ACTIVEG 20-20-20 (tableau.10), composée de principaux éléments majeurs en plus des oligo éléments son intérêt pour le démarrage, croissance et stimule le développement des plantes cultivées. Préparer la solution mère en diluant 10 kg de NPK 20 20 20 dans 100 L d'eau.

Tableau 10 - Compositions chimique en éléments majeurs NPK

<i>Constituants (NPK)</i>	<i>Teneur (%)</i>
Azote totale	20
Anhydride phosphorique (P ₂ O ₅)	20
Oxyde de potassium (K ₂ O)	20



Morphologiques

- Racine (Poids et hauteur)
- Tige (hauteurs)
- Tubercule (nombres)

Figure 20- Protocole expérimentale adopté

5. Paramètres étudiés

5.1 Le taux de germination

Une graine a été considérée germée lorsqu'il y a eu émergence de la radicule. La figure suivante représente les démarches de la germination et levée des plants de *Moringa oleifera*.

En effet, le taux de germination est calculé par la formule suivante :

$$\mathbf{Tg\ (\%) = Gx/Gt * 100}$$

$$\mathbf{Tg\ (\%) = 175/185 * 100}$$

$$\mathbf{Tg\ (\%) = 94.59\%}$$

TG : Taux de germination final **Gx** : nombre des graines germées **Gt** : nombre total des graines mises à germer.

5.2 Taux de réussite de la levée

C'est le nombre de plants réussit sur le nombre total des plants en sac à plante.

6. Paramètres biométriques

Cette étude a été menée pour évaluer l'effet de l'amendement de substrat par la bentonite sur la croissance de *Moringa oléifera*.

a-Longueur aérienne et souterraine

Les plants ont été récoltés en séparant les racines des tiges. Les systèmes racinaires ont été lavés soigneusement à l'eau distillée. Ils ont été essorés rapidement avec du papier filtre. Les longueurs des parties aériennes et souterraines ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs données sont les moyennes des quatre répétitions par variété et par traitement.

b-Nombre de tubercules

c-Poids de la biomasse végétale

Pour chaque échantillon plant, on a déterminé le poids frais juste après le prélèvement et. On pèse les deux parties séparément avec une balance à précision.



Figure 21- *Moringa oleifera* A) tige et feuilles B) racines tuberculeuse (Photo originale).

7. Analyse de résultats

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la moyenne et l'écartype et test de corrélation (r) à l'aide de logiciel « Statistica.7 ». Les graphes ont été construite à l'aide de l'Excel 2016.

Irrigation

Selon la capacité au champs deux fois par semaine à l'eau pure et une fois par la solution nutritive Activeg, avec une dose d'irrigation de 267ml.

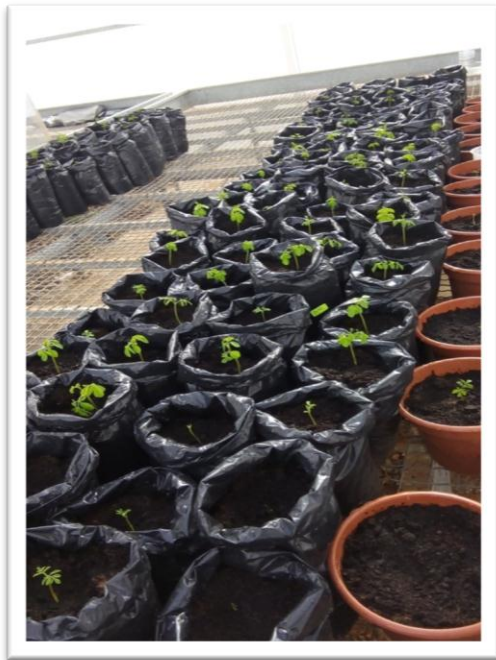
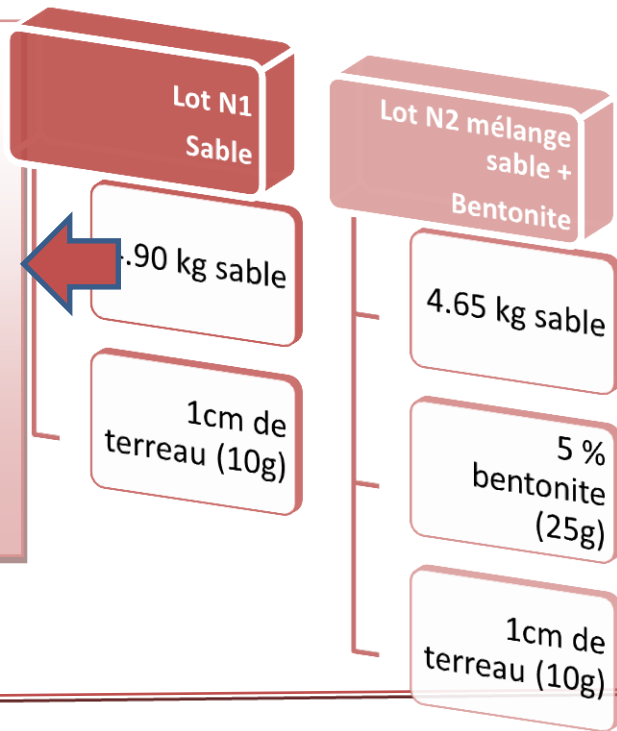


Figure 22- Dispositif expérimental adopté sous serre automatisée.

Chapitre IV

Résultats et Discussion

Résultats et discussion

1. Paramètres visuels

En se basant sur la biométrie des plantes, il est très important d'élucider les variations de paramètres bio-morphologiques de *Moringa oléifera* sous l'effet de traitement de sol sableux par la bentonite de Mostaganem.

Les photos ci-dessous montrent l'état des plants à la fin de l'expérimentation et illustrent les variations observées sur la longueur des tiges, symptômes, feuillage avec ou non de chlorose et les tubercules racinaire de *Moringa oléifera*.

Les constats visuels, montrent que l'amendement des sols sableux par la bentonite augmente d'avantage le nombre de feuilles, avec sans aucun symptôme de chlorose bien que les plants sont arrosés uniquement par l'eau. Alors que la longueur des racines pivotante de *Moringa* augmente dans le substrat sableux, cela probablement dû à l'adaptation de la nouvelle situation (manque d'eau dans les sols sableux) en cherchant de l'eau au profond du sol (figures 22-23).

