

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Republique Algerienne Democratique et Populaire

Ministere de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique  
Universite Ibn Khaldoun – Tiaret –  
Faculté des Sciences de la Nature et de Vie  
Departement Sciences de la Nature et de la Vie



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 : Biologie

Spécialité: Biologie Moléculaire et Cellulaire

Présenté par:

BAGHDAD Mokhtaria

GOURARI Ikram

Thème

**Effet d'inhibiteur d'auxine 'l'acide 1-Naphtoxyacétique' et du PGPR sur la formation des tissus chez *Moringa oleifera***

Soutenu publiquement le 03/07/2019

Jury:

Président:

Encadreur:

Co-encadreur:

Examineur:

Grade

Dr. Ali Nehari Abdelkader.....MCB

Dr. RAHMOUNE Bilal.....MCB

Dr. ZERROUK Izzeddine Zakarya.....MCB

Dr. BOUFERS Khaled.....MAA

# *Remerciements*

*Avant toute chose, Nous tenons à remercier Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné le courage, la volonté et la patience d'élaborer ce travail.*

*Nos remerciements vont également à notre promoteur M. RAHMOUNE pour nous avoir fait l'honneur de nous encadrer, pour son aide, sa disponibilité, ses conseils et la confiance qu'il nous a accordé.*

*Nous remercions également notre Co-promoteur M. ZERROUK pour son suivi attentif tout au long de ce travail ainsi que ces encouragements et sa bonté.*

*Nous exprimons nos plus vifs remerciements à M. Ali Nehari Abdelkader et M. BOUFERS Khaled pour nous avoir fait l'honneur de présider et examiner notre travail*

*Merci également à toute l'équipe des laboratoires « Microbiologie, Physiologie végétale et Biotechnologie » pour leurs accompagnements et leurs aides.*

# Dédicaces

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur; maman que j'adore.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimées mon cher frère aîné, mes sœurs et leurs conjoints mes nièces Rachia, Lamia et Bouchra, mes chères petites Merieme, Hayat, Tinhinane, Chahed et Afaf et neveux Mohammed, Amdjad, Amine et Amir.*

*Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.*

*A toi Mon intime amie Khadidja*

*A Mon binôme Imy*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, cousines et amoureux du cœur... Fatima, Ibrahim, Omar, Kamel et Tarek.*

*Ikram*

# Dédicaces

*A l'aide de dieu tout puissant que j'ai pu arriver à finir ce modeste travail  
que je dédie :*

*A l'esprit de ma chère mère, qui je ne pourrais jamais remercier assez et qui a  
gardé toujours une place dans mon cœur, que dieu te garde dans son vaste  
paradis.*

*La meilleur de toute les femmes Fatiha qui ma soutenue durant toute ma  
vie, qui ma aider durant mes années d'étude, qui m'appris à aimer le travail  
et le bon comportement, pour son amour et sa bien vaillance jour et nuit. Je  
souhaite prouver mon grand remerciement qui ne sera jamais suffisant à elle  
que j'espère la rendre fière par ce travail.*

*A la mémoire de mon très cher père que Dieu accorde le repos de son âme ; je  
t'aime énormément.*

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout le long de ma vie  
Benaissa.*

*À ma chère sœur Sihame; merci pour votre encouragements permanents  
A mes frères Mohammed Abdenour Fayçal et Aymen.*

*A mes petits chers Badrou et Djalil.*

*A ma chère copine Wissem*

*A mon binôme Ikram*

*À tous ceux qui me sont chers*

*A tous ceux qui me sont chères. À tous ceux qui m'aiment ... Abdelkader  
Malika et Meriem*

*Ali, Nouna, Halim et Oussama.*

*Imane*

# TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	01

## Partie bibliographique

### Chapitre I : *Moringa oleifer*

1. Generalités sur <i>Moringa oleifera</i> .....	03
1.1. Répartition géographique.....	03
1.2. Taxonomie.....	03
1.3. Description des différentes parties de la plante.....	03
1.3.1. Le tronc.....	03
1.3.2. Les racines.....	04
1.3.3. Les feuilles.....	04
1.3.4. Les fleurs.....	05
1.3.5. Les fruits et les graines.....	05
2. Exigences agro-écologiques de la plante.....	06
2.1. Altitude.....	06
2.2. Température.....	06
2.3. Sol.....	07
2.4. Besoin en eau de la plante.....	07
3. Composition chimique.....	07

### Chapitre II: Plant Growth Promoting Rhizobacteria

1. Généralités sur les PGPRs.....	09
2. Interactions plantes-PGPRs.....	09
2.1. Promotion de la croissance de l'hôte.....	09
2.2. Renforcement de la capacité défensive de l'hôte.....	09
3. Mécanismes impliqués dans la stimulation de la croissance des plantes par les PGPRs.....	10
3.1. Les mécanismes directs.....	10
3.1.1. Fixation d'azote.....	10
3.1.2. Solubilisation du phosphore.....	10
3.1.3. La production de sidérophores.....	11

3.1.4. La production des phytohormones .....	11
3.2. Les mécanismes indirects .....	12
3.2.1. La compétition .....	12
3.2.2. L'Antibiose .....	12
3.2.3. Le parasitisme .....	13
3.2.4. La Résistance systémique induite « ISR ».....	13
3.2.5. La Production d'enzymes .....	13

## **Chapitre III : Auxine**

1. Généralités sur l'auxine .....	14
2. La biosynthèse de l'auxine.....	14
3. Conjugaison et dégradation de l'auxine.....	16
4. Transport d'auxine.....	17
5. Inhibiteurs du transport d'auxine .....	17
5.1 Inhibiteurs de plantes indigènes .....	18
5.1.1 Spécifique pour les transporteurs d'afflux d'auxine .....	18
5.1.2 Spécifique pour les transporteurs d'efflux d'auxine .....	18
5.2 Inhibiteurs synthétiques .....	18
5.2.1 Spécifique pour les transporteurs d'afflux d'auxine .....	18
5.2.2 Spécifique pour les transporteurs d'efflux d'auxine .....	18

## **Partie expérimentale**

### **Matériel et méthodes**

1. Matériel .....	20
1.1. Matériel végétal .....	20
1.2. Souche bactérienne .....	20
2. Méthodes.....	20
2.1. Mise en germination des graines .....	20
2.2. Préparation de l'inoculum bactérien.....	21
2.3. Application des traitements et mise en place de l'essai .....	22
2.4. Paramètres mesurés.....	22
2.4.1. Dosage des sucres .....	22
2.4.2. Observation des coupes anatomiques.....	23
2.4.3. Les analyse statistique .....	24

## Résultats et discussion

1. Effet des traitements sur la croissance du <i>Moringa oleifera</i> .....	25
1.1. Longueur des tiges .....	25
1.2. Longueur des racines .....	26
2. Effet des traitements sur la teneur en sucre.....	27
2.1. Dans la partie aérienne .....	27
2.2. Dans la partie racinaire.....	27
3. Etude anatomique .....	28
3.1. Etude anatomique de la tige de <i>Moringa oleifera</i> .....	28
3.2. Etude anatomique de la racine de <i>Moringa oleifera</i> .....	29
4. Effet des traitements sur la formation des tissus de <i>Moringa oleifera</i> .....	30
4.1. Dans les racines .....	30
4.2. Dans les tiges .....	31
5. Effet des traitements sur la histométrie de <i>Moringa oleifera</i> .....	32
5.1. Interprétation des résultats et discussion.....	34
5.1.1. Au niveau des racines.....	34
5.1.2. Au niveau des tiges .....	35
6. Discussion générale .....	36
Conclusion .....	39
Références bibliographie	
Annexes	
Résumé	

# LISTE DES ABREVIATIONS

**ACC** : 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate  
**AIA**: Acide Indol Acitique  
**AIB** : Acide Indole-3-Butyrique 5  
**ANA** : Acide Naphtalène Acétique  
**ARNr** : Acide Ribonucléique ribosomique  
**CHPAA** : Acide 3-Chloro-4-Hydroxyphénylacétique  
**CPD** : 2-Carboxyphenyl-3-Phenylpropane-1,2-Dione  
**CSI** : ChromosonineI  
**DAPG**: Diacétylphloroglucinol  
**Fe** : fer  
**Fe<sup>2+</sup>** : fer ferreux  
**Fe<sup>3+</sup>** : fer ferrique  
**GH3**: GRETCHEN HAGEN3  
**HCN**: Hydrogen Cyanide  
**HFCA**: 9-Hydroxyfluorene-9-carboxylic acid  
**HMF**: Hydroxy-méthyl furfural  
**IBA** : Acide 3-Indole Butyrique  
**IAM** : Indole-3-acétamide  
**IAOx** : Indole-3-Acétaldoxime  
**INRF** : Institut National de la Recherche Forestière  
**IPA** : Indole-3-pyruvate  
**ISR**: Résistance Systémique Induite  
**LPS**: Lipopolysaccharides  
**N2** : Azote  
**NPA**: Acide Naphthylphthalamique  
**OxIAA**: 2-Oxindole-3-Acetic Acid  
**P**: Phosphate  
**PBA**: 2-(1-Pyrenoyl)-Benzoic Acid  
**PGPR**: Plant Growth Promoting Rhizobacteria  
**SUR1/2**: SUPERROOT1/2  
**TAA1**: Tryptophane aminotransferase



**TAM:** Tryptamine

**TIBA:** 2,3,5-Triiodobenzoic acid

**UDP:** Uridine diphosphate

**1-NOA:** Acide 1-Naphtoxyacétique

**2-NOA:** Acide 2-Naphtoxyacétique

**2-NAA :** Acide Naphtalène-2-Acétique

**μm :** micromètre

**μM :** micromol

# LISTE DES FIGURES

Figure 1: Arbre de <i>Moringa oleifera</i> .....	04
Figure 2: Les racines de <i>Moringa oleifera</i> .....	04
Figure 3: Les feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	05
Figure 4: Les fleurs de <i>Moringa oleifera</i> .....	05
Figure 5: Les fruits(a) et les grains(b) de <i>Moringa oleifera</i> .....	06
Figure 6: Voies de biosynthèse de l'acide 3-indole acétique (AIA) chez les plantes et les microorganismes ainsi que les différents modes de conjugaison.....	15
Figure 7: Graines de <i>Moringa oleifera</i> .....	20
Figure 8: La mise en germination des graines .....	21
Figure 9: Les milieux de culture de la bactérie (King B solide et eau péptonée) .....	21
Figure 10: Application des traitements.....	22
Figure 11: Dosage des sucres.....	23
Figure 12: Microtome Leica .....	23
Figure 13: Comparaison histométrique de l'évolution de la longueur moyenne des tiges avant et après application des traitements.....	25
Figure 14: Comparaison histométrique de l'évolution de la longueur moyenne des racines avant et après application des traitements.....	26
Figure 15: Comparaison des teneurs en sucres dans les parties aériennes et racinaires.....	27
Figure 16: Coupe histologique de la tige de <i>Moringa oleifera</i> (grossissement 10x10) .....	29
Figure 17: Coupe histologique de la racine de <i>Moringa oleifera</i> (grossissement 10x10).....	30
Figure 18 : Coupe histologique des vaisseaux conducteurs de la racine de <i>Moringa oleifera</i> (G 10x40) ; (A) : traitement par PGPR ; (B) : traitement par inhibiteur .....	31
Figure 19 : Coupe histologique des vaisseaux conducteurs de la tige de <i>Moringa oleifera</i> (G 10x40) ; (A) : Témoin ; (B) traitement par PGPR ; (C) traitement par inhibiteur (D) traitement par inhibiteur + PGPR .....	32
Figure 20 : Comparaison histométrique entre xylème et phloème des racines des différents traitements de <i>Moringa oleifera</i> .....	34
Figure 21 : Comparaison histométrique entre xylème et phloème des tiges des différents traitements de <i>Moringa oleifera</i> .....	35

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les mesures des tissus des racines de <i>Moringa</i> dans les quatre traitements (coupes transversales) en $\mu\text{m}$ .....	33
Tableau 2: Les mesures des tissus des tiges de <i>Moringa</i> dans les quatre traitements (coupes transversales) en $\mu\text{m}$ .....	33
Tableau 3: Les mesures des vaisseaux conducteurs des tiges de <i>Moringa</i> dans les quatre traitements (coupes longitudinales) (Annexe 09) en $\mu\text{m}$ .....	34

# **Introduction**

Les phytohormones se sont des composés organiques synthétisés par la plante, à de très faibles concentrations, ils ont une action sur la physiologie, le développement et le métabolisme et généralement dans des tissus différents du lieu de production. Ils sont impliqués, aussi, dans les communications intercellulaires. L'auxine est considérée comme une phytohormone clef dans la biologie d'une plante. Elle fut découverte au début du XXe siècle par sa capacité à faire courber des coléoptiles d'avoine vers une source lumineuse. Les effets de l'auxine sur un tissu sont dépendants de l'environnement cellulaire, l'organe, le tissu ou son stade de développement (**Kieffer et al., 2010**). En règle générale, l'auxine comme les hormones végétales peuvent être transportées à la fois sur de courtes distances (entre les cellules) et sur de longues distances, le long des voies vasculaires avec le flux de phloème ou de xylème et / ou par la voie cellule. Il n'existe pas d'inhibiteurs de l'écoulement du phloème ou du xylème, car ceux-ci dépendent de l'état général de la plante et des principes physiques (**Klíma et al. 2016**). Néanmoins, le transport par les voies vasculaires dépend du chargement et du déchargement des phytohormones vers et à partir de cellules de xylème ou de phloème. Ce processus est conduit par un transporteur et peut donc être ciblé par des inhibiteurs, tel que l'acide 1-naphtoxyacétique (1-NOA).

Par ailleurs, Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), ce sont des bactéries qui colonisent les racines des plantes. Leurs effets bénéfiques pourraient être la lutte biologique contre les maladies et les ravageurs, la promotion de la croissance des plantes, l'augmentation du rendement des cultures et l'amélioration de la qualité. De même, les PGPRs produisent des phytohormones qui seraient liées à leur capacité à stimuler la croissance des plantes (**Verma et al., 2013**). L'auxine est une hormone, très souvent, produit par PGPR et impliqué dans la promotion de la croissance. Cependant, leur effet sur les plantes dépend de la quantité produite à partir de PGPR et de l'induction d'autres phytohormones (**Ahmad et al., 2008**).

Appartenant à la famille des Moringaceae, le *Moringa oleifera* ou 'arbre de vie' est une plante exceptionnelle et originale car toutes ces parties (racines, tige, feuille et graines) sont valorisées sur le plan alimentaire, médicinal et industriel. Ses fortes teneurs en protéines, glucides et vitamines sont démontrées. Mais malgré son importance, leur physiologie, anatomie ou son métabolisme ne sont pas bien étudié (**Foidl et al., 2001**).

En Algérie, *Moringa oleifera* est peu connu et quelques essais ont été entrepris par l'INRF. Les diverses potentialités reconnues dans le monde pour *Moringa* pourraient encourager son développement et son exploitation en Algérie.

Cette étude a pour but de :

- Etudier l'effet d'inhibiteur d'auxine l'acide 1-naphtoxyacétique (1-NOA) et de la souche Bt04 sur la croissance de la plante.
- Etudier l'anatomie des tiges et des racines de *Moringa oleifera*.
- Etudier l'effet de la souche Bt04 et d'inhibiteur d'auxine l'acide 1-naphtoxyacétique (1-NOA) sur la formation et l'histométrie des tiges et des racines de *Moringa oleifera*.

