

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Génétique Moléculaire et Amélioration des Plantes

Présenté par :

AMIR Elyasamine

BAHRI Hanane

DAIB Zohra

Thème

**Effet du prétraitement des graines du Moringa
Oleifera sur la germination et caractérisation
morphologique et biochimique des jeunes plants sous
stress hydrique**

Soutenu publiquement le

Jury:

Président :

Mme MOKHFI Fatima Zohra

Encadrant :

Mme BOUZID Assia

Examineur :

Mme SOUALMI Nadia

Grade

MCB

MCB

MAA

Année universitaire 2022-2023

REMERCIEMENT

*On tient à exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance à notre **Dieu**, que ta volonté soit faite. Tu as été notre lumière, guide et notre secours. Tu n'as cessé de nous montrer le bon chemin, le chemin de la vérité, du travail et de la réussite. Que ce travail honore et glorifie ton nom.*

*Nous tenons à remercier avec un grand plaisir et un grand respect à notre encadrante **Dr. BOUZID Assia**, pour ses conseils, son aide, ses encouragements et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail dans les meilleures conditions.*

On tient à remercier tous les membres du jury qui ont bien voulu consacrer une partie de leur temps précieux à examiner ce travail.

❖ *Président : MOKHFI F.Z.*

❖ *Examinatrice : SOUALMI N.*

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant nos années d'études.

*Notre profonde gratitude s'adresse à monsieur **BOUBEKEUR M.A.** pour son aide.*

*Sans oublier bien sûr les ingénieurs des laboratoires de la faculté **SNV Ibn Khaldoun** qui ont mis à notre disposition les produits et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce travail.*

Enfin, Nos remerciements vont également à toutes et tous les étudiants de notre promotion et je leur souhaite une bonne continuation dans les études doctorales. Et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Je dédie ce mémoire:

Avant tout, à celle qui m'a donné l'amour et a fait de moi la fille que je suis aujourd'hui, à toi ma très chère maman et à mon très cher père qui m'a soutenu et qui a consacré sa vie afin de faire de moi ce que je suis. A mes sœurs, à mes frères et à mes chères collègues Hanane et Zohra.

EI YASAMINE



Dédicace

Tout d'abord je remercie Dieu tout puissant Vu la persévérance à faire ce travail

Je dédie cet humble travail à :

Chers parents qui ont toujours été à mes côtés, pour Honorez-les pour leur sacrifice et le courage qu'ils m'ont donné

On m'a donné de terminer mes études. Merci beaucoup, je t'aime beaucoup. À tous mes frères ahmed, mohamed et slimen et toute la famille daïb et toftag.

À mes chères collègues

yasmin et hanane

Une dédicace à ma grande famille universitaire et mes meilleurs amis farida, rania et chahinez

ZOHRA



Dédicace

Avec l'aide de Dieu le tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie avec mon affection à : Mes chers parents : AHMED et AIDA Sans eux je n'ai pas pu être ce que je suis, en reconnaissance de leurs efforts, leurs amours leurs soutiens et leurs encouragements durant toutes mes études. Mes très chères sœurs : NAIMA, KHADIDJA, HADJER , OUMELKHIR, RABIAA, SARAH. Mon très Cher frère : ABBES. Mes neveux: SAIF ELDIN MOHAMED, ADEM, IBRAHIM, KHALIL, ALI, YASSIN, ISMAIL, KHADIDJA, FARAH, RITADJ, NADA et AICHA qui ont ajouté du plaisir et du bonheur à ma vies. Mes chères amies que j'ai vécu avec eux des beaux moments au cours de mon cursus à l'université : KASSIA, AMINA, HANANE, MARAME, MENAOURA, MOKHTARIA, OUMELKHIR, ELYASSAMINE, ZOËRA, et RIBHA. A la famille « BAHRI » et « BEKKAR ». A toutes personnes qui m'ont encouragée et aidée tout aulong de mes études. Tous mes collègues d'étude, de la promotion de zeme année master génétique moléculaire et amélioration des plantes



HANANE

ملخص

ملخص:

في هذا العمل، سلطنا الضوء على فائدة إنبات المورينجا أوليفيرا لام، الذي يستخدم على نطاق واسع في الطب وتغذية الحيوانات. قمنا بتجربة تأثير معاملات مختلفة فيزيائية وكيميائية لإزالة العشاء الجلدي وتحديد الظروف المثلى لإنبات بذور المورينجا. كما أريدنا معرفة تأثير الجفاف على إنبات المورينجا أوليفيرا وتأثيره على بعض المعايير المورفولوجية والكيميائية.

تحليل النتائج أظهر أن المعاملات الفيزيوكيميائية مثل إزالة الحاجز الجلدي واستخدام معاملات قائمة على بيروكسيد الهيدروجين، تعزز الإنبات من خلال إنشاء بيئة ملائمة لتطوير أجنة البذور. بالإضافة إلى ذلك، تساعد مدة المعاملات القصيرة في عملية الإنبات. ومن أجل التغلب على جفاف التربة، تزيد أوراق المورينجا من محتوى السكر القابل للذوبان، وهو ما يمكن اعتباره استراتيجية تكيفية.

كلمات مفتاحية: المورينجا أوليفيرا، الإنبات، الجفاف، المعاملات الفيزيوكيميائية المسبقة، معاملات الامتصاص المسبق.

Résumé

Résumé

Dans ce travail nous avons tenté de valoriser la plante de *Moringa Oleifera* Lam qui est largement utilisée en médecine et dans l'alimentation animale. Il consiste à tester l'effet de différents traitements physiques et chimiques pour la levée de l'inhibition tégumentaire et à déterminer les conditions optimales de pour la germination des graines de *Moringa*. Également, connaître l'effet de stress hydrique sur la germination du *Moringa Oleifera* et son effet sur quelques paramètres morphologiques et biochimiques.

L'analyse des résultats montre que les traitements physicochimiques, tels que l'élimination des téguments et l'application de traitements à base d'eau oxygénée, favorisent la germination en créant un environnement propice au développement des embryons des graines. De plus, la durée courte des traitements de pré-imbibition favorise la germination. Et afin de surmonter les conditions de sécheresse les feuilles de *Moringa* augmentent la teneur en sucre soluble, ce qui peut être considéré comme une stratégie adaptative.

Mots clés : *Moringa Oleifera*, germination, stress hydrique, prétraitements physicochimiques, traitements de pré-imbibition.

Abstract

Abstract

In this study, we aimed to explore the potential of *Moringa Oleifera* Lam, a plant widely used in medicine and animal feed. The objective was to test the effects of various physical and chemical treatments to overcome seed coat inhibition and determine optimal conditions for *Moringa* seed germination. Additionally, we investigated the impact of water stress on *Moringa Oleifera* germination and its effects on selected morphological and biochemical parameters. The analysis of the results revealed that physicochemical treatments, such as seed coat removal and the application of hydrogen peroxide-based treatments, promoted germination by creating a favorable environment for embryo development. Moreover, short durations of pre-imbibition treatments enhanced germination. Furthermore, under drought conditions, *Moringa* leaves exhibited increased soluble sugar content, which can be considered as an adaptive strategy.

Keywords: *Moringa Oleifera*, germination, water stress, physicochemical pre-treatments, pre-soaking treatments

Liste des figures

Figure 01 : Allure générale de <i>M. oleifera</i> Lam. (ROLOFF et al., 2009)	7
Figure 02: Feuilles de <i>M. Oleifera</i> Lam (SALAMA et al., 2014).	8
Figure 03: Fleurs de <i>M. Oleifera</i> Lam (DADDA et al., 2021).	9
Figure 04 : Les fruits de <i>M. Oleifera</i> Lam (DADDA et al., 2021).	10
Figure 05: Les graines de <i>M. Oleifera</i> Lam (DADDA et al., 2021).	11
Figure 06 : Cycle de développement de <i>M. oleifera</i> Lam. (AZAD et al., 2015).	12
Figure 07: Localisation des zones d'étude Tebelbella (400 km au sud de Bechar).	20
Figure 08: Le dispositif de l'expérimentation (photo originale et représentation graphique)	23
Figure 09: Chambre de culture	24
Figure 10 : Répartition des boîtes de germination dans la chambre de culture	24
Figure 11: mesure de la longueur de la racine avec pied à coulisse	25
Figure 12 : Le dispositif de l'expérimentation (photo originale et représentation graphique)	28
Figure 13 : Extraction des sucres solubles dans Ethanol 80° (A) et condensation des produits de dégradation des oses neutres par l'acide sulfurique (B)	29
Figure 14: mise en place des tubes à essai dans le bain marie (A,B) et lecture de l'absorbance par spectrophotomètre (C,D)	30
Figure 15: Taux de germination des graines de <i>Moringa Oleifera</i> sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques	32
Figure 16: Cinétique de germination des grains de <i>Moringa Oleifera</i> sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques	
Figure 17: Cinétique de l'élongation des racines (cm) de <i>Moringa Oleifera</i> sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques	36
Figure 18: photo représentative des racines de <i>Moringa Oleifera</i>	37
Figure 19: la teneur en chlorophylle dans les feuilles de <i>moringa</i> dans deux conditions différentes : le stress hydrique et l'absence de stress.	39
Figure 20: la teneur sucre soluble dans les feuilles de <i>moringa</i> dans deux conditions différentes : le stress hydrique et l'absence de stress.	40

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification botanique du Moringa Oleifera (CONQUIST,1981).....	6
Tableau 02: Composition minérale des feuilles de moringa de différentes origines agroclimatiques.....	14
Tableau 03: résultats moyens de la hauteur de la plante et évolution sous l'effet de déficit hydrique.....	38

Liste des annexes

Annexe 01 : quelques photos de la transplantation des jeunes plantules	50
Annexe 02: Matériel utilisé au laboratoire	52
Annexe 03 : Courbe d'étalonnage des sucres solubles	52

Liste des abréviations

P ₁ :	pois sec de sol (obtenu par étuvage pendant 24h à 105°C)
P ₂	pois à saturation en eau après 24h
M.Oleifra	<i>Moringa Oleifera</i>
cm	centimeter
G	gramme
mm	millimètre
mg	milligramme
%	pourcentage
C	carbone
Kg	kilogramme
MS	matière sèche
°C	degré Celsius
Km	kilomètre
ml	millilitre
BAC	bloc aléatoire complet
H	heures
Nt	nombre totale
Ni	nombre initiale
ADH	avec stress hydrique
SDH	sans déficit hydrique
N	Azote
P	phosphore
K	potassium
Mg	magnésium
H ₂ So ₄	acide sulfurique
min	minute
gMF	grame de matière fraîche
H ₂ O ₂	l'eau oxygéné

Table des matières

Dédicace	I
Remerciement.....	IV
ملخص	V
Résumé	VI
Abstract	VII
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
Liste des annexes.....	X
Liste des abréviations	XI
Table des matières	XII
I. Introduction générale	1
II. Partie bibliographique.....	4
Chapitre I : Généralités sur le Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	5
1. Historique du Moringa (<i>Moringa oleifera</i>).....	5
2. Classification botanique du Moringa (<i>Moringa Oleifera</i>).....	6
3. Description du Moringa (<i>Moringa oleifera</i>).....	6
3.1. Feuilles de <i>M. Oleifera</i> Lam.	8
3.2. Fleurs <i>M. Oleifera</i> Lam.	8
3.3. Fruits <i>M. Oleifera</i> Lam.	9
3.4. Grains <i>M. Oleifera</i> Lam.	10
4. Cycle de développement du <i>M. Oleifera</i> Lam.	11
5. Cultivation de <i>M. oleifera</i> Lam.....	12
6. Irrigation	13
7. Utilisation du Moringa.....	13

7.1. Utilisation alimentaire.....	13
7.2. Utilisations industrielles de l'huile de Moringa.....	14
7.3. Utiliser le Moringa en médecine et traditionnelle	14
7.4. Les bienfaits du moringa oleifera	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre II : Stress hydrique	15
1. Introduction.....	15
2. L'effet de stress hydrique sur la plante :	16
3. Stratégies d'adaptation de la plante au stress hydrique	17
3.1. Transmission ou conversion de signaux	17
3.2. Réponse des plantes à la sécheresse:	17
4. Mécanismes de résistance à la sécheresse:	17
4.1. Tolérance du Moringa oleifera:	17
III. Partie expérimentale	19
1. Matériel.....	20
1.1. Matériel végétal	20
I.2. Matériel d'expérimentation	21
2. conditions de culture et dispositif expérimental	21
2.1. Conditions de culture	21
2.1.1. Préparation des graines pour les tests de germination	21
2.2. Dispositives expérimentales	21
2.2.1. Effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques sur la germination de Moringa Oleifera	21
a. Conduite de l'essai	22
b. Notations des résultats	25
c. Les mesures effectuées.....	25
c.1. Estimation du taux de germination (Tg%).....	25

c.2-Cinétique de germination :.....	26
c.3. Mesure de la longueur de la racicule	26
2.2.2. Effet de stress hydrique sur les caractères morphologiques et biochimiques des jeunes plants	27
a. Conduite de l'essai	27
b. Préparation de substrat.....	27
c. Les mesures effectuées.....	29
c.1. Hauteur de la plante.	29
c.2. Teneur sucre simple	29
c.3. Teneur en chlorophylle totale (unité SPAD).....	30
3. Traitement statistique.....	30
IV. Résultats et discussion	31
3. Résultats.....	32
3.1. Effet de pré-imbibition et des traitements physico-chimiques sur la germination du <i>Moringa Oleifera</i>	32
3.1.1. Taux de germination	32
3.1.2. Cinétique de germination.....	33
3.1.3. Cinétique de l'élongation racinaire.....	35
3.2. Essai n° 2 : l'effet de stress hydrique sur les caractères morphologiques et biochimiques des jeunes plants.....	37
3.2.1. Hauteur de la plante	37
3.2.2. Teneur en chlorophylle totale (unité SPAD)	38
3.2.3. Teneur en sucre soluble	39
4. Discussion.....	40
V. Conclusion.....	42
VI. Références bibliographiques	44
VII. Annexes	48

I. Introduction générale

Introduction générale

Le *Moringa Oleifera* est l'une des plantes les plus utiles au monde. Cet arbre à croissance rapide est cultivé sous les tropiques. Il est cultivé en Inde, en Afrique, en Amérique centrale et du Sud, au Mexique, à Hawaï et dans toute l'Asie (SIDNEY J. STOHS *et al.*, 2015).

