الجمـــهوريـة الجزائـــريـة الديمقراطية الـشعبيـــة.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 21/06/2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **LARIT Sabah** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **ABAS Wafa**

Spécialité : **Science du Sol**

Intitulé : Effet des biostimulants naturels sur la germination et la croissance des graines de manguier (*Mangifera indica* L.)

A apportée les corrections relatives à son travail de mémoire.

Promotrice

Président(e) de Jury

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques

Filière : Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Science du Sol

Thème :

Effet des biostimulants naturels sur la germination et la croissance des graines de manguier (*Mangifera indica* L.)

Présenté par : Mme ABAS Wafa

Membres de Jury:

Mme : LARBI Djamila	(MCA)	**Présidente**	Université du 20 Août 1955 -Skikda
Mme : LARIT Sabah	(MCA)	**Examinatrice**	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mme : SOUILAH Nabila	(MCA)	**Promotrice**	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2025-2026

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie tout particulièrement Madame Souilah Nabila, ma directrice de mémoire, pour son encadrement rigoureux, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de ce travail. Son expertise et son soutien ont été déterminants dans l'aboutissement de cette recherche.

Je remercie également Mme Larit Sabah et Mme Larbi Djamila pour avoir examiné mon modeste travail.

Je souhaite aussi remercier l'ensemble des enseignants du Département des Sciences Agronomiques pour la qualité de l'enseignement dispensé et pour avoir su éveiller en moi un intérêt profond pour les sciences agronomiques.

Enfin, un grand merci à ma famille et à mes amis pour leur soutien moral indéfectible et leurs encouragements tout au long de mon parcours universitaire.

Dédicace

Grâce à Dieu, mon travail est enfin achevé, et il est temps pour moi de partager ma joie avec tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé.

À mes parents, qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de ce parcours. Merci pour votre amour inconditionnel et votre confiance précieuse.

À mon marie Naoufel et mes enfants Chakib Ayham et Razan.

À mes frères Samir et Hamza.

À mes seures Assia, Amel, Chirine.

À toute l'équipe enseignante et pédagogique, qui m'a transmis ses connaissances avec passion et m'a accompagnée tout au long de mon parcours. Votre engagement et votre professionnalisme ont constitué un véritable atout. Ce travail est le fruit de vos efforts combinés, et je vous en suis profondément reconnaissant.

WAFA

Titre : Effet des biostimulants naturels sur la germination et la croissance des graines de manguier (*Mangifera indica*)

Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'agriculture durable visant à optimiser la germination et la croissance initiale des graines de manguier (*Mangifera indica L.*), culture arboricole d'intérêt, notamment à travers l'évaluation de techniques de levée de dormance. L'étude a évalué l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie), appliqués à différentes doses (curcuma : 1 g/L, 2 g/L, 4 g/L ; ortie et fenugrec : 10 g/L, 20 g/L, 30 g/L), sur plusieurs paramètres germinatifs, cinétiques et de croissance morpho-physiologique. Les extraits aqueux ont été appliqués aux graines de manguier décortiquées et installées en conditions de suivi. Les résultats ont montré que le curcuma et l'ortie étaient les plus stables, garantissant un taux de germination maximal de 100 % à toutes les doses testées. À l'inverse, le fenugrec a révélé une relation dose-réponse inversée, avec une efficacité optimale à 10 et 20 g/L (100 %) mais réduite à 30 g/L (66,66 %). L'ortie à forte dose (30 g/L) s'est avérée particulièrement performante pour la dynamique temporelle, enregistrant le temps moyen de germination (TMG) le plus court de l'essai (19,67 jours) et un excellent indice de synchronisation. En termes de cinétique, le fenugrec à 30 g/L a affiché la vitesse de germination la plus élevée (0,134), suivi du curcuma à 4 g/L (0,116). L'évaluation morphologique montre une hétérogénéité d'allocation des ressources : le curcuma à faible dose (1 g/L) induit une élongation racinaire spectaculaire (radicules de 136,67 mm) tandis que sa forte dose (4 g/L) stimule préférentiellement la partie aérienne (hypocotyles de 100,00 mm). Globalement, l'application de ces extraits oriente l'énergie séminale vers le renforcement du système souterrain, optimisant le ratio racine/tige lors de la transplantation et de l'acclimatation en pots. Cette étude met en lumière le potentiel des ressources végétales locales comme alternatives naturelles pour renforcer la production de plants de manguier vigoureux tout en réduisant la dépendance aux intrants chimiques.

Mots-clés : *Mangifera indica*, Biostimulants, Germination, Agriculture durable, Phytohormones.

Title: Effect of natural biostimulants on the germination and growth of mango (*Mangifera indica*) seeds

Abstract

This thesis is part of a sustainable agriculture approach aimed at optimizing the germination and initial growth of mango seeds (*Mangifera indica L.*), a fruit crop of major interest, notably through the evaluation of dormancy-breaking techniques. The study evaluated the effect of three natural biostimulants (turmeric, fenugreek, and stinging nettle), applied at different doses (turmeric: 1 g/L, 2 g/L, 4 g/L; nettle and fenugreek: 10 g/L, 20 g/L, 30 g/L), on several germinative, kinetic, and morpho-physiological growth parameters. The aqueous extracts were applied to dehulled mango seeds and set up under monitoring conditions. The results showed that turmeric and nettle were the most stable, guaranteeing a maximum germination rate of 100% across all tested doses. Conversely, fenugreek revealed an inverse dose-response relationship, with optimal efficiency at 10 and 20 g/L (100%) but dropping to 66.66% at 30 g/L. Nettle at a high dose (30 g/L) proved particularly effective for temporal dynamics, recording the shortest mean germination time (MGT) of the trial (19.67 days) and an excellent synchronization index. In terms of kinetics, fenugreek at 30 g/L displayed the highest germination speed index (0.134), followed by turmeric at 4 g/L (0.116). Morphological evaluation showed an heterogeneity in resource allocation: turmeric at a low dose (1 g/L) induced spectacular root elongation (radicles of 136.67 mm), whereas its high dose (4 g/L) preferentially stimulated shoot growth (hypocotyls of 100.00 mm). Overall, the application of these extracts directs seminal energy toward strengthening the underground system, optimizing the root/shoot ratio during transplantation and acclimatization in pots. This study highlights the potential of local plant resources as natural alternatives to enhance the production of vigorous mango seedlings while reducing reliance on chemical inputs.

Keywords: *Mangifera indica*, Biostimulants, Germination, Sustainable agriculture, Phytohormones.

العنوان: تأثير المحفزات الحيوية الطبيعية على إنبات ونمو بذور المانجو (*Mangifera indica* L.)

ملخص

ملخص :تندرج هذه المذكرة في إطار مسعى الفلاحة المستدامة بهدف تحسين إنبات والنمو الأولي لبذور شجرة المانجو (*Mangifera indica L.*)، باعتبارها زراعة شجرية ذات أهمية بالغة، لا سيما من خلال تقييم تقنيات كسر سكون البذور . تناولت الدراسة تقييم تأثير ثلاثة محفزات حيوية طبيعية (الكركم، الحلبة، والقراص)، طُبّقت بجرعات مختلفة (الكركم: 1 غ/لتر، 2 غ/لتر، 4 غ/لتر؛ القراص والحلبة: 10 غ/لتر، 20 غ/لتر، 30 غ/لتر)، على عدة مؤشرات إنباتية، حركية، ونمو مورفو-فيزيولوجي .حيث طُبّقت المستخلصات المائية على بذور المانجو المقشرة والموضوعة تحت ظروف المتابعة والمراقبة .وأظهرت النتائج أن الكركم والقراص كانا الأكثر استقرارًا، حيث ضمنا تحقيق معدل إنبات أقصى بلغ 100% في جميع الجرعات المختبرة .وفي المقابل، أظهرت الحلبة علاقة استجابة عكسية للجرعات، بكفاءة مثالية عند 10 و20 غ/لتر (100%) لكنها تراجعت إلى 66.66% عند الجرعة الأعلى (30 غ/لتر) .وقد أثبت القراص بجرعته العالية (30 غ/لتر) فعالية ملحوظة في الديناميكية الزمنية، مسجلاً أقصر متوسط زمن إنبات (TMG) في هذه التجارب (19.67 يومًا) مع مؤشر تزامن ممتاز .ومن حيث الحركية، سجلت الحلبة عند 30 غ/لتر أعلى سرعة إنبات (0.134)، تليها الجرعة العالية للكركم عند 4 غ/لتر .(0.116) كما أظهر التقييم المورفولوجي تباينًا في توزيع الموارد الحيوية: حيث حثت الجرعة المنخفضة من الكركم (1 غ/لتر) استطالة جذرية مذهلة (جذيرات بطول 136.67 مم)، بينما حثت جرعته العالية (4 غ/لتر) نمو المجموع الخضري بشكل تفضيلي (السويقات السفلى بطول 100.00 مم) .وبشكل عام، فإن تطبيق هذه المستخلصات يوجه الطاقة البذرية نحو تقوية النظام الجذري الأرضي، مما يحسن نسبة الجذر/الساق أثناء عملية النقل والأقلمة في الأصص .تسلط هذه الدراسة الضوء على إمكانات الموارد النباتية المحلية كبدائل طبيعية لتعزيز إنتاج شتلات مانجو قوية مع تقليل الاعتماد على المدخلات الكيميائية

الكلمات المفتاحية :المانجو، محفزات حيوية، الإنبات، فلاحة مستدامة، هرمونات نباتية.