Le manuscrit est scindé en trois parties principales :

- Une partie bibliographique qui comprend une synthèse d'un ensemble de donnée sur la plante *Moringa oleifera*, *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)*, sur l'auxine et sur les inhibiteurs de transport d'auxine.
- Une partie pratique comprenant tout matériel et toutes les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail.
- La partie résultats et discussion, et à la fin une conclusion qui retrace l'ensemble des résultats de ce travail réalisé.

**Synthèse**  
**bibliographique**

## 1. Generalités sur *Moringa oleifera*

### 1.1. Répartition géographique

*Moringa oleifera*, une espèce avec une grande valeur économique, est originaire d'Asie du Sud où elle pousse sur les contreforts de l'Himalaya (Price, 1985; ECHO, 2007). Elle est cultivée aujourd'hui dans toutes les régions tropicales et sub-tropicales du monde (Rajangam et al., 2002).

### 1.2. Taxonomie

Il existe 13 espèces de *Moringa* dont *Moringa oleifera* étant la plus connue (Prince, 2007 ; Houndji et al., 2013). Ces espèces appartiennent à la famille monogénérique des arbustes et arbres des Moringaceae (Foidl et al., 2001 ; Prince, 2007).

La Classification systématique de *Moringa oleifera* selon (Laleye et al.2015) et la suivante :

- ✓ Règne : Plantae
- ✓ Sous-règne : Tracheobionta
- ✓ Classe : Magnoliopsida
- ✓ Ordre : Capparales
- ✓ Famille : Moringaceae
- ✓ Division : Magnoliophyta
- ✓ Genre : *Moringa*
- ✓ Espèce : *Moringa oleifera*

### 1.3. Description des différentes parties de la plante

#### 1.3.1. Le tronc

*Moringa oleifera* ou « arbre miracle » est généralement présenté comme un arbre pérenne relativement petit, parfois même considéré comme un arbuste qui peut atteindre 7 à 12 mètres de hauteur (Makkar et Becker, 1997; Nouman et al., 2012) (Figure 1). Cette espèce, à croissance rapide (Yang et al., 2006), se plaît en milieu aride et semi-aride. Plus loin encore, cette plante peut tolérer jusqu'à 6 mois de sécheresse (Aberra et al., 2012). Avec une couleur grise violacée, le tronc est souvent divisé au niveau du sol. Son diamètre est compris entre 45-60 cm, et la hauteur peut atteindre 1,5 à 2 mètres avant de se ramifier, bien qu'il puisse parfois atteindre les 3 mètres (Hédji et al., 2014).





Figure 1: Arbre de *Moringa Oleifera* (Roloff et al., 2009).

### 1.3.2. Les racines

Les racines sont blanches gonflées, tubéreuses qui ont une odeur piquante caractéristique dotée de racines latérales plutôt clairsemées (**Figure 2**). Seules arbres cultivés à partir de graines développent une profonde racine pivotante robuste avec un système à large diffusion composée d'épaisses racines latérales tubéreuses (**Parrotta, 2009**).



Figure 2 : Les racines de *Moringa oleifera* (Parrotta, 2009).

### 1.3.3. Les feuilles

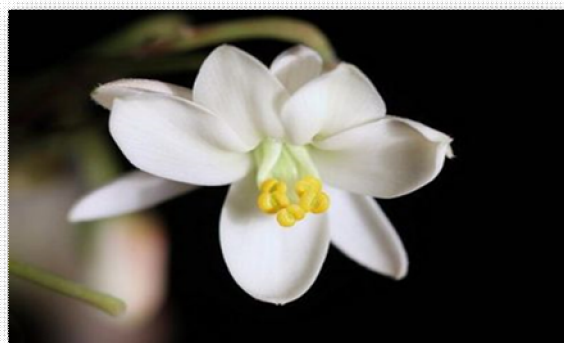
Les feuilles de *Moringa* sont caduques, tripennées de 30 à 70 cm de long (**Figure 3**), composées de folioles ovées ou obovées (**Besse, 1996**). Les feuilles comptent 2 à 6 paires de pinnules comprenant chacune 2 à 5 paires de pinnules secondaires, divisées elles-mêmes en 1 à 2 paires de foliolules plus une foliole terminale plus grande que les autres (**Mémento de l'Agronome, 2002**).



**Figure 3: Les feuilles de *Moringa oleifera* (Price, 2007)**

#### 1.3.4. Les fleurs

Après 8 à 12 mois, l'arbre commence à fleurir sur une base continue tout au long de l'année (Price, 1985; ECHO, 2007). La floraison exubérante du Moringa fait que celui-ci est considérée comme une plante ornementale. L'inflorescence est en panicule aux fleurs irrégulières (Figure 4). Ces dernières sont de couleur blanche tirant sur le crème, délicatement parfumées (Besse, 1996). Les fleurs attirent les oiseaux et de nombreux insectes butineurs d'où la bonne qualité du miel de *Moringa* est généralement de bonne qualité.



**Figure 4 : Les fleurs de *Moringaoleifera* (Parrotta, 2009).**

#### 1.3.5. Les fruits et les graines

La production de gousses commence 6 à 8 mois après la transplantation des plantules. Généralement appelées gousses (Figure 5a), les fruits sont en langage botanique des siliques de section triangulaire munies de 3 ouvertures de 20 cm de long et de 2 cm de diamètre (Besse, 1996). La capsule a une extrémité aiguë, une surface bosselée, de 30 à 50 cm de long et plus, déhiscente, s'ouvrant en trois valves (Mémento de l'Agronome, 2002). Les graines

(**Figure 5b**), dont chacune est munie latéralement de trois ailes, sont rondes, noires, empilées sur trois rangées centrales. Elles ont un diamètre de 10 à 12 mm (**Besse, 1996**).



**Figure 5: Les fruits(a) et les grains(b) de *Moringa oleifera***

[https://www.researchgate.net/figure/aMoringa-oleifera-flowers-b-Moringa-oleifera-leaves-c-Moringa-oleifera-fruits-d\\_fig1\\_315802106\\_21-06-2019](https://www.researchgate.net/figure/aMoringa-oleifera-flowers-b-Moringa-oleifera-leaves-c-Moringa-oleifera-fruits-d_fig1_315802106_21-06-2019)

## 2. Exigences agro-écologiques de la plante

### 2.1. Altitude

Le *Moringa* préfère une altitude inférieure à 600 m, mais ça n'empêche pas la poussée de cette plante à des altitudes proches de 2000 m. Au Nicaragua, le Biomasa a observé que l'altitude limite de la culture productive du *Moringa* est de 500 m (**Price, 1985; ECHO, 2007**).

### 2.2. Température

Généralement, le *Moringa* pousse le mieux dans les régions tropicales chaudes et semi-arides. L'intervalle de température idéale du *Moringa* est compris entre 25 et 35°C, mais il peut tolérer des températures de l'ordre de 48°C pendant de courtes périodes de temps (**Price, 1985; ECHO, 2007**). L'amplitude des températures saisonnières est très forte : de 38 à plus de 40°C en été et jusqu'à - 1°C en hiver (**Mémento de l'Agronome, 2002**). Dans les régions subtropicales, le *Moringa* tolère les gelées dans les sols légers (**Price, 1985; ECHO, 2007**). Quand la température moyenne est inférieure à 21°C, le *Moringa* a tendance à perdre ses feuilles (<http://www.ttiitn.com/M/planting.html> 27-05-2019).

### 2.3. Sol

Le *Moringa* préfère les sols légers, frais et qui ne retiennent pas l'eau tel que les sols sablonneux ou limoneux bien drainés. Il pousse bien également dans les sols rocailloux et des terres légèrement salées (**Séverin, 2002**). Des observations faites à la ferme d'ECHO montrent que l'arbre prend du retard dans sa croissance lorsque la surface de la nappe phréatique se maintient à 3 ou 5 cm sous la surface du sol pendant une longue période de temps. Le *Moringa* tolère une grande plage de pH (de 5 à 9), et pousse assez bien dans les milieux alcalins jusqu'à un pH de 9.

### 2.4. Besoin en eau de la plante

Quoique le *Moringa* s'adapte à des précipitations annuelles de 250 à 1 500 mm (**Price, 1985; ECHO, 2007**), Il pousse mieux dans les régions ayant une pluviométrie annuelle comprise entre 800 à 1200 mm (**Séverin, 2002**). Dans des conditions de déficit hydrique, cet arbre peut tolérer 06 mois de sécheresse, mais au-delà de ça, il commence à perdre ses feuilles.

## 3. Composition chimique

La valeur nutritive des feuilles de *Moringa* est d'une richesse rarement observée. En effet, les feuilles contiennent une très grande concentration de vitamines, protéines, certains minéraux, acides aminés et acides gras essentiels (**Aregheore, 2002; Louis et al., 2003; Ayssiwede et al., 2011**).

Des études ont montré que les feuilles matures de *Moringa oleifera* contiennent moins de protéines que les jeunes feuilles du fait de leur teneur élevée en fibres, notamment en cellulose brute variant de 9,13-28,2% de la matière sèche (**Richter et al., 2003; Tchiégang et Kitikil, 2004; Pamo et al., 2005; Kakengi et al., 2007; Ndong et al., 2007; Olugbemi et al., 2010**).

Les feuilles contiennent aussi des alcaloïdes, des flavonoïdes, des phénols totaux. Des travaux ont révélé également que ces feuilles contiennent des composés phénoliques, tanins et saponines avec des concentrations de l'ordre de 0.67-3.4%, 0.5-1.4% et 5-6.4%, respectivement (**Makkar et Becker, 1997 ; Richter et al., 2003 ; Siddhuraju et Becker, 2003 ; Tchiégang et Kitikil, 2004**).

Des études faites sur l'écorce de tige et les fleurs de *Moringa oleifera* ont indiqué la présence des stérols, des glycosides, des alcaloïdes, des triterpénoïdes, des flavonoïdes, des anthraquinones, des caroténoïdes et des tannins ce qui affirme le potentiel antioxydant de cette plante (**Kumbhare et al., 2012 ; Alhakmani et al., 2013**).

Les graines de *Moringa oleifera* sont oléagineuses et renferment 42% d'huile dont le profil d'acides gras comporte 70% d'acide oléique, une valeur proche de celle de l'huile d'olive (72%). Les teneurs en acides gras saturés et insaturés sont respectivement 13% et 82%, et celle en acides gras libres varie de 0,5 à 3% (**Foidl et al., 2001**).

Cette similitude en composition chimique avec l'huile d'olive en fait que l'huile de *Moringa* présente les mêmes avantages que celle d'olive pour la santé (**Creighton, 2001; Saint Sauveur et Armelle, 2001**).

## 1. Généralités sur les PGPRs

Le terme PGPR ; provenant de l'anglais « Plant Growth Promoting Rhizobacteria » ; désigne les bactéries qui exercent un effet bénéfique sur la croissance et le développement des plantes par différents moyens. Généralement, elles sont des souches très compétitives capables de coloniser le système racinaire des plantes riches en éléments nutritifs. Leur abondance dans le sol s'explique par leur multiplication rapide et leur capacité à utiliser une grande variété de substrats comme source d'énergie et d'éléments nutritifs.

Les PGPRs favorisent la croissance des plantes par des mécanismes directs et/ou indirects et forment un groupe hétérogène de bactéries dont les genres les plus étudiés sont: *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Enterobacter* , *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* et *Rhizobium* (Kloepper et al., 1999 , Barraquio et al., 2000 ; Ahmad et al., 2008 ; Wang et al., 2014)

## 2. Interactions plantes-PGPRs

### 2.1. Promotion de la croissance de l'hôte

Certaines souches de PGPR des genres *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Rhodobacter*, *Azospirillum* ont été décrites pour leur effet direct positif sur la croissance et la production des plantes (légumes, pomme, citron, myrtille, mûre, abricot, framboise, betterave à sucre...). Les PGPRs peuvent favoriser la croissance des plantes hôtes par divers mécanismes tels que la fixation d'azote (N<sub>2</sub>), la solubilisation d'oligoéléments tels que le phosphate (P) (Cakmakci et al. 2006; Orhan et al. 2006), l'inhibition de la synthèse d'éthylène par la plante, la synthèse des phytohormones ou de vitamines (Dobbelaere et al. 2003), et en diminuant la toxicité des métaux lourds (Burd et al. 1998; Whipps 2001).

### 2.2. Renforcement de la capacité défensive de l'hôte

Certaines souches de PGPR peuvent protéger les plantes d'une façon indirecte par la stimulation de mécanismes de défense inductibles dans la plante, ce qui peut rendre l'hôte beaucoup plus résistant à l'agression future par des agents pathogènes (Van Loon et al. 1998; Pieterse, CMJ. et al. 2002).

### 3. Mécanismes impliqués dans la stimulation de la croissance des plantes par les PGPRs

Les PGPRs s'affectent la santé des plantes et la productivité par une variété de mécanismes directes et indirectes.

#### 3.1. Les mécanismes directs

Les bactéries PGPR facilitent la croissance des plantes directement en aidant à l'acquisition des ressources (azote, phosphore et minéraux essentiels) ou par modulation des niveaux d'hormone végétales.

##### 3.1.1. Fixation d'azote

L'azote est souvent considéré comme un facteur limitant de la croissance des plants. La forme gazeuse ( $N_2$ ) est la plus répondeur de cet élément (78% d'air sec), mais cette forme est inaccessible aux plantes où aucune espèce végétale n'est capable de fixer l'azote atmosphérique et de l'utiliser directement pour sa croissance (**Pujic et Normand, 2009 ; Arora et al., 2012**). Cependant, les PGPRs ont la capacité de fixer le  $N_2$  au sol en le rendant ainsi assimilable par les plantes. Les espèces les plus connus pour leur rôle de stimulation des plantes grâce à leur capacité de fixer l'azote atmosphérique sont : *Azoarcus* sp., *Burkholderia* sp., *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum* sp., *Azotobacter*, *Paenibacillus* et *Azospirillum brasilense*, qui transforment l'azote atmosphérique en ammoniac en utilisant un système enzymatique complexe connu sous le nom de la nitrogénase (**Weyens et al., 2010 ; Arora et al., 2012**).

##### 3.1.2. Solubilisation du phosphore

Le phosphore constitue l'élément le plus important après l'azote, c'est un nutriment vital pour la croissance et la productivité des cultures (La photosynthèse, le transfert d'énergie, biosynthèse macromoléculaire et la respiration). Les plantes ne sont capables que d'absorber les formes solubles mono- et dibasiques du phosphore. Par ailleurs, les microorganismes solubilisant le phosphate sont abondants dans le sol et dans la rhizosphère de la plupart des plantes, ils convertissent les phosphates insolubles en forme soluble, en libérant le phosphate lié par solubilisation et minéralisation, et ceci est réalisé grâce à l'acidification, la chélation et la production d'acides organiques tels que l'acide gluconique.

Les espèces appartenant aux genres bactériens comme : *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodococcus* et *Serratia* ont la capacité de solubiliser le phosphate dans le sol (Arora et al., 2012 ; Bhattacharyya et al., 2012 ; Gupta et al., 2015).

### 3.1.3. La production de sidérophores

Le fer est l'un des oligoéléments les plus importants pour la croissance microbienne, il agit comme un régulateur global de nombreux processus cellulaires, métaboliques et biosynthétiques. Dans des conditions de carence en fer, les bactéries aérobies produisent des métabolites secondaires appelés sidérophores. Bien que les champignons phytopathogènes synthétisent des sidérophores, ceux-ci ont généralement une faible affinité pour le fer par rapport à ceux produits par les PGPRs (Schippers et al., 1987 ; Briat, 1992; Ratul, et al., 2012). Les sidérophores fixent le fer ferrique ( $Fe^{3+}$ ) et le transforment en sa forme soluble qui est le fer ferreux ( $Fe^{2+}$ ).