En 14 espèces, cet arbre polyvalent tolérant à la sécheresse, est connu pour être particulièrement facile à cultiver et à se multiplier en plus de sa croissance rapide. Grâce aux nombreuses utilisations faciles et économiques du Moringa, sa propagation a suscité un intérêt international croissant. D'ailleurs, les pays où elle est cultivée ont profité de ses vertus miraculeuses. Des analyses nutritionnelles ont montré que les feuilles de *Moringa Oleifera* sont plus riches en vitamines, minéraux et protéines que la plupart des légumes qui luttent contre une maladie. Ses graines contiennent des protéines qui aident à purifier l'eau en remplaçant les sulfates d'aluminium et d'autres flocculants chimiques et l'huile obtenue à partir de ses graines est une huile comestible de qualité comparable à l'huile d'olive et constitue également une matière première intéressante pour l'industrie cosmétique (GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005).

Le Moringa, pour la production d'huile et de flocculant, est possible car le tourteau d'extraction d'huile conserve sa capacité de flocculant. D'autres utilisations du Moringa, telles que l'utilisation dans l'alimentation animale, les hormones de croissance des plantes, les engrais verts et la phytomédecine, ont fait l'objet de nombreuses recherches (NDABIGENGESERE *et al.*, 1998; FAHEY, 2005; MAKKAR, *et al.*, 1998).

En Algérie, cette espèce demeure largement méconnue, ce qui soulève la nécessité d'une démarche scientifique visant à promouvoir sa connaissance parmi les forestiers et les professionnels du secteur. En vue de son éventuelle utilisation en tant qu'essence de reboisement, il s'avère indispensable de recueillir des données minimales relatives aux graines de l'espèce et aux traitements potentiels pour améliorer leur capacité de germination. En effet, les graines de *Moringa* possèdent des téguments qui induisent des problèmes d'inhibition, entraînant ainsi des résultats aléatoires lors de la germination en pépinière ou lors de semis directs. Par conséquent, l'application de certains traitements pourrait permettre de surmonter cet obstacle de manière efficace et éclairée (BENDIFALLAH *et al.*, 2018 ; MANSOURI, 2014).

Le fait qu'une graine viable germe dépend de nombreux facteurs, y compris ce qui est présent dans l'environnement de la graine. En début, l'environnement chimique doit être adapté. L'eau doit être présente, l'oxygène et les graines doivent respirer. L'environnement intérieur doit être également présent. (BEWLEY, 1994; FINCH-SAVAGE *et al.*, 2006).

Le stress hydrique implique un manque d'eau dans les plantes pendant la saison de croissance ou un excès d'humidité dans le sol. L'excédent d'eau, comme le déficit d'eau, affecte le rendement. L'excès de liquide peut aggraver les symptômes, réduire les propriétés physiques du sol, le rendant plus sensible à la dégradation (GHARBI *et al.*, 2017).

Alors comment le stress hydrique influe sur la culture du *Moringa Oleifera* ?

C'est dans cette optique que le présent travail a été entrepris.

Dans un premier volet, Il consiste à tester l'effet de différents traitements physiques et chimiques pour la levée de l'inhibition tégumentaire et à déterminer les conditions optimales de pour la germination des graines de Moringa.

Dans un deuxième volet, cette étude a pour objectif de connaître l'effet de stress hydrique sur la germination du *Moringa Oleifera* et son effet sur quelques paramètres morphologiques et biochimiques.

Le travail réalisé est présente dans ce mémoire selon trois parties. Dans une première est présentée une synthèse bibliographique. Dans une deuxième partie, les démarches et les méthodes utilisées. Dans une troisième partie, les résultats obtenus ainsi que leurs discussions sont présentés.

II. Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le Moringa (*Moringa oleifera*)

1. Historique du Moringa (*Moringa oleifera*)

Moringa Oleifera Lam. (Synonyme : *Moringa pterigosprema* Gaertner) appartient à une famille monogénique d'arbres et arbustes : les Moringacées comprenant 14 espèces dont le *Moringa Oleifera* est l'espèce la plus connue et la plus utilisée. Cet arbre ressemble aux Capparidacées et aux Papilionacées. Il semble être originaire des régions d'Agra et de Oudh, au nord-est de l'Inde, au sud de la chaîne de montagne de l'Himalaya (**GANDJI et al., 2018**).

Moringa Oleifera est mentionné dans le « Shushruta Sanhita », écrit au début du premier siècle avant J-C, sous le nom de « Shigon ». Mais il semble que la culture de cet arbre en Inde ait en fait été établie il y a plusieurs milliers d'années (**EILERT et al., 1981, MOYO et al., 2011**).

Les arbres du genre *Moringa* sont connus et utilisés depuis l'antiquité par les Romains, les Grecs et les Egyptiens. Ces derniers cultivaient *Moringa peregrina* à des fins médicinales pour extraire l'huile contenue dans les graines (**MOYO et al., 2011**). Le *Moringa* a été introduit en Afrique de l'Est au début du 20ème siècle. Cet arbre est maintenant autochtone dans de nombreux pays d'Afrique (Soudan, Tanzanie, Kenya, Afrique du sud, Ethiopie). Le *Moringa Oleifera* est appelé, en Inde, l'arbre miracle et en anglais on le connaît sous le nom de Horseradish tree découlant du goût d'un condiment préparé à partir de ces racines, ou encore appelé drumsticktree (découlant de la forme de ces gousses) ou bien neverdie (qui ne meurent jamais). Au Soudan, il est connu sous le nom de Shagara al Rauwaq qui signifie l'arbre purificateur (**LOUNI., 2019**).

2. Classification botanique du Moringa (*Moringa Oleifera*)

Le tableau suivant présente la classification botanique du *Moringa Oleifera* :

Tableau 01: Classification botanique du *Moringa Oleifera* (CONQUIST,1981)

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Dilleniidae</i>
Ordre	<i>Capparales</i>
Famille	<i>Moringaceae</i>
Genre	<i>Moringa</i>
Espèces	<i>Moringa Oleifera Lam.</i>

3. Description du Moringa (*Moringa oleifera*)

Le moringa est un arbre robuste qui est actuellement cultivé dans de nombreux pays tropicaux d'Asie et d'Afrique. Bien qu'il existe treize espèces de moringa, c'est généralement le *Moringa Oleifera* qui est cultivé et consommé. Ce végétal présente une croissance rapide, avec une première récolte de feuilles qui peut être effectuée au bout de trois à six mois, tandis que la première récolte de fruits peut être récoltée environ un an et demi après la plantation (FUGLIE, 2001).

L'arbre *Moringa Oleifera* Lam. (Fig.01) peut atteindre une hauteur de 10 à 12 mètres (ROLOFF *et al.*, 2009) et a un diamètre de tronc variant de 20 à 40 cm (FOIDL *et al.*, 2001). Ses branches poussent de manière désordonnée, son écorce peut être de couleur grise foncée, violacée ou blanchâtre, et son feuillage est persistant (YUSUF, 2016).

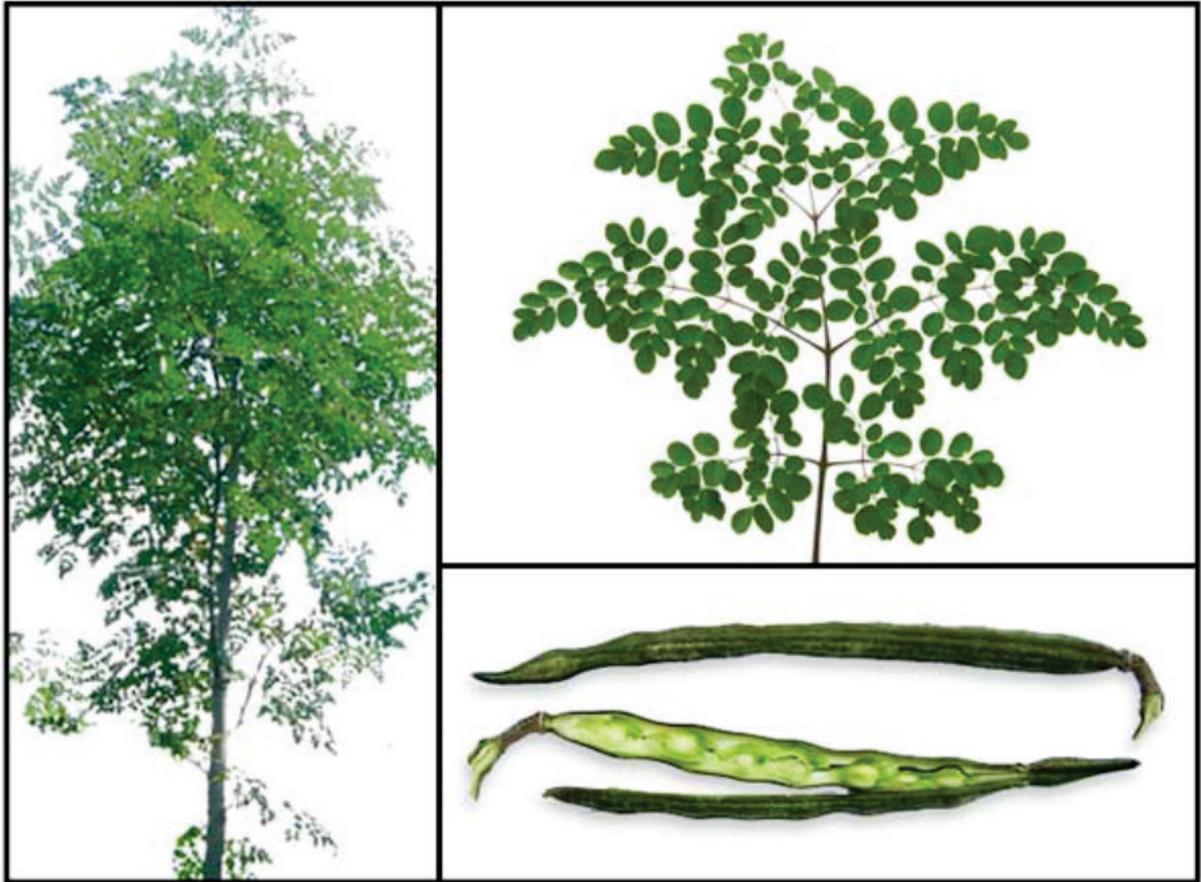


Figure 01 : Allure générale de *M. oleifera* Lam. (ROLOFF *et al.*, 2009)

3.1. Feuilles de *M. Oleifera* Lam.

Les feuilles, alternes et bi ou tripennées, se développent principalement dans la partie terminale des branches. Elles mesurent 20 à 70 cm de long, sont recouvertes d'un duvet gris lorsqu'elles sont jeunes, ont un long pétiole avec 8 à 10 paires de pennes composées chacune de deux paires de folioles opposés, plus un à l'apex, ovales ou en forme d'ellipse, et mesurant 1 à 2 cm de long (Fig.02) (CHAUDHARY *et al.*, 2019).



Figure 02 : Feuilles de *M. Oleifera* Lam (SALAMA *et al.*, 2014).

3.2. Fleurs *M. Oleifera* Lam.

Les plantes portent des grappes parfumées de fleurs blanches semblables à des pétales, avec cinq étamines (parties mâles) tenues sur le côté (Fig.03) (DADDA *et al.*, 2021).



Figure 03 : Fleurs de *M. Oleifera* Lam (DADDA *et al.*, 2021).