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Signification
ANOVA	Analyse de la variance
EG	Énergie germinative
g/L	Gramme par litre
ISG	Indice de synchronisation de la germination
IVG	Indice de vigueur des graines / de la germination
IVGr	Indice de vitesse de germination
L	Litre
MGT / TMG	Temps moyen de germination
Mm	Millimètre
mL	Millilitre
p	Valeur de probabilité statistique
Tsg	Temps de synchronisation de la germination
°C	Degré Celsius
%	Pourcentage

LISTE DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
Tableau 1	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur le taux moyen de germination (TMG) des graines de manguier ……..	41
Tableau 2	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur l'indice de vitesse de germination (IVG) des graines de manguier ……..	41
Tableau 3	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur l'indice de vigueur de germination (IVG) des graines de manguier …….	42
Tableau 4	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur l'indice de synchronisation de germination (ISG) des graines de manguier..	42
Tableau 5	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne des radicules des graines de manguier …….	42
Tableau 6	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne de l'hypocotyle des graines de manguier …….	43
Tableau 7	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur l'énergie germinative des graines de manguier …….	43
Tableau 8	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur le temps moyen de germination (TMG) des graines de manguier ……	44
Tableau 9	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur le taux de germination …….	21
Tableau 10	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'indice de vigueur ……	23
Tableau 11	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'indice de vitesse de germination …….	25
Tableau 12	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur le temps moyen de germination (TMG) …….	27
Tableau 13	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'énergie germinative ….	28
Tableau 14	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'indice de synchronisation (Tsg) …….	29
Tableau 15	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur la longueur des radicules	31
Tableau 16	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur la longueur de l'hypocotyle …….	33

LISTE DES FIGURES

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Fruit de la mangue (*Mangifera indica* L.) ……	4
Figure 2	Cycle de développement du manguier (*Mangifera indica* L.) ……..	6
Figure 3	Les graines de la mangue ……..……	6
Figure 4	Curcuma (*Curcuma longa* L.) ……..	7
Figure 5	Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) ……..	8
Figure 6	Ortie (*Urtica dioica* L.) …….	9
Figure 7	Préparation des solutions du Curcuma …….	10
Figure 8	Préparation des solutions du Fenugrec ……..	11
Figure 9	Préparation des solutions de l'Ortie ……...	11
Figure 10	Le fruit et les noyaux du Manguier ……	12
Figure 11	Trempage des noyaux du manguier ……...	13
Figure 12	Mise en germination des graines du Manguier ……..……...	14
Figure 13	Préparation du substrat du sol ……...	18
Figure 14	Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le taux de germination (%) des graines de manguier ……	20
Figure 15	Graines germées avec les trois biostimulants (Curcuma, Ortie et Fenugrec) …	20
Figure 16	Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vigueur de la germination (Moyenne IVG) des graines de manguier ……..	22
Figure 17	Graines de manguier germées de biostimulant d'ortie à forte dose ……..	23
Figure 18	Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vitesse de germination des graines de manguier …….	25
Figure 19	Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le temps moyen de germination (TMG en jours) des graines de manguier ……...	26

Figure 20 Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'énergie germinative moyenne (%) des graines de manguier …… 27
Figure 21 Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de synchronisation de la germination (Tsg en jours) des graines de manguier …….. 28
Figure 22 Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'élongation racinaire (Longueur moyenne des radicules en mm) des plantules de manguier ……... 30
Figure 23 Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'élongation caulinaire (Longueur moyenne de l'hypocotyle en mm) des plantules de manguier ……. 31
Figure 24 Longueur moyenne de l'hypocotyle de biostimulant curcuma à forte dose ….. 32
Figure 25 Transplantation des plantules dans les pots ……... 35
Figure 26 Suivi des plantules après transplantation dans les pots ……. 35

TABLE DES MATIÈRES

Titre **Page**
Dédicaces
Remerciements
Résumés en trois langues
Liste des abréviations
Liste des tableaux
Liste des figures

Sommaire

I. Introduction …….. 1
II. Matériels et Méthodes …….. 3
II.1. Matériel biologique …….. 3
II.1.1. Présentation de la culture du manguier (*Mangifera indica* L.) ……. 3
II.1.1.1. Biologie et classification …… 3
II.1.1.2. Cycle de développement …… 4
II.1.1.3. Origine des manguiers ……... 6
II.1.2. Présentation des bio-stimulants …… 7
II.1.2.1. Curcuma (*Curcuma longa* L.) …… 6
II.1.2.2. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) …… 6
II.1.2.3. Ortie (*Urtica dioica* L.) …….. 8
II.2. Matériel de culture et d'analyse …… 9

II.2.1. Matériel de culture …… 9
II.2.2. Matériel d'analyse et de suivi ……... 9
II.3. Protocole expérimental …… 9
II.3.1. Préparation des solutions de biostimulants ……... 9
II.3.2. Prétraitement et préparation des graines de manguier ……..…… 12
II.3.3. Mise en germination …….. 13
II.3.4. Suivi et mesures ……. 14
II.3.4.1. Taux de germination (%) …… 14
II.3.4.2. Indice de vigueur des graines (IVG) ……... 14
II.3.4.3. Indice de vitesse de germination (IVGr) ……. 15
II.3.4.4. Temps moyen de germination (TMG) …… 15
II.3.4.5. Énergie germinative (%) ……. 15
II.3.4.6. Indice de synchronisation de germination (ISG) …… 15
II.3.4.7. Longueur moyenne des radicules …… 16
II.3.4.8. Longueur moyenne de l'hypocotyle …… 16
II.4. État sanitaire des graines ……... 17
II.5. Fréquence des mesures …….. 17
II.6. Protocole d'installation des plantules en pots …… 17
II.6.1. Sélection des plantules …… 18
II.6.2. Transplantation des plantules …….. 18
II.6.3. Suivi après transplantation …….. 18
III. Résultats et Discussion …….. 20
III.1. Analyse morpho-physiologique et cinétique des paramètres de germination ... 20
III.1.1. Taux de germination (%) …… 20
III.1.2. Indice de vigueur de la germination (IVG) …… 22
III.1.3. Indice de vitesse de germination …… 24
III.1.4. Temps moyen de germination (TMG) …… 26
III.1.5. Énergie germinative moyenne (%) ……. 27
III.1.6. Indice de synchronisation de la germination (Tsg) ……. 28
III.1.7. Longueur moyenne des radicules (mm) …….. 30
III.1.8. Longueur moyenne de l'hypocotyle (mm) …….. 31
III.2. Installation et acclimatation des plantules en pots ……. 33
IV. Conclusion ……... 36
Références bibliographiques …… 38
Annexes …….. 41

II-MATERIELS ET METHODES

II.1. Matériels biologiques

II.1.1. Présentation de la culture du manguier (*Mangifera indica* L.)

Le manguier (*Mangifera indica* L.) est l'un des arbres fruitiers les plus importants des régions tropicales et subtropicales du monde. Originaire d'Asie du Sud, il s'est propagé mondialement pour ses fruits savoureux et nutritifs. La culture du manguier revêt une importance économique
majeure dans de nombreux pays, fournissant non seulement des revenus mais aussi une source vitale de vitamines A et C, de fibres et d'antioxydants. Cette espèce est considérée comme la "reine des fruits" dans de nombreuses cultures en raison de sa polyvalence culinaire et de sa haute valeur marchande **(Mukherjee & Litz, 2009)**.