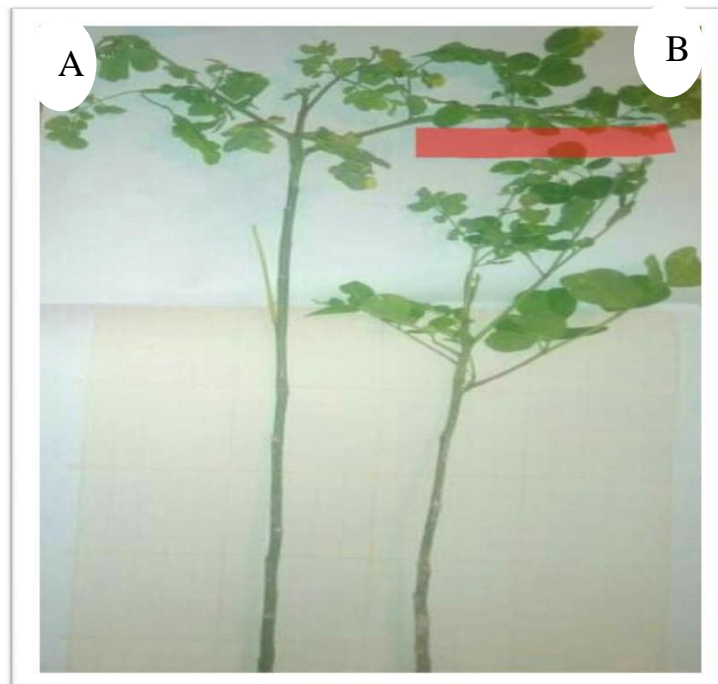


Figure 23- Comparaison entre la longueur des tiges de *Moringa Oleifera*, le nombre des feuilles dans les deux substrat sable plus bentonite(A) et sable (B) (Photo originale).

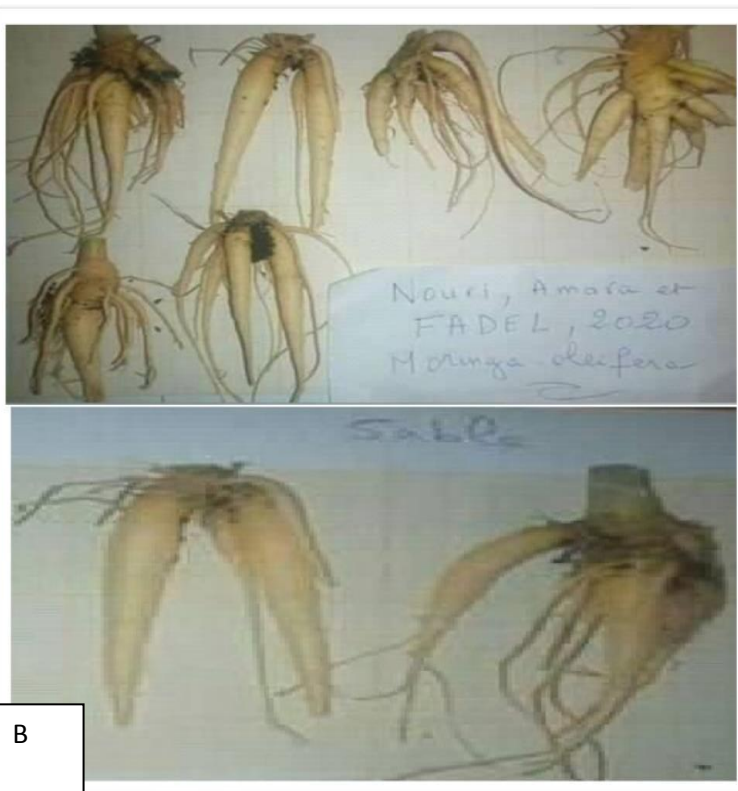
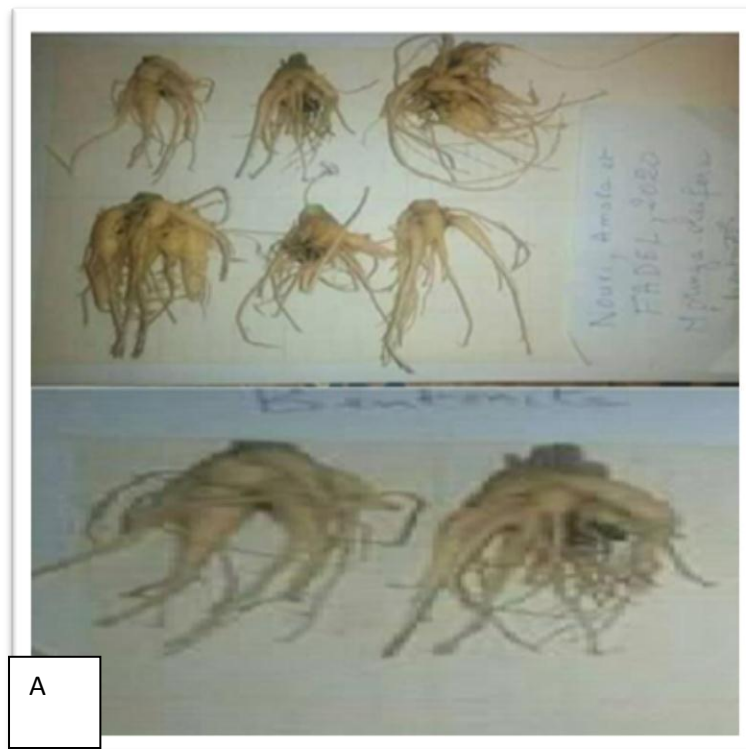


Figure 24- Comparaison entre la longueur des racines de *Moringa oleifera*, le nombre de tubercules dans les deux substrats sable plus bentonite(A) et sable (B) (Photo originale) .

2 Action de la bentonite sur les paramètres morphologiques

2.1 Nombre de feuilles

Le nombre de feuille est considéré comme critère fondamental pour évaluer la croissance végétale. L'effet de l'amendement de sol sableux par la bentonite en situation de sécheresse est illustré dans le tableau 11 et la figure 24.

Tableau 11 - Effet de la bentonite sur le nombre de feuille de *Moringa oleifera*

Substrat	Sable	Sable+ 5% de bentonite
Nombre de feuilles	16,12	23,62

Selon la figure 1, le nombre de feuilles des plantes est proportionnel à l'amendement de sol sableux par la bentonite, la plante de *Moringa oleifera* compte 16.12 feuilles dans le substrat sableux. Alors que, l'addition de 5% de bentonite augmente significativement ce paramètre soit 23.62 feuilles. Cela du probablement à la capacité de rétention d'eau d'une part et la CEC élevée de cette argile d'autre part.