3.3. Fruits *M. Oleifera* Lam.

Les fruits en forme de poignard anguleux atteignent parfois 45 cm de long et sont déhiscent de manière explosive (Fig.04). Les gousses des fruits sont pendantes, vertes devenant brun verdâtre, triangulaires et fendues en 3 parties dans le sens de la longueur lorsqu'elles sont sèches. Les gousses mesurent de 1 à 4 pieds (30-120 cm) de long et 1,8 cm (0,7 in) de large et se rétrécissent aux deux extrémités. Les deux extrémités. Les gousses contiennent environ 10 à 20 graines enfouies dans la moelle charnue (PATEL *et al.*, 2010).



Figure 04 : Les fruits de *M. Oleifera* Lam (DADDA *et al.*, 2021).

3.4. Grains *M. Oleifera* Lam.

Les graines (Fig.05) sont rondes avec une enveloppe brunâtre semi-perméable. L'enveloppe elle-même présente trois ailes blanches qui s'étendent de haut en bas à 120 degrés d'intervalle. Chaque arbre peut produire entre 15 000 et 25 000 graines par an. Le poids moyen par graine est de 0,3 g et le rapport entre le grain et la coque est de 75 : 25.(MAKKAR et BECKER, 1997).

Les caractéristiques morphologiques moyennes des graines de Moringa sont 12,9 mm de long, 11,4 mm de large et un poids d'environ 268,9 mg et ont une teneur moyenne en huile de 34% qui peut atteindre jusqu'à 39%, démontrant leur valeur commerciale en général mais aussi, en particulier, pour la production de biocarburants de haute qualité ou comme poudre à utiliser pour le traitement de l'eau.



Figure 05 : Les graines de *M. Oleifera* Lam (DADDA *et al.*, 2021).

4. Cycle de développement du *M. Oleifera* Lam.

Le cycle de développement de *Moringa Oleifera* est relativement court, avec une durée de 6 à 12 mois, en fonction des conditions climatiques et de la méthode de culture utilisée. La croissance des plants de Moringa est rapide et ils atteignent une hauteur de 6 à 10 mètres en environ 8 mois. Le cycle de développement comprend les étapes suivantes(Fig.06) :

1. Germination : Les graines de *Moringa Oleifera* sont semées dans un sol humide et fertile. Elles germent généralement dans les 3 à 14 jours, en fonction de la température et de l'humidité.

2. Plantule : Les plantules de Moringa commencent à pousser après la germination. Les racines se développent rapidement, tandis que les tiges et les feuilles commencent à se former.

3. Jeune plant : Les jeunes plants de Moringa continuent à croître rapidement, développant des branches et des feuilles supplémentaires.

4. Plant mature : Les plants matures de Moringa atteignent une hauteur de 6 à 10 mètres et commencent à produire des fleurs et des fruits.

5. Production de fleurs et de fruits : Les fleurs de Moringa sont blanches et apparaissent en grappes. Les fruits sont de forme allongée et contiennent plusieurs graines.

6. Récolte : Les feuilles, les tiges, les fleurs et les graines de Moringa peuvent être récoltées tout au long de l'année. Les feuilles sont récoltées lorsque les plantes sont jeunes et tendres, tandis que les graines sont récoltées lorsque les fruits sont mûrs (AZAD *et al.*, 2015 ; FAO, 2016).

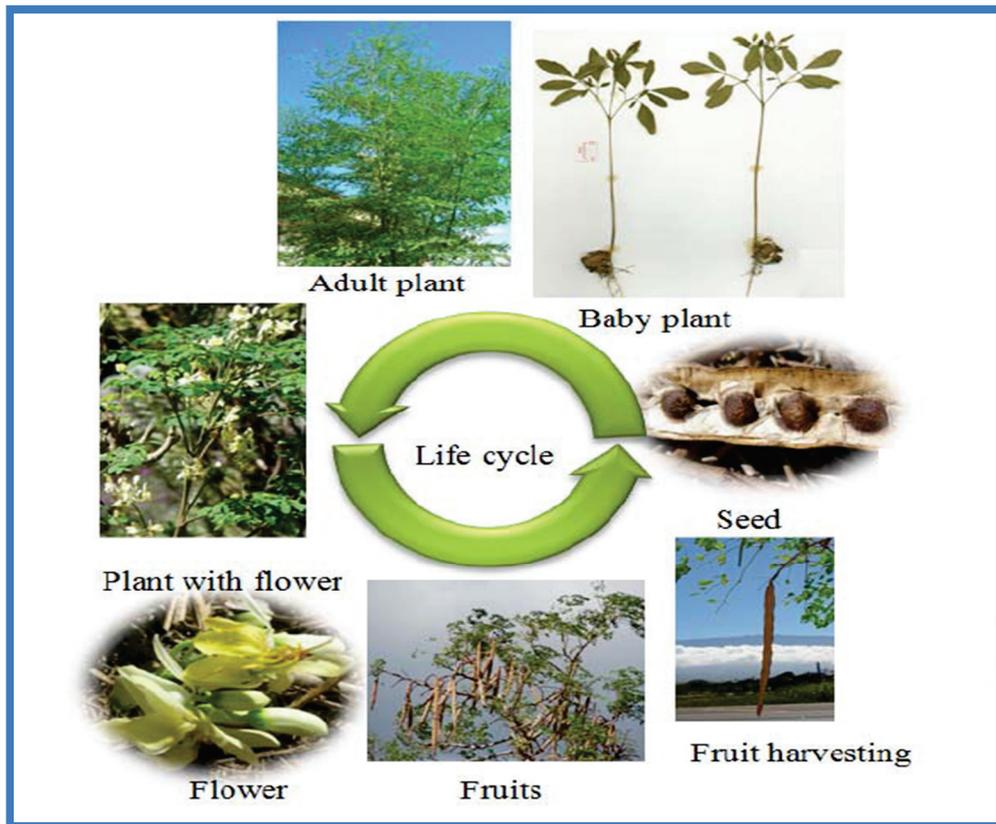


Figure 06 : Cycle de développement de *M. oleifera* Lam. (AZAD *et al.*, 2015)

5. Culture de *M. oleifera* Lam.

Le moringa est l'une des plantes les plus utiles au monde. Cet arbre à croissance rapide est cultivé pour la consommation humaine. Pour l'alimentation humaine, l'alimentation animale, les produits pharmaceutiques, la teinture, le compostage et la purification de l'eau. Parmi eux, le moringa La culture la plus nutritive au monde (CHADZA, 2012).

Il prospère dans les zones chaudes, semi-arides et humides et les sols sablonneux ou limoneux bien drainés. Les graines doivent être relativement fraîches pour permettre une bonne germination. La température est importante pour la germination. Des boutures de 10 à 60 cm sont également possibles au printemps et en été. Il est largement cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées. Les arbres qui survivent un à deux hivers dans les climats froids s'adapteront. Il s'adapte au froid, mais peut entrer en dormance en hiver (PATEL., et al 2010).

Les graines germent en deux semaines, à une profondeur maximale de 2 cm. Lorsque l'ensemencement est prévu en pépinière, les plants peuvent être repiqués lorsqu'ils atteignent environ 30 cm, les plants peuvent être repiqués lorsqu'ils atteignent environ 30 cm

(3-6 semaines après la germination).Le nombre de graines par kilogramme varie de 3000 à 9000, selon la variété, avec un taux de germination de 80 à 90 % dans des conditions de stockage idéales (3 °C, 5 à 8 % d'humidité). Cependant, la viabilité diminue si les graines restent à température ambiante et à humidité relative élevée. Taux de germination tombe à 7,5 % après trois mois (LEONE *et al.*, 2015).

6. Irrigation

Après le repotage, il est important d'arroser immédiatement. Pour encourager le développement précoce des racines, il est bénéfique de transplanter la plante. Dans les régions sèches et arides, un arrosage régulier est recommandé pendant les deux premiers mois. Une fois que la plante est bien établie, elle nécessitera très peu d'arrosage. Les arbres bien enracinés sont capables de tolérer la sécheresse et ne nécessitent un arrosage que de manière occasionnelle (PALADA *et al.*, 2003).

7. Utilisation du Moringa

7.1. Utilisation alimentaire

Les jeunes feuilles sont comestibles et sont généralement cuites et consommées comme des épinards ou utilisées pour faire des soupes et des salades. Une excellente source de provitamine A, de vitamines B et C, de minéraux (surtout le fer) et de soufre (en particulier le fer), la méthionine et la cystine, acides aminés soufrés. Les acides aminés contenus dans les protéines des feuilles sont équilibrés (FOIDL *et al.*, 2001) (voir ci-dessous).

Tableau02:Composition minérale des feuilles de moringa de différentes origines agroclimatiques

Minérale	Nicaragua	Inde	Nigéria
Macro_élément (gkg-1MS)			
Calcium	17.5	26.4	13.9
Phosphore	1.16	1.36	1.22
Magnésium	0.11	0.11	0.11
Sodium	19.1	2.73	2.61
Potassium		21.7	18.7
Macro_élément (gkg-1MS)			
Fer	582	175	346
Manganèse	47.1	51.8	113.9
Zinc	13.5	13.7	24.2
civre	11.2	7.1	10.6

7.2. Utilisations industrielles de l'huile de Moringa

Il est possible d'extraire et de commercialiser l'huile et le tourteau obtenus comme sous-produits de l'extraction de l'huile de Moringa Oleifera, qui contient entre 34 et 39% d'huile comestible (LOUNI, 2009).

Utilisé comme lubrifiant dans les machines de précision, telles que l'horlogerie, car elle est moins sujette à la détérioration, devenant rance et collante

Il peut également être utilisé comme huile de cuisson. Il est également intéressant en raison de sa capacité à absorber et à retenir les substances volatiles Stabilisation des odeurs en parfumerie (FOIDL *et al.*, 2001).

L'industrie utilise aussi du pétrole Moringa dans la fabrication de cosmétiques (MADI *et al.*, 2012).

7.3. Utiliser le Moringa en médecine traditionnelle

Moringa Oleifera est souvent considérée comme une panacée, utilisée pour traiter plus de 300 affections maladie. Les Indiens et les Africains l'utilisent depuis longtemps en phytothérapie.

La présence de composés phytochimiques en fait un excellent médicament (**GOVIND BOSE et al.,2022**).

De ces tendances les feuilles sont utilisées en médecine traditionnelle pour traiter ces maux traitement de maladies telles que le paludisme et la fièvre typhoïde pénétration, arthrite, gonflement, coupures, maladies de la peau, maladies urogénita les, ypertension artérielle et diabète. Il est également utilisé pour l'allaitement et pour stimuler le système immunitaire (utilisé pour traiter les affections liées àsymptômes liés au vih/sida) et stimulants cardiaques et contraceptifs. Pour le traitement, vous pouvez directement consommer extraits de feuilles fraîches et séchées ou infusions (**GANDJI et al.,2018**).

L'utilisation des semences affecte à la fois la nutrition humaine et la médecine traditionnelle. Douleurs à l'estomac (soulage les ulcères, facilite la digestion), problèmes de vision, douleurs articulaires, diabète, anémie, hypertension artérielle, mal de dents, hémorroïdes, maladie utérine. Dans une pratique bien connue, les graines de moringa sont utilisées pour précipiter les impuretés de l'eau. Les racines sont trempées dans de l'eau ou de l'alcool et bouillies avec d'autres herbes pour être utilisées comme boisson et médicament.(**LEONE et al.,2015**).

Les fleurs sont comestibles lorsqu'elles sont cuites et on dit qu'elles ont le goût de champignons. Les fleurs infusées au miel sont utilisées comme antitussif (**PATEL et al., 2010**), Ils sont utilisés comme agents hypocholestérolémians et anti-arthritiques et peuvent traiter les problèmes des voies urinaires.

Les gousses peuvent jouer un rôle dans le traitement de la diarrhée, des problèmes de foie et de rate et des douleurs articulaires (**ZAHIDUL et al., 2021**).

Chapitre II : Stress hydrique

1. Introduction

En général, le manque ou l'excès d'eau affecte: la hauteur de la plante, le poids sec des feuilles, l'indice de surface foliaire, le nombre de nœuds, la qualité de la fibre, le développement de la couronne et des racines. En outre, le taux de photosynthèse nette, le taux de transpiration, la conductivité stomatique et le potentiel hydrique des feuilles diminuent en raison du stress hydrique. C'est pourquoi il est nécessaire de comprendre le mécanisme de résistance au stress hydrique chez les plantes et d'augmenter la résistance de la plante contre ce stress. En réponse aux conditions de stress hydrique, les plantes ont évolué les mécanismes

morphologiques, physiologiques, phénologiques et biochimiques pour maintenir un potentiel hydrique cellulaire constant. On sait que ces mécanismes sont contrôlés par des phytohormones. En réponse au stress hydrique, différentes hormones sont synthétisées dans les plantes et gèrent les processus liés aux mécanismes de résistance au stress hydrique (KASIM, 2022).