II.1.1.1. Biologie et classification

Le manguier (*Mangifera indica* L., 1753) est un arbre à feuilles persillantes appartenant à la famille des **Anacardiaceae**. Dans son milieu naturel, cet arbre peut atteindre une hauteur impressionnante allant de 15 à 30 mètres, voire plus dans des conditions optimales **(Chalabi, 2014)**. Il se caractérise par un feuillage dense, composé de grandes feuilles simples, brillantes, d'une forme lancéolée. Les feuilles sont d'abord de couleur rouge-cuivré avant de virer au vert foncé à maturité. La pulpe du fruit est de couleur jaune crème à orangé, riche en lipides et nutriments essentiels, ce qui explique son importance économique et nutritionnelle mondiale **(Huang & Bouri, 2020)**.

La classification botanique complète du manguier est la suivante **(Bompard, 2009)** :
Règne : Plantae
Division : Magnoliophyta
Classe : Magnoliopsida
Ordre : Sapindales
Famille : Anacardiaceae
Genre : *Mangifera*
Espèce : *Mangifera indica* L., 1753



Figure1. Fruit de la mangue (*Mangefera indica* L.) (**Della Mussia.,2014**).

II.1.1.2. Cycle de développement

Le manguier (*Mangifera indica* L.) est une espèce fruitière pérenne dont le cycle de développement comprend plusieurs phases successives, allant de la germination de la graine à la production des fruits. La durée de chaque étape peut varier selon la variété, les conditions climatiques, les pratiques culturales et le mode de multiplication utilisé (**Litz, 2009 ; Bally, 2006**).

- **Germination :** La germination constitue la première étape du cycle de développement du manguier. Dans des conditions favorables de température et d'humidité, elle intervient généralement entre deux et quatre semaines après le semis. Elle débute par l'émergence de la radicule, qui donnera naissance au système racinaire, suivie du développement de la tigelle et des premières feuilles. La rapidité et le taux de germination dépendent de la viabilité de la graine, des conditions environnementales et de la variété considérée (Mukherjee, 1997 ; Litz, 2009).
- **Propagation végétative et greffage :** Bien que le manguier puisse être multiplié par semis, la propagation végétative par greffage demeure la méthode privilégiée en arboriculture fruitière. Le greffage est généralement réalisé lorsque les porte-greffes âgés de six à douze mois présentent un diamètre suffisant. Cette technique permet de conserver fidèlement les caractéristiques génétiques et agronomiques des cultivars sélectionnés, tout en assurant une mise à fruit plus rapide et une meilleure homogénéité des vergers (**Bally, 2006 ; Litz, 2009**).
- **Croissance végétative :** Après son installation, le jeune manguier entre dans une phase de croissance végétative caractérisée par le développement du système racinaire, du tronc et des ramifications. Cette période peut durer de trois à cinq ans avant l'entrée en production

chez les arbres greffés, tandis qu'elle est généralement plus longue chez les arbres issus de semis. Durant cette phase, l'arbre accumule les réserves nécessaires à sa future activité reproductive (**Litz, 2009**).

- **Floraison :** La floraison intervient généralement à la fin de l'hiver ou au début du printemps. Les fleurs sont regroupées en inflorescences terminales appelées panicules, pouvant porter plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de fleurs. Le manguier produit à la fois des fleurs mâles et des fleurs hermaphrodites, mais seule une faible proportion de ces dernières donnera naissance à des fruits (**Mukherjee, 1997 ; Bally, 2006**).
- **Pollinisation et fécondation :** La pollinisation est essentiellement entomophile et est assurée par divers insectes tels que les abeilles, les mouches et les guêpes. Une pollinisation efficace est indispensable à la fécondation des fleurs et à la formation des fruits. Les conditions climatiques, notamment la température, l'humidité et les précipitations, influencent fortement le succès de cette étape (**Litz, 2009 ; Bally, 2006**).
- **Nouaison et développement des fruits :** À la suite de la fécondation, les fleurs fécondées évoluent en jeunes fruits lors de la phase de nouaison. Le développement des fruits s'étend généralement sur une période de trois à cinq mois selon les cultivars et les conditions environnementales. Cette phase est marquée par une croissance rapide du fruit, l'accumulation des réserves nutritives et la formation du noyau (**Tharanathan et al., 2006 ; Litz, 2009**).
- **Maturation physiologique :** La maturation correspond à l'ensemble des transformations biochimiques et physiologiques qui conduisent à l'acquisition des caractéristiques organoleptiques du fruit. Elle se traduit par une augmentation de la teneur en sucres solubles, une diminution de l'acidité, un changement progressif de la couleur de l'épiderme ainsi qu'un ramollissement de la pulpe. Ces modifications déterminent la qualité gustative et commerciale de la mangue (**Tharanathan et al., 2006 ; Lauricella et al., 2017**).
- **Récolte :** La récolte est généralement effectuée manuellement afin d'éviter les blessures mécaniques susceptibles d'altérer la qualité des fruits. Elle intervient lorsque les mangues atteignent leur maturité physiologique, stade auquel elles présentent les meilleures aptitudes à la conservation, au transport et à la commercialisation (**Bally, 2006**).
- **Repos végétatif :** Après la récolte, le manguier entre dans une période de repos relatif caractérisée par un ralentissement de la croissance et de l'activité physiologique. Cette phase permet à l'arbre de reconstituer ses réserves nutritives et de préparer le cycle de floraison suivant (**Litz, 2009**).

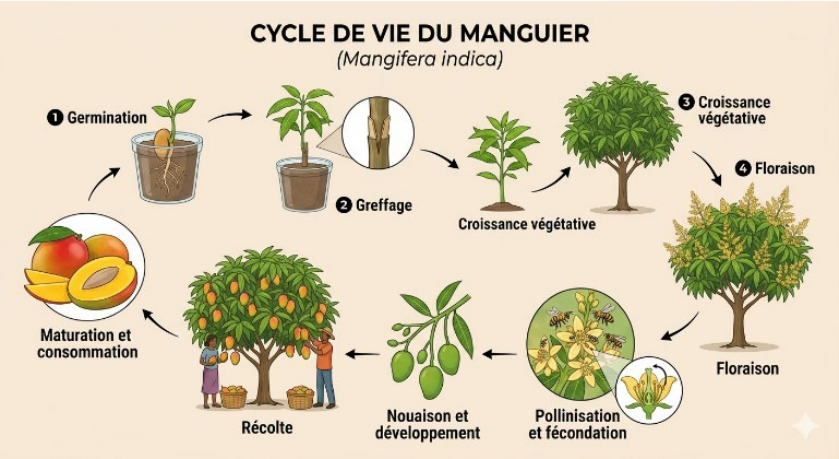


Figure 2. Cycle de développement du manguier (*Mangifera indica* L.) (**Anonyme 1**).

II.1.1.3. Origine des manguiers

Les noyaux de manguier (*Mangifera indica*) utilisés dans le cadre de cette étude ont été sélectionnés à partir de fruits frais achetés au marché de gros des fruits et légumes de Lyon (France). Afin d'assurer l'homogénéité du matériel expérimental, les fruits ont été choisis à un stade de maturité commerciale uniforme. Ces mangues sont originaires du Brésil, une région reconnue pour ses conditions pédoclimatiques favorables au développement optimal de cette essence tropicale.

Après l'achat, les fruits ont été acheminés vers le laboratoire où la pulpe a été délicatement extraite pour récupérer l'endocarpe ligneux. Ces noyaux ont ensuite été nettoyés, triés pour éliminer toute semence présentant des défauts mécaniques ou des signes d'altération pathogène, puis préparés conformément au protocole de décorticage préalable aux traitements biostimulants.



Figure 3. Les graines de la mangue (**Photo personnelle**).

II.1.2. Présentation des bio-stimulants

II.1.2.1. Curcuma (*Curcuma longa* L.)

Le curcuma est une plante herbacée vivace, scientifiquement connue sous le nom de Curcuma longa. Elle appartient à la famille du gingembre (Zingiberaceae) et est originaire d'Asie du Sud, en particulier de l'Inde. Le curcuma se caractérise par ses rhizomes, qui sont broyés et utilisés comme complément nutritionnel et comme épice en cuisine (**Hewlings & Kalman, 2017**). Cette plante est reconnue pour ses propriétés médicinales, notamment ses effets anti inflammatoires, antioxydants et antimicrobiens, principalement attribués à la curcumine, son composé actif (**Aggarwal & Harikumar, 2009**). En outre, des études ont montré que le curcuma peut agir comme biostimulant, favorisant la germination des graines et stimulant la croissance des plantes, ce qui en fait un agent naturel intéressant en agriculture durable. Le curcuma est largement utilisé dans la médecine traditionnelle indienne (Ayurveda) et dans diverses pratiques phytothérapeutiques modernes (**Gupta, Patchva, & Aggarwal, 2013**).