### 3.1.4. La production des phytohormones

Il existe deux sources de phytohormones naturellement disponibles pour les plantes : production endogène par les tissus de la plante et exogène par des micro-organismes associés. Les PGPRs produisent différentes phytohormones comme : l'AIA (Acide indole acétique : auxines), l'acide gibbérellique et les cytokinines. Ce sont des petites molécules de signal produites en très faible concentration influençant les processus biochimiques, physiologiques et morphologiques dans les plantes (Han et al., 2005 ; Baca et Elmerich, 2007 ; Kloepper et al., 2007 ; Martínez-Viveros et al., 2010).

L'auxine est la plus importante des hormones de croissance des plantes. Elle est impliquée dans plusieurs processus, y compris la division cellulaire, la différenciation et la formation de faisceaux vasculaires, et elle a un effet positif sur l'initiation de la croissance et l'élongation des racinaires. Elle augmente également la ramification des racines et améliore l'absorption de minéraux et d'eau (Paten et Glick, 2002 ; Ahmad et Kibret, 2013 ; Gupta et al., 2015).

Les cytokinines et les gibbérellines sont aussi des phytohormones impliquées dans la modification de la morphologie des plantes et la stimulation de la croissance de la partie aérienne. Les Gibbérellines ou acides gibbérelliques forment le groupe de phytohormones impliqué dans la modification de la morphologie de la plante par l'extension des tissus, en



particulier de la tige. Ils affectent les processus de reproduction dans une large variété de plantes et retarde la sénescence des fruits et des feuilles (**Van Loon, 2007**).

L'éthylène et un régulateur impliqué dans la stimulation de la croissance des plantes à des concentrations modérées, mais dans les conditions du stress (salinité, pollution par les métaux lourds...etc.), la plante augmente la sécrétion de l'éthylène, ce qui induit l'inhibition de la croissance des racines (**Saleem et al., 2007**). Les PGPRs tel que les *Pseudomonas*, produisent de l'ACC désaminase, une enzyme qui dégrade l'éthylène diminuant par conséquent la toxicité de cet élément sur la plante.

### **3.2. Les mécanismes indirects**

Les rhizobactéries jouent un rôle majeur dans la lutte contre ces agents, où un large spectre des maladies bactériennes, fongiques et parasitaires est supprimé via la production d'antibiotiques, compétition (pour les éléments nutritifs, l'oxygène et l'espace), l'activation de la résistance systémique induite (ISR) et la production des enzymes (chitinase, protéase, lipase), cette protection est nommée biocontrôle.

#### **3.2.1. La compétition**

La compétition est un mécanisme biologique utilisé par les PGPRs pour éliminer les phytopathogènes. Cette compétition entre deux ou plusieurs microorganismes concerne soit les éléments nutritifs, l'espace ou les autres facteurs environnementaux qui deviennent limitatifs pour leur croissance (**Dommergues et Mangenot, 1970 ; Shameer et Prasad, 2017**).

Un agent antagoniste efficace doit être un colonisateur agressif capable d'utiliser rapidement et efficacement les éléments nutritifs présents en faible concentration dans le sol. La suppression des effets néfastes des agents pathogènes par les bactéries bénéfiques est influencée par la densité et l'intensité de l'activité des rhizobactéries (**Jijakli, 2003 ; Podile et Kishore, 2006**).

#### **3.2.2. L'Antibiose**

La production d'antibiotiques est l'un des mécanismes utilisés par les PGPRs dans la prévention des attaques pathogènes et dans la suppression des maladies d'origine biotique. C'est le mode d'action le plus étudié chez les agents de la lutte biologique (**Jijakli, 2003**). Il consiste à produire des antibiotiques efficaces contre l'agent pathogène par l'agent

antagoniste. Ces molécules bioactives sont des métabolites secondaires à faible poids moléculaire tel que l'amphicine, le 2,4-diacétylphloroglucinol (DAPG), cyanure d'hydrogène (HCN) et la phénazine qui agissent comme des facteurs contre l'attaque des pathogènes (**Corbaz, 1990 ; Babalola, 2010 ; Shameer et Prasad, 2017**). Certains métabolites interférents avec la germination, la croissance mycélienne et/ou la sporulation des agents phytopathogènes, ces molécules bioactives vont ralentir ou arrêter la croissance de l'agent pathogène (**Jijakli, 2003**).

### 3.2.3. Le parasitisme

Ce mécanisme de lutte consiste en une interaction directe entre deux microorganismes où les tissus vivants de l'un constituent une base nutritive pour l'autre (**Helluy et Holmes, 2005**). Il implique l'invasion des cellules de l'agent pathogène par le microorganisme antagoniste. L'agent antagoniste utilisera des enzymes lytiques telles que les glucanases, les chitinases et les lysozymes pour dégrader les parois de l'agent pathogène (**Corbaz, 1990**).

### 3.2.4. La Résistance systémique induite « ISR »

L'expression de mécanismes de défense systémique chez les plantes peut être initiée suite à l'interaction avec certaines rhizobactéries non pathogènes lors d'un phénomène appelé ISR (Induced Systemic Resistance). Ce mécanisme rend la plante plus résistante contre d'éventuelle attaque des agents pathogènes (virus, bactéries et champignons). De nombreux composants bactériens tel que les Lipopolysaccharides (LPS), sidérophores, lipopeptides cycliques, peuvent induire une résistance systémique des plantes (**Gupta et al., 2015 ; Shameer et Prasad, 2017**).

### 3.2.5. La Production d'enzymes

L'amélioration de la croissance par l'activité enzymatique est un mécanisme utilisé par les PGPRs, ces enzymes jouent un rôle clé dans le processus global de la décomposition de la matière organique dans les écosystèmes en protégeant ainsi les plantes des stress biotiques et abiotiques. Les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes peuvent produire certaines enzymes telles que les chitinases, lipases, phosphatases, protéases, etc. (**Nadeem et al., 2013**).



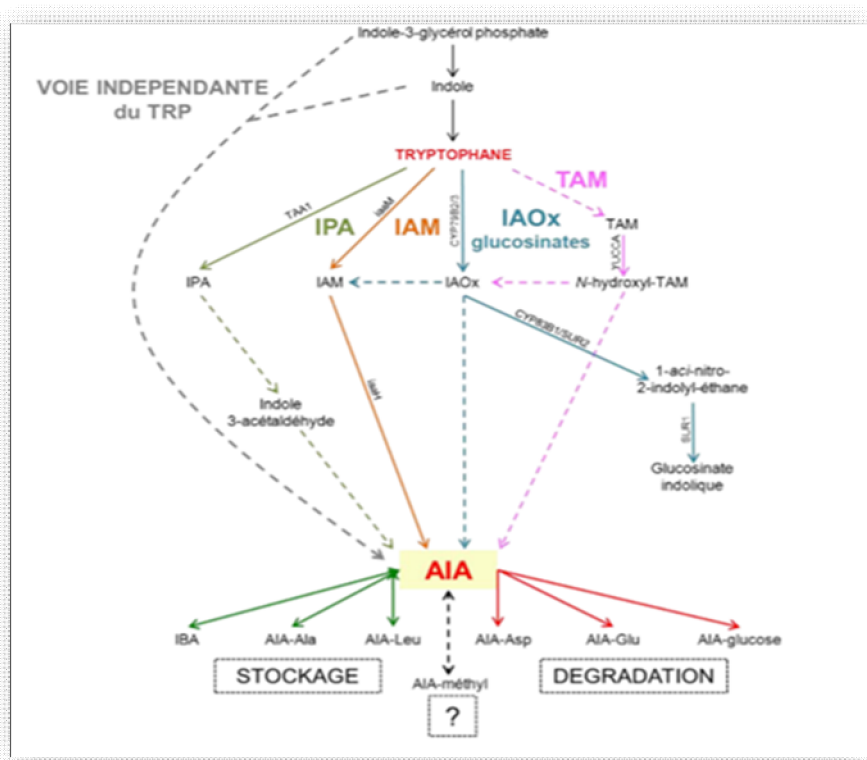
## 1. Généralités sur l'auxine

L'auxine est la première hormone végétale à avoir été décrite. Elle est semblable impliquée dans tous les aspects de la croissance et du développement de la plante. En fait, sous le nom "auxine", sont regroupées un ensemble de molécules de petite taille et de structure relativement simple. L'auxine naturelle la plus abondante est l'acide indole-3-acétique (AIA). Mais d'autres auxines ont été décrites : des auxines naturelles comme l'acide indole-3-butyrique 5 (AIB) (**Epstein et Ludwig-Muller, 1993**); ou des composés chimiques artificiels ayant une activité auxinique comme l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D) ou l'acide naphthalène acétique (ANA). Les réponses physiologiques à l'auxine sont multiples. L'hormone est notamment impliquée dans la croissance différentielle des tissus lors de différents tropismes et notamment dans le gravitropisme racinaire et le phototropisme de la tige. Elle régule également l'élongation des tissus, la différenciation des tissus vasculaires, l'établissement de la dominance apicale, l'initiation des racines latérales et des primordia dans l'apex caulinaire (**Davies, 1995**). Au niveau cellulaire, l'auxine régule la division, l'allongement et la différenciation, avec des différences dans la sensibilité et la nature de la réponse à l'auxine selon les tissus.

La quantité intracellulaire de l'auxine est régulée par une combinaison de quatre processus : la biosynthèse, la conjugaison, la dégradation et le transport. La biosynthèse de l'AIA semble assurée par plusieurs voies parallèles. L'auxine peut être conjuguée de manière réversible (**Davies, 1995**). Il semble que, sous sa forme conjuguée, elle ne soit pas active et qu'il puisse donc exister des réservoirs d'auxine inactive, les conjugués pouvant être hydrolysés si nécessaire. La dégradation peut se voir soit directement par une décarboxylation oxydative, soit par l'intermédiaire des conjugués. La variété et la complexité des mécanismes de biosynthèse rendent difficile l'étude des lieux de synthèse de l'auxine. L'hypothèse majoritaire place la production de l'auxine principalement dans l'apex caulinaire et les jeunes feuilles. L'auxine serait ensuite transportée dans le reste de la plante (**Reinhardt et al., 2003**).

## 2. La biosynthèse de l'auxine

La biosynthèse de l'auxine est complexe car il existe cinq voies différentes menant à la production de novo des auxines, quatre dépendantes du tryptophane et une indépendante du tryptophane (**Figure 6**).



**Figure 6 :** Voies de biosynthèse de l'acide 3-indole acétique (AIA) chez les plantes et les microorganismes ainsi que les différents modes de conjugaison (Woodwark et al, 2005 et Zhao,2010).

Les flèches pleines dont la figure 6 représentent les étapes de la voie de synthèse dont les enzymes sont connues alors que les flèches en pointillés représentent des étapes dont les enzymes ne sont pas encore identifiées.

La voie TAM (en rose dans la figure 6) fait intervenir un tryptophane décarboxylase qui convertit le tryptophane en tryptamine (TAM) et les enzymes YUCCA, qui portent une activité.

La voie IAOx et glucosinates (bleu) fait intervenir trois enzymes connues. Ainsi, deux isoformes des cytochromes P450 monooxygénases (CYP79B2 et CYP79B3) oxydent le tryptophane en IAOx alors que le cytochrome P450 monooxygénase, CYP83B1, codé par le gène SUR2 (SUPERROOT2) synthétise la molécule de 1-aci-nitro-2-indolyl-éthane transformée par SUR1 en glucosinolate indolique. Les Flavines monooxygénase convertissent, vraisemblablement, la tryptamine en N-hydroxyl tryptamine qui deviendra l'acide 3 indole acétique par l'intermédiaire IAOx ou d'autres intermédiaires.

La voie IPA (vert) est composée d'une enzyme tryptophane aminotransférase, TAA1, qui convertit le tryptophane en IPA. Puis, l'IPA décarboxylase catalyse la conversion de l'IPA en indole-3acétaldéhyde qui sera lui-même transformé en AIA.

La voie bactérienne IAM (orange) de la biosynthèse d'IAA et la voie indépendante du tryptophane (en gris) ne sont pas très bien étudiées.

### 3. Conjugaison et dégradation de l'auxine

La conjugaison de l'auxine est nécessaire pour la régulation de son homéostasie, et permet aussi de créer des réserves d'auxine. Cela est notamment retrouvé dans les graines où de nombreux conjugués auxiniques sont présents afin d'être utilisés après hydrolyse pour le développement de l'embryon (**Bajguz and Piotrowska, 2009**). Les auxines conjuguées peuvent être réparties en trois groupes en fonction des molécules conjuguées : les conjugués esters (1 à 10% de l'auxine de la plante), les amides conjugués à des acides aminés (90%) et les peptides et protéines.

Les conjugués esters permettent de lier des sucres, tels que l'AIA-glucose et l'AIA-myo-inositol. Ces composés sont catalysés par des UDP glucose transférases qui sont retrouvés dans les monocotylédones et les dicotylédones (**Jackson et al. 2001; Ludwig-Muller 2011**).

Les acides aminés sont conjugués à l'auxine via des enzymes acylamino-transférases codées par des gènes de la famille des gènes GH3 initialement identifiés comme étant des gènes induits rapidement en réponse à l'auxine. Parmi les différentes conjugaisons d'acides aminés, certaines sont réversibles et permettent la libération de l'auxine grâce à des aminohydrolases acides. Cela est notamment le cas pour les conjugaisons avec la leucine, l'alanine et la phénylalanine. D'autres composés ne sont pas hydrolysables et sont considérés comme des intermédiaires de dégradation de l'auxine. C'est le cas de l'aspartate et du glutamate. Enfin, certains conjugués avec des acides aminés comme la valine et la phénylalanine peuvent être oxydés et rendent ainsi l'auxine inactive. La réaction d'oxydation ne semble pas être réversible, faisant ainsi de ces composés des produits de dégradation de l'auxine (**Ostin et al., 1998; Kai et al., 2007**). De plus, l'acide 2-oxoindole-3-acétique (OxIAA) a été montré comme étant un produit de la dégradation de l'auxine puisque ce composé s'accumule rapidement en une dizaine de minutes lorsque l'on applique de l'auxine exogène (**Ostin et al., 1998; Novák et al., 2012**). Néanmoins, les mécanismes de dégradation sont encore assez méconnus.

#### 4. Transport d'auxine

Bien que l'AIA puisse être synthétisé dans de nombreux tissus, le transport de l'auxine est complexe et finement régulé. L'auxine a été découverte au niveau du méristème apical laissant penser à une forte production dans cette structure. En effet, il apparaît que l'auxine est accumulée dans les territoires présomptifs des primordia de feuilles dans le méristème apical.

Une caractéristique spécifique de l'auxine est sa capacité à migrer entre les cellules d'une manière directionnelle. Ainsi, dans les méristèmes apicaux, l'AIA est transportée de façon basipète (de l'apex vers la base) alors qu'au niveau des racines, dans le cylindre central, il y a un transport acropète et dans l'épiderme, un transport basipète (**Woodward and Bartel 2005**).

Ce processus de distribution de l'auxine de manière directionnelle est crucial pour le développement de la plante. Il existe deux grandes voies participant à la distribution de l'auxine. La première est rapide et permet un transport longue-distance entre les tissus sources et les tissus-puits. En général, les tissus-sources sont les tissus jeunes en formation au niveau du méristème, la distribution s'effectue grâce au phloème de manière passive afin de décharger l'auxine dans les tissus-puits. La deuxième voie de distribution de l'auxine est plus lente et concerne des trajets plus courts, de cellule à cellule en faisant intervenir des protéines de transport. Cette voie de transport est polarisée et strictement contrôlée (**Woodward and Bartel 2005**).