2. L'effet de stress hydrique sur la plante :

L'effet du stress hydrique dépend du niveau de remplissage de la réserve effective (stock disponible/réserve effective) et de l'état de la couverture. Le stress hydrique au début de la formation de la couche supérieure, qui correspond à l'éjection primaire des pousses (LANGELLIER, 1990), peut fortement ralentir son développement et nuire au rendement final.

Le stress hydrique après l'établissement de la tige principale mais avant le recouvrement complet (MARTINE, 1997) accélère la sénescence des jeunes tiges qui sont de toute façon vouées à mourir. Cet effet n'est pas nocif tant qu'il n'affecte pas la croissance primaire des pousses (GAUDIN, 1999). A l'interception maximale, les réponses suivantes ont été observées (MARTINE, 1997 et 1998).

- Un faible déficit hydrique (rapport tige/rétention d'eau 0,7-0,8) entraîne un vieillissement plus rapide des feuilles âgées et un dessèchement rapide des tiges utiles.

Ces effets se traduisent par une diminution de l'indice de surface foliaire et une augmentation de la satiété due à la dessiccation sans accumulation préférentielle de sucres. La croissance des organes et l'accumulation de biomasse ne sont pas affectées. - Un déficit hydrique plus important (rapport souche/rétention d'eau inférieur à 0,7) réduit la croissance des organes et l'accumulation de biomasse.

Au niveau de la tige, la production de structure (fibre) est généralement beaucoup plus lente, mais la production de sucre n'est pas réduite. L'indice foliaire diminue moins et tend à se stabiliser. Si la concentration en sucre avant la récolte est insuffisante pour la plante, le stress hydrique augmente cette concentration en réduisant d'abord l'humidité de la tige, puis en réduisant la croissance de la tige en raison du stockage du sucre (ROBERTSON *et al.*, 1999). Après cela, la maturation induite par le stress se produit. Cependant, prolonger ce stress comporte des risques. Si l'approvisionnement en eau de la plante est interrompu ou

fortement restreint, la photosynthèse est également interrompue, entraînant la fermeture des stomates et la survie de la plante (JF Martiné, 1999).

3. Stratégies d'adaptation de la plante au stress hydrique

3.1. Transmission ou conversion de signaux

Le stress constitue la phase initiale du processus menstruel des plantes, déclenchant des mécanismes d'adaptation ou de réponse face aux diverses pollutions environnementales. C'est ainsi que débute la voie de signalisation. Ce processus commence par la perception d'un signal au niveau de la membrane, qu'il soit détecté par un capteur ou non. Ensuite, il entraîne la production de seconds messagers et, éventuellement, de facteurs de transcription.

3.2. Réponse des plantes à la sécheresse:

La sécheresse modifie souvent l'équilibre modifie les hormones et les activités des plantes de nombreuses enzymes, ainsi que l'expression du génome (L AMAZE *et al.*, 1995). Enfin nous aide à réguler la pression osmotique des cellules, puis aux modifications morphologiques, anatomiques, physiologiques et développementales.

4. Mécanismes de résistance à la sécheresse:

La sécheresse se manifeste par la tolérance et l'évitement de la déshydratation chez les plantes (L AMAZE *et al.*, 1995). L'échappement fait référence à la capacité des plantes à achever leur cycle de croissance dans des conditions temporelles favorables malgré le stress hydrique, en particulier dans les régions modérément arides (habitats sauvages). La récupération consiste ensuite à procéder à la plantation afin de rétablir un métabolisme normal pendant les périodes de pénurie d'eau, notamment en présence de mousse, de lichens et d'algues (NICOLE MICHEL *et al.*, 2013).

4.1. Tolérance du *Moringa oleifera*:

Malgré le stress hydrique sévère appliqué pendant une longue période, *Moringa Oleifera* a montré un comportement de tolérance au manque d'eau en maintenant une croissance aérienne et racinaire respectable dans une culture hydroponique en conditions contrôlées. De même, le développement de la plante était satisfaisant lorsqu'elle était cultivée en plein champ dans la zone aride pré-saharienne. Sur la base de ces résultats, on peut conclure que le *Moringa* représente une option prometteuse pour l'établissement en plein champ dans les régions arides et semi-arides, où les périodes sans précipitations sont

fréquentes. Il semble qu'il occupe une place de choix dans la palette des espèces candidates à l'agroforesterie, ainsi que dans toute tentative de boisement ou de reboisement, dans un contexte de changement climatique (**AHMED *et al.*, 2020**).

III. Partie expérimentale

1. Matériel

1.1. Matériel végétal

Les graines utilisées dans cette expérimentation sont récoltées en Juin 2022 à partir de plantes de Moringa cultivées sur une parcelle dans la région de Tebelbella (400 km au sud de Bechar), Algérie.

La collecte des graines a été réalisée directement sur les plantes qui étaient au stade graine mature. Les graines ont été conservées dans des sacs en papier, munis d'une étiquette avec le nom de l'espèce, la date et le lieu de collecte jusqu'à utilisation.

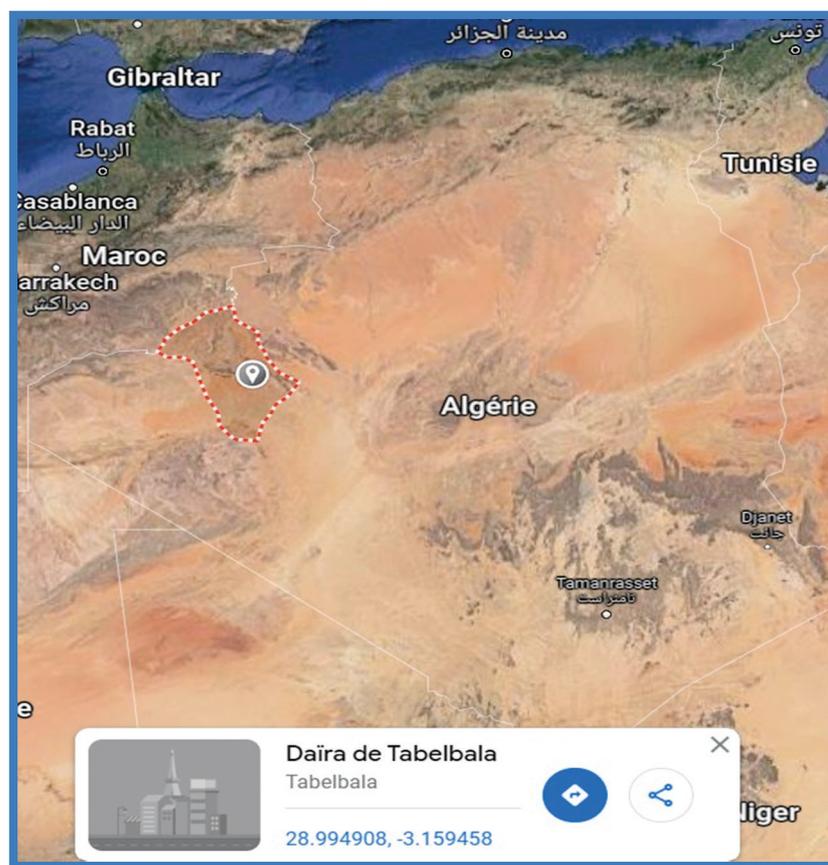


Figure 07: Localisation des zones d'étude Tebelbella (400 km au sud de Bechar),

Source : <https://www.google.es/maps/place/Tabelbala/@28.0877112,0.641811,2879754m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0xd94617ebcb46a23:0x950d2b74495ca11d!8m2!3d29.4055427!4d-3.2555467!16zL20vMDJqaDF5?entry=ttu>

« Google maps pour les images satellites).

I.2. Matériel d'expérimentation

Afin de réaliser les différentes expérimentations au laboratoire, nous avons utilisé le matériel et les produits suivants:

- Incubateur
- Boîtes de germination.
- Papier filtre.
- Bichers de 50 ml.
- Chambre de culture.
- Spectrophotomètre
- Acide sulfurique.
- Ethanol
- Bain marie
- Micropipette
- Pied à coulisse
- Chlorophyllomètre SPAD 502

2. conditions de culture et dispositif expérimental

2.1. Conditions de culture

2.1.1. Préparation des graines pour les tests de germination

Les graines servant pour les essais de germination sont désinfectées à hypochlorite de sodium à 1% pendant 3 minutes. Ces graines sont ensuite rincées rigoureusement et abondamment à l'eau distillée avant de commencer les tests de germination. Les essais sont réalisés avec trois répétitions de 5 graines par boîtes pour chaque traitement. Dans chaque boîte, nous avons mis une double couche de papier filtre humidifié.

2.2. Dispositives expérimentales

Deux expérimentations ont été mises en œuvre :

2.2.1. Effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques sur la germination de *Moringa Oleifera*

Cette partie dans notre travail, a pour but de vérifier la levée de l'inhibition tégumentaire par le test d'un certain nombre de procédés physiques et chimiques ;

a. Conduite de l'essai

Le dispositif expérimental adopté est un BAC (bloc aléatoire complet) avec sept traitements :

1. Traitement témoin ; ou les graines sont déposés directement dans les boîtes.
2. Traitement 24h, trempage des graines dans de l'eau distillée pendant 24 heures.
3. Traitement 48h, trempage des graines dans de l'eau distillée pendant 48 heures.
4. Traitement 72h, trempage des graines dans de l'eau distillée pendant 72 heures.
5. Traitement 96h, trempage des graines dans de l'eau distillée pendant 96 heures.
6. Traitement avec l'eau oxygénée, trempage des graines dans de l'eau oxygénée pendant 10 minutes puis rinçage avec l'eau distillée.
7. Traitement sans téguments, Élimination des téguments des graines.

Les graines ont été mises en germination dans une chambre de culture pendant 15 jours à une température de 28°C, et une photopériode 16h/8h (jour/nuit respectivement).

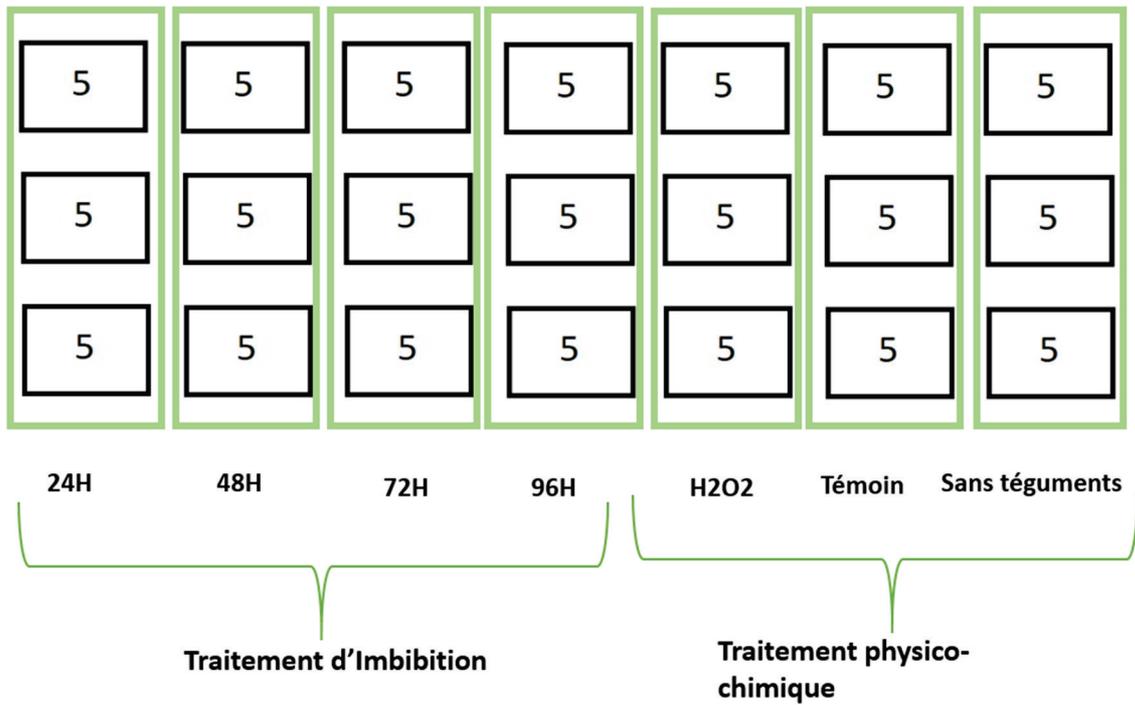
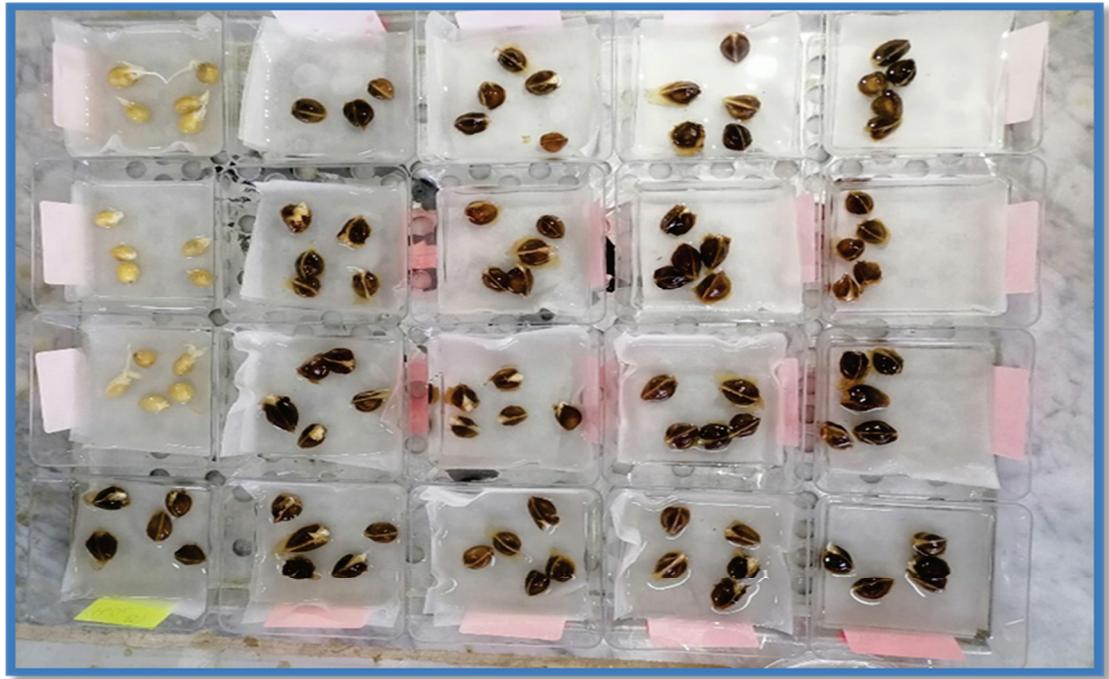