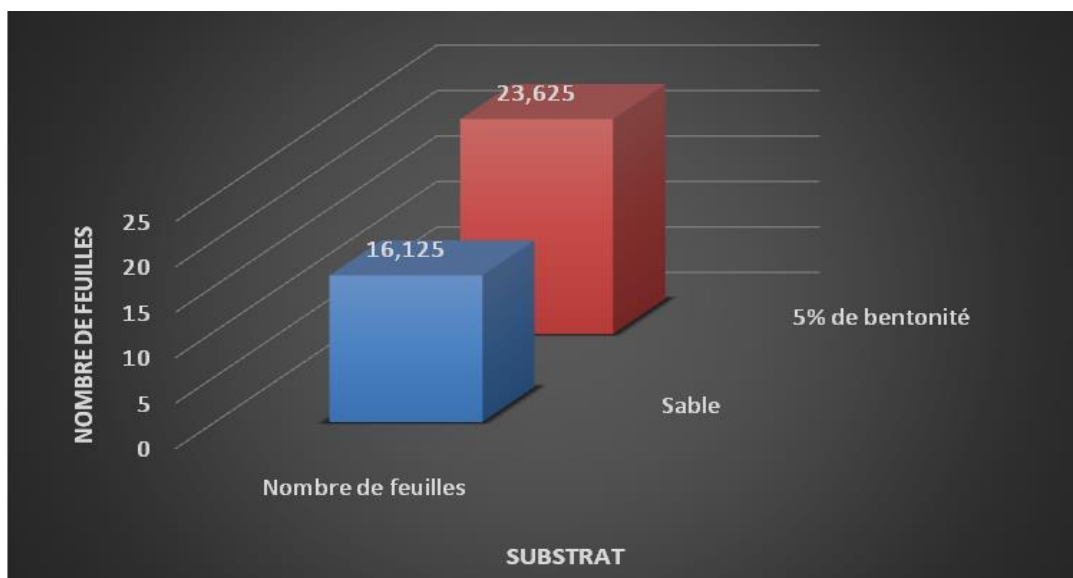


Figure 25 - Effet de la bentonite sur le nombre de feuille de *Moringa Oleifera*.

3.1 Longueur des tiges de *Moringa oleifera*

La longueur des tiges est considéré comme paramètre biométrique important. L'effet de l'amendement de sol sableux par la bentonite en situation de sécheresse sont représentés dans le tableau 12 et la figure 25.

Tableau 12 - Effet de la bentonite sur la longueur des tiges de *Moringa oleifera*

Substrat	Sable	Sable plus 5% de bentonite
Longueur des tiges (cm)	27,12	27,06

Les résultats mentionnés dans la figure montrent que les valeurs obtenues de la longueur des tiges de *Moringa oleifera* a arrivé jusqu'à 27.12 cm pour le substrat sableux alors que l'addition de 5% de bentonite entrave la croissance de la tige. Mais la différence reste non significative.

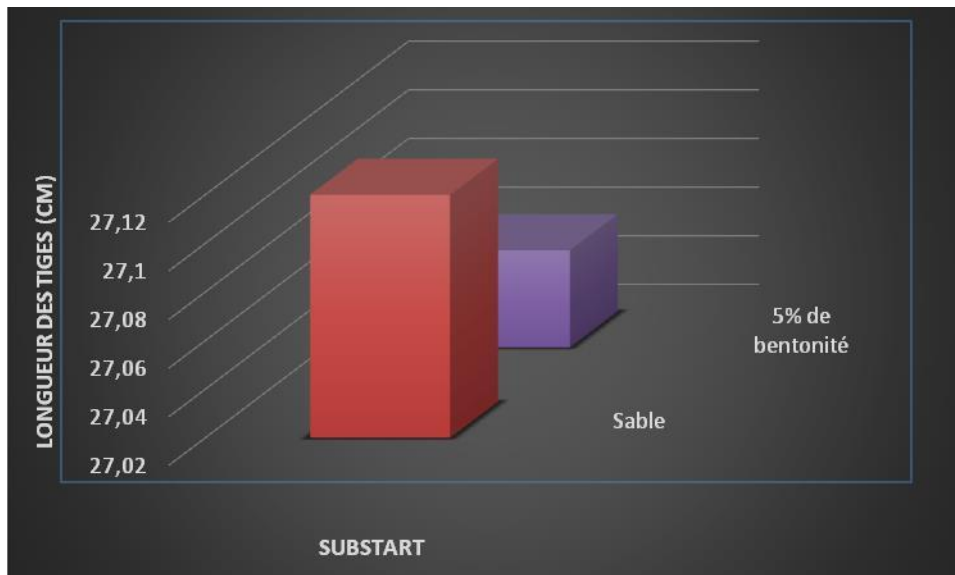


Figure 26 - Effet de la bentonite sur la longueur des tiges de *Moringa oleifera*

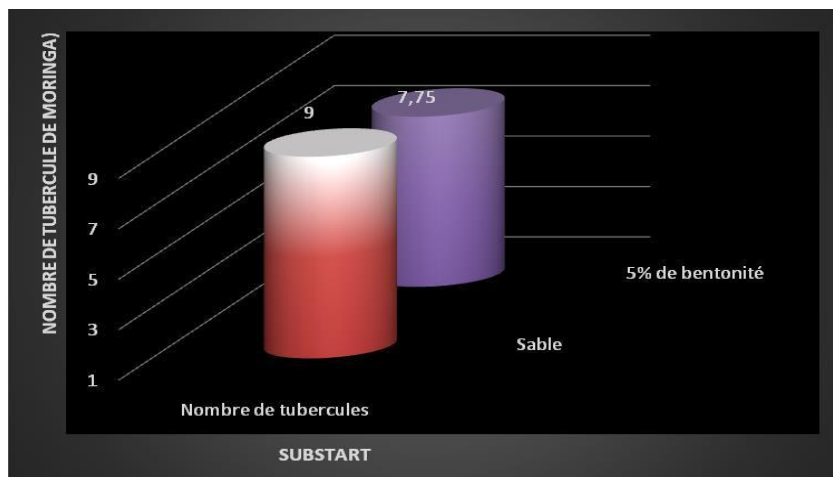
4.1 Nombre de tubercules par plant de *Moringa oleifera*

Le nombre de tubercules assure la survie des plantes pendant la période des sécheresses. L'effet de l'amendement de sol sableux par la bentonite en situation de sécheresse est mentionné dans le tableau 10 et la figure 26.