#### 5. Inhibiteurs du transport d'auxine

Sous certaines conditions environnementales, la plante est susceptible à un déséquilibre hormonal qui provoque l'inhibition de certaines phytohormones. Le transport polaire de l'auxine peut être bloqué par plusieurs inhibiteurs qui sont de différentes origines. Les inhibiteurs du transport des phytohormones peuvent être des substances végétales endogènes, des composés indigènes d'origine non végétale ou des drogues entièrement synthétiques. Ils peuvent agir soit de manière non compétitive, ou de manière compétitive comme c'est le cas des analogues synthétiques d'une phytohormone donnée qui sont principalement (mais pas toujours) physiologiquement actifs en tant que phytohormone native elle-même (**Simon et al. 2013**).

## 5.1 Inhibiteurs de plantes indigènes

### 5.1.1 Spécifique pour les transporteurs d'afflux d'auxine

Le seul inhibiteur connu de l'afflux de l'auxine signalé jusqu'ici dans les plantes est la chromosaponine I (CSI), une saponine  $\gamma$ -pyronyl-triterpénoïde isolée du pois (*Pisum sativum* L. cv Alaska) (Tsurumi et al. 1992). Le CSI perturbe la réponse gravitropique de plantes de type sauvage et bloque l'inhibition de la croissance primaire des racines par l'auxine native (acide indole-3-acétique, IAA).

### 5.1.2 Spécifique pour les transporteurs d'efflux d'auxine

La voie de biosynthèse des phénylpropanoïdes semble être une source notable de composés natifs qui interfèrent avec le transport de l'auxine et en particulier avec son efflux cellulaire. La voie susmentionnée conduit à un grand nombre de métabolites secondaires de plantes, notamment des flavonoïdes, des tanins, des coumarines, etc. (Vogt 2010).

## 5.2 Inhibiteurs synthétiques

### 5.2.1 Spécifique pour les transporteurs d'afflux d'auxine

Les inhibiteurs synthétiques de l'afflux d'auxine: l'acide 1-naphtoxyacétique (1-NOA), l'acide 2-naphtoxyacétique (2-NOA) et l'acide 3-chloro-4-hydroxyphénylacétique (CHPAA) - ont été dérivés sur la base de similitudes structurales avec le produit de synthèse ; l'analogue de l'auxine 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D) qui est un bon «substrat» des transporteurs d'afflux d'auxines ou avec l'acide naphthalène-2-acétique (2-NAA) capable d'inhiber les vecteurs d'afflux d'auxines. (Imhoff et al. 2000).

Leur similarité structurale avec les auxines physiologiquement actives provient du fragment aromatique substitué par une chaîne latérale acide avec un groupe carboxyle, qui est supposé se lier spécifiquement à une région particulière du récepteur auxine putatif (Edgerton et al. 1994).

### 5.2.2 Spécifique pour les transporteurs d'efflux d'auxine

Le groupe d'inhibiteurs synthétiques de l'efflux d'auxine induite par les supports comprend les phytotropines telles que la NPA, l'acide 2- (1-pyrénoyle) benzoïque (PBA) ou le cyclopropyl propane dione (CPD), les morphactines (HFCA et ses dérivés), le TIBA, les alcoxyauxines et les composés de type 3,3a-dihydro-2- (p-méthoxyphényl) -8H-pyrazolo [5,1-a] isoindol-8-one (DPX-1840).



Structurellement, les phytotropines partagent un groupe 2-carboxyphényle lié à un autre système aromatique. En règle générale, ils inhibent le transport de l'auxine polaire, ce qui entraîne une réponse dose-réponse biphasique à l'inhibition de la croissance des racines et donc à une perte de gravitropisme (**Katekar and Geissler 1980**).

# **Matériel et méthodes**

## 1. Matériel

### 1.1. Matériel végétal

Les graines de la plante étudiée ; *Moringa oleifera* ; ont été récoltées du sud algérien durant la période : Aout-Septembre 2018 (**Figure 07**).



**Figure 07 : Graines de *Moringa Oleifera*.(originaires)**

### 1.2. Souche bactérienne

La bactérie PGPR utilisée dans cette étude est une *Bacillus toyonensis* souche Bt04 à un numéro d'accèsion: KU321234. Elle a été isolée à partir de la rhizosphère du palmier dattier à Bechar, Algérie, et identifiée à l'aide de la technique de séquençage de l'ARNr 16S (**Rahmoune et al. 2017**).

La souche bactérienne a subi une série de multiplication (3 fois), sur un milieu King B solide afin d'assurer leurs pureté.

## 2. Méthodes

### 2.1. Mise en germination des graines

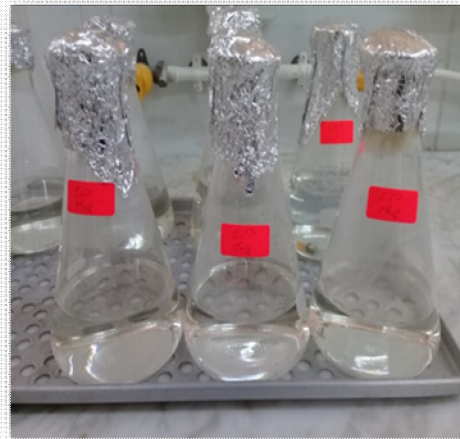
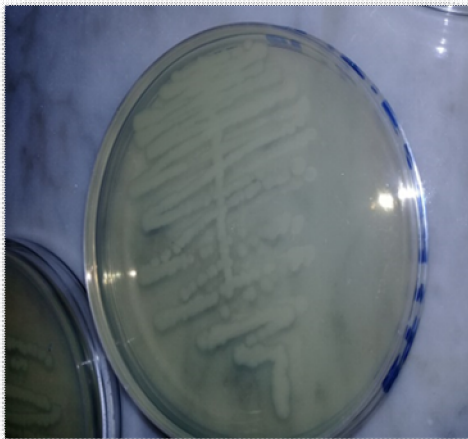
60 graines de *Moringa Oleifra* ont été désinfectées par immersion dans l'eau de javel diluée pendant 5 min, puis rincées trois fois à l'eau distillée. Chaque 10 graines ont été ensuite déposées sur une feuille de papier filtre humidifiée, enroulée et mis dans des tasses contenant de l'eau distillée. Les graines ont été mise en germination dans une chambre de culture pendant 28 jours à une température de 26°C, et une photopériode 16h/8h (jour/nuit respectivement) (**figure 8**).



**Figure 8 : La mise en germination des graines. (Originaire)**

## **2.2. Préparation de l'inoculum bactérien**

Les bactéries ont été cultivées sur un milieu de culture King B solide (**Annexe 1**) sous une température de 28°C. Après 24h, les bactéries ont été raclées dans l'eau péptonée (**Annexe 2**), et remises en incubation à 28°C sous agitation à 120 tpm (**Figure 9**). Après 24 h d'incubation, nous avons gardé une densité optique de l'inoculum bactérien de l'ordre de 1,00 à l'aide d'une lecture spectrophotométrique à 630 nm de longueur d'onde.



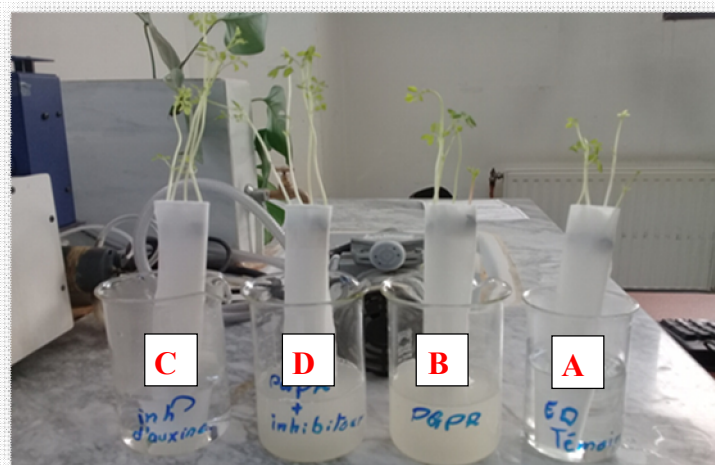
**Figure 9: Les milieux de culture de la bactérie (King B solide et eau péptonée)**

### 2.3. Application des traitements et mise en place de l'essai

Afin de clarifier l'effet de l'inhibition du transport d'auxine sur la formation et le développement des tissus primaires et secondaires des tiges et racines des Moringa, une concentration de 150  $\mu\text{M}$  de l'inhibiteur du transport afflux de l'AIA « 1-NOA » (**Annexe 3**) a été appliquée en présence/ou absence de Bt04 (**Figure 10**). Les traitements appliqués sont comme mentionner ci-dessous :

- A : Plants témoins
- B : Plants traités par Bt04
- C : Plants traités par 1-NOA
- D : Plants traités par Bt04 et 1-NOA

Pour chaque traitement, 04 plants ont été cultivé dans de l'eau distillée et incubés à une température de 26°C pendant 07 jours.



**Figure 10: Application des traitements.**

### 2.4. Paramètres mesurés

#### 2.4.1. Dosage des sucres

Les sucres de la partie aérienne et racinaires ont été déterminés selon la méthode de (**Dubois et al. 1956**) dont le principe repose sur la réaction suivante : l'acide sulfurique concentré provoque, à chaud, le départ de plusieurs molécules d'eau à partir des oses. Cette déshydratation s'accompagne par la formation d'un Hydroxy-méthyl furfural (HMF) dans le cas d'hexose et d'un furfural dans le cas d'un pentose. Ces composés se condensent avec le

phénol pour donner des complexes colorés (jaune-orangé). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des oses. La densité optique est mesurée à 485nm à l'aide d'un spectrophotomètre (**Annexe 4**).



**Figure 11 : Dosage des sucres**

#### 2.4.2. Observation des coupes anatomiques

Après 7 jours de traitement, nous avons pris les parties situées à 2 cm au-dessus et au-dessous du collet (échantillonnage des tiges et des racines). Les observations ont été réalisées sur des coupes de racines, tiges issues à l'aide d'un microtome de type LEICA 2145 à une épaisseur de  $7\ \mu\text{m}$  (**Figure 12**). Les coupes obtenues ont été soumises à plusieurs protocoles afin d'obtenir des coupes histologiques pour des observations microscopiques (**Annexe 5**). Les observations sont réalisées à l'aide d'un microscope doté d'un micromètre oculaire.



**Figure 12: Microtome Leica**

### **2.4.3. Les analyse statistique**

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel STATGRAPHICS Centurion et l'Excel version 2013, en utilisant:

- La procédure d'analyses de la variance à un facteur, avec éventuellement la comparaison des moyennes selon le test de LSD de Fisher (au seuil de 5 %).
- Les discriminations des groupes homogènes par rapport à l'effet d'un facteur ont été également réalisées avec un test de LSD de Fisher (au seuil de 5 %).
- Les bars d'erreur sur les figures représentent l'écart type.

# **Résultats et discussion**



## 1. Effet des traitements sur la croissance du *Moringa oleifera*

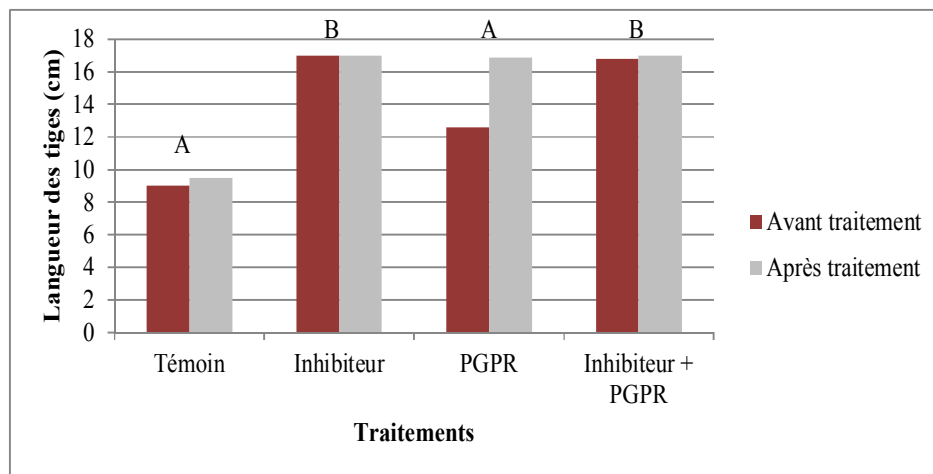
Cette partie dans notre travail, a pour but de vérifier et de confirmer l'effet des traitements par l'inhibiteur d'auxine (1-NOA) et par la souche Bt04 sur la croissance et le développement des plantules âgées de *Moringa (Moringa oleifera)*.

### 1.1. Longueur des tiges

Les résultats obtenus montrent que les traitements affectent de manière significative la longueur des tiges des jeunes plantules de *Moringa*.

07 jours après application des traitements, les valeurs les plus élevées ont été obtenues par les traitements PGPR et le témoin qui ont montré des longueurs de 9,5 cm et 16 cm, respectivement. Alors que, les traitements d'inhibiteur d'auxine et PGPR+NAO ont présenté une longueur stable (les mêmes longueurs obtenus avant et après application des traitements **(figure 13)**).

L'analyse de la variance à la fin de la culture a révélé un effet hautement significatif des traitements sur la longueur des racines **(Annexe 6)**.

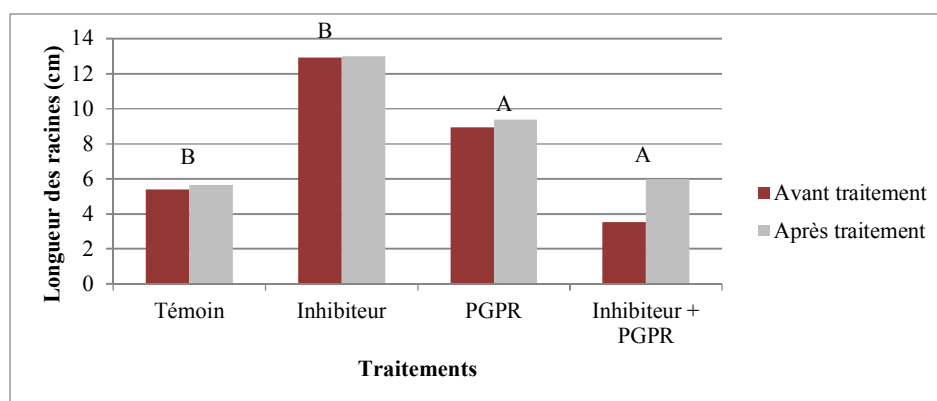


**Figure 13 : Comparaison histométrique de l'évolution de la longueur moyenne des tiges avant et après application des traitements.**

## 1.2. Longueur des racines

Les traitements ont affectée de manière significative la hauteur des racines du Moringa par rapport au témoin. La valeur la plus élevée a été obtenue par le traitement PGPR qui a augmenté la longueur des racines de la plante de 71,42% par rapport aux valeurs de départ. De même, les traitements PGPR+NAO, NAO et témoin ont enregistré des valeurs supérieures par rapport aux valeurs de départ, par des augmentations de départ de 9,30%, 5,41 % et 3,84%, respectivement (**figure 14**).

L'analyse de la variance à la fin de la culture a révélé un effet hautement significatif des traitements sur la longueur des racines (**Annexe 7**).



**Figure 14: Comparaison histométrique de l'évolution de la longueur moyenne des racines avant et après application des traitements.**

## 2. Effet des traitements sur la teneur en sucre

### 2.1. Dans la partie aérienne

D'après la (figure 15) on remarque que la valeur la plus élevée, de la teneur en sucres totaux, est notée chez le traitement 'PGPR+NAO', avec une valeur de 1,42 mg/ml. Suivie par le traitement PGPR avec une valeur de 1,30 mg/ml (Annexe 8). Soit des augmentations de 57,77 % et 34,02 %, respectivement, par rapport au témoin.