Figure 08: Le dispositif de l'expérimentation (photo originale et représentation graphique)



Figure 09 : Chambre de culture



Figure 10 : Répartition des boîtes de germination dans la chambre de culture

b. Notations des résultats

Dès l'apparition de la pointe de la radicule à travers les enveloppes, nous avons procédé régulièrement au comptage des graines germées jusqu'à la fin de nos essais.

Au cours de nos observations, nous avons pris le soin d'imbiber le milieu de culture pour mettre les graines dans un milieu humide nécessaire à la germination.

Les boîtes sont examinées tous les jours pour suivre la germination des graines. Lorsque le nombre des graines germées se stabilise, nous avons achevé nos observations.



Figure 11 : mesure de la longueur de la radicule avec pied à coulisse

c. Les mesures effectuées

La germination des graines du Moringa est appréciée à l'aide des paramètres suivant :

c.1. Estimation du taux de germination (Tg%)

Sur la base du nombre total de graines utilisées (Nt), nous calculons le pourcentage des graines en germination (Ni) selon la relation :

$$Tg\% = Ni \times 100 / Nt$$

c.2-Cinétique de germination :

La cinétique de germination est une courbe de germination qui décrit le déroulement de la germination du lot de semences considéré placé dans des conditions bien précises. Elle représente le plus souvent l'évolution des pourcentages de germination cumulés en fonction du temps. Cette cinétique est établie à partir des taux cumulés de graines germées c'est-à-dire la variation des taux de germination en fonction du temps exprimé en jour sous toutes les conditions de traitement testé.

Les courbes de germination donnent une idée complète de l'évolution de la germination d'un lot de semences placé dans des conditions déterminées.

c.3. Mesure de la longueur de la racine

La mesure de la longueur de la racine (racine embryonnaire) a été réalisée à l'aide d'un pied à coulisse numérique de la pointe de la racine et la mesure est directement affichée sur l'écran.

2.2.2. Effet de stress hydrique sur les caractères morphologiques et biochimiques des jeunes plants

Un deuxième essai (essai n° 2) a été réalisé pour déterminer l'effet de stress hydrique sur les caractères morphologiques et biochimiques des jeunes plants.

a. Conduite de l'essai

Le semis des grains a été réalisé dans des pots en plastiques de 10 cm avec deux traitements hydriques avec et sans déficit hydrique (ADH, SDH). Dans chaque traitement, 5 pots ont été utilisés.

Les plants dans le lot témoin (SDH) sont conduits sous un régime d'irrigation de 100% de la capacité au champ. Ceux du lot ADH, ont subis les mêmes apports d'irrigation jusqu'au la fin de stade plantule (30jours après germination), on a procédé par un arrêt d'irrigation.

b. Préparation de substrat

Le substrat a été préparé par un mélange de 2 volumes sol, 1 volume fumier, 1 volume sable.

L'eau d'irrigation est substituée 1 fois au long du cycle de développement de la plante par une solution nutritive de type ACTIVEG puissance20 (20% N + 20% P205 + 20% K20 + 0,4% MgO + 0,8% SO₃).

La capacité au champ a été calculée selon le rapport suivant :

$$\text{Capacité au champ (CC)} = (P_2 - P_1) / P_1 \cdot 100$$

Où : P_1 = poids sec de sol (obtenu par étuvage pendant 24h à 105°C)

P_2 = poids à saturation en eau après 24h

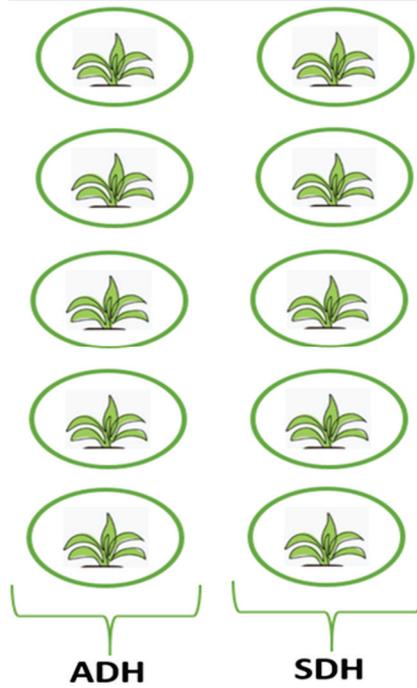
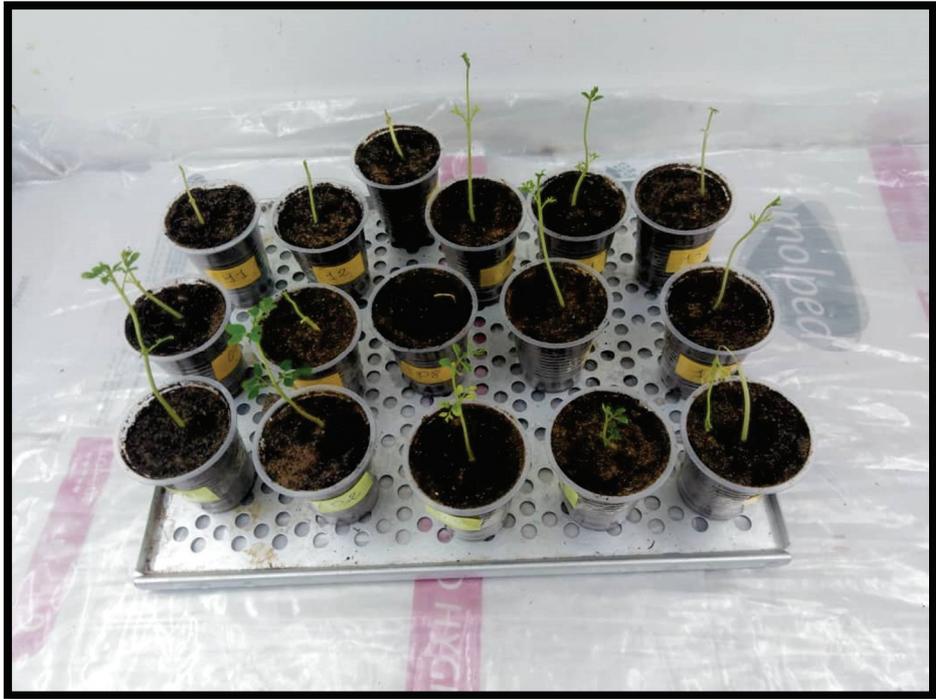


Figure 12 :Le dispositif de l'expérimentation(photo originale et représentation graphique)

c. Les mesures effectuées

c.1. Hauteur de la plante.

La hauteur de la plante a été mesurée à l'aide d'un ruban.

c.2. Teneur sucre simple

Les sucres simples (glucose, fructose et saccharose) sont extraits par un solvant capable de les solubiliser et de bloquer les activités enzymatiques susceptibles de les dégrader, ils sont dosés par la méthode de Schields et Burnett (1960).

Le principe de la réaction est basé sur la condensation des produits de dégradation des oses neutres par l'acide sulfurique, ce dernier très concentré, transforme à chaud les oses en dérivés du furfural qui donnent une corrélation bleu vert avec l'anthrone.

Le matériel végétal prélevé de feuilles en formation est laissé 24h dans 2ml d'éthanol à 80%. De la solution obtenue, 1ml sont prélevés auxquels on ajoute 2 ml de réactif composé de 0.2 mg d'anthrone pur additionnée à 100ml d'acide sulfurique H_2SO_4 . Le réactif est préparé 4 heures à l'avance. Le mélange extrait réactif doit être maintenu dans la glace fondante. Après agitation, les tubes sont placés au bain marie à $92^{\circ}C$ pendant 8 min. puis refroidis pendant 30min à l'obscurité. L'absorbance est lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 585. La concentration des sucres est exprimée en g/100gMF de matière fraîche.

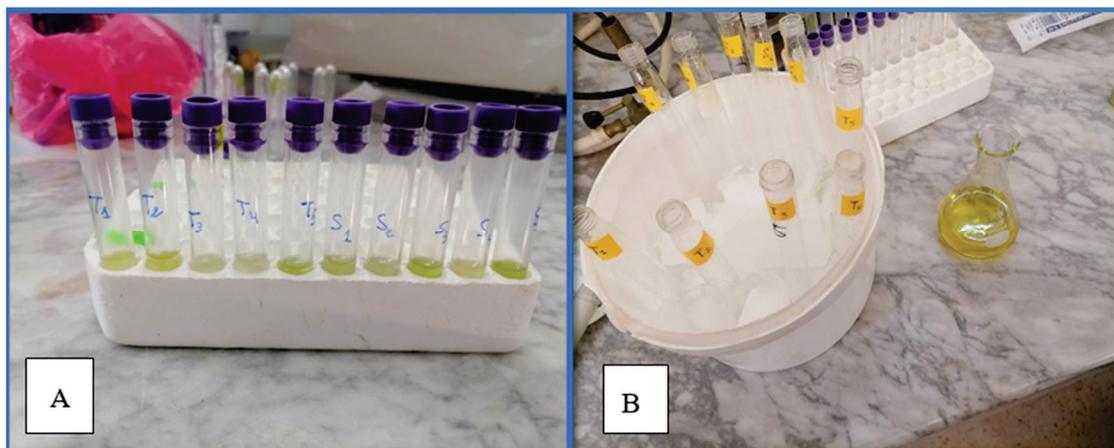


Figure 13 : Extraction des sucres solubles dans Ethanol 80° (A) et condensation des produits de dégradation des oses neutres par l'acide sulfurique (B)