Tableau 13 -Effet de la bentonite sur le nombre de tubercules de *Moringa oleifera*

Substrat	Sable	5% de bentonite
Nombre de tubercules	9	7,75

D'après les résultats mentionnés dans la figure 3, les valeurs obtenues du nombre de tubercules de *Moringa oleifera* cultivé dans le substrat sableux atteint 9 tubercules alors que l'addition de 5% de bentonite n'enregistre que 7.75 tubercules. Cela revient probablement à la disponibilité de l'eau dans le substrat amendé par la bentonite et la plante n'a pas besoin de développer son système racinaire.

**Figure 27** - Effet de la bentonite sur le nombres de tubercules de *Moringa oleiféra*.**Figure 28** - Comparaison entre le nombre de tubercules de *Moringa oleiféra* dans les deux substrats sable plus bentonite (A) et sable (B) (Photo originale).

4.2- La longueur des racines de *Moringa*

L'effet de l'amendement de sol sableux par la bentonite en situation de sécheresse est

Illustré dans le tableau 14 et la figure 28.

Tableau 14 - Effet de la bentonite sur la longueur des racines de *Moringa oleifera*

Substrat	Sable	5% de bentonite
Longueur des racines (cm)	12.31	9.36

La longueur des racines de *Moringa oleifera* est évoluée d'une manière significative chez les le substrat sableux, elle affiche 12.31 cm. Ce paramètre est diminué lorsque on ajoute 5% de bentonite au substrat de culture soit 9.36 cm. Cela laisse pensé que l'évolution significative des racines dans le sable pur est dû à la capacité de rétention d'eau faible et sa teneur atteint le point de flétrissement. Alors, les racines se développent mieux pour chercher de l'eau (stratégie d'adaptation a la sécheresse).

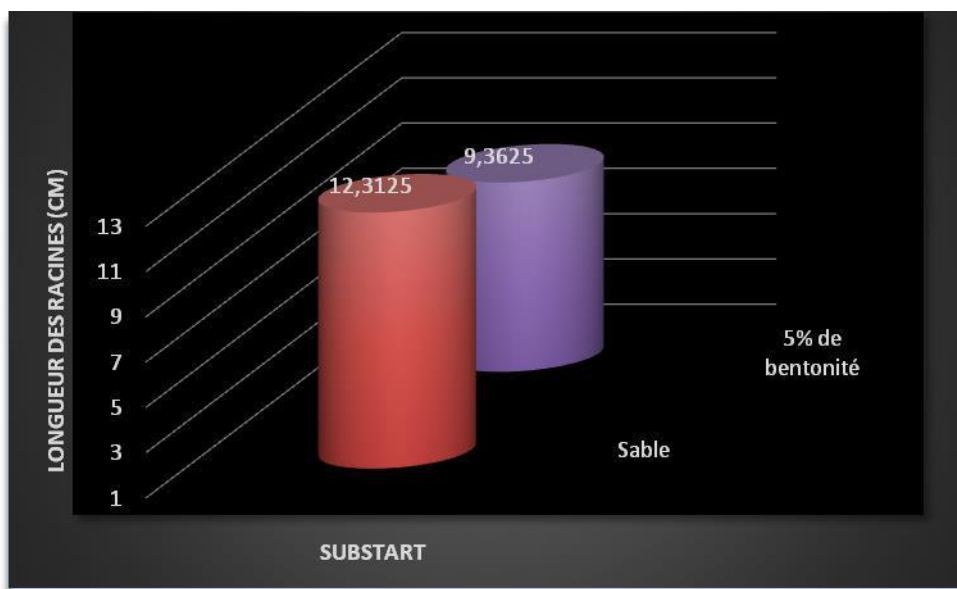


Figure 29 - Effet de la bentonite sur la longueur des racines de *Moringa Oleifera*.

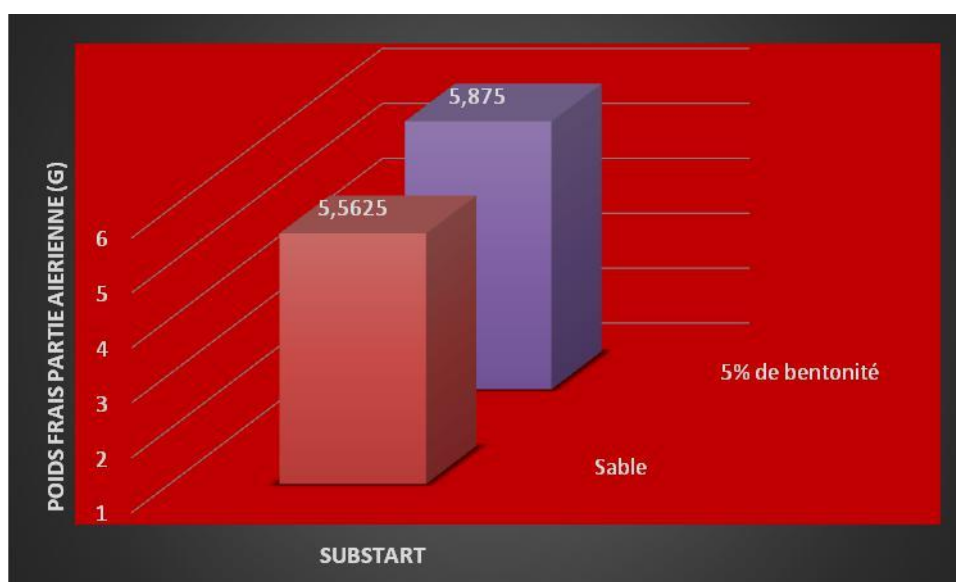
5. Poids frais de la partie aérienne de *Moringa oleifera*

Le tableau et la figure ci-dessous représentent le poids frais de la partie aérienne de *Moringa oleifera*.

Tableau 15 - Effet de la bentonite sur Poids frais de la partie aérienne de *Moringa oleifera*

Substrat	Sable	5% de bentonite
Poids frais de la partie aérienne (g)	5,5625	5,875

D'après les résultats obtenus, l'addition de 5% de bentonite améliore le poids frais des parties aériennes de la plante soit 5.87 g contre 5.56 g de biomasse chez les sujets cultivés uniquement dans le sable (figure 29).