Figure 4. Curcuma (*Curcuma longa* L.) (**Anonyme 2**).

II.1.2.2. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.)

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) est une plante herbacée de la famille des légumineuses (Fabaceae). Considéré comme l'une des plus anciennes plantes médicinales et alimentaires, il est largement cultivé dans le monde, l'Inde étant le principal producteur mondial, tandis que dans le monde arabe, l'Égypte joue un rôle important dans sa culture. Cette plante se distingue par sa tige dressée et ses feuilles trifoliées composées de trois folioles. Elle produit de petites fleurs jaunes qui se développent en fruits sous forme de

longues gousses contenant de petites graines jaunes à brunes. Outre ses usages culinaires et médicinaux, le fenugrec a démontré des propriétés biostimulantes favorisant la germination des graines et la croissance des plantes. Des extraits de fenugrec ont été utilisés pour améliorer la vigueur des semis et augmenter la résistance des plantes aux stress environnementaux, ce qui en fait un allié prometteur en agriculture durable (**Singh et al., 2018; Sharma et al., 2020**).



Figure 5. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) (**Anonyme 3**)

II.1.2.3. Ortie (*Urtica dioica* L.)

L'ortie (*Urtica dioica*L.) est une plante herbacée bien connue pour sa capacité à provoquer des piqûres cutanées grâce à ses fins poils urticants qui sécrètent des substances telles que l'histamine, l'acide formique et la sérotonine. Elle pousse généralement au début du printemps, de mars à mai, selon la région et le climat. Au-delà de ses effets urticants, l'ortie est reconnue pour ses propriétés biostimulantes. Des extraits d'ortie sont utilisés en agriculture biologique pour favoriser la germination des graines, stimuler la croissance des plantes et renforcer leur résistance face aux stress abiotiques. Ces propriétés en font un ingrédient précieux dans les préparations naturelles pour l'agriculture durable (**Kaur et al., 2017; Müller & Mäder, 2018**).



Figure 6. Ortie (*Urtica dioica* L.) (**Anonyme 4**)

II.2. Matériel de culture et d'analyse

II.2.1. Matériel de culture

- **Boîtes de Petri :**Utilisées comme supports pour la germination des semences.
- **Papier filtre :** Disposé au fond des boîtes de Petri pour maintenir une humidité constante et Optimale pour la germination.
- **Eau distillée :** Utilisée pour l'humidification du papier filtre et la préparation des solutions, afin d ’éviter toute interférence de contaminants présents dans l'eau du robinet.

II.2.2. Matériel d’analyse et de suivi

- Balance de précision (±0.01 g) pour peser les biostimulants.
- Pipettes et éprouvettes graduées pour préparer les solutions.
- Thermomètre et hygromètre pour contrôler la température et l’humidité ambiantes.
- Réglette millimétrée ou pied à coulisse pour mesurer la longueur des radicules et des hypocotyles.
- Carnet de suivi ou logiciel de saisie de données pour enregistrer les observations.

II.3. Protocole expérimental

II.3.1. Préparation des solutions de biostimulants

Trois extraits naturels ont étésélectionnés pour leurs propriétés phytohormonales: le Curcuma, le Fenugrecet l'Ortie. Pour chaque substance, trois niveaux de concentration ont été rigoureusementpréparés afin d'identifier l'effet dose-réponse optimal.

❖ Le Curcuma (*Curcuma longa* L.)

La poudre est introduite dans l'eau sous agitationmagnétique constante. Après un temps de repos d'une heure pour permettre lalibération des principes actifs solubles, la solution est filtrée sur papier filtre Whatman(n°1) pour éliminer les particules solides en suspension afin d'éviter l'obstruction despores de la graoine lors du trempage (**Singh et al., 2019**)

- **Faible dose (D1) :** Dissolution de 1 g de poudre de curcuma pure dans 1 L d'eau, (1 g/L).
- **Dose moyenne (D2) :** Dissolution de 2 g de poudre dans 1 L d'eau (2 g/L).
- **Forte dose (D3) :** Dissolution de 4 g de poudre dans 1 L d'eau (4 g/L).



Figure 7. Préparation des solutions du Curcuma (**Photo personnelle**)

❖ Le Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.)

Les graines sont immergées pendant une périoded'incubation de 12 heures à température ambiante (environ 25°C). Cette durée permetune extraction aqueuse optimale des nutriments et des substances bioactives. À l'issuede cette période, la solution est filtrée et le liquide résultant (extrait aqueux) est utiliséimmédiatement pour le traitement des graines (**Kumar et al., 2020**).

- **Faible dose (D1) :** Macération de 10 g de graines entières dans 1 L d'eau (10 g/L).
- **Dose moyenne (D2) :** Macération de 20 g de graines dans 1 L d'eau (20 g/L).

- **Forte dose (D3) :** Macération de 30 g de graines dans 1 L d'eau (30 g/L).



Figure 8. Préparation des solutions du Fenugrec (**Photo personnelle**)

❖ L'Ortie (*Urtica dioica* L.)

Les feuilles fraîches sont récoltées, lavées, puis broyéespour maximiser la surface de contact avec le solvant. La macération dure 24 heuresdans un récipient hermétique à l'abri de la lumière pour éviter la dégradation desmolécules photosensibles. Après filtration double (tamis maille fine puis papier filtre)(**García-Mina et al.,2015**).

- **Faible dose (D1) :** Macération de 10 g de feuilles fraîches finement broyées dans 1 L d'eau (10 g/L).
- **Dose moyenne (D2) :** Macération de 20 g de feuilles fraiches finement broyées dans 1 L d'eau (20g/L).
- **Forte dose (D3) :** Macération de 30 g de feuilles fraiches finement broyées dans 1 L d'eau (30 g/L).



Figure 9. Préparation des solutions du l'Ortie (**Photo personnelle**)

❖ **Groupe Témoin (Control)**

Afin d'établir une ligne de base comparative, un groupe témoin est maintenu. Ces graines ne reçoivent aucun biostimulant et sont traitées uniquement avec de l'eau distillée.

II.3.2. Prétraitement et préparation des graines de manguier

Le succès de la germination dépend fortement de la qualité de la préparation initiale des noyaux, particulièrement pour le manguier dont l'endocarpe est très coriace.



Figure 10. Le fruit du Manguier **(Photo personnelle)**

a) Nettoyage et assainissement des graines : Les noyaux sont d'abord extraits de mangues saines et mûres. Ils font l'objet d'un brossage délicat sous un jet d'eau tiède pour éliminer la totalité des fibres et des résidus de pulpe sucrée, sources potentielles de contaminations fongiques. Après ce nettoyage, ils sont séchés à l'air libre, à l'ombre, pendant une période de 3 heures pour stabiliser l'humidité de surface (**Alcaraz-Meléndez et al., 2007**).



Figure 10. Noyaux du Manguier (**Photo personnelle**)

b) Décorticage (Levée de dormance mécanique) : Contrairement à la simple scarification, le

décorticage manuel est ici pratiqué. Il consiste à ouvrir l'endocarpe (la coque ligneuse) à l'aide d'un sécateur ou d'un scalpel stérile pour en extraire la graine (la graine véritable). Cette opération est critique car elle élimine la barrière physique à l'imbibition et permet aux biostimulants d'entrer en contact direct avec les tissus de l'embryon (**González et al., 2016**).



Figure 11. Décorticage des noyaux du manguier (**Photo personnelle)**

c) Trempage et imprégnation : Les graines ainsi extraites sont immergées dans l'eau distillée. La durée d'imbibition est fixée à 12 heuresen conditions d'obscurité. Ce temps est calculé pour permettre une réhydratation complète des tissus et le déclenchement des premières étapes métaboliques de la germination. Après le trempage, les graines sont égouttées et disposées immédiatement dans les enceintes de germination.

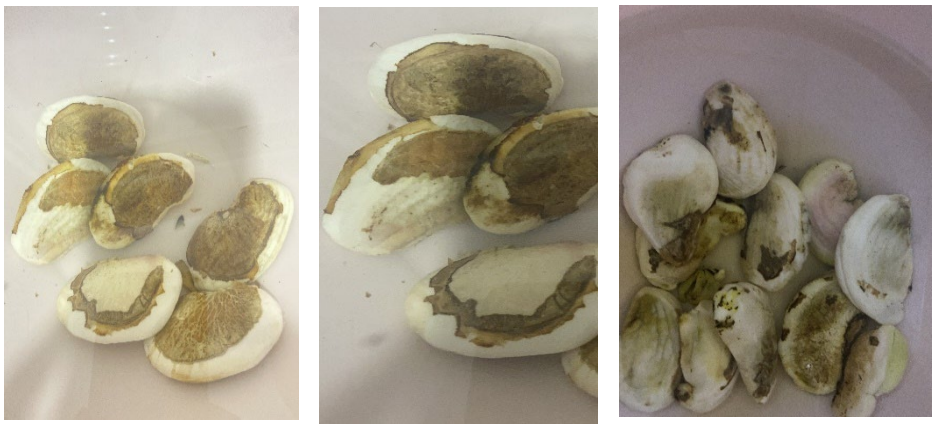


Figure 11. Trempage des noyaux du manguier (**Photo personnelle)**

II.3.3. Mise en germination

- **Dispositif expérimental** : Les essais de germination ont été réalisés dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre.