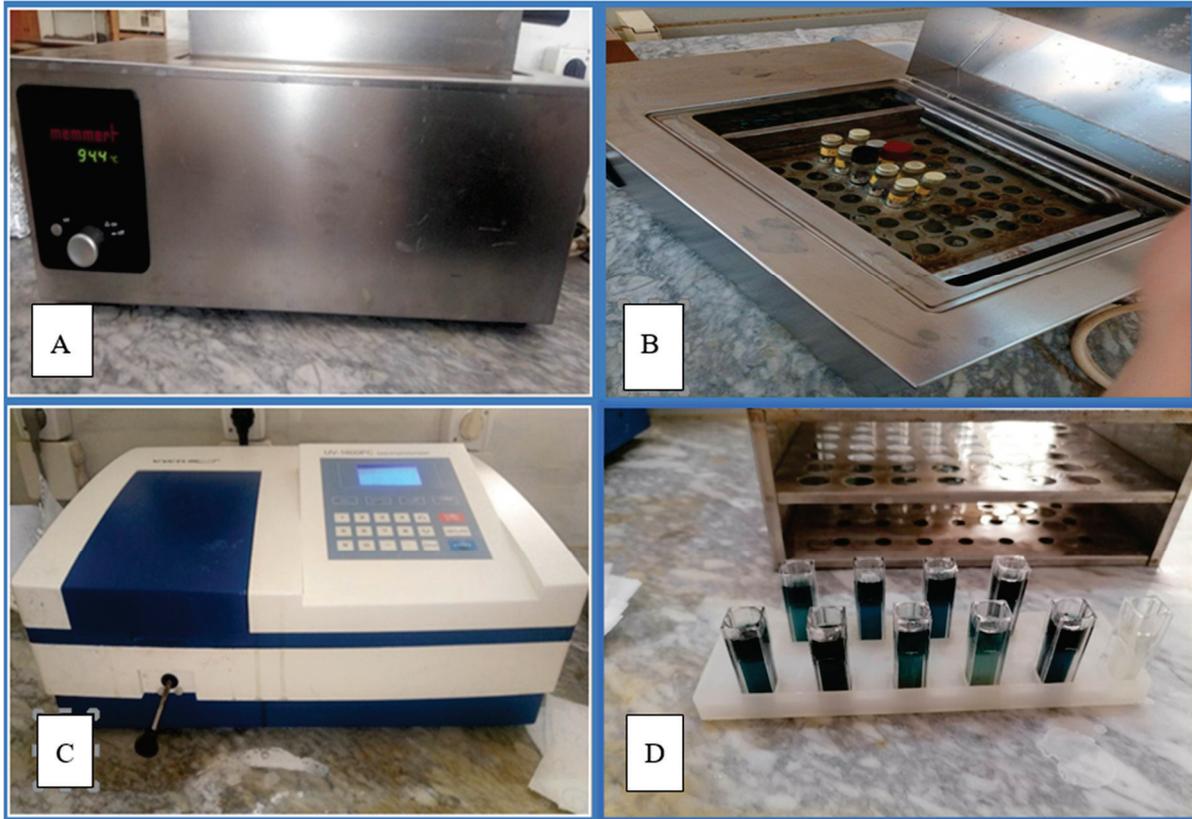


Figure 14 : mis en place des tubes à essai dans le bain marie (A,B) et lecture de l'absorbance par spectrophotomètre (C,D)

c.3. Teneur en chlorophylle totale (unité SPAD)

Le taux de chlorophylle au niveau des feuilles a été mesuré à l'aide d'un chlorophyllomètre SPAD 502 de marque Minolta.

3. Traitement statistique

Les résultats obtenus ont subi un traitement statistique avec un seuil de sécurité de 5% à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0.

IV. Résultats et discussion

3. Résultats

3.1. Effet de pré-imbibition et des traitements physico-chimiques sur la germination du *Moringa Oleifera*

3.1.1. Taux de germination

Dans cette partie de résultats, les graines testées ont subi des prétraitements de pré-imbibition de 24h, 48h, 72h et 96 heures à l'eau distillée à la température ambiante et des traitements physico-chimiques avec l'eau oxygénée et l'élimination des téguments, puis entreposées dans une chambre de culture pendant 20jours a une température de 28°C et une photopériode 16h/8h (jour/nuit respectivement).

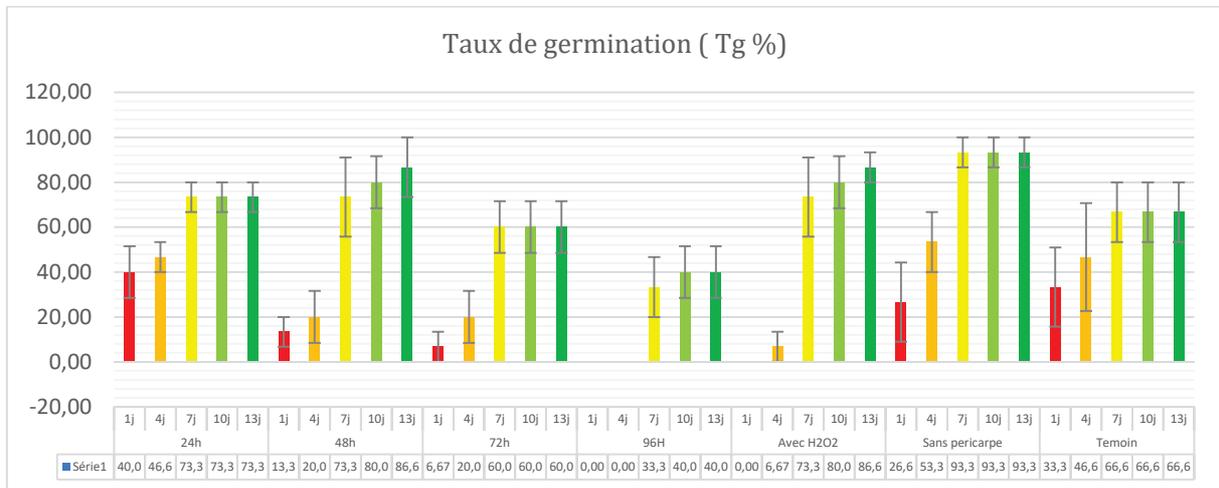


Figure 15: Taux de germination des graines de *Moringa Oleifera* sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques

L'analyse des résultats obtenus (Fig.15) démontre que l'application des différents traitements provoque des variations significatives de la germination des graines utilisées.

Ainsi, au cours du 1^{er} jour, les taux de germination les plus élevées sont inscrits après l'application de traitements d'élimination des téguments (53.3%). On remarque une augmentation graduelle jusqu' avoir le seuille de 93,3 % après 13jours de mis en germination.

La même tendance d'évolution est présente après l'application de l'imbibition de 24heures suivie par le traitement de 48heures.

Au niveau des grains issus de pré-imbibition de 24 heures, le taux de germination a augmenté de 80 % entre le jour 7 et le jour 13, ce qui correspond au même constat que pour le prétraitement témoin où le taux de germination était de 80 %.

Le taux de germination le plus élevé, atteignant 100 %, a été observé entre le jour 4 et le jour 10, sur une période de 48 heures. Cela suggère que ces jours spécifiques sont particulièrement favorables à la germination des graines étudiées.

Une augmentation d'environ 65 % du taux de germination a été constatée sur une période de 72 heures de pré-imbibition, allant du jour 7 au jour 13. Cette augmentation progressive suggère que la germination des graines se poursuit et progresse au fil du temps.

Enfin, en effectuant un prétraitement de trempage pendant 96 heures, une réduction de 45 % a été observée, représentant la diminution moyenne minimale des taux de germination aux jours 4 et 10. Cela indique que le prétraitement de trempage prolongé a un effet négatif sur la germination des graines, entraînant une diminution significative des taux de germination.

Lorsque nous examinons l'effet du traitement avec le H_2O_2 , nous observons que le taux de germination commence à augmenter dès le quatrième jour, augmentant progressivement jusqu'à atteindre un taux correspondant à 90%. Cela suggère que le H_2O_2 favorise la germination des graines, bien que le taux ne soit pas de 100%.

En ce qui concerne l'élimination des téguments et les traitements physico-chimiques des graines, nous constatons une augmentation immédiate du taux de germination dès le premier jour, atteignant un taux de 100%. Ce taux est considérablement plus élevé que celui du groupe témoin, indiquant que l'élimination des téguments et les traitements physico-chimiques ont un effet positif significatif sur la germination des graines.

3.1.2. Cinétique de germination

La cinétique de germination est présentée par les taux cumulés des graines du *Moringa Oleifera* sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques.

L'analyse des résultats (Fig.16) montre que les variations des taux de germination des graines sont fortement influencées par les différents traitements appliqués.

Pour les graines mises en germination, la courbe de cinétique de germination a affiché les 02 phases classiques de la germination: accélération exponentielle suivi par un palier correspondant à un arrêt de germination après avoir atteint la capacité germinative maximale.

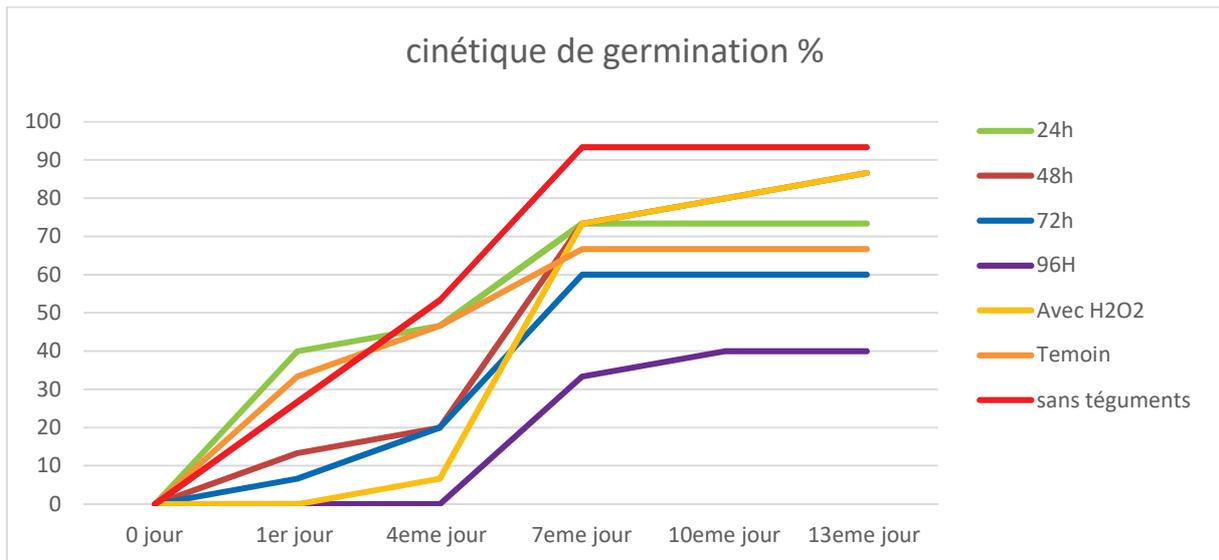


Figure 16 : Cinétique de germination des grains de *Moringa Oleifera* sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques

Les résultats, indiquent que pour les graines témoins l'évolution de la germination progresse d'une manière moyennement rapide en comparaison avec les autres traitements appliqués.

La figure 16 présente les taux de germination des graines exprimés en pourcentage (Tg %) à différents moments de traitement.

Le traitement témoin présente des taux de germination élevés dès le premier jour. Le taux est de 33,33 %, puis il augmente pour atteindre 46,67 % au quatrième jour. Au septième jour, le taux de germination est de 66,67 %, et il reste constant jusqu'au treizième jour.

Après un traitement de 24 heures, les taux de germination commencent à augmenter. Au premier jour, le taux est de 40,00 %, puis il augmente progressivement pour atteindre 46,67 % au quatrième jour. Les taux de germination continuent d'augmenter jusqu'au septième jour, où ils atteignent 73,33 %. Ils restent constants jusqu'au treizième jour, maintenant un taux de germination de 73,33 %.

Pour le traitement de 48 heures, les taux de germination sont plus faibles au début. Au premier jour, le taux est de 13,33 %, puis il augmente progressivement pour atteindre 20,00 % au quatrième jour. Au septième jour, le taux de germination atteint 73,33 %, puis il continue d'augmenter pour atteindre 80,00 % au dixième jour, et enfin, il atteint 86,67 % au treizième jour.

Le traitement de 72 heures montre des taux de germination similaires au traitement de 48 heures. Au premier jour, le taux est de 6,67 %, puis il augmente progressivement pour atteindre 20,00 % au quatrième jour. Il reste constant à 60,00 % du septième au treizième jour.

Après un traitement de 96 heures, aucun taux de germination n'est observé au premier jour et au quatrième jour. Au septième jour, le taux de germination est de 33,33 %, puis il augmente légèrement pour atteindre 40,00% au dixième jour et reste constant jusqu'au treizième jour.

Le traitement avec H₂O₂ montre des taux de germination similaires au traitement de 24 heures au cours des premiers jours. Au premier jour, le taux est de 0,00 %, puis il augmente pour atteindre 6,67 % au quatrième jour. Au septième jour, le taux de germination est de 73,33 %, puis il continue d'augmenter pour atteindre 80,00 % au dixième jour et 86,67 % au treizième jour.

Enfin, le traitement d'élimination des téguments montre des taux de germination plus élevés dès le premier jour. Le taux est de 26,67 %, puis il augmente pour atteindre 53,33 % au quatrième jour. Au septième jour, le taux de germination est de 93,33 %, et il reste constant jusqu'au treizième jour.

3.1.3. Cinétique de l'élongation racinaire

La cinétique de l'élongation des racines a été étudiée sous différents traitements de pré-imbibition pendant des durées de 24 heures, 48 heures, 72 heures et 96 heures, ainsi que sous des traitements physicochimiques tels que l'eau oxygénée et l'élimination des téguments.

Nous avons enregistré une différence significative concernant la cinétique de l'élongation racinaire des graines du *Moringa Oleifera* sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques.

Lors du traitement de pré-imbibition pendant 24 heures, on observe une légère augmentation de l'élongation des racines par rapport au témoin. Les valeurs augmentent progressivement de 0,06cm à 1,19cm, avec une augmentation significative à partir de 11 jours.