**Figure 30** - Effet de la bentonite sur le poids frais de la partie aérienne de *Moringa Oleifera*.

6 Poids frais des racines

Le tableau et la figure ci-dessous représentent le poids frais de la partie racinaire de *Moringa oleifera* cultivé dans deux substrats différents, sable et sable amendé par 5% de bentonite de Mostaganem.

Tableau 16- Effet de la bentonite sur le poids frais de la partie de la partie racinaire de *Moringa oleifera*

Substrat	Sable	5% de bentonite
Poids frais des racines (g)	11,75	10,5

Les résultats de la figure 6 a mis en exergue que le poids frais de la partie racinaire des plantes qui se trouvent dans le substrat sableux a enregistré 11.75g. Alors que l'addition de 5% de bentonite le poids des racines de *Moringa oleifera* affiche 10.5g. cette légère différence est du probablement à la réponse de la plante au manque d'eau chez les lots cultivés dans le sol sableux.

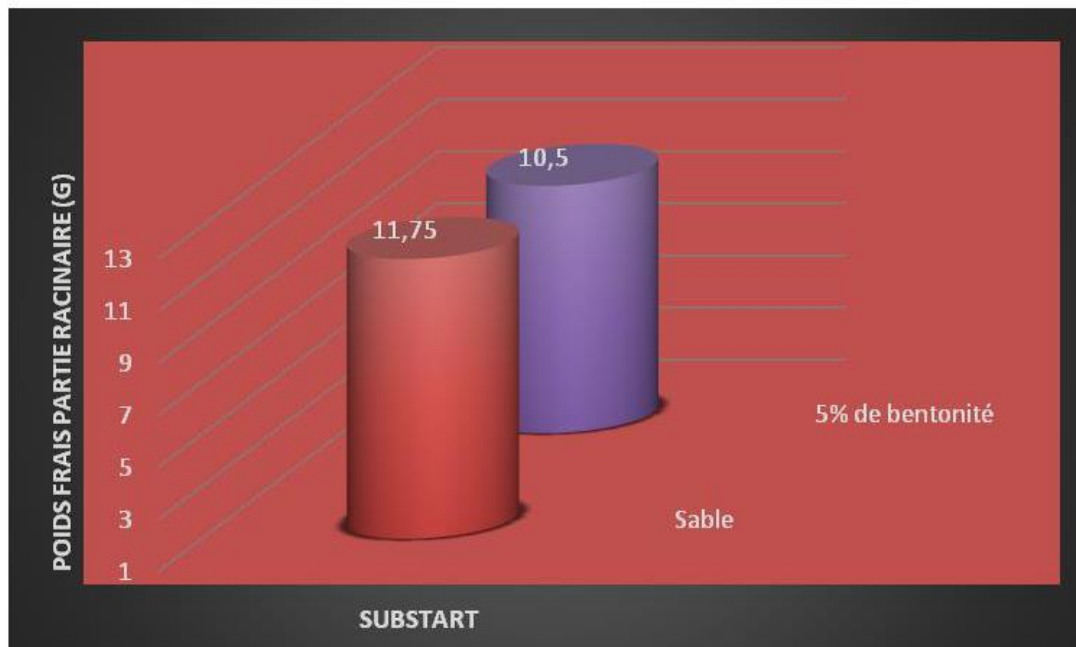


Figure 30- Effet de la bentonite sur le poids frais de la partie racinaire de *Moringa oleifera*.

7 Corrélation entre les paramètres étudiés et paramètres –facteur

Le tableau ci-dessous et les illustrations dans l'annexe 1 représentent la corrélation entre les paramètres étudiés. Dans ce contexte on note que le facteur substrat est corrélé négativement et significativement avec la longueur des racines de la plante soit $r = -0.53$. Néanmoins, le variable poids frais de la partie aérienne de Moringa (PFA) est corrélé positivement et significativement avec le nombre de feuille (NF), Nombre de tubercules et longueur des tiges en affichant la valeur de r de 0.65 ; 0.57 et 0.82 progressivement.

Tableau 17- Corrélation entre chaque pair de variables et facteur.

Correlations (Spreadsheet27)									
Marked correlations are significant at $p < ,05000$									
N=16 (Casewise deletion of missing data)									
Variable	Means	Std.Dev.	Substrat	LR	NF	PFA	NT	PFR	LT
Substrat	101,5000	0,51640	1,000000	-0,536635	0,264927	0,056130	-0,240842	-0,092545	-0,003713
LR	10,8375	2,83875	-0,536635	1,000000	0,037872	0,134934	0,475574	-0,004966	0,286201
NF	19,8750	14,61905	0,264927	0,037872	1,000000	0,654992	0,115275	-0,093984	0,374117
PFA	5,7188	2,87500	0,056130	0,134934	0,654992	1,000000	0,572643	0,289441	0,825346
NT	8,3750	2,68017	-0,240842	0,475574	0,115275	0,572643	1,000000	0,464496	0,580660
PFR	11,1250	6,97496	-0,092545	-0,004966	-0,093984	0,289441	0,464496	1,000000	0,083353
LT	27,0938	8,69333	-0,003713	0,286201	0,374117	0,825346	0,580660	0,083353	1,000000

« En rouge corrélation significative »

2. Discussion générale

Les résultats obtenus mettent en évidence la germination, la levée et la croissance de *Moringa oleifera* cultivée dans des substrats sableux enrichis une dose de 5% de bentonite, cette étude a permis de relever les points essentiels suivants :

. Les analyses effectuées à partir du substrat contenu dans les sacs de pépinière, montre que l'application de la bentonite aux doses de 5% à provoque une modification de la texture du sol sableux.

Le taux de germination de *Moringa oleifera* atteint 99.59%, Mémento de l'Agronome, 2002 rapporte que les graines de Moringa germent à plus de 60-70 %. Selon Price (1985) et Echo (2007), Les graines de *Moringa oleifera* germent dans intervalle de température comprise entre 25°C– 39°C.

Le taux de la réussite des plantes cultivés dans le substrat enrichi par 5% de bentonite dans la situation de sécheresse atteint 88% contre 50 % des plantes réussites. Halilat et Tessier., (2006), rapportent que l'addition de l'argile constitue une alternative afin d'améliorer le potentiel agricole du matériau sableux, ce qui permettrait d'augmenter à la fois leur réserve en eau et leur capacité à retenir les éléments minéraux. La bentonite est une roche argileuse, friable, tendre et onctueuse au toucher, sa teinte dépend des composés minéraux et impuretés (matière organique et oxydes des métaux) qui lui sont étroitement associés. Elle est blanche, grise ou légèrement jaune. Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement (Bougdah, 2007).