### 2.2. Dans la partie racinaire

La comparaison des teneurs en sucres obtenues entre les différents traitements étudiés a montré que le taux du sucre augmente chez les traitements '1-NAO' et PGPR+1-NAO, considérablement, par rapport au témoin. Avec des teneurs enregistrés de 0,52 mg/ml, 0,50 mg/ml et 0,14 mg/ml (Annexe 8) respectivement (figure 15).

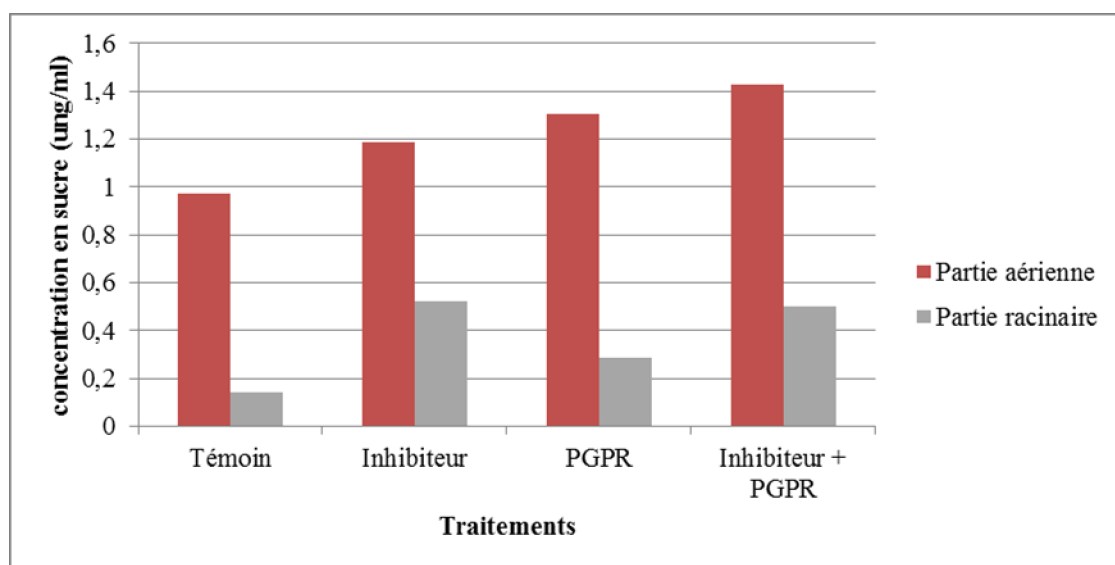


Figure 15: Comparaison des teneurs en sucres dans les parties aériennes et racinaires.

### 3. Etude anatomique

#### 3.1. Etude anatomique de la tige de *Moringa oleifera*

L'observation des coupes de tige de *Moringa oleifera* sous microscope permis d'identifier les tissus suivants :

➤ **L'écorce :**

- **L'épiderme (Tissu de revêtement) :** L'épiderme constitue la couche de cellules la plus externe recouvrant la plante, son importance pour la protection des tissus internes.

- **Le parenchyme (Tissu fondamental) :** Tissu constitué de cellules vivantes, vacuolisées, qui sont intimement lié aux activités physiologiques essentielles de la plante (photosynthèse et stockage des réserves).

- **Sclérenchyme (Tissus de soutien) :** Est un tissu soutien primaire forme de cellules mortes, à paroi secondaire entièrement lignifiée. Il assure la protection mécanique du végétal contre les agressions par les grains de sable, il est bien développé qui se colore en vert (par le vert d'iode) (DOUZET, 2007).

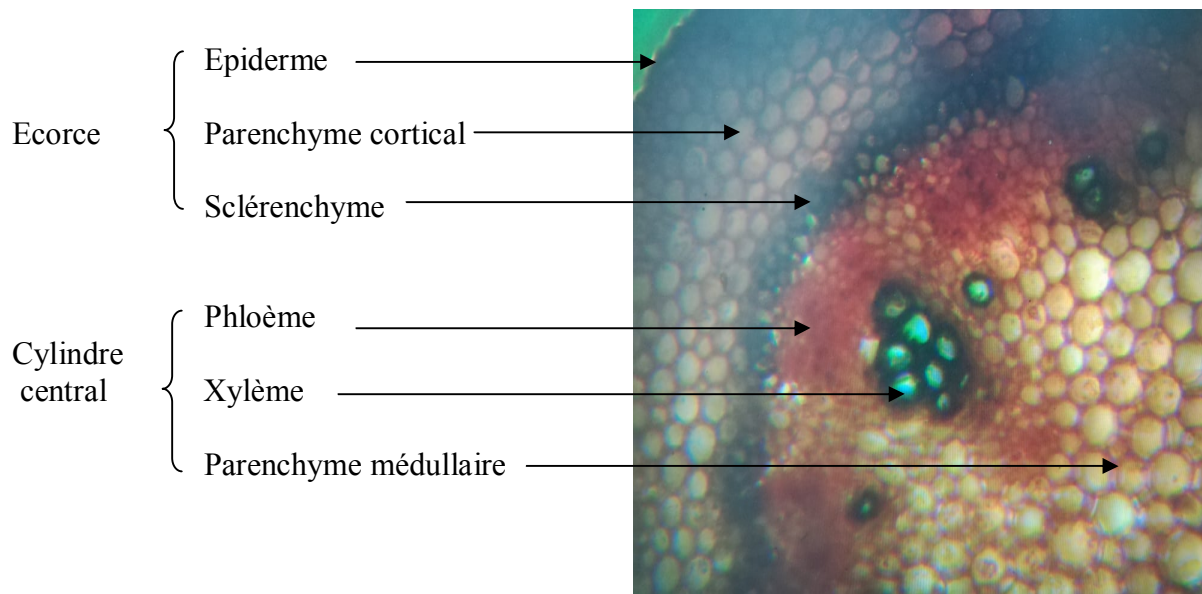
➤ **Le cylindre central :**

Chez les Angiospermes la circulation des sèves est assurée par : (Xylème et Phloème).

- **Xylème (Tissu criblé) :** (Du grec xylon =bois) contient trois types d'éléments :

- Fibres de type trachéide qui assurent le soutien.
- Des cellules de parenchyme et des vaisseaux qui assurent la conduction.
- Les cellules parenchymateuses bordent des vaisseaux assurent la sécrétion des ions dans le xylème.

- **Phloème (Tissu ligneux) :** Le phloème, ou liber, conduit la sève élaborée, qui est solution de substances organiques riches en glucides, des feuilles vers les autres organes (colorées en rose).



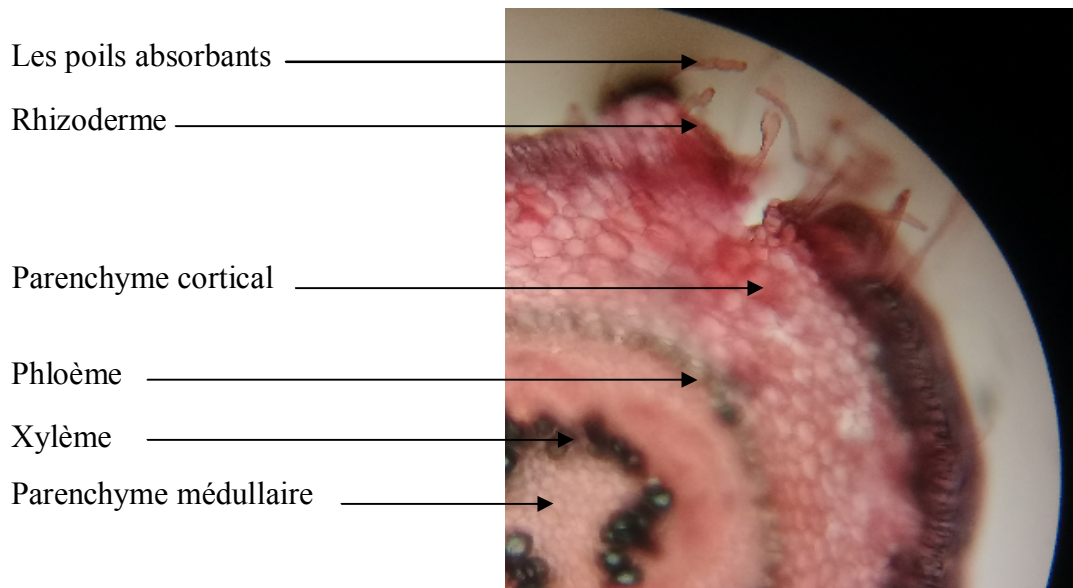
**Figure 16: Coupe histologique de la tige de *Moringa oleifera* (grossissement 10x10)**

### **3.2. Etude anatomique de la racine de *Moringa oleifera***

Sous le microscope optique, nous avons remarqué une symétrie axiale. On peut distinguer deux parties, l'écorce et le cylindre central.

- **Les poils absorbants** : ils forment un chevelu visible à l'œil nu très nombreux chez certaines espèces, ils offrent ainsi une surface de contact considérable avec la solution du sol.
- **Rhizoderme** : Tissus de revêtement de la racine se présentant sous forme de l'assise pilifère dans la zone d'absorption, ou d'une zone de cellules à parois subéreuses dans la partie plus ancienne.
- **Le parenchyme cortical** : est constitué des cellules à parois minces habituellement celluloseuses, méatiquées, disposées d'une manière anarchique, ce tissu est coloré en rose. **(DESTOVER, 2003).**
- **Le Xylème** : Le xylème conduit la sève brute, liquide contenant l'eau et les sels minéraux puisés dans le sol par les racines au niveau de l'assise pilifère, vers les feuilles où s'effectue la photosynthèse.
- **Le phloème** : Le phloème, ou liber, conduit la sève élaborée, solution de substances organiques riches en glucides, des feuilles vers les autres organes.

- **Le parenchyme médullaire:** des cellules arrondies occupant le centre de la tige avec la présence de méats bien visibles (DOUZET, 2007).



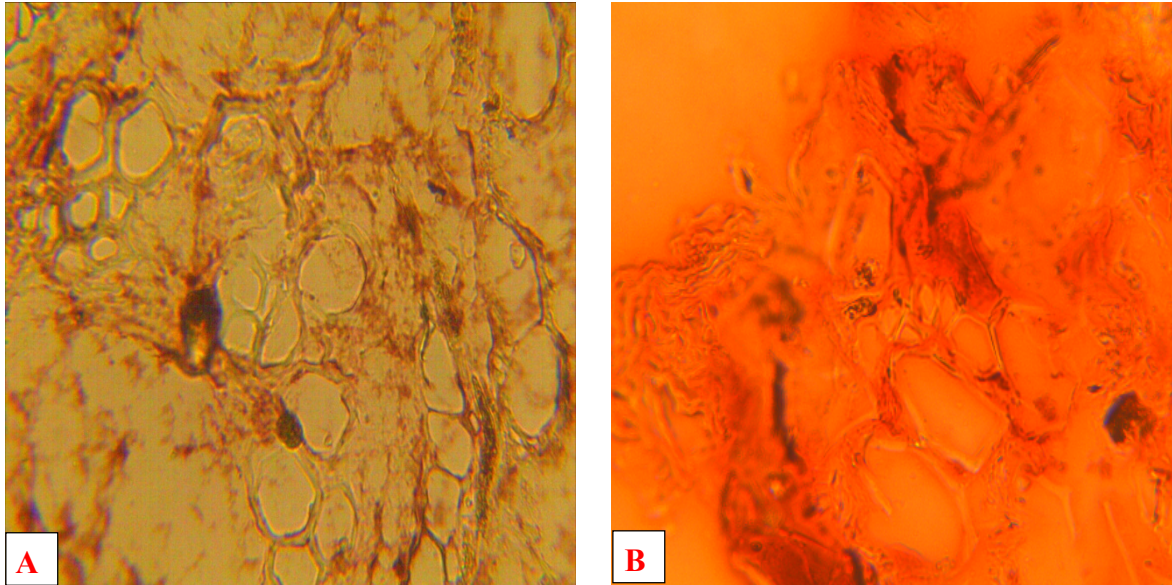
**Figure 17: Coupe histologique de la racine de *Moringa oleifera* (grossissement 10x10).**

#### **4. Effet des traitements sur la formation des tissus de *Moringa oleifera***

Cette partie de notre travail a pour but de vérifier l'effet des traitements appliqués sur l'architecture et la formation des tissus dans les racines et les tiges de Moringa.

##### **4.1. Dans les racines**

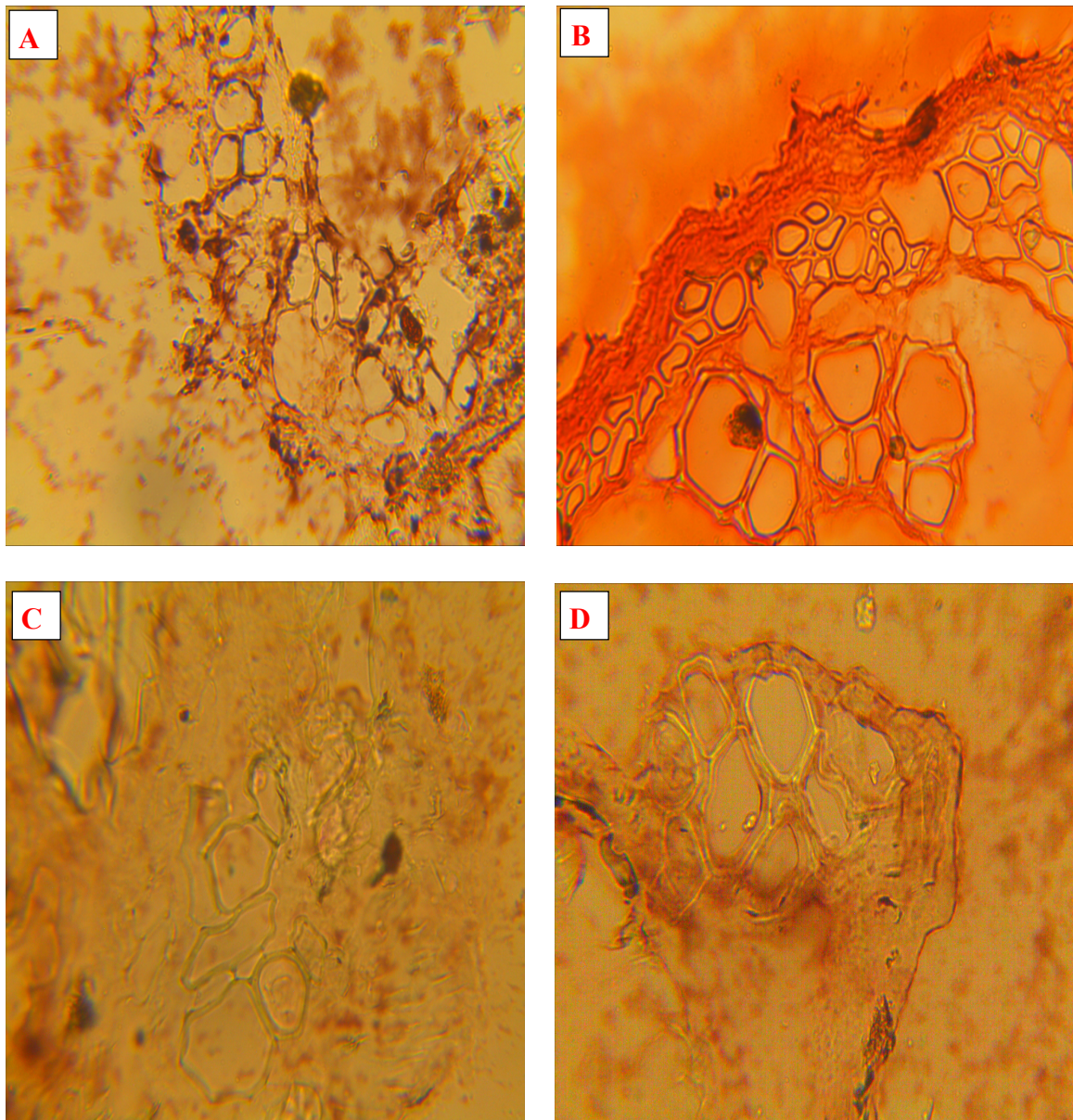
La figure 18 montre l'aspect des tissus conducteurs, après application des traitements par PGPR et par inhibiteur d'auxine. Dans le premier traitement, les cellules sont claires et bien structurées. Cependant, dans le deuxième traitement, ces tissus ne sont pas clairs et elles ont subi une déformation partielle.