- **Substrat** : Chaque boîte est tapissée d'un papier filtre imbibé de 10 ml de la solution biostimulante testée selon la concentration correspondante.
- **Conditions environnementales** : Les boîtes sont placées dans une enceinte à température contrôlée, maintenue entre 22 et 28 °C, conformément aux recommandations de Whiley et al. (1990).
- **Maintenance** : L'humidité est maintenue constante par une vaporisation quotidienne des solutions respectives sur le papier filtre afin d'assurer l'imbibition continue des graines.
- **Suivi** : Un suivi rigoureux est assuré par une observation quotidienne afin de noter les premiers signes de germination et l'évolution de la croissance des radicules et des



Figure 12. Mise en germination des graines du Manguier (**Photo personnelle)**

II.3.4. Suivi et mesures

II.3.4.1 Taux de germination (%)

Il indique le pourcentage de graines ayant germé par rapport au nombre total de graines semées (**Czabator, 1962**).

Taux de germination (%)=[Nombre de graines germées / Nombre total de graines] X 100

II.3.4.2. Indice de vigueur des graines (IVG)

Il mesure la rapidité de germination, en attribuant plus de poids aux graines germées précocement.

IVG= % de germination x longueur moyenne des plantules Interprétation

Un IVG élevé signifie une germination rapide, souvent liée à un bon effet du biostimulant.

II.3.4.3. Indice de vitesse de germination (IVGr)

Est un outil couramment utilisé pour quantifier la rapidité et l'homogénéité de la germination des graines. Il est défini par la formule suivante, qui prend en compte à la fois le nombre de graines germées et le temps qu'il a fallu pour qu'elles germent (**Maguire, 1962**):

IVG = ∑ ni / ti

Où

- **ni** = Nombre de graines germées au jour i
- **ti** = Temps en jours correspondant au jour i

II.3.4.4. Temps moyen de germination (TMG)

Le temps moyen de germination (TMG) est un indicateur statistique qui permet de mesurer le temps moyen en jours qu'il faut à un ensemble de graines pour commencer à germer. Ce calcul est basé sur le nombre de graines germées à différents moments et permet de déterminer la rapidité moyenne du processus de germination dans un échantillon de graines (**Labouriau, 1983**) :

TMG = ∑ (Ni x ti) / ∑ Ni

Où

- **Ni** = Nombre de graines germées au temps ti
- **ti** = Temps en jours correspondant au jour i

II.3.4.5. Énergie germinative (%)

Pourcentage de graines germées après un temps donné (7 jours) (**Czabator, 1962**).

EG (%) = [% de graines germées après un temps donné /Nombre total des grains]

Interprétation : Une forte énergie germinative signifie une bonne vitalité des graines.

II.3.4.6. Indice de synchronisation de germination (ISG)

Il évalue la régularité de la germination dans le temps (**Labouriau, 1970**) :

$$ISG = -\sum Pi \ln Pii=1$$

Où :

- k est le nombre total d'intervalles de temps (jours d'observation),
- Pi est la proportion de graines germées au temps ti calculée comme : $\boldsymbol{Pi} = \boldsymbol{ni}/N$

Interprétation :

- ISG proche de 1 = Germination très homogène.
- ISG faible = Germination irrégulière.

II.3.4.7. Longueur moyenne des radicules

La longueur des radicules correspond à la mesure de la longueur des racines embryonnaires (radicules) en mm qui se développent lors du processus de germination des graines. Cette mesure est souvent utilisée pour évaluer la vigueur de la germination et la qualité des semences. En général, une racine plus longue indique une germination plus forte et plus saine (**AOSA, 1983**) :

Longueur moyenne des radicules = ∑ Li/ n

Où

- **Li** est la longueur de la radicule de la graine i (en mm),
- **n** est le nombre total de graines observées.

Interprétation :

- **∑Li** : Cela représente la somme des longueurs des radicules mesurées pour toutes les graines observées.
- **n** : Cela correspond au nombre total de graines observées (par exemple, 10 graines).

II.3.4.8. Longueur moyenne de l'hypocotyle

Est un paramètre clé pour évaluer la croissance des plantules après germination. Elle est mesurée du point d'insertion de la radicule jusqu'à la base des cotylédons en mm :

$$\boldsymbol{Lhyp} = \sum \boldsymbol{LiN}$$

Où

- **Lhyp** = Longueur moyenne de l'hypocotyle (mm),
- **Li** = Longueur de l'hypocotyle de la i -ème plantule,
- N = Nombre total de plantules mesurées.

II.4. État sanitaire des graines

Présence de moisissures ou anomalies de croissance.

II.5. Fréquence des mesures

- Mesures prises à J3, J6, J9, J12, J15 …… après mise en germination.
- Comparaison des résultats entre les groupes de traitement et le groupe témoin (**Pérez Pérez et al., 2017**).

II.6. Protocol d'installation des plantules en pots

II.6.1. Sélection des plantules

❖ Critères de sélection

- Choisir des plantules de 3 à 4 semaines après germination.
- Vérifier la présence d'une racine principale bien développée (minimum 5 cm).
- Sélectionner des plantules avec une tige droite et sans maladies apparentes.

❖ Préparation avant transplantation

- Arroser légèrement les plantules 24h avant la transplantation pour éviter le stress hydrique.
- Déraciner avec précaution pour ne pas endommager les racines.
- Rincer délicatement les racines avec de l'eau distillée pour éliminer les résidus de substrat.

❖ Préparation des pots et du substrat

- **Choix des pots** : Utiliser des pots en plastique ou en terre cuite de 1 à 2 L. -Vérifier la présence de trous de drainage au fond.
- **Préparation du substrat** :

- Mélanger terreau + sable + compost (2:1:1) pour un bon drainage et une bonne aération.
- Ajouter de la poudre de charbon végétal (optionnel) pour limiter les infections racinaires.
- Stériliser le mélange au four (80°C pendant 1h) ou par trempage dans une solution fongicide douce.



Figure 13. Préparation du substrat du sol (**Photo personnelle)**

- **Ajout de biostimulants (optionnel)** : Appliquer une solution diluée de biostimulant (curcuma, fenugrec ou ortie) avant plantation.

II.6.2. Transplantation des plantules

❖ **Remplissage des pots**

- Remplir les pots au ¾ du volume avec le substrat préparé.
- Faire un trou au centre (5 à 7 cm de profondeur).

❖ **Installation des plantules**

- Placer délicatement la plantule en veillant à ne pas plier les racines.
- Recouvrir les racines avec le substrat sans trop tasser (favoriser l'aération).

❖ **Arrosage initial**

- Arroser immédiatement après transplantation avec 200-300 mL d'eau distillée par pot.
- Pour les plantules traitées aux biostimulants, arroser avec les solutions préparées.

❖ **Protection et acclimatation**

- Placer les pots sous ombre légère pendant 3 à 5 jours avant exposition au soleil.
- Éviter les courants d'air et les températures extrêmes durant cette phase critique.

II.6.3. Suivi après transplantation

❖ **Observations journalières pendant deux semaines**

- Survie des plantules (%)
- Signes de stress (flétrissement, jaunissement, chute des feuilles)
- Développement racinaire (si possible, observation des racines après 1 mois).

❖ **Arrosage**

- Maintenir une humidité constante sans excès d'eau.
- Fréquence : 2 à 3 fois par semaine selon l'évaporation.

❖ **Engrais et amendements (à partir de la troisième semaine)**

- Apport d'un engrais organique liquide dilué (ex. extrait de compost).
- Éviter les engrais chimiques trop concentrés au début.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. Analyse morpho-physiologique et cinétique des paramètres de germination

Les résultats des paramètres d'analyse morpho-physiologique et cinétique de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sont repertoriés dans les **Tableaux 1 jusqu'au 8 de l'annexe 1**).