Pour le traitement de 48 heures, l'élongation des racines est plus élevée par rapport au traitement de 24 heures. Les valeurs varient de 0,03cm à 0,73cm, montrant une augmentation régulière au fil du temps.

Cependant, lors du traitement de 72 heures et 96 heures, aucune augmentation de l'élongation des racines n'est observée.

Le traitement à l'eau oxygénée (H₂O₂) montre une augmentation progressive de l'élongation des racines, avec des valeurs allant de 0,33cm à 2,16cm. Cela suggère que l'eau oxygénée peut favoriser l'ouverture des téguments et l'élongation des racines.

En revanche, le traitement d'élimination des téguments présente les valeurs les plus élevées d'élongation des racines parmi tous les traitements. Les valeurs varient de 0,82cm à 8,33cm, montrant une augmentation significative de l'élongation des racines avec l'élimination des téguments.

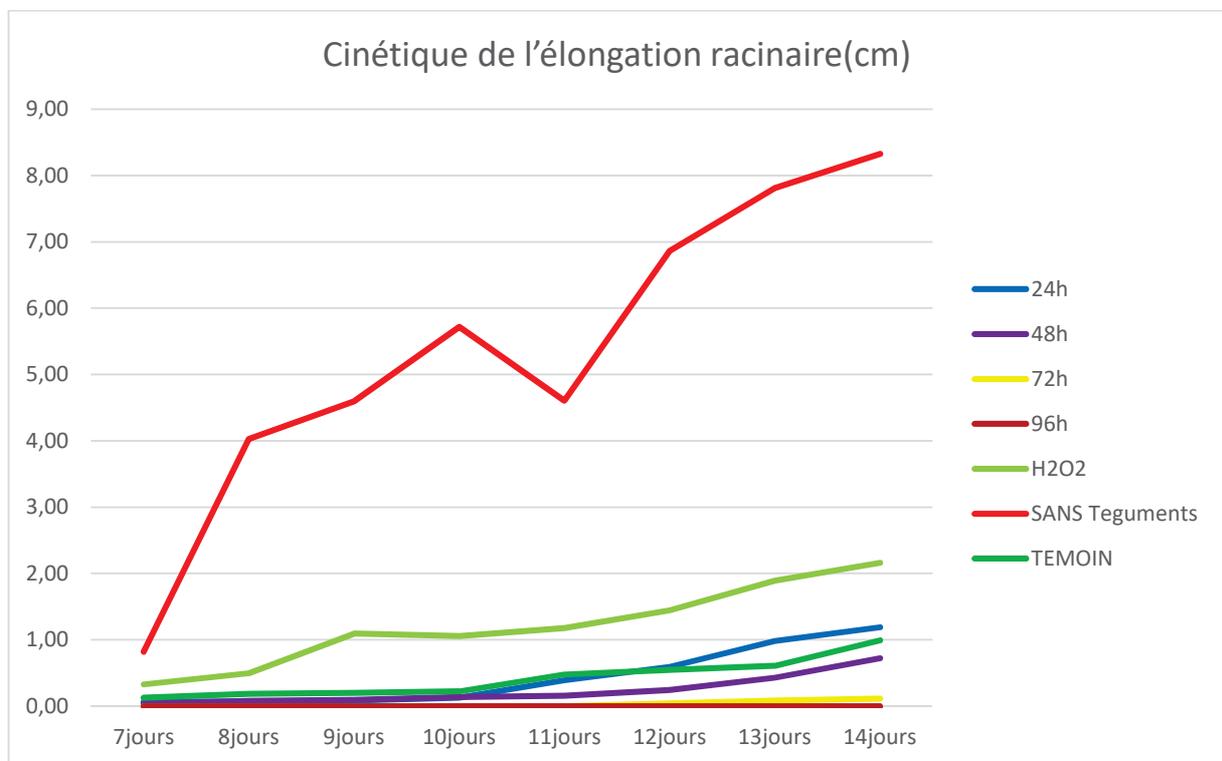


Figure 17 : Cinétique de l'élongation des racines (cm) de *Moringa Oleifera* sous l'effet des traitements de pré-imbibition et traitements physico-chimiques



Figure 18 : photo représentative des racines de Moringa Oleifera

3.2. Essai n° 2 : l'effet de stress hydrique sur les caractères morphologiques et biochimiques des jeunes plants

3.2.1. Hauteur de la plante

Les mesures de la hauteur de la plante ont été effectuées au premier jour de stress hydrique et quinze jours après l'application du stress hydrique. L'évolution été calculée en pourcentage (%).

Pour le groupe sans déficit hydrique (SDH), la hauteur de la plante au premier jour de stress hydrique était d'une moyenne de 81,368mm. Après quinze jours, elle a augmenté pour atteindre 91,318mm. L'évolution de la longueur de la tige pour ce groupe était de 12,23 %, indiquant une croissance significative de la tige pendant la période d'observation.

Dans le groupe avec déficit hydrique (ADH), la hauteur de la plante au premier jour de stress hydrique était de 67,36mm. Après quinze jours, elle a augmenté pour atteindre une moyenne de 76,228mm. L'évolution de la longueur de la tige pour ce groupe était de 13,17 %, indiquant également une croissance significative de la tige malgré la présence de stress hydrique.

Ces résultats suggèrent que même en présence de déficit hydrique, la tige du spécimen étudié continue de croître légèrement moins rapide que dans le groupe témoin. Cela indique une certaine résilience de la plante face aux conditions de stress hydrique.

Tableau 03 :résultats moyens de la hauteur de la plante et évolution sous l'effet de déficit hydrique

	1er jour de stress hydrique (mm)	15jours après l'application de stress hydrique (mm)	EVOLUTION DE LA LONGUEUR DE LA TIGE (%)
SDH	81,368	91,318	12,23
ADH	67,36	76,228	13,17

3.2.2. Teneur en chlorophylle totale (unité SPAD)

Les résultats indiquent la teneur en chlorophylle dans les feuilles de moringa dans deux conditions différentes : le stress hydrique et l'absence de stress.

Sous conditions de stress hydrique, la teneur en chlorophylle dans les feuilles de moringa a été mesurée à 31,3 (unités SPAD). Cela suggère que lorsque la plante de moringa est soumise à un stress hydrique, elle présente une concentration plus élevée de chlorophylle dans ses feuilles par rapport à l'autre condition.

En revanche, dans des conditions normales (absence de stress), la teneur en chlorophylle dans les feuilles de moringa a été mesurée à 23,18 unités SPAD. Cela implique qu'en l'absence de stress hydrique, la plante de moringa présente une quantité moindre de chlorophylle dans ses feuilles.

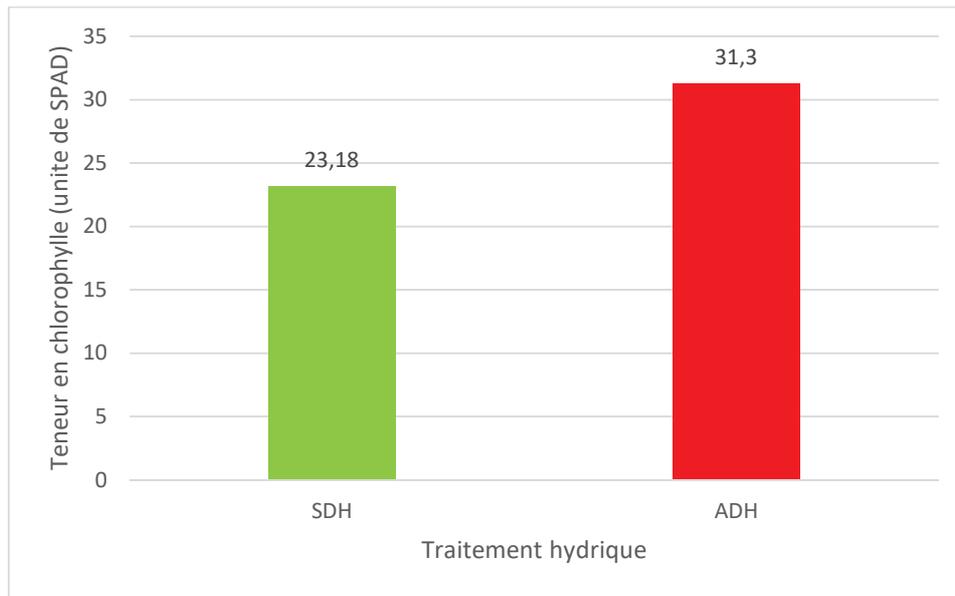


Figure 19: la teneur en chlorophylle dans les feuilles de moringa dans deux conditions différentes : le stress hydrique et l'absence de stress.

3.2.3. Teneur en sucre soluble

Les résultats obtenus de la quantité de sucre présente dans les feuilles de Moringa dans deux conditions distinctes : en présence de déficit hydrique et en l'absence de celle-ci.

Dans le cas de la sécheresse, la teneur en sucre mesurée dans les feuilles de moringa s'élève à 22,33 g/100gMF. Cette observation indique qu'en présence d'un manque d'eau dû aux conditions de sécheresse, la plante de moringa présente une concentration plus élevée de sucre dans ses feuilles par rapport à l'autre condition étudiée.

En revanche, dans des conditions normales, c'est-à-dire en l'absence de sécheresse, la teneur en sucre mesurée dans les feuilles de moringa est de 14,37 g/100gMF. Cela suggère que lorsque la plante n'est pas soumise à un stress dû à la sécheresse, sa teneur en sucre est moins élevée.

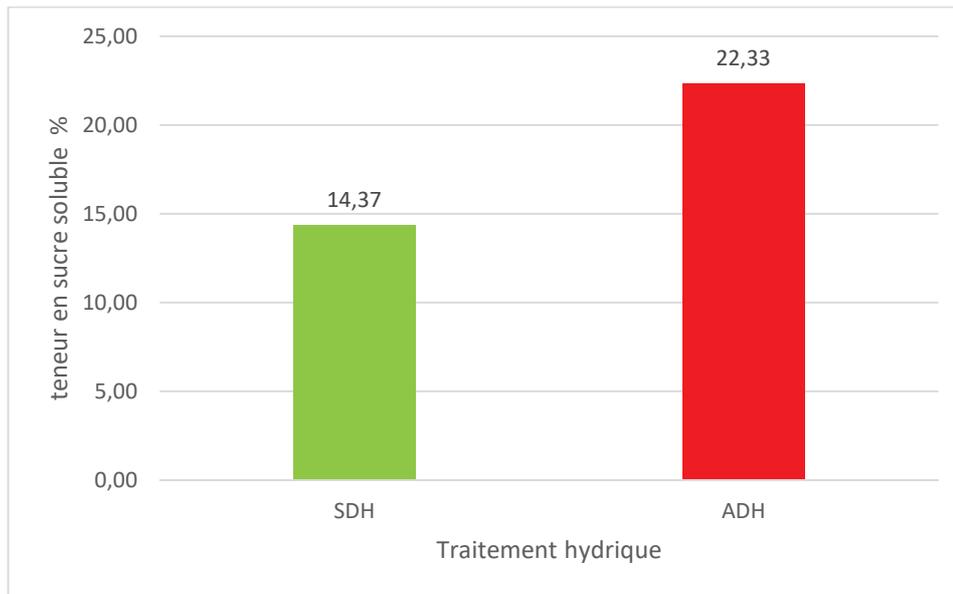


Figure 19: la teneur sucre soluble dans les feuilles de moringa dans deux conditions différentes : le stress hydrique et l'absence de stress.

4. Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude sur le taux de germination des graines de *Moringa Oleifera* démontrent l'importance du temps écoulé depuis le début de l'expérience et l'influence des différents prétraitements sur les taux de germination (NWANGBURUKA *et al.*, 2012). Les traitements physicochimiques, notamment l'élimination des téguments et l'application de traitements à base d'eau oxygénée, se sont avérés favorables à la germination en créant un environnement propice au développement des embryons des graines (GBENOU *et al.*, 2021).

L'analyse de la cinétique de germination révèle des variations significatives des taux de germination en fonction de la durée des traitements et des conditions expérimentales.

De nombreux travaux font état sur les conditions optimales pour la germination de cette plante telles que (NDONG-ON-MEBIOL., 2014), Ce travail examine les effets de la température, de la lumière et des traitements pré-germinatifs sur la germination des graines de *Moringa Oleifera*.

Les traitements de courte durée tels que le traitement de 24 heures et le traitement avec H₂O₂ montrent des taux de germination initialement plus faibles, mais qui augmentent progressivement au fil du temps. En revanche, le traitement d'élimination des téguments

présente des taux de germination élevés dès le premier jour, démontrant l'effet positif de cette pratique sur la germination.