**Figure 18** : Coupe histologique des vaisseaux conducteurs de la racine de *Moringa oleifera* (G 10x40) ; (A) : traitement par PGPR ; (B) : traitement par inhibiteur

#### 4.2. Dans les tiges

Les résultats obtenus ont montré que les traitements ont significativement affecté la structure et la formation des tissus dans la tige de la plante. Le traitement PGPR a permis d'améliorer la structure des vaisseaux conducteurs (**figure 19B**). Cependant, l'application de l'inhibiteur d'auxine a donné des tissus non clairs et déformés et de petite taille, par rapport au témoin ou bien aux autres traitements (**figure 19C**).



**Figure19** : Coupe histologique des vaisseaux conducteurs de la tige de *Moringa oleifera* (G 10x40) ; (A) : Témoin ; (B) traitement par PGPR ; (C) traitement par inhibiteur (D) traitement par inhibiteur + PGPR

### 5. Effet des traitements sur la histométrie de *Moringa oleifera*

Pour l'ensemble des traitements étudiés, nous avons mesuré l'épaisseur à l'aide d'un micromètre, de l'épaisseur de quelques tissus observés (on a basé sur les tissus conducteurs), au niveau de la tige et la racine de *Moringa oleifera*, à différents grossissements. 3 répétitions ont été faite pour chaque tissu de chaque traitement. Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants :



**Tableau 1** : Les mesures des tissus des racines de *Moringa* dans les quatre traitements (coupes transversales) en  $\mu\text{m}$  :

	Epiderme	parenchyme	Paroi du parenchyme	phloème	Paroi du phloème	Xylème	Paroi du Xylème
<b>Témoin</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Inhibiteur</b>	-	-	-	18.11	3.43	21.78	4.22
<b>PGPR</b>	5.66	23.83	2.68	9.19	4.97	22.26	4.61
<b>Inhibiteur + PGPR</b>	-	25.70	7.09	14.86	4.38	24.71	4.91

**Tableau 2** : Les mesures des tissus des tiges de *Moringa* dans les quatre traitements (coupes transversales) en  $\mu\text{m}$  :

	Epiderme	Parenchyme	Paroi du parenchyme	Phloème	Paroi du Phloème	Xylème	Paroi du Xylème
<b>Témoin</b>	-	-	-	5.72	1.16	16.64	2.38
<b>Inhibiteur</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>PGPR</b>	20.04	16.85	2.97	17.53	3.65	32.87	5.72
<b>Inhibiteur + PGPR</b>	-	-	-	14.31	4.97	32.70	6.01

En outre, des mesures sur les vaisseaux conducteurs dans les tiges de *Moringa* par des coupes longitudinales ont permis aussi de voir la différence entre les traitements appliqués surtout sur la formation des tissus conducteurs.

**Tableau 3** : Les mesures des vaisseaux conducteurs des tiges de *Moringa* dans les quatre traitements (coupes longitudinales) (**Annexe 09**) en  $\mu\text{m}$  :

	Vaisseaux conducteurs
Témoin	50.56
Inhibiteur	-
PGPR	40.46
Inhibiteur + PGPR	48.61

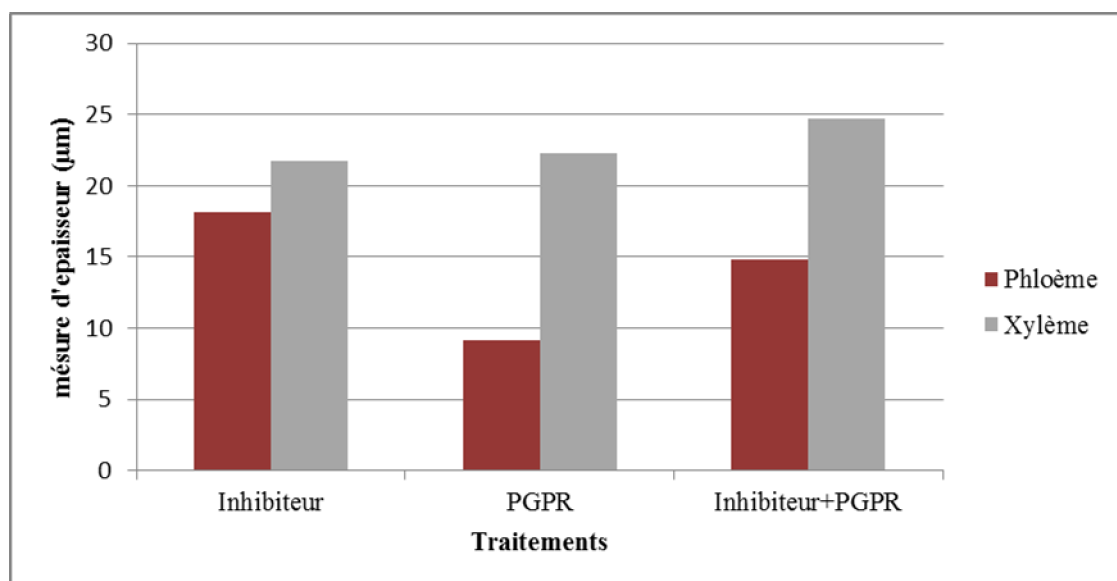
### 5.1. Interprétation des résultats et discussion

#### Histogrammes

Une comparaison histométrique entre les tissus d'étude a été réalisée à l'aide d'un histogramme pour chaque traitement :

#### 5.1.1. Au niveau des racines :

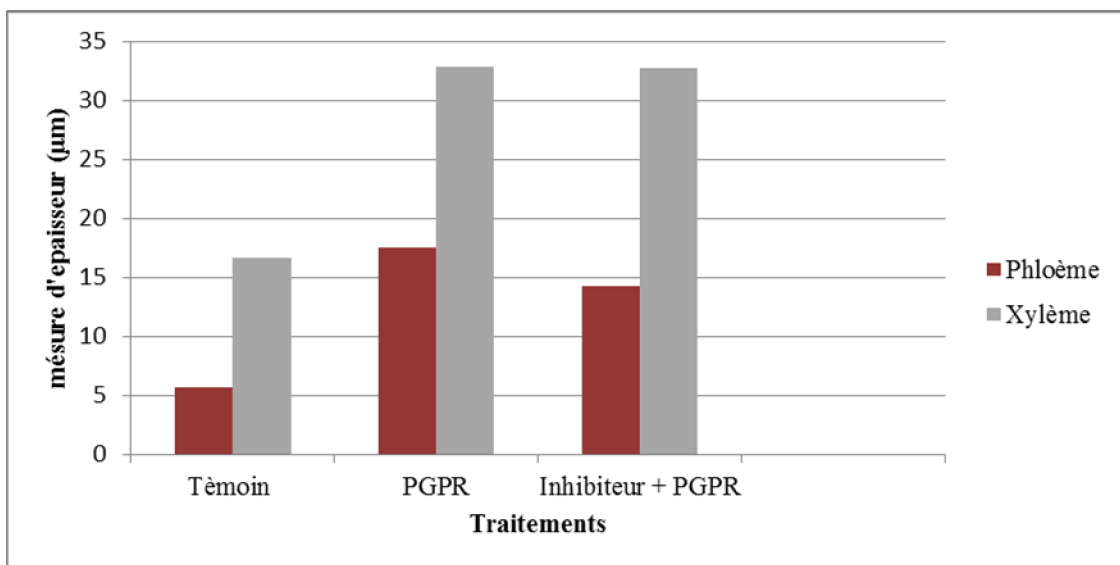
Les mesures réalisées ont montré que les traitements ont une influence significative sur la taille et le diamètre de quelques tissus, dans les racines de la plante. La comparaison de diamètre du parenchyme entre le traitement PGPR et le traitement (inhibiteur + PGPR), montre que cette dernière a permis d'obtenir des cellules plus grandes et bien formées par rapport au traitement PGPR. De même, les vaisseaux conducteurs (Xylème).



**Figure 20** : Comparaison histométrique entre xylème et phloème des racines des différents traitements de *Moringa oleifera*

### 5.1.2. Au niveau des tiges :

De même que dans les racines, dans les tiges les mesures réalisées ont montré que les traitements ont une influence significative sur la taille et le diamètre de quelques tissus. La comparaison de diamètre du parenchyme entre le traitement PGPR et le traitement (inhibiteur + PGPR), montre que cette dernière a permis d'obtenir des cellules plus grandes et bien formées par rapport au traitement PGPR. De même, les vaisseaux conducteurs (Xylème).



**Figure 21 : Comparaison histométrique entre xylème et phloème des tiges des différents traitements de *Moringa oleifera***

## 6. Discussion générale

Tous les organismes multicellulaires, y compris les plantes, doivent coordonner et intégrer leurs activités de croissance et leur développement. Les coordinations spatiales et temporelles sont nécessaires pour un traitement / traitement correct d'événements de développement génétiquement préprogrammés, ainsi que pour la réponse appropriée d'un individu donné à des conditions environnementales en constante évolution. Dans les plantes, les substances de signalisation des plantes (hormones végétales, phytohormones) interviennent dans la coordination.

L'auxine est une phytohormone indispensable au développement des plantes. Le terme d'auxine a été étendu à un ensemble de substances naturelles aux propriétés analogues ainsi qu'à des hormones de synthèse. Elle agit sur l'élongation et les divisions cellulaires. Ses rôles sont nombreux, sur la dominance apicale, la formation des fruits, la floraison, la réponse à l'environnement (lumière, blessures), le développement des organes, et particulièrement des racines et les racines latérales (RL). De nombreuses revues récapitulent les divers rôles de l'auxine sur les plantes (**Kieffer et al., 2010**).

L'action de l'auxine dépend à la fois de sa concentration et du tissu sur lequel elle agit. Selon les plantes, une même concentration sur un même organe peut entraîner des conséquences différentes. L'action de l'auxine est dépendante de sa présence et sa concentration dans la cellule, son transport, et la régulation de gènes cible (**Herrbach, 2013**).

Cette étude a montré qu'après l'inoculation des jeunes plantules par la souche PGPR et même pour la combinaison entre cette souche et l'inhibiteur d'auxine, des améliorations de la longueur moyenne des racines et de la longueur de la tige des plantes ont été enregistrées. Des constatations similaires ont été signalées par (**Akhtar et al, 2013**) qui ont inoculé les grains de blé par deux souches bactériennes en quantité suffisante, ce qui a entraîné une augmentation et une stimulation de la croissance des plantes. De même, l'application des PGPR augmentait considérablement la hauteur des plantes de 25% par rapport au contrôle non inoculé signalé par (**Abbasi et al, 2011**).

Par ailleurs, l'application de l'inhibiteur d'auxine a montré un déséquilibre dans la croissance des plantules de Moringa. Pour la majorité des paramètres étudiés, ce traitement, a donné des résultats inférieure par rapport aux autres traitements. (**Imhoff et al.2000**) ont examiné la capacité de l'inhibiteur NAO sur les transporteurs d'efflux d'auxine à des

concentrations faibles sur des cellules de tabac cultivées en suspension, les résultats obtenus ont montré l'effet de cette molécules sur le blocage du transport d'auxine et sur la mal croissance des plantes. D'après **(Yang et al.2006.)**, cette substance réduit les effets de l'IAA sur la croissance des racines tout en bloquant la formation des tissus internes et conducteurs surtout. En outre, le taux de croissance des racines de plantes inoculées par la souche PGPR Bt04 seule est supérieur à celle du témoin. Cependant, l'application de l'inhibiteur 1-NOA en présence de Bt04 (PGPR+ 1-NAO) a permis d'obtenir des racines et des tiges un peu plus longues, par rapport au témoin et aux autres traitements. Des études littéraires et pratiques suggèrent que les combinaisons (Auxine/inhibiteur) ont montré de meilleurs résultats quand il y a là une synergie entre ces substances **(Akhtar et al., 2013; DeFreitas, 2000)**. **(Turan et al.2012.)** a signalé que l'inoculation avec *B. megaterium* M3 a augmenté de 19%, alors qu'une inoculation mixte avec *Bacillus subtilis* OSU-142 et *B. megaterium* M3, ou de *Bacillus subtilis* OSU-142 avec un inhibiteur d'auxine NPA augmente de 33% et 25 % la croissance des par rapport aux témoins.

Cependant, la teneur en sucres a été augmentée par les traitements par inhibiteur (NAO) et par la combinaison (PGPR+1-NAO) et par la souche PGPR. *B. subtilis* et *P. fluorescens* ont considérablement augmenté les masses sèches fraîches de racines et de feuilles, les acides aminés libres totaux et les teneurs en sucres des plants de radis cultivés sous stress de salinité par rapport aux plants non inoculés **(Mohamed et Gomaa. 2012)**. Pour les partie racinaires on note que dans notre résultats la concentration des sucres des parties racinaires diminuent ce phénomène est probablement due à un arrêt de la croissance des racines et donc à un arrêt de la consommation des sucres **(Hummel et al. 2010 ; Muller et al. 2011)**.

Pour l'étude histologique, nos résultats obtenus ont montrés que les PGPR ont un effet significatif sur la formation des tissus et surtout les vaisseaux conducteur. L'effet positif des PGPR sur la formation des tissus racinaires est signalé par **(Essaid Ait, B et al., 2013)**.

Une autre caractéristique des PGPR communément rapportée est la production de phytohormones telles que l'IAA, considérée comme le mécanisme de croissance des plantes le plus communément signalé **(Liao et al. 2017)**. Selon **(Patten et Glick 2002)**, l'IAA est la phytohormone la plus courante et la mieux caractérisée. Il a été estimé que 80% des bactéries isolées de la rhizosphère peuvent produire un régulateur de croissance des plantes IAA qui améliore la croissance et la division cellulaire. Les mêmes auteurs **(Patten et Glick 2002)** ont démontré que l'AIA bactérienne de *P. putida* jouait un rôle majeur dans le développement du

système racinaire de la plante hôte. De même, la production d'IAA dans HP 72 de *P. fluorescens* était corrélée à la croissance de quelques tissus dans les racines.

L'inhibiteur d'auxine le 1-NOA a un effet nocif sur la formation et le diamètre des tissus de *Moringa oleifera*. Il a causé une destruction partielle des tissus et surtout les vaisseaux conducteurs. **(Satoshi Shimamura et al. 2016)** ont prouvé dans une étude que l'inhibiteur 1-NOA bloque le transport d'afflux d'auxine, ce qui réduit les diamètres des tissus de l'aérenchyme chez le riz. De même, selon, **(Kant et al. 2009)**, le manque d'expression d'auxine chez le riz a entraîné une croissance plus faible des pousses et des racines, une morphologie altérée et des tissus vasculaires plus petits.