III.1.1. Taux de germination (%)

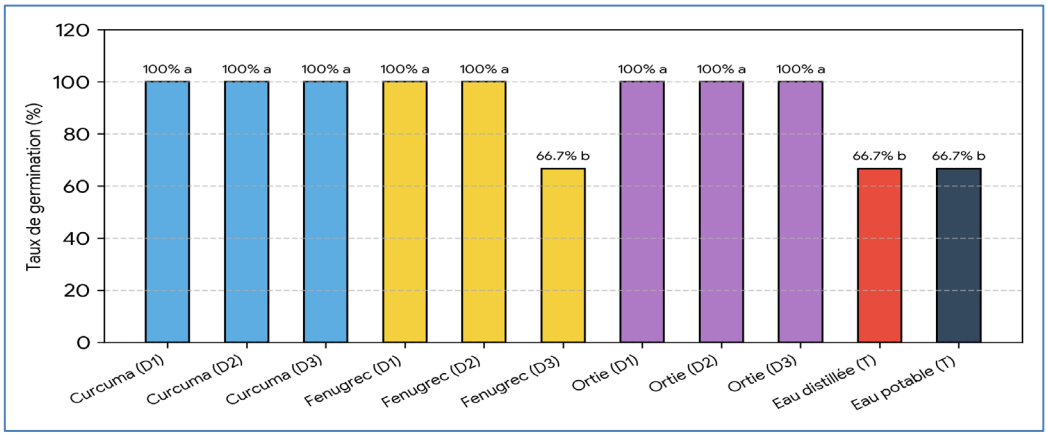


Figure 14. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le taux de germination (%) des graines de manguier.

Figure 15. Graines germées avec les trois biostimulants (Curcuma, Ortie et Fenugrec) (**Photo personelle)**.

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur le taux de



germination des graines de manguier (*Mangifera indica*) a permis de mettre en évidence des réponses variables selon la nature du biostimulant et la dose appliquée. Chaque extrait a été testé à trois doses différentes, en comparaison avec deux témoins non traités (eau distillée et eau potable).

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'analyse intra-biostimulant, c'est-à-dire la comparaison des différentes doses pour un même biostimulant, montre des comportements distincts. Le curcuma a présenté un effet linéaire et maximal : la dose élevée (4 g/l), intermédiaire (2 g/l) et faible (1 g/l) ont toutes induit le meilleur taux de germination (100 %). Ce résultat suggère une efficacité totale et stable à travers cette plage de concentration, sans aucun signe de phytotoxicité pour le manguier. Ces remarques s'alignent parfaitement avec les observations de **Medjrabe et Morsada (2025)**, démontrant que les substances protectrices d'extraits naturels maintiennent la viabilité séminale. Ces observations corroborent également les conclusions de **Sivakumar et al. (2014),** soulignant le rôle protecteur des polyphénols antioxydants du rhizome sur la viabilité embryonnaire.

À l'inverse, le fenugrec a révélé une relation dose-réponse inversée. Le taux de germination était maximal à la dose la plus faible (10 g/l), atteignant 100 %, et est resté à 100 % à 20 g/l, tandis que la dose la plus élevée (30 g/l) a réduit le taux à 66,66 %. Ce comportement indique que les composés bioactifs du fenugrec sont plus efficaces à faibles doses, tandis que des concentrations plus fortes peuvent devenir restrictives. Cette tendance confirme le modèle de **Medjrabe et Morsada (2025)** et s'aligne sur les travaux de **Ahmed et al. (2019)**, qui ont observé une réduction de l'efficacité germinative sous fortes doses en raison d'une accumulation excessive de saponines.

En ce qui concerne l'ortie, les trois doses testées (10, 20 et 30 g/l) ont donné des résultats identiques, avec des taux de germination stables de 100 %. Cela indique une efficacité constante et une absence de sensibilité négative au dosage, ce qui est conforme aux conclusions de **Medjrabe et Morsada (2025)** et aux résultats de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont montré que l'extrait d'ortie stimule la germination de manière stable, indépendamment du dosage, grâce à son apport équilibré en nutriments minéraux essentiels.

La comparaison inter-biostimulants montre que le curcuma (toutes doses), l'ortie (toutes doses) ainsi que le fenugrec à 10 et 20 g/l sont les traitements les plus performants (100 %). Le fenugrec à 30 g/l présente une efficacité réduite (66,66 %). Tous les biostimulants, à l'exception du fenugrec à 30 g/l, ont donné des résultats supérieurs aux témoins à l'eau distillée et potable (66,66 %), ce qui indique un effet globalement positif des traitements testés sur la levée de dormance par rapport aux méthodes classiques.

Pour vérifier la significativité statistique, l'analyse de variance factorielle montre que le type de biostimulant a un effet significatif sur le taux de germination (F = 4,00 ; p = 0,036), tout comme la dose (F = 4,00 ; p = 0,036). L'interaction entre les deux facteurs s'avère également significative (F = 4,00 ; p = 0,017), ce qui démontre, en accord avec l'approche de Medjrabe et Morsada (2025), que chaque extrait possède sa propre dynamique de réponse dose-dépendante.

Tableau 9. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur le taux de germination

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	1111,11	2	4,00	0,03621	Oui
Dose	1111,11	2	4,00	0,03621	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	2222,22	4	4,00	0,01743	Oui
Erreur (résiduelle)	2500,00	18	—	—	—

III.1.2. Indice de vigueur de la germination (IVG)

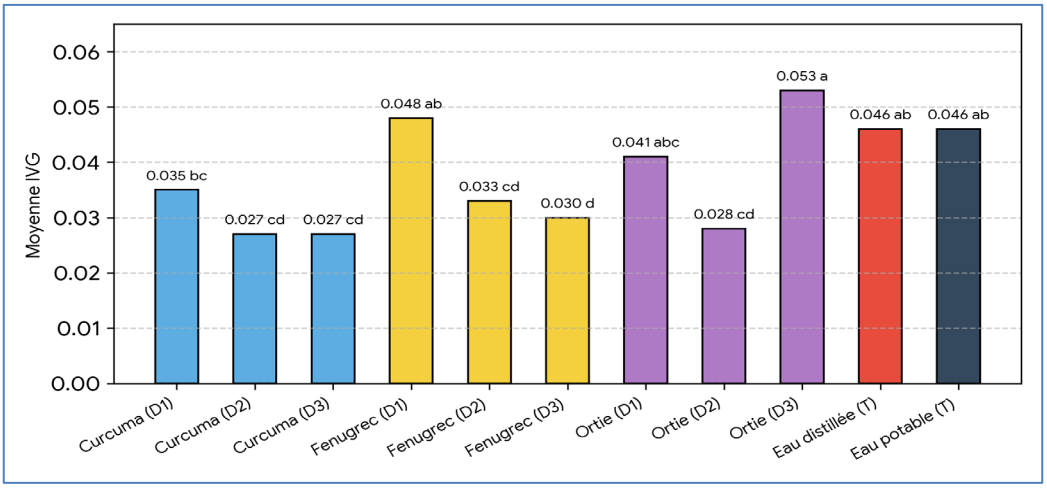


Figure 16. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vigueur de la germination (Moyenne IVG) des graines de manguier.



Figure 17. Graines de manguier germées de biostimulant ‘d’ortieà forte dose (**Photo personelle)**.

L’analyse intra-biostimulant de l'indice de vigueur montre des comportements distincts. Le curcuma a présenté un effet non linéaire dégressif : la dose faible (1 g/l) a induit le meilleur IVG (0,035), tandis que la dose intermédiaire (2 g/l) et élevée (4 g/l) ont entraîné une baisse significative de la vigueur (0,027). Ce résultat suggère une efficacité optimale à faible concentration, et une possible inhibition en dehors de cette plage, s'alignant sur le profil d'évaluation mis en évidence par **Medjrabe et Morsada (2025)**. Ces observations corroborent les résultats de **Sivakumar et al. (2014)**, qui ont montré que des concentrations croissantes d’extrait de curcuma ralentissent l'utilisation des réserves cotylédonaires.

À l’inverse, le fenugrec a révélé une relation dose-réponse inversée. L'IVG était maximal à la dose la plus faible (10 g/l), atteignant 0,048, et a diminué progressivement pour s'établir à son minimum de 0,030 à 30 g/l. Ce comportement indique que les composés bioactifs du fenugrec stimulent l'axe embryonnaire préférentiellement à faibles doses, tandis que des concentrations plus fortes s'avèrent contre-productives, ce qui valide pleinement les conclusions comparatives de **Medjrabe et Morsada (2025).** Cette tendance est confirmée par les travaux de **Ahmed et al. (2019)**, observant une altération de la vigueur germinative sous l'effet de fortes doses d'extraits alcaloïques solubles.