Dans le présent travail, nous avons comparons entre la croissance de *Moringa oleifera* dans deux substrats déférents (sable– sable plus bentonite). Cette étude a permis de relever les points essentiels suivants :

Les résultats de la longueur des tiges montrent une légère différence de 27,12 cm a été enregistrée pour le substrat sableux et 27,06 dans un substrat amendé à 5% de bentonite. Echo, (2002), témoigne que les plants atteignent une hauteur de 50 cm ou plus (après environ 35 ou 40 jours). La longueur des racines et nombre de tubercules et poids des racines ont été augmentés dans le substrat sableux. Selon Monneveux (1997), la croissance soutenue du système racinaire en condition de stress serait un facteur de résistance au stress hydrique

Alors que le poids frais et le nombre de feuille augmentent chez les plantes cultivé dans un substrat amendé à 5% de bentonite , Selon Engelhater et al., (1985), En agriculture la bentonite connaît beaucoup d'application elle permet de mettre en valeur les terres à texture très légère Et protégé les sols contre l'érosion éolienne .de point de vue économique l'application de la bentonite en agriculture permet d'améliorer la structure des sols sableux successibles d'augmenter la production et d'économiser l'eau et les éléments fertilisant. Halilat et Tessier., 2006 ont montré que la bentonite améliore les paramètres chimiques des sols sableux.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Le travail actuel consiste à étudier la germination, la croissance et les paramètres biométriques de *Moringa oleifera* cultivé dans deux environnements différents, un sol sableux pur et substrat sableux amendé par 5% de bentonite pour voir la potentialité et adaptation de cette plante à l'environnement pastoral. Les résultats acquis au cours de cette expérimentation permettent de retenir les points essentiels suivants :

Cette plante a pu donner des résultats encourageants en matière de germination et croissance (courte période de germination 8 jours avec un taux élevé soit 94.59 %).

L'étude de la biométrie de *Moringa oléifera* montrent que l'amendement des sols sableux par 5% de bentonite augmente d'avantage le nombre de feuilles, longueur des tiges et poids frais des parties aériennes, bien que les plants sont arrosés uniquement par l'eau. Cela dû à la capacité de rétention d'eau d'une part et la CEC élevée de cette argile.

Alors que, la longueur et le poids racinaire pivotante de *Moringa oleifera* augmente dans le substrat sableux en raison de la réponse au déficit hydrique de ce substrat.

Au terme de ce travail, la bentonite pourrait constituer une matière première très prometteuse pour l'amélioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols sableux ce qui concourrait à l'amélioration des rendements de la production agricole fourragère dans les zones arides et semi arides.

Il serait plus avantageux de mettre en place une étude plus approfondie sur l'adaptation et réponse de *Moringa oleifera* aux contraintes environnementales de l'Algérie tels que la salinité des sols et des eaux d'irrigation, le stress thermique, stress hydrique et les stress mécaniques à travers les paramètres biochimiques comme les enzymes et molécules du système antioxydants.

Pour tenir la durabilité de production agricole dans les zones agropastorales en Algérie, d'autres études serait souhaitable sur l'effet de l'utilisation du *Moringa oleifera* comme fourrage sur la production du lait tant de qualité qu'une quantité ainsi que sur le gain du poids chez les ovins et poulets de chair.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abasse A.T. et Oni O., 2001**, Etude de quelques aspects de la biologie Reproductive de *Moringa oleifera* Lam. Dans le Sud-Niger, 2p.
- **Aghrab A, 2005** : étude de la sécheresse au Maroc p 25-26
- **Agroconsult, 2016**: Analyse des Potentialités de l'Exploitation du Moringa en Haïti, ministère de l'agriculture, des ressources naturelles et du développement rural (marndr). p 211, Haïti.
- **Bajji M. 1999**. Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur: caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance a la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- **Beaudin 1., 2006** : Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de secheresses en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat 3é cycle. Université Laval : 2-3.
- **Ben Naceur M.Gharbi M.S.& Paul R.1999** Vamélioration varictale et les autres > actions contribuant a la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. Sécheresse 10 :27-33 p.
- **Ben Salem M., Boussen H. &Slama A. 1997**. Evaluation de la résistance a la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paraméetres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech. Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF /UREP). Orsay. Sécheresse. 2 : 75- 83 p.
- **Benkhelifa M. et Daoud Y., 1998**, « Influence de la bentonite sur les propriétés physiques d'un sol sableux » : Annales de l'Institut National Agronomique – El Harrach – Vol. 19, N°1 et 2, p : 18–29
- **Besq, A., 2000** "Ecoulements laminaires de suspensions de bentonite industrielles. Caractérisation rhéométrique - Ecoulements en conduites axisymétriques. Applications aux activités du Génie Civil," Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers
- **Bied charton M, 2007** : Sécheresse, désertification et développement en Afrique, P2
- **Blum A., 1974** - Genotypic responses of sorghum to drought stress. VoLII, Leaf tissues water relations.Crop.Sci.14 (5), p.691-693.

- **Bougdah N ., 2007.** Etude De L'adsorption De Micropolluants Organiques Sur La Bentonite Mémoire De Fin D'étude Pour L'obtention Du Diplôme Magister, Université 20 Août 55, Skikda .P 40-P 41- p42.
- **Bousba, R., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616
- **Bousmaha N., Boulebene F.Z., 1991-**Les protéines du choc thermique chez *Pennisetum thyphoides* L.a l'état juvénile. Mémoire D.E.S.Inst. Biol Univ. Oran, p3-6
- **Brisson N. & Delecolle R., 1992 .**Utilisation des modèles mécanistes de la culture comme outils de raisonnement de la composante génétique de la résistance à la sécheresse. in : Monneveux P., Ben Salem M. Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale. Les colloques. 64. (éd). Inra. Paris
- **Cai H., Biswas D.K., Shang A.Q., Zhao L.J. & Li W.D. 2007.** Photosynthetic response to water stress and changes in metabolites in *Jasminum sambac*.
- **Chantigny M.H., Angers D.A. et Beauchamp C.J.,1999-** Aggregation and organic matter decomposition in soils amended with de-inking paper sludge. *soil science society of American journal* 63, 1214-1221.
- **Chawla, S., Saxena, A., Seshadri, S., 1988.** In-vitro availability of iron in various green leafy vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 46, 125-127.
- **Claire Geslot, 2018 ;** les sols sableux ; *Jardin Secrets* 2013-2020.
- **Claire Marsden ., 2014** Processus Écologiques , UVED
- **Copyright ©2008** Nicolas JOUVE. Tous Droits Réservés. / Email Azprocede_Orange.Fr
- **Cornic G. & Fresneau C. 2002.** Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. *Ann. Bot.* 89: 887- 894 p.
- **Crowe J.H., Hoekstra F.A. & Crowe L.M. 1992.** Anhydrobiosis. . *physiol.* 54.579-599 p.
- **CSIR (Council of Scientific and Industrial Research), 1962.** The Wealth of India. A Dictionary of Indian Raw Materials and Industrial Products. Raw Materials, Vol. 6. L-M, CSIR, New Delhi, India