Les traitements de plus longue durée, comme ceux de 48 heures, 72 heures et 96 heures, montrent des taux de germination plus faibles au départ, mais qui augmentent progressivement. Cependant, ces taux restent généralement inférieurs à ceux observés dans les autres traitements, suggérant un effet inhibiteur de durées de traitement plus longues sur la germination.

En ce qui concerne l'élongation racinaire, les traitements de pré-imbibition de 24 heures, 48 heures et les traitements physicochimiques favorisent l'élongation des racines. Cependant, aucun effet notable n'est observé pour les traitements de 72 heures et 96 heures, soulignant l'importance du temps de traitement dans la stimulation de l'élongation racinaire.

L'analyse de la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles de *Moringa* révèle une augmentation de la concentration de chlorophylle en réponse au stress hydrique, ce qui est cohérent avec la réponse adaptative des plantes à des conditions environnementales limitées en eau. Ces résultats sont en contradiction avec les résultats de (SINGH *et al.*, 2011) qui montre que le stress hydrique entraîne une diminution du contenu en chlorophylle et des pigments photosynthétiques, ce qui indique une altération de la capacité photosynthétique de la plante. Ce qui est expliqué par les différents niveaux de stress hydrique et le stade de l'application.

De plus, la teneur en sucre soluble au niveau des feuilles de *Moringa* augmente en réponse au stress hydrique, indiquant une accumulation accrue de sucre comme une stratégie adaptative de la plante pour faire face aux conditions de sécheresse.

En conclusion, cette étude met en évidence l'importance du temps de traitement, des traitements physicochimiques et de l'environnement sur la germination, l'élongation racinaire, ainsi que les réponses physiologiques de *Moringa Oleifera* face au stress hydrique. Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension des mécanismes de germination et de croissance de cette plante, ce qui pourrait être utile pour son utilisation dans des applications agronomiques et environnementales.

V. Conclusion

Conclusion

Les conclusions tirées de ce travail sont les suivantes :

1. Les différents prétraitements ont un impact significatif sur le taux de germination des graines de *Moringa Oleifera*. Les traitements physicochimiques, tels que l'élimination des téguments et l'application de traitements à base d'eau oxygénée, favorisent la germination en créant un environnement propice au développement des embryons des graines.

2. La durée des traitements influence les taux de germination. Les traitements de courte durée montrent des taux de germination initialement plus faibles, mais qui augmentent progressivement au fil du temps. En revanche, les traitements de plus longue durée ont des taux de germination initialement plus bas et augmentent plus lentement.

3. L'élongation racinaire est favorisée par les traitements de pré-imbibition de 24 heures et 48 heures, ainsi que par les traitements physicochimiques. Cependant, aucun effet notable n'est observé pour les traitements de 72 heures et 96 heures, soulignant l'importance du temps de traitement dans la stimulation de l'élongation racinaire.

4. En réponse au stress hydrique, la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles de *Moringa* augmente, ce qui suggère une réponse adaptative de la plante à des conditions environnementales limitées en eau. Cependant, ces résultats contredisent d'autres études qui montrent une diminution du contenu en chlorophylle en cas de stress hydrique.

5. Le stress hydrique entraîne une augmentation de la teneur en sucre soluble dans les feuilles de *Moringa*, ce qui peut être considéré comme une stratégie adaptative pour faire face aux conditions de sécheresse.

En conclusion, cette étude souligne l'importance des prétraitements, du temps de traitement et de l'environnement sur la germination, l'élongation racinaire et les réponses physiologiques de *Moringa Oleifera* face au stress hydrique. Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension des mécanismes de germination et de croissance de cette plante, ce qui pourrait avoir des applications utiles dans le domaine agronomique et environnemental.

VI. Références bibliographiques

1. ANNET, N., & Naranjo, J. (2014). Morpho-anatomical variations of leaves and seeds among three *Moringa* species. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 2071–2079.
2. Azad, A. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Sharma, S. C., & Islam, R. (2015). Prospect of *Moringa* seed oil as a sustainable biodiesel fuel in Australia: A review. *Procedia Engineering*, 105(Icte 2014), 601–606.
3. Bendifallah, L., & Touazi, L. (2018). Study of germination and initial development of *Moringa Oleifera* Lam. in the climate of the Highlands of Western Algeria. *Journal of New Sciences*, 54(4), 114-126.
4. BenosmaneChahira et Gharbi Soumia. (2017). Etude des paramètres de germination chez quatre géotypes de maïs (*Zeamays* L.) sous stress hydrique). Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A
5. Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination* (2nd ed.). Springer.
6. Boumenjel, A., Papadopoulos, A., & Ammari, Y. (2021). Growth response of *Moringa oleifera* (Lam) to water stress and to arid bioclimatic conditions. *Agroforestry Systems*, 95(5), 823–833.
7. Calatayud, P.-A., Garrec, J.-P., & Nicole, M. (2019). Adaptation des plantes aux stress environnementaux. *Interactions Insectes-Plantes*, 229–245.
8. Chadza, A. (2012). *Moringa oleifera* cultivation training guidelines 1. Conception and Implementation of Development Programs MORINGA, March 2003.
9. Crop, A., Society, S., Gandji, K., Chadare, F. J., Idohou, R., Salako, V. K., & Assogbadjo, A. E. (2018). Status and utilisation of *Moringa oleifera* Lam: A REVIEW *Moringa oleifera* Lam. *African Crop Science Journal*, Vol. 26, No. 1, pp. 137 – 156.
10. DADDA Warda, D. K. (2021). Contribution à l'étude du potentiel hypoglycémiant du *Moringa* chez les patients diabétiques de la région d'Adrar. Université Ahmed Draïa Adrar Faculte.

11. Fahey, J. W. (2005). *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. *Trees for Life Journal*, 1(5), 1-15.
12. Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501-523.
13. Foidl, N., K, M. H. P. S. B., Foild, N., & Km, S. (2001). POTENTIEL DE MORINGA OLEIFERA EN AGRICULTURE ET DANS L ' INDUSTRIE. Potentiel de Développement Des Produits Du Moringa 29.
14. Fuglie, L. J. (2001). *The Miracle Tree: Moringa oleifera: Natural Nutrition for the Tropics*. Church World Service, Dakar.
15. Gbenou, P., Hombada, D., & Nevis, D. R. (2021). Evaluation of the effect of pre-treatment of *Moringa Oleifera* Lamarck (Moringaceae) seeds at the early stage of germination for massive production in South Benin. *Eur. Sci. J*, 17, 1857-7431.
16. Ghebremichael, K., et al. (2005). Nutritional properties of leaves and pods of *Moringa Oleifera* from two regions in Kenya: Nakuru and Kakamega. *African Journal of Biotechnology*, 4(7), 679-683.
17. Islam, Z., Islam, S. M. R., Hossen, F., Mahtab-ul-islam, K., Hasan, R., & Karim, R. (n.d.). (2021). Review Article *Moringa oleifera* is a Prominent Source of Nutrients with Potential Health Benefits. 2 *International Journal of Food Science*, 2021
18. Kumar², G. B. and Y. (2022). No *Moringa oleifera* Lam. (Drumstick) – A Multipurpose tree. 1 Ph.D. Scholar, Dept. of Silviculture and Agroforestry, ACHF, NAU, Navsari 2 Junior Research Fellow, Krishi Vigyan Kendra, Keshwana, Jalore I, 1–6.
19. Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2015). Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 12791–12835. <https://doi.org/10.3390/ijms160612791>
20. Madi, O. P., Bourou, S., & Woin, N. (2012). Utilisations et importances socioéconomiques du *Moringa oleifera* Lam. en zone de savanes d'Afrique Centrale. Cas de la ville de Maroua au Nord-Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*. *Journal of Applied Biosciences* 60: 4421– 4432, 4421–4432.

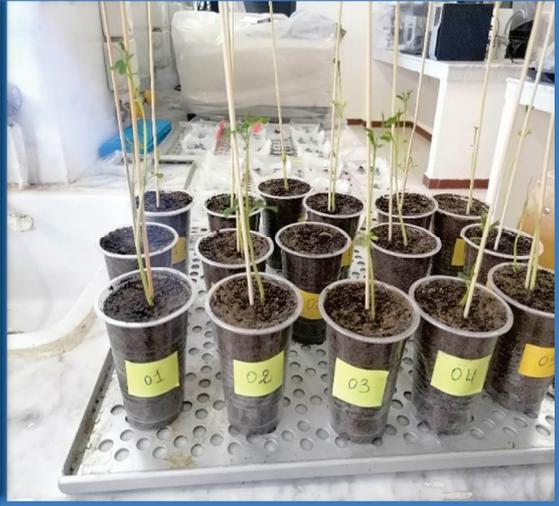
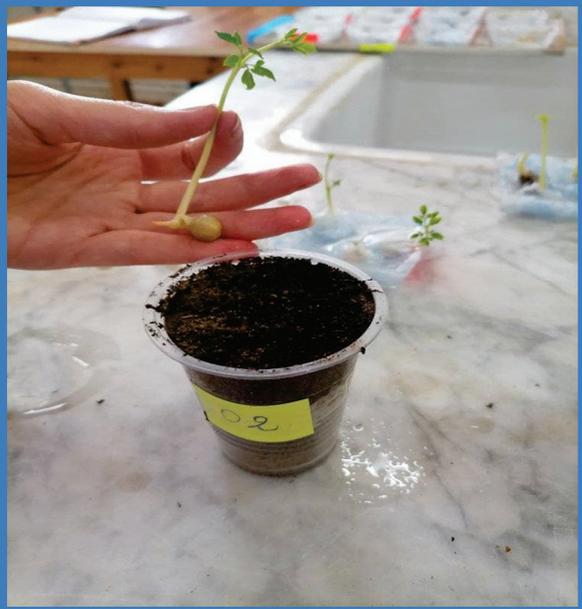
21. MAEVALANDY, A. R. (2006). *Moringa oleifera*. La MORINGA, 43(January 2014), 605–610.
22. Makkar, H. P. S., Becker, K., & Schmook, B. (1998). Edible provenances of *Moringa Oleifera* with emphasis on their nutritional and antinutritional factors. Food and Nutrition Bulletin, 19(3), 224-230.
23. Mansouri, A. (2014). Ethnobotanical survey on medicinal plants used in traditional medicine in Tindouf District (Algerian Sahara). Journal of Ethnopharmacology, 155(1), 171-180.
24. Martine, J. F. (1999). Croissance de la canne et stress hydrique: Les apports d'un modèle plante. Agriculture et Développement, 24, 21–28.
25. Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. S. (1998). Quality of water treated by coagulation using *Moringa Oleifera* seeds. Water Research, 32(3), 781-791.
26. Ndong-On-Mebioul, A., Flore, N., Chalchat, J. C., & Figueredo, G. (2014). Effects of temperature, light and pre-sowing treatments on the germination of *Moringa Oleifera* Lam. seeds. African Journal of Agricultural Research, 9(43), 3159-3164.
27. Nwangburuka, C. C., Oyekale, K., Ezekiel, C. N., Anokwuru, P. C., & Badaru, O. (2012). Effects of *Moringa Oleifera* leaf extract and sodium hypochlorite seed pre-treatment on seed germination, seedling growth rate and fungal abundance in two accessions of *Abelmoschus esculentus* (L) Moench. *Archives of Applied Science Research*, 4(2), 875-881..
28. Palada, M. C., & Chang, L. C. (2018). Suggested Cultural Practices for Kangkong. Avrdc.Org, September, 1–8.
29. Patel, S., & , A S Thakur, A. C. and A. M. (2021). *Moringa leifera* : A review of the medicinal and economic importance to the health and nation *Moringa Oleifera* : A Review of There Medicinal and Economical Importance to the Health and Nation. S Patel et Al. / *Drug Invention Today* 2010, 2(7),339-342, January 2010.
30. Rajendra Chaudhary, Alok Bhargava, D.C. Saxena, and M.C. Saxena., (2019). *Moringa oleifera*: A Review on Nutritive Importance and its Medicinal Application. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, Volume 10, Issue 10, October 2019.

31. rezzankasim, m. u. k. (2022). water stress, mechanism and role of phytohormones resistance to water stress. international black sea modern scientific research congress, september.
 32. Singh, R., Parihar, P., Singh, M., Bhandari, K., & Mishra, R. K. (2011). "Effect of water stress on chlorophyll content and photosynthetic pigments in *Moringa Oleifera* Lam." *Journal of Plant Interactions*, 6(4), 297-301.
 33. Sofiane, L. (2009). Extraction et caractérisation physico-chimique de l'huile de graines de *Moringa oleifera*. *Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach*, 1(27 (September)), 5–107.
 34. Stohs, S. J., & Hartman, M. J. (2015). Review of the safety and efficacy of *Moringa oleifera*. *Phytotherapy Research*, 29(6), 796–804.
-

II. Annexes

Annexe 01 : quelques photos de la transplontation des jeunes plantules





Annexe 2: Matériel utilisé au laboratoire

1. étuve pour séchage de sol



2. Balance de précision



Annexe 3 : Courbe d'étalonnage des sucres solubles