L'effet de l'inhibiteur d'auxine est presque négligeable en présence des PGPRs dans le milieu de la plante. L'inoculation de la PGPR a favorisé la division cellulaire de la racine du blé **(Levanony et Bashan, 1989)**, a augmenté le diamètre et la longueur des racines latérales du maïs et a favorisé le développement des poils absorbants et des vaisseaux conducteurs **(Kapulnik et Okon, 1983)**. Chez le bananier, l'amélioration du système racinaire est un critère important pour un meilleur ancrage, une croissance plus rapide et un meilleur rendement fruitier **(Blomme, 2000)**. **(Chaiharn et Lumyong 2011)** ont analysé avec succès des rhizobactéries pour déterminer la production d'IAA et leurs effets sur l'élongation des racines, en présence d'inhibiteur d'auxine, chez le maïs.

# **Conclusion**

La présente étude a permis de mettre en évidence l'effet d'inhibiteur d'auxine (1-NOA) et / ou d'une souche PGPR, sur la croissance de la plante, les teneurs en sucres, la formation des histologiques et l'histométrie chez *Moringa oleifera*.

Les résultats obtenus ont montré que les traitements ont affecté significativement les différents paramètres étudiés. L'application de l'inhibiteur d'auxine 1-NOA, a bloqué la croissance des tiges et des racines de la plante, d'un côté, et d'un autre coté a provoqué un déséquilibre et une déformation partielle de la structure histologique des différents tissus dans les feuilles ainsi que dans les racines. Ces tissus, et après des mesures histométriques, ont présenté des diamètres inférieure par rapport aux autres traitements. Cependant, l'application de la souche PGPR 'Bt04' a augmenté, d'une manière significative, les différents paramètres étudiés, y'a compris la structure et l'histométrie des tiges et des feuilles de la plante. De même, la combinaison entre les deux traitements (PGPR + 1-NOA), a montré des augmentations et des améliorations pour les différents paramètres, ce qui confirme l'effet bénéfique de la souche Bt04 qui a pu bloquer et inhiber le rôle de l'inhibiteur 1-NOA.

Par ailleurs, après l'analyse histométrique, les diamètres les plus élevé, dans les racines, ont été obtenu par le traitement (PGPR + 1-NOA) qui donné un diamètre de 24.71  $\mu\text{m}$  pour le xylème et de 14.86  $\mu\text{m}$  pour le phloème, suivie par le traitement (PGPR) qui a enregistré des diamètres de 22.26  $\mu\text{m}$  pour le xylème et de 9.19  $\mu\text{m}$  pour le phloème.

Ainsi dans le perspective d'améliorer et d'approfondir ce travail, et afin de bien comprendre le rôle des éléments précité dans la physiologie et la croissance des plantes, il serait judicieux de :

- 1- Suivre les voies de transport des auxines bactériennes de la bactérie productrice vers la plante hôte et voir leur effet sur la plante
- 2- Utiliser d'autre type d'inhibiteur d'auxine seul ou en combinaison avec d'autre PGPR.



# **Références bibliographiques**

**A**

**Abbasi, A. Altmann, J., et Hossain, L.2011.** Identifying the effects of co-authorship networks on the performance of scholars: A correlation and regression analysis of performance measures and social network analysis measures. *Journal of Informetrics*, vol. 5, no 4, p. 594-607.

**Aberra M., Steingass H., Boguhn J., Schollenberger M., et Rodehutschord M. 2012.** Effects of elevation and season on nutrient composition of leaves and green pods of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera*. *Agroforestry systems*, vol. 86, no 3, p. 505-518.

**Ahmad F, Ahmad I, et Khan M.S. 2008.** Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological research*, vol. 163, no 2, p. 173-181.

**Ahmad, M. & Kibret, M. 2013.** Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King saud University-science*, vol. 26, no 1, p. 1-20.

**Akhtar , Choudhary, Ali ,I. Syed ,A.2013.** Impact of transformational and servant leadership on organizational performance: A comparative analysis. *Journal of business ethics*, vol. 116, no 2, p. 433-440.

**Alhakmani F., Kumar S., et Alam Khan Sh. 2013.** Estimation of total phenolic content, in-vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of flowers of *Moringa oleifera*. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, vol. 3, no 8, p. 623-627.

**Aregheore, 2002.** Effects of *Moringa oleifera* (lam.) leaves meal incorporation in diets on growth performances, carcass characteristics and economics results of growing indigenous Senegal chickens. *Pakistan Journal of Nutrition*. 10 (12): 1132-1145.

**Arora NK, Tewari S, Singh S, Lal N, Maheshwari DK .2012.** PGPR for protection of plant health under saline conditions. In : *Bacteria in agrobiology: stress management*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 239-258.

**B**

**Babalola, O.O. 2010.** Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology letters*, vol. 32, no 11, p. 1559-1570.

**Baca B.E. et Elmerich C. 2007.** Microbial production of plant hormones. In : *Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations*. Springer, Dordrecht. p.113-143.

**Bajguz A, Piotrowska A .2009.**Conjugates of auxin and cytokinin. *Phytochemistry*, vol. 70, no 8, p. 957-969.

**Barraquio, W. L., E. M. Segurbre, M. S. Gonzalez, S. C. Verma, E. K. James, J. K. Ladha, and A. K. tripathi. 2000.***The quest for nitrogen fixation in rice.* Int. Rice Res. Inst. p. 93-118.

**Besse, F. 1996.**Moringa oleifera lam. *Le Flamboyant*, no 40, p. 4-7.

**Bhattacharyya PN, Jha DK .2012.**Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 28, no 4, p. 1327-1350.

**Blomme ,G. 2000.** Interdependence of root and shoot development in banana (*Musa spp.*) under field conditions and the influence of different biophysical factors on this relationship. Ph.D. Thesis. Catholic University, Leuven, Belgium

**Briat, J.F. 1992.**Iron assimilation storage in prokaryotes. *Microbiology*, vol. 138, no 12, p. 2475-2483.

**Broin M. 2005.**Composition nutritionnelle des feuilles de Moringa oleifera. CTA. 5.

**Burd, G.I., Dixon, D.G. and Glick, B.R. 1998.**A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 64, no 10, p. 3663-3668.

## C

**Cakmakci, R., Donmez, F., Aydin, A. and Sahin, F. 2006.**Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *SoilBiology and Biochemistry*, vol. 38, no 6, p. 1482-1487.

**Chaiharn,M.,Lumyong,S. 2011.** Screening and optimization of indole-3-acetic acid production and phosphate solubilization from Rhizobacteria aimed at improving plant growth. *CurrMicrobiol* 62:173–181

**Corbaz R. 1990.***Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes.* PPUR presses polytechniques.

**Creighton W. 2001.**Optima of Africa Limited. # Moringa oleifera# seed production in Tanzania.

## D

**Davies P. J. 1995 :***Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology.* Springer Science & Business Media.

**Defreitas, G., Zini, A., Freeman, M et al 2000.** Varicocele is associated with abnormal retention of cytoplasmic droplets by human spermatozoa. *Fertility and sterility*, 2000, vol. 74, no 3, p. 461-464.

**Destover J., 2003.** Atlas d'histologie et d'anatomie des plantes vasculaires.

**Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. and Okon, Y. 2003.** Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical reviews in plant sciences*, vol. 22, no 2, p. 107-149.

**Dommergues Y. and Mangenot F. 1970 .***Ecologie microbienne du sol.* Masson, Paris

**DOUZET, R. 2007.** Petit lexique de botanique à l'usage du débutant.

**Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Pebers P.A and Smith F. 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, vol. 28, no 3, p. 350-356.

### *E*

**Edgerton MD, Tropsha A, Jones AM 1994.** Modelling the auxin-binding site of auxin-binding protein 1 of maize. *Phytochemistry*, vol. 35, no 5, p. 1111-1123.

**Epstein E. et Ludwig-Muller J. 1993.** Indole-3-butyric acid in plants: occurrence, synthesis, metabolism and transport. *Physiologia plantarum*, vol. 88, no 2, p. 382-389.

### *F*

**Foidl N., Makkar H.P.S., et Becker K. 2001.** Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. *Potentiel de développement des produits de Moringa. Dar es-Salaam, Tanzanie, du 29 octobre au 2 Novembre 2001.*

### *G*

**Gupta G, Singh Parihar S, Kumar Ahirwar N, Kumar Snehi S et Singh V. 2015.** Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J Microb Biochem Technol*, vol. 7, no 2, p. 096-102.

### *H*

**Han J, Sun L, Dong X, Cai Z, Sun X, Yang H, Wang Y, Song W. 2005.** Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delftia sibirica* HR4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various plant pathogens. *Systematic and Applied Microbiology*, vol. 28, no 1, p. 66-76.

**Harimalala A. N., et Razanamparany L. 2014.** Nutritional quality of fruit pastes enriched with *Moringa oleifera* leaves. *International Journal of Applied Science and Technology*. 4 (5).

**Hêdji C., Gangbazo K. D. N.S., Houinato M. R. et Fiogbé E. D. 2014.** Valorisation de Azollaspp, Moringa oleifera, son de riz, et de co-produits de volaille et de poisson en alimentation animale: synthèse bibliographique. *Journal of Applied Biosciences*, vol. 81, no 1, p. 7277-7289.

**Helluy, S., & Holmes, J.C. 2005.** Parasitic manipulation: further considerations. *Behavioural processes*, vol. 68, no 3, p. 205-210.

**Herrbach, V. 2013.** Stimulation du développement des racines latérales par des lipochitoooligosaccharides (LCOs) symbiotiques chez *Medicago truncatula*. 2013. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

**Houndji B., Bodjrenou S., Londjis ., Ouetchehou R., Acakpo A., Amouzou K., et Dr. Hounmenou 2013.** Amélioration de l'état nutritionnel des enfants âgés de 6 à 30 mois à Lissèzou (Centre-Bénin) par la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* (Lam.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*: 225-235.

**Hummel, R. Hussey, D.J. et Haier, J. 2010.** MicroRNAs: predictors and modifiers of chemo- and radiotherapy in different tumour types. *European journal of cancer*, vol. 46, no 2, p. 298-311.

### I

**Imhoff V, Muller P, Guern J, Delbarre A .2000.** Inhibitors of the carrier-mediated influx of auxin in suspension-cultured tobacco cells. *Planta*, vol. 210, no 4, p. 580-588.

### J

**Jackson RG, Lim EK, Li Y, Kowalczyk M, Sandberg G, Hogget J, Ashford DA, Bowles DJ .2001.** Identification and biochemical characterization of an *Arabidopsis* indole-3-acetic acid glucosyltransferase. *Journal of Biological Chemistry*, vol. 276, no 6, p. 4350-4356.

**Jijakli H. 2003.** La lutte biologique en phytopathologie. *Phytopathologie*, p. 289-317.

### K

**Kai K, Horita J, Wakasa K, Miyagawa H 2007.** Three oxidative metabolites of indole-3-acetic acid from *Arabidopsis thaliana*. *Phytochemistry*, vol. 68, no 12, p. 1651-1663.

**Kakengi A.M.V., Kaijage J.T., Sarwatt S.V., Mutayoba S.K., Shem M.N., t Fujihara T. 2007.** Effect of *Moringa oleifera* leaf meal as a substitute for sunflower seed meal on performance of laying hens in Tanzania. *Bone*, vol. 1, no 9.4, p. 446.

**Kant, I et al. 2009.** *An Answer to the Question 'What is Enlightenment'?*.

- Kapulnik, Y., Okon, Y. 1983.** Benefits of Azospirillum inoculation on wheat: effects on root development, mineral uptake, nitrogen fixation and crop yield. In: Azospirillum II. ed.: Klingmuller, W. pp 163-170. BirkhauserVerlag. Stuttgart
- Katekar GF, Geissler AE 1980.** Auxin transport inhibitors: IV. Evidence of a common mode of action for a proposed class of auxin transport inhibitors: the phytotropins. *Plant physiology*, vol. 66, no 6, p. 1190-1195.
- Kieffer, M., J. Neve, and S. Kepinski, 2010.** Defining auxin response contexts in plant development: *Current Opinion in Plant Biology*, v. 13, p. 12-20.
- Klíma, P., Laňková, M., and Zažímalová, E. 2016.** Inhibitors of plant hormone transport. *Protoplasma*, vol. 253, no 6, p. 1391-1404.
- Kloepper JW, Gutierrez-Estrada A, McInroy JA. 2007.** Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 53, no 2, p. 159-167.
- Kloepper, J. W., R. Rodriguez-Ubana, G. W. Zehnder, J. F. Murphy, E. Sikora, and C. Fernandez. 1999.** Plant root-bacterial interactions in biological control of soilborne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases. *Australasian Plant Pathology*, vol. 28, no 1, p. 21-26.
- Kumbhare MR., Guleha V., et Sivakumar T. 2012.** Estimation of total phenolic content, cytotoxicity and in-vitro antioxidant activity of stem bark of *Moringa oleifera*. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, vol. 2, no 2, p. 144-150.

### L

- Laalim ,S.A,Hrora,A.R.M,et al .2013.** La réparation sphinctérienne directe: points techniques, indications et résultats. *Pan African Medical Journal*, vol. 14, no 1.
- Laleye, O. A. F., Ahissou, H., Olounlade, A. P., Azando, E. V. B., and Laleye, A. 2015.** Etude bibliographique de trois plantes antidiabétiques de la flore béninoise: *Khayasenegalensis* (Desr) A. Juss (Meliaceae), *Momordicacharantia* Linn (Cucurbitaceae) et *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no 5, p. 2682-2700.
- Levanony ,H., Bashan ,Y. 1989.** Enhancement of cell division in wheat root tips and growth of root elongation zone induced by *Azospirillum brasilense* Cd. *Can J Bot* 67:2213-2216
- Liao, Y., Deschamps,F.,Loures,E et al. 2017.** Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International journal of production research*, vol. 55, no 12, p. 3609-3629.

**Louis C., Thorat V., Kokou K., et Broin M. 2003.** Analyse-diagnostic du système agraire de la région d'Ahépé, au sud du Togo. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 7 (3–4): 137–149.

**Ludwig-Müller J .2011.**Auxin conjugates: their role for plant development and in the evolution of land plants. *Journal of experimental botany*, vol. 62, no 6, p. 1757-1773.

### *M*

**Makkar H.P.S., et Becker K. 1997.**Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the Moringa oleifera tree. *The Journal of Agricultural Science*, vol. 128, no 3, p. 311-322.

**Martínez-Viveros 1, O., M.A. Jorquera, D.E. Crowley, G. Gajardo and M.L. Mora. 2010.**Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of soil science and plant nutrition*, vol. 10, no 3, p. 293-319.

**Mémento de l'Agronome.2002.**DE L'AGRONOME, Mémento. Cirad–Gret. *Ministère des Affaires étrangères, France.*

**Mohamed, H. I. et Gomaa, E. Z.2012.** Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress. *Photosynthetica*, vol. 50, no 2, p. 263-272.

### *N*

**Nadeem SM, Naveed M, Zahir ZA, Asghar HN.2013.** Plant–microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. In : *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances*. Springer, New Delhi, p. 51-103.

**Ndong M., Wade S., Dossou N., Guiro A.T. et Gning R.D. 2007.** Valeur nutritionnelle du Moringa oleifera, étude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels sénégalais avec la poudre des feuilles. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development.* 7 (3):1-17.

**Noumane, Wasif, SIDDIQUI, Muhammad Tahir, BASRA, ShahzadMaqsood Ahmed, et al.** Enhancement of emergence potential and stand establishment of Moringa oleifera Lam. by seed priming. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 36, no 2, p. 227-235.

**Novák O, Hényková E, Sairanen I, Kowalczyk M, Pospíšil T, Ljung K .2012.**Tissue-specific profiling of the Arabidopsis thaliana auxinmetabolome. *The Plant Journal*, vol. 72, no 3, p. 523-536.

O

**Olugbemi T.S., Mutayoba S.K., etLekule F.P. 2010.**Effect of Moringa (*Moringa oleifera*) inclusion in cassava based diets fed to broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, vol. 9, no 4, p. 363-367.

**Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M. and Sahin, F. 2006.**Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *ScientiaHorticulturae*, vol. 111, no 1, p. 38-43.

**Osman H. M., M. E. Shayoub ., et Babiker E. M. 2012.**The effect of *Moringa oleifera* leaves on blood parameters and body weights of albino rats and rabbits. *Jordan Journal of Biological Sciences*, vol. 147, no 619, p. 1-4.

**Ostin A, Kowalyczk M, Bhalerao RP, Sandberg G .1998.**Metabolism of indole-3-acetic acid in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, vol. 118, no 1, p. 285-296.



**P**

- Pamo E.T., Niba A. T., Fonteh F. A., Tedonkeng F., Kana J. R., Boukila B. et Tsachoung J. 2005.** Effet de la supplémentation au Moringa oleifera ou aux blocs multinutritionnels sur l'évolution du poids post partum et la croissance pré-sevrage des cobayes (*Caviaporcellus L.*). *Livestock Research for Rural Development*, vol. 17, no 4, p. 9.
- Parrotta, J. A. 2009.** Moringa oleifera Lam. 1785. *Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie*.
- Patten CL, Glick BR .2002.** Role of Pseudomonas putida indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 68, no 8, p. 3795-3801.
- Pieterse, C.M.J., van Wees, S.C.M., Ton, J., van Pelt, J.A. and van Loon, L.C. 2002.** Signalling in rhizobacteria-induced systemic resistance in Arabidopsis thaliana. *Plant Biology*, vol. 4, no 05, p. 535-544.
- Podile AR et Kishore KG. 2006.** Plant growth-promoting rhizobacteria. In : *Plant-associated bacteria*. Springer, Dordrecht, p. 195-230.
- 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
- Pujic, P., Normand, P. 2009.** La symbiose racinaire entre la bactérie Frankia et les plantes actinorhiziennes. *Biofutur*, no 298, p. 26-29.

**R**

- Rahmoune, B., Morsli, A., Khelifi-Slaoui, M et al. 2017.** Isolation and characterization of three new PGPR and their effects on the growth of Arabidopsis and Datura plants. *Journal of plant interactions*, 12, no 1, p. 1-6.
- Rajangam, J., R. Azahakia Manavalan, et al. 2002.** Production et utilisation du Moringa en Inde du sud: la situation actuelle.
- Ratul, S., Nabaneeta, S., Donofrio, R.S and Bestervelt, L. 2012.** Microbial siderophores: a mini review. *Journal of basic microbiology*, vol. 53, no 4, p. 303-317.
- Reinhardt D., Pesce E.-R., Stieger P., Mandel T., Baltensperger K., Bennett M., Traas J., Friml J. et Kuhlemeier C. 2003.** : Regulation of phyllotaxis by polar auxin transport. *Nature*, vol. 426, no 6964, p. 255.
- Richter N., Siddhuraju P., et Becker K. 2003.** Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera Lam.*) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus L.*). *Aquaculture*, vol. 217, no 1-4, p. 599-611.

## S

**Saint Sauveur D. A. 2001.** L'exploitation du Moringa dans le monde : état des connaissances et défis à relever. Bilan Moringa 2001. Potentiel de développement des produits du Moringa 29 octobre – 2 novembre 2001, Dar es Salaam, Tanzanie. 12p.

**Saleem M, Arshad M, Hussain S, Bhatti AS. 2007.** Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, vol. 34, no 10, p. 635-648.

**Schippers, B., AW. Bakker et PAHM. Bakker. 1987.** Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Annual review of Phytopathology*, vol. 25, no 1, p. 339-358.

**Séverin, F. 2002.** Plant akpyeBwatè d Ayiti; ÉditionsQuitel de Desk Top Advisory; 143p.

**Shimamura , Satoshi., Imoto, J et al.2016.** *Synthetic intermediate of 1-(2-deoxy-2-fluoro-4-thio-β-D-arabinofuranosyl) cytosine, synthetic intermediate of thionucleoside, and method for producing the same.* U.S. Patent No 9,475,835.

**Siddhuraju P., et Becker K. 2003.** Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 51, no 8, p. 2144-2155.

**Simon S, Kubeš M, Baster P et al .2013.** Defining the selectivity of processes along the auxin response chain: a study using auxin analogues. *New Phytologist*, vol. 200, no 4, p. 1034-1048.

**Syed Shameer,T. N. V. K. V Prasad. 2017.** Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable agricultural practices with special reference to biotic and abiotic stresses. *Plant growthregulation*, vol. 84, no 3, p. 603-615.

## T

**Tchiégang C., et Aissatou K. 2004.** Données ethnonutritionnelles et caractéristiques physico-chimiques des légumes-feuilles consommés dans la savane de l'Adamaoua (Cameroun). *Tropicultura*, vol. 22, no 1, p. 11-18.

**Tsurumi S, Takagi T, Hashimoto T .1992.** A  $\gamma$ -pyronyl-triterpenoidsaponin from *Pisumsativum*. *Phytochemistry*, vol. 31, no 7, p. 2435-2438.

## V

**Van Loon, L.C. 2007.** Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. In : *New Perspectives and Approaches in Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Research*. Springer, Dordrecht, p. 243-254.

**van Loon, L.C., Bakker, P. and Pieterse, C. M. J. 1998.** Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual review of phytopathology*, vol. 36, no 1, p. 453-483.

**Verma, J.P., Yadav, J., Tiwari, K.N., Kumar, A., 2013.** Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecol. Eng.* 51, 282–286.

**Vogt T. 2010.** Phenylpropanoid biosynthesis. *Mol Plant* 3:2–20.

## W

**Wang X., Mavrodi D.V., Ke L., Mavrodi O.V., Yang M., Thomashow L.S., Zheng N., Weller D.M. et Zhang J. 2014.** Biocontrol and plant growth-promoting activity of rhizobacteria from Chinese fields with contaminated soils. *Microbial biotechnology*, vol. 8, no 3, p. 404-418.

**Weyens N., Monchy S., Vangronsveld J., Taghariani and Lelie D. V. 2010.** Plant-Microbe Partnerships. *Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology*, p. 2545-2574.

**Whipps, J.M. 2001.** Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany*, vol. 52, no suppl\_1, p. 487-511.

**Woodward, A. W., and B. Bartel. 2005.** Auxin: regulation, action, and interaction. *Annals of botany*, vol. 95, no 5, p. 707-735.

## Y

**Yang R-Y., Chang L-Ch., Hsu J-Ch., Weng B. B. C., Palada M.C., Chadha M.L., et Levasseur V. 2006.** Propriétés Nutritionnelles et Fonctionnelles des Feuilles de Moringa; Du Germoplasme, à la Plante, à l'aliment et à la santé. *The World Vegetable Center*.

## Z

**Zhao, Y. 2010.** Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annual review of plant biology*, vol. 61, p. 49-64.

## Site web

[https://www.researchgate.net/figure/aMoringa-oleifera-flowers-b-Moringa-oleifera-leaves-c-Moringa-oleifera-fruits-d\\_fig1\\_315802106](https://www.researchgate.net/figure/aMoringa-oleifera-flowers-b-Moringa-oleifera-leaves-c-Moringa-oleifera-fruits-d_fig1_315802106) 21-06-2019.

<http://www.ttiitn.com/M/planting.html> 27-05-2019.

# **Annexes**

## **Annexe 01**

### **Réactifs :**

- King B solide (43 g de King B solide → 1000 ml d'eau distillée).

### **Protocole :**

- Peser 12.9 g de King B solide.
- Ajouter la quantité pesée à 300 ml d'eau distillée.
- Agiter le tout sur une plaque chauffante/ agitateur jusqu'à sa solubilité.
- Verser la solution dans des flacons et mettre dans l'autoclave pendant 15 min pour la stérilisation.

## **Annexe 02**

### **Réactifs :**

- Eau péptonée (16 g d'eau péptonée → 1000 ml d'eau distillée).

### **Protocole :**

- Peser 9.66 g d'eau péptonée.
- Ajouter la quantité pesée à 600 ml d'eau distillée.
- Agiter le tout jusqu'à homogénéisation.
- Stériliser la solution dans un autoclave.

## **Annexe 03**

### **Réactifs :**

- 1-NaphthOxyacetic Acid (1-NOA).
- DiMethyl SulfOxide (DMSO).

### **Protocole:**

- Peser 0.0112g de 1-NOA.
- Dissoudre la quantité du 1-NOA dans 01 ml de DMSO (solution mère).
- Ajouter 75 µL de la solution mère à 250 ml de l'eau distillée (milieu de culture).

## **Annexe 04**

### **Réactifs :**

- Ethanol 80 % dans l'eau distillée.
- Phénol 5 % dans l'eau distillée.
- Acide sulfurique 98%.
- Glucose 1%.

### **Protocole :**

- Peser 100 mg de la matière végétale (100 mg de la partie aérienne / partie racinaire) de chaque traitement.
- Chaque 100 mg est mis dans 2 ml d'éthanol pendant 48h.
- L'homogénat est filtrée à l'aide d'un papier filtre.
- Ajouter à 1 ml d'échantillon, 1 ml de phénol et 5 ml d'acide sulfurique concentré. Agiter et laisser reposer 10min à température ambiante.
- Incuber au bain marie à 30°C pendant 30 min.
- Mesurer la densité optique à 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, le blanc utilisé est le glucose.

## **Annexe 05**

### **Réactifs :**

- Éthanol.
- Formol.
- Acide acétique.
- Eau distillée.
- Toluène.
- Paraffine.
- Gélatine.
- Eau de javel.
- Vert de méthyl.
- Rouge Congo.

**Protocole :**

- Les échantillons doivent être immédiatement trempés dans un fixateur constitué d'un mélange d'éthanol, formol et acide acétique (17 v ; 3 v;1 v) pendant une durée de 24 heures.
- Les échantillons seront ensuite lavés sous l'eau courante pendant une durée égale à celle de la fixation. Après lavage Les échantillons sont déshydratés par un passage dans 2 bains d'éthanol à concentrations croissantes (50%, 70%).
- L'imprégnation sera effectuée par passage dans un bain de toluène absolu pendant une heure, ensuite par passage dans un mélange toluène-paraffine placé dans une étuve réglée à la température de fusion de la paraffine (58°C) puis transférés dans un bain de paraffine pur et placés dans une étuve à (58°C).
- Les échantillons sont enfin incluses dans des blocs de paraffine et coupés à l'aide d'un microtome de type LEICA 2145 à une épaisseur de 7 µm.
- Les coupes récupérées sur les lames préalablement dégraissées, seront collées avec une solution de gélatine (1%) et l'ensemble est séché à l'air à l'abri de la poussière. Le déparaffinage des lames est réalisé par trempage dans trois bains de toluène (5 min, 5 min, 5 min). Les coupes lavées par passage dans l'éthanol sont colorées par un mélange de rouge Congo et vert de méthyl. Après le séchage (24 h), les coupes sont surmontées d'une goutte de baume de Canada et lamelle.

## Annexes 06

Tableau de l'ANOVA pour la longueur des tiges par traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	131,13	3	43,71	20,81	0,0004
<b>Intra-groupes</b>	16,8	8	2,1		
<b>Total (Corr.)</b>	147,93	11			

### Test de LSD de Fisher

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>Témoin</b>	3	9,0	A
<b>PGPR</b>	3	12,6	A
<b>PGPR + inhibiteur</b>	3	16,8	B
<b>Inhibiteur</b>	3	17,0	B

## Annexes 07

Tableau de l'ANOVA pour la longueur de racines par traitements

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
<b>Inter-groupes</b>	182,016	3	60,6719	9,61	0,0036
<b>Intra-groupes</b>	56,8475	9	6,31639		
<b>Total (Corr.)</b>	238,863	12			

### Test de LSD de Fisher

<i>Traitements</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
<b>PGPR</b>	3	3,53333	A
<b>Témoin</b>	3	5,26667	B
<b>PGPR + inhibiteur</b>	3	8,96667	A
<b>Inhibiteur</b>	4	12,925	B



## Annexes 8

Tableau : les teneurs en sucres dans les parties aériennes et racinaires.

	traitement	Partie aérienne (mg/ml)	Partie racinaire (mg/ml)
<b>A</b>	<b>Témoin</b>	0.972	0.142
<b>B</b>	<b>Inhibiteur (1-NAO)</b>	1.185	0.522
<b>C</b>	<b>PGPR</b>	1.302	0.288
<b>D</b>	<b>PGPR+Inhibiteur</b>	1.428	0.503

## Annexe 9



Coupes longitudinales des tiges : témoin (A), inhibiteur (B), inhibiteur + PGPR(C).

## Résumé

L'auxine est une phytohormone indispensable au développement des plantes. Elle agit sur plusieurs phénomènes physiologiques telle que, l'élongation et les divisions cellulaires. Ses rôles sont nombreux, sur la dominance apicale et la formation des organes sont males étudiés. Ce travail est consacré à l'étude de l'effet des traitements par l'inhibiteur d'auxine 1-NAO, par une souche PGPR Bt04 et par la combinaison entre les deux (PGPR 1-NAO) sur la croissance, le dosage des sucres et la formation histologique et l'analyse histométrique des tiges et des racines de *Moringa oleifera*. Les résultats obtenus ont révélé des effets positifs de l'application de la souche PGPR (Bt04) sur tous les paramètres étudiés, surtout la formation des tissus (les vaisseaux conducteurs). Cependant, par application de l'inhibiteur 1-NAO, des valeurs inférieure et des déséquilibres partielle ont été enregistré pour les différents paramètres y'a compris l'histométrie et la formation des tissus (surtout les vaisseaux conducteurs).

**Mots clés :** Auxine ; inhibiteur d'auxine 1-NAO ; PGPR ; *Moringa oleifera* ; Histométrie, Vaisseaux conducteurs.

## Abstract

Auxin is a phytohormone essential for the development of plants. It acts on several physiological phenomena such as elongation and cellular divisions. His roles are many; on the apical dominance and organ formation are studied males. This work is devoted to studying the effect of auxin 1-NAO inhibitor treatments, a PGPR Bt04 strain and the combination of the two (PGPR 1-NAO) on growth, sugars and histological formation and histometric analysis of stems and roots of *Moringa oleifera*. The results obtained revealed positive effects of the application of the strain PGPR (Bt04) on all the studied parameters, especially the formation of the tissues (the conducting vessels). However, by application of the 1-NAO inhibitor, lower values and partial imbalances were recorded for the various parameters including histometric and tissue formation (especially the conductive vessels).

**Keywords:** Auxin; auxin 1-NAO inhibitor; PGPR; *Moringa oleifera*; Histometric; conductive vessels.

## ملخص

الأوكسين هو هرمون نباتي ضروري لنمو النباتات، يعمل على العديد من الظواهر الفسيولوجية مثل الاستطالة والانقسامات الخلوية، له عدة أدوار منها تشكيل اجزاء النبتة. يتمحور هذا العمل على دراسة تأثير مثبط الاوكسين والبكتيريا PGPR Bt04 على النمو، تركيز لسكريات التكوين والتحليل النسيجي لسيفان وجذور المورينجا اوليفرا. تكشف النتائج المتحصل عليها التأثير الإيجابي للبكتيريا المستعملة على جميع الدراسات وخاصة تشكيل الانسجة (الاووعية الموصلة). لكن عند استعمال المثبط يتم تسجيل انخفاض في قيم المتغيرات المدروسة وكذا اختلالات في المقاطع الملاحظة (تكوين الانسجة خاصة الاوعية الموصلة).

**الكلمات المفتاحية:** أوكسين، مثبط الاوكسين، المورينجا أوليفيرا، التحليل النسيجي، الأوعية الموصلة.