- **Culver M., Fanuel T., Chiteka A. Z., 2012** - Effect of Moringa extract on growth and yield of tomato. Recherche Article, Greener Journal of agricultural Sciences. Vol. 2(5); pp. 207-211.
- **Dejou, J., 1987.** The specific area of clay, its measures, its relation with cationic exchange capacity (CEC) and its agronomical importance. The Cationic Exchangeable Capacity and the Fertilization of Soil. Amyet, Y. (Ed)., pp: 72-83.
- **Djekoun A. & Planchon C. 1991.** Tolerance to leaf water potential in soybean genotypes. Euphytica. 55: 247 - 253 p
- **Dogra, P.D., Singh, B.P., Tandon, S., 1975.** Vitamin content in Moringa pod vegetable. Curr. Sci. 44, 31
- **Dr. Abdul Rasul bin Musa Al-Omran et D - Abdul-Razzaq bin Muhammad Fallatah,** sans un an, jour, la désertification mondiale., P. 1-6.
- **Duchaufour. P., 1997** - abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. Ed. Masson, 291p.
- **Durand, J. L. , 2007.** Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. Fourrages. 190, 181-195
- **El Jaafari, S., & Paul, R., 1993 .** Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L). Arch Int Physiol Biochem Biophys 101 : B8.
- **FAO, juillet 1996.** La planification des stratégies contre les effets de la sécheresse.
- **FAO, 2003** Agricultures préparent un sol sableux pour la plantation de plants d'acacais, sénéga
- **Foidl N., Makkar H.P.S., Becker K., 2001-** Potentiel de *Moringa oleifera* en Agriculture et dans l'Industrie, Potentiel de développement des produits du Moringa 29 octobre- 2 novembre 2001, Dar es Salaam, Tanzani
- **Foidl N., Makkar H.P.S. et Becker K., 2001,** Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie, 39p.
- **Giardi M.T., Cona A.B., Geiken T., Kucera J., Masojídek A.K. & Mattoo., 1996.** Longterm drought stress induces structural and functional reorganization of Photosystem II. Planta. 199: 118-125 p.
- **Glaeser, R., 1953.** "Complexes organo-argileux et rôle des cations échangeables.," Thèse de doctorat d'état de Université Paris VI

- **Goa S, Pan WL, Koeining RT., 1998.** Integrated root system age in relation to plant nutrient uptake activity. *Agron.J*; 90 (4), 505-510.
- **Gobat J M., Argno M Et Mathey W., 2010.** Le livre le sol vivant ; Bases de pédologie *Biologie des sols* » 3^e édition revue. 165 P.
- **Gonzalez A., Martin I. & Ayerbe L. 1999.** Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Res* 62: 23 -34 p.
- **Halilat, M. T. et Tessier, D. 2006 .** Amélioration de la rétention en eau de matériaux sableux par ajout de bentonite. *Cahiers Agricultures*, vol. 15, 4: 347-353
- **Hare P.D. & Cress W.A. 1997.** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant cell and environment*. 21: 535 - 553 p. *Photosynthetica* 45. 4: 503 - 509 p
- **Hêdji C. C, Kpoguè Gangbazo D.N.S, Houinato M. R et Fiogbé E .D., 2014.** Valorisation de *Azolla* spp, *Moringa oleifera*, son de riz et de coproduits de volaille et de poisson en alimentation animale, *Journal of Applied Biosciences* 81:7277 – 7289, pp.7277-7289, Benin, ISSN 1997–5902.
- **Hêdji C.C., Gangbazo D.N.S.K., Houinato M.R et Fiogbé E.D., 2014.** Valorisation de *Azolla* spp, *Moringa oleifera*, son deriz, et de co-produits de volaille et de poisson en alimentation animale: synthèse bibliographique. *Journal of Applied Biosciences* ,81:7277 – 7289.
- **Heitholt J.J., Johnson D.M. & Ferris., 1991.** Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen-and drought-stressed wheat. *Crop Sci*. 31: 135 -139 p.
- **Hilliard, C., and Reedyk, S. 2014.** Texture du sol et qualité de l'eau.
- **Hopkins, W. G. (2003).** *Physiologie végétale*. 2^eme édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.
- **Hsissou D., 1994.** Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants 4 la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- **INRA. 2000.,** La résistance des plantes à la sécheresse. Centre de Montpellier
- **Jacques Beauchamp juillet, 2006 .**
- **Jardiniers Professionnels Identifier la texture du sol ,.16 Août 2013**
- **Jonathan Et Angela., 2006 -** Suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs, Organisation météorologique mondiale Kenya. P 1-12.