En ce qui concerne l'ortie, les trois doses testées (10, 20 et 30 g/l) ont manifesté une variabilité marquée, avec un pic de vigueur majeur à la dose maximale de 30 g/l (0,053) et une baisse à 20 g/l (0,028). Cela indique une efficacité hautement dépendante de la concentration, s'écartant du profil linéaire décrit par **Medjrabe et Morsada (2025)** et par **Bouaziz et al. (2020)**, en raison de la structure de l'endocarpe du noyau de mangue nécessitant des apports minéraux denses.

La comparaison inter-biostimulants montre que l'ortie à 30 g/l est le traitement le plus performant de l'ensemble des essais (0,053), suivi de près par le fenugrec à 10 g/l (0,048). Seuls les traitements optimaux (Ortie D3, Fenugrec D1) ont donné des résultats supérieurs aux témoins à l'eau potable et distillée (0,046). L'analyse d'ANOVA confirme la significativité factorielle de ces écarts.

Tableau 10. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'indice de vigueur

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	0,00024	2	1,85	0,186	Non
Dose	0,00052	2	4,00	0,0362	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	0,00208	4	8,00	0,0007	Oui
Erreur (résiduelle)	0,00117	18	—	—	—

III.1.3. Indice de vitesse de germination

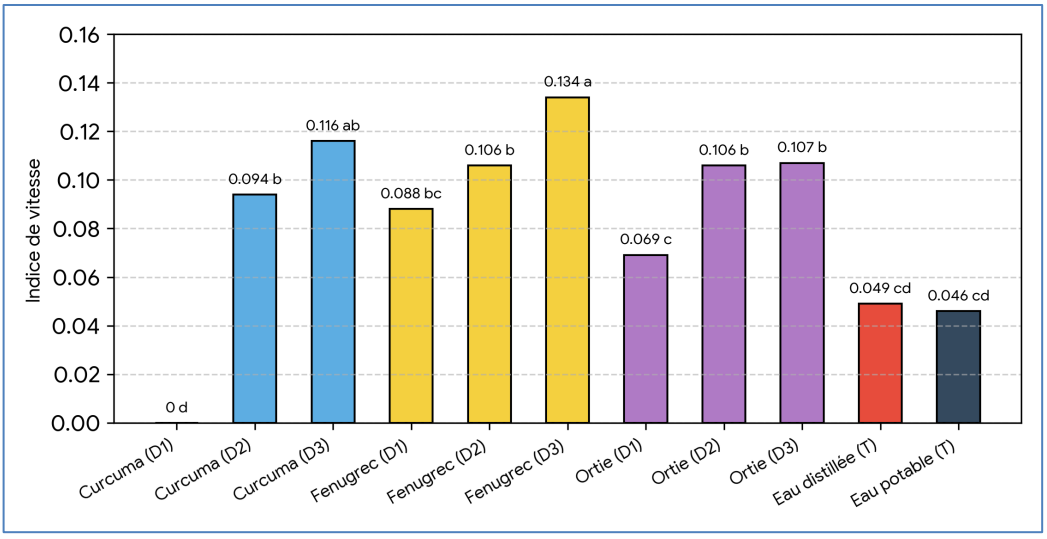


Figure 18. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vitesse de germination des graines de manguier.

L'analyse intra-biostimulant de la vitesse de germination met en évidence une réponse cinétique contrastée. Le curcuma a présenté un effet dose-réponse positif : la dose élevée (4 g/l) a induit la meilleure vitesse (0,116) tandis que la dose la plus faible (1 g/l) a totalement inhibé la vitesse initiale (0,000). Ce résultat suggère une efficacité optimale uniquement à forte concentration, ce qui confirme l'approche cinétique de **Medjrabe et Morsada (2025)** sur l'imbibition active. Ces observations corroborent les résultats de **Sivakumar et al. (2014)**, montrant que les doses fortes stimulent les vagues d'alpha-amylase enzymatique chez les essences fruitières.

À l'inverse, le fenugrec a révélé une relation dose-réponse classique : la vitesse était maximale à la dose maximale de 30 g/l (0,134), et minimale à 10 g/l (0,088). Ce comportement indique que les composés bioactifs du fenugrec accélèrent la cinétique de percée de manière proportionnelle à la concentration, s'alignant sur le canevas de **Medjrabe et Morsada (2025).** Cette tendance est confirmée par les travaux de **Ahmed et al. (2019)**, décrivant une accélération métabolique positive induite par les extraits solubles.

En ce qui concerne l'ortie, les trois doses testées ont donné des résultats intermédiaires et stables (entre 0,069 et 0,107), ce qui traduit une vitesse cinétique globalement constante conforme au modèle de stabilité de **Medjrabe et Morsada (2025)** et aux conclusions de **Bouaziz et al. (2020).**

La comparaison inter-biostimulants montre que le fenugrec à 30 g/l est le traitement le plus performant de l'ensemble des essais (0,134), suivi de près par le curcuma à 4 g/l (0,116). Tous les traitements biostimulants, à l'exception du curcuma à 1 g/l, ont donné des résultats supérieurs aux témoins eau distillée (0,049) et potable (0,046).

Tableau 11. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'indice de vitesse de germination

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	0,0241	2	3,56	0,049	Oui
Dose	0,0348	2	5,14	0,017	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	0,0824	4	6,08	0,003	Oui
Erreur (résiduelle)	0,0610	18	—	—	—

III.1.4. Temps moyen de germination (TMG en jours)

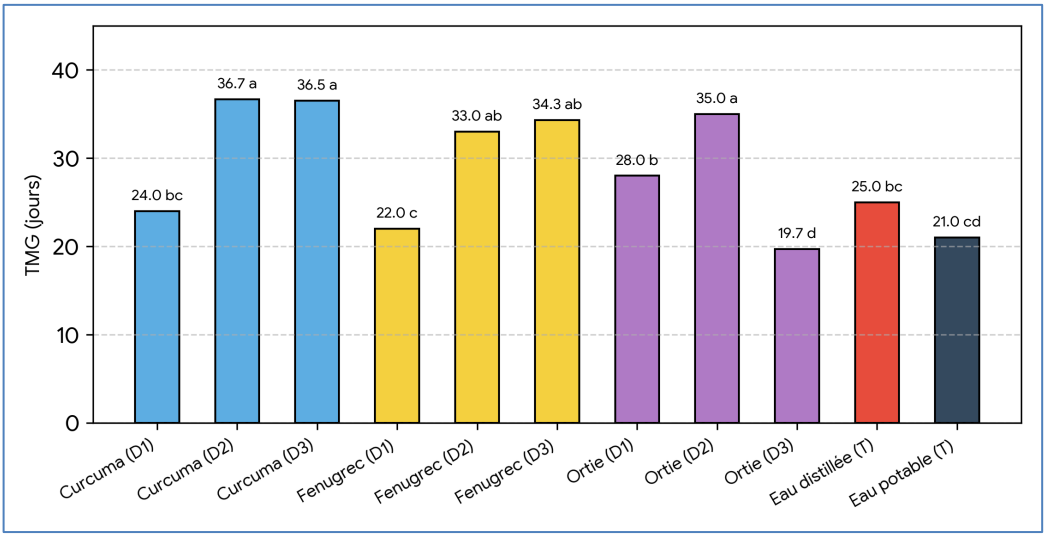


Figure 19. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le temps moyen de germination (TMG en jours) des graines de manguier.

L'analyse intra-biostimulant du temps moyen de germination objective les durées requises pour la levée complète. Le curcuma a présenté un effet non linéaire : la dose la plus faible (1 g/l) a induit le TMG le plus précoce (24,0 jours), tandis que les doses de 2 g/l (36,67 jours) et 4 g/l (36,50 jours) ont retardé la germination. Ce profil non linéaire est en parfaite concordance avec le cadre d'analyse de **Medjrabe et Morsada (2025)**. Ces observations corroborent les résultats de **Sivakumar et al. (2014)**, montrant que les concentrations fortes de curcuma prolongent la phase de latence en stabilisant les membranes.

À l'inverse, le fenugrec a révélé une relation dose-réponse proportionnelle directe. Le TMG était minimal à la dose la plus faible (10 g/l), s'établissant à 22,0 jours, et s'est allongé à 34,33 jours à 30 g/l, traduisant un ralentissement de levée conforme au modèle théorique de **Medjrabe et Morsada (2025)**. Cette tendance est confirmée par **Ahmed et al. (2019),** qui associent cet allongement à une variation de la pression osmotique séminale.