- **Jozja, N.,2003.**"Étude de matériaux argileux Albanais. Caractérisation "multi-échelle" d'une bentonite magnésienne. Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité." Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans
- **Krause G.H & Weis E., 1991.** Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Ann. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 313 -349 p.
- **Kumar R.G. & Dubey R.S., 1999.** Glutamine synthetase isoforms from rice seedlings: effects of stress on enzyme activity and the protective roles of osmolytes. *J Plant Physiol.*155: 118 - 121 p.
- **Laffray, D., & Louguet, P.,1991.** L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse chez les végétaux ligneux. In Riedacker, A., Dreyer, E., Pafadnam, C. Joly, H., & Bory, G. (1993). *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi arides. Groupe d'Etude de l'Arbre Observation DU Sahara et du sahel.* John Libbey Eurotext. 21-46.
- **Laribi, S., J.-M. Fleureau, J.-L. Grossiord and N. Kbir-Ariguib, 2005.**"Comparative yield stress determination for pure and interstratified smectite clays" *Rheol. Acta* 44, 262-269
- **Louni S., 2009** - Extraction et caractérisation physicochimique de l'huile de graines de *Moringa oleifera* . Mémoire de Magister , Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach , 90 p.
- **Luckham, P. F. and S. Rossi., 1999.**"Colloidal and rheological properties of bentonite suspensions" *Adv. Colloid Interface Sci.* 82, 43-92
- **MadhavaRao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K., 2006.** Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants.* Springer: 1-14 p.
- **Madi O.P., Bourou S. et Noé W., 2012** - Utilisations et importances socio-économiques du *Moringa oleifera* Lam. en zone de savanes d'Afrique Centrale. Cas de la ville de Maroua au Nord-Cameroun. *Journal of Applied Biosciences* 60: 4421–4432.
- **Maggio A., Bressan R.A., Hasegawa P.M. & Locy R.D., 1997.** Moderatly increased constitutive proline does not alter osmotic stress tolerance. *Physiologia Plantarum.* 101 : 240 - 246 p.
- **Messaoud Hasnia ,2014.** effet de la température sur la qualité de la bentonite et caractérisation physico-chimique par ftir au niveau de la société bental - universite

abdelhamid ibn badis mostaganem universite faculte des sciences exactes et de l'informatique abdelhamid ibn badis departement de chimie.p27

- **Miskin, K. E., Rasmusson, O. C., & Moss, D. N., 1972.** Inheritance and physiological effects of stomatal frequency in barley crop. *Science*. 12: 780- 783.
- **Mujahid M., Habib A., Abrar M., Intikhab A., Shahzada Hasnain K., Atif I., Muhammad A., 2015** - Potential of Moringa (*Moringa oleifera* : Moringaceae) as plant growth regulator and bio-Pesticide against wheat aphids on wheat crop (*Triticum aestivum*; Poaceae); *Journal of Biopesticides* 8(2):120-127 .
- **N'dayegamiye A.et Angers D.A. ,1993**-Organic matter characteristics and water-soluble aggregation of a sandy loam soil after 9 years of woodres due applications.*Canadian journal of soil science* 73, 115-122.
- **NDMC, 2005:** National Drought Mitigation Center. Consulté en ligne : <http://www.drought.unl.edu/index.htm>. Janvier 2015
- **Nouri L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ Mentouri. Constantine. 77p.
- **Odee, D. ,1998.** Forest biotechnology research in drylands of Kenya: the development of Moringa species. *Dryland Biodiversity* 2, 7 - 8.
- **Olivier C., 2004,** la culture intensive de *Moringa* au Nord du Sénégal, Church World Service, Bureau Régional de l'Afrique de l'Ouest, 8p.
- **Olson, M. E., 2002.** "Intergeneric relationships within the Caricaceae-Moringaceae clade (Brassicales) and potential morphological synapomorphies of the clade and its families." *International Journal of Plant Sciences* **163**(1): 51-65.
- **OMM, 2005 :** Bulletin de l'Organisation Météorologique Mondiale: temps, climat et eau, vol. 54, janvier 2005: 17-18.
- **OMM, 2006.** Suivi de la sécheresse, progrès et enjeu futur
- **Osmond C.B., 1994.** What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: Baker N.R. & Bowyer J.R. (éd) *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field*. BIOS. Scientific Publishers. Oxford : 1-24 p
- **OSS, 2013 :** vers un système d'alerte précoce à la sécheresse au Maghreb, collection synthèse N 04, P15-16-33-36.

- **Petr, J.,1985.** Non metallic sorbents in agriculture. ONUDI Edition, Techecoslovaquie, pp: 39.
- **Poorter H., 1989.** Interspecific variation in relative growth rate: on ecological consequences. In: Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants.
- **Price, M. L. et Équipe ECHO;** Le Moringa - ECHO Note Technique; Publié en 1985; Révision 2000, 2002 et 2007 par le personnel d'ECHO; 22p
- **R. C. Mackenzi, B. M. Blnul ., 1957,**The Macaulay Institute for Soil Research, Aberdeen. 276-286 .
- **Rajangam J., Azahakia M. R. S., Thangaraj T., Vijayakumar A.et Muthukrishan N., 2001,** Production et utilisation du *Moringa* en Inde: la Situation actuelle, 9p.
- **Rajangam J., Azahakia M. R. S., Thangaraj T., Vijayakumar A.et Muthukrishan N.,2001,** Production et utilisation du *Moringa* en Inde: la Situation actuelle, 9p.
- **Reguieg Y.H.A., 2007** -Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem. Etude de comportement d'une association blé pois chiche. Thèse Doc!. INA.Alger. 140p.
- **Santé Natacha ., 2015,** Caractérisation des sécheresses agrométéorologiques et leurs potentiels impacts sur le rendement du coton dans le bassin versant du niger en côte d'ivoire ,11p
- **Tahri E., Belabed A. & Sadki K., 1997.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat.21: 81 - 89 p.
- **Tardieu, F., & Simonneau, T., 1998.** Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modeling isohydric and isohydric behaviors, J. Exp. Bot, 49: 419-432.
- **Touret, O., C. H. Pons, D. Tessier and Y. Tardy., 1990.** "Etude de la repartition de l'eau dans des argiles saturées Mg²⁺ aux fortes teneurs en eau" Clay Minerals 25, 217–233
- **Turner NC., 1986.** Adaptation to water deficit: a changing perspective. Aust J Plant Physiol . 13: 175- 90 p.
- **Vilain M ., 1987** — la production végétale, les composantes de la production .Ed avoisier Paris 95-97 .

- **Wilhite D.A and Glantz M.H ., 1985.** Understanding the drought phenomen: The role of definition water international: 10,111-120.
- **Ykhlef N. & Djekoun A.,2000.** Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) : Analyse de la variabilité génotypique. Option Méditerranéennes. Sérié A. 40 : 327 -330 p.
- **Yongabi. K. A.,2012.** A sustainable Low-Cost phytodisinfectant sand filter alternative for water purification, thèse de doctorat en sciences, université d'Adelaide, Australie, p 207.
- **Yusoff. M. M ., 2016.** Aqueous enzymatic extraction of *Moringa oleifera* oil with high pressure processing pre-treatment, these de doctorat en phylosophie, department aliment et sciences alimentaires, universite de Reading, angleterre, p214.