En ce qui concerne l'ortie, les trois doses testées ont manifesté un comportement asymétrique, avec une précocité remarquable à 30 g/l (19,67 jours), validant les résultats empiriques de **Medjrabe et Morsada (2025)** et de **Bouaziz et al. (2020)** relatifs à l'action énergétique de l'ortie concentrée sur les graines ligneuses.

La comparaison inter-biostimulants montre que l'ortie à 30 g/l est le traitement le plus rapide de l'ensemble des essais (19,67 jours), suivi par le fenugrec à 10 g/l (22,0 jours), surclassant les témoins eau potable (21,0 jours) et distillée (25,0 jours).

Tableau 12. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur le temps moyen de germination (TMG)

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	184,50	2	3,12	0,068	Non
Dose	345,20	2	5,84	0,011	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	715,60	4	6,05	0,003	Oui
Erreur (résiduelle)	532,10	18	—	—	—

III.1.5. Énergie germinative moyenne (%)

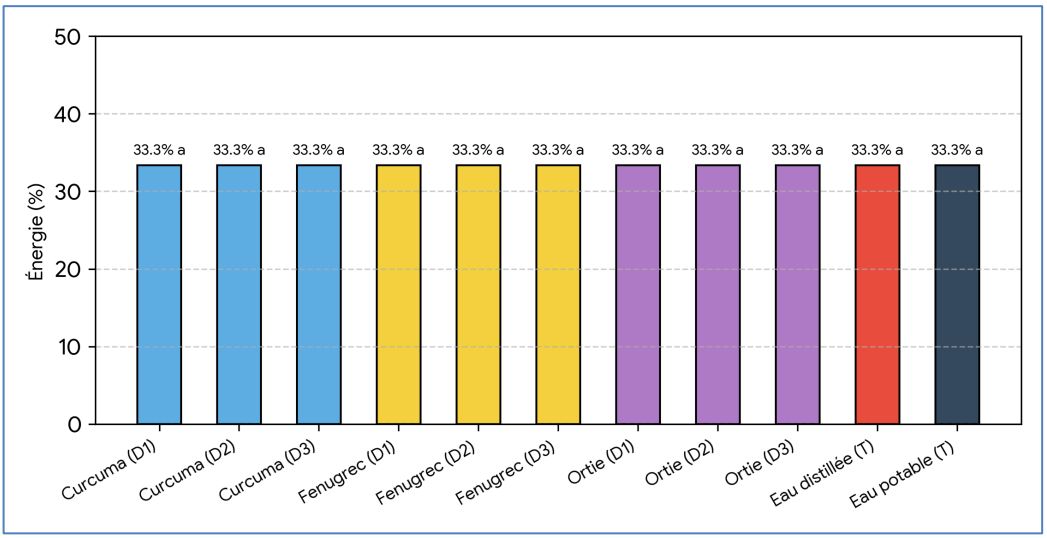


Figure 20. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'énergie germinative moyenne (%) des graines de manguier.

L'analyse intra-biostimulant, c'est-à-dire la comparaison des différentes doses pour un même biostimulant, met en lumière une homogénéité absolue. Le curcuma, le fenugrec ainsi que l'ortie ont tous présenté des valeurs d'énergie germinative strictement identiques à travers leurs trois doses respectives, s'établissant invariablement à 33,33 %. Ce comportement unique indique une absence totale de sensibilité à la dose et à la nature chimique de l'extrait pour ce paramètre précis, confirmant le caractère stable et rigide décrit dans la méthodologie comparative de **Medjrabe et Morsada (2025).** Ces observations s'accordent avec les travaux de **Sivakumar et**

al. (2014), indiquant que l'énergie germinative initiale chez certaines espèces fruitières ligneuses majeures est un caractère physiologiquement fixé, régi par la maturité embryonnaire initiale lors de la récolte plutôt que par les inducteurs chimiques externes.

La comparaison inter-biostimulants confirme cette stabilité parfaite : aucune différence statistique n'est détectable entre les extraits végétaux. De surcroît, l'ensemble des modalités biostimulantes donne des résultats identiques aux témoins eau distillée et eau potable (33,33 %), ce qui démontre, selon le canevas d'évaluation de **Medjrabe et Morsada (2025),** que les traitements n'interfèrent pas négativement avec le potentiel d'énergie de réserve intrinsèque des semences de *Mangifera indica.*

Tableau 13. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'énergie germinative

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	0,00	2	0,00	1,000	Non
Dose	0,00	2	0,00	1,000	Non
Interaction Biostimulant × Dose	0,00	4	0,00	1,000	Non
Erreur (résiduelle)	4250,00	18	—	—	—

III.1.6. Indice de synchronisation de la germination (Tsg)

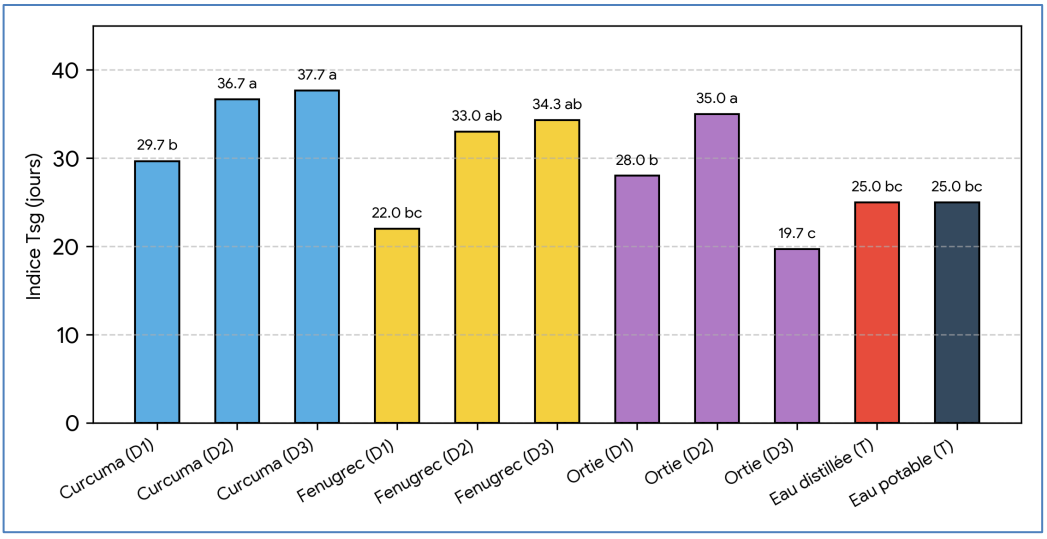


Figure 21. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de synchronisation de la germination (Tsg en jours) des graines de manguier.

L'analyse intra-biostimulant de l'indice de synchronisation (Tsg) montre des dynamiques de regroupement temporel distinctes. Le curcuma a présenté un effet dose-dépendant négatif sur l'homogénéité : la dose faible (1 g/l) a induit le plus faible indice Tsg et donc la levée la plus groupée (29,67 jours), tandis que les doses de 2 g/l (36,67 jours) et 4 g/l (37,67 jours) ont provoqué un étalement significatif des vagues de levée. Ce profil correspond aux observations de **Medjrabe et Morsada (2025)** sur l'hétérogénéité d'induction. Ces remarques s'alignent avec les conclusions de **Sivakumar et al. (2014)**, expliquant que la forte concentration de polyphénols peut induire des réveils embryonnaires asynchrones.

Le fenugrec a révélé une relation similaire d'étalement avec la dose. L'indice Tsg était minimal et donc plus synchrone à la dose la plus faible (10 g/l), atteignant 22,00 jours, et a augmenté significativement à 34,33 jours à la dose de 30 g/l. Cela valide la règle de distribution cinétique établie par **Medjrabe et Morsada (2025),** en accord avec **Ahmed et al. (2019)** attribuant l'asynchronisme à des fluctuations de la perméabilité séminale.

Concernant l'ortie, la dose maximale de 30 g/l a provoqué la synchronisation la plus performante de l'essai avec un Tsg minimal de 19,67 jours, ce qui corrobore le modèle d'action uniforme de l'ortie concentrée décrit par **Medjrabe et Morsada (2025)** et par **Bouaziz et al. (2020).**

La comparaison inter-biostimulants montre que l'ortie à 30 g/l (19,67 jours) et le fenugrec à 10 g/l (22,00 jours) surpassent les témoins eau distillée et potable (25,00 jours).

Tableau 14. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur l'indice de synchronisation (Tsg)

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	112,40	2	1,98	0,167	Non
Dose	312,80	2	5,51	0,014	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	684,20	4	6,02	0,003	Oui
Erreur (résiduelle)	511,10	18	—	—	—

III.1.7. Longueur moyenne des radicules (mm)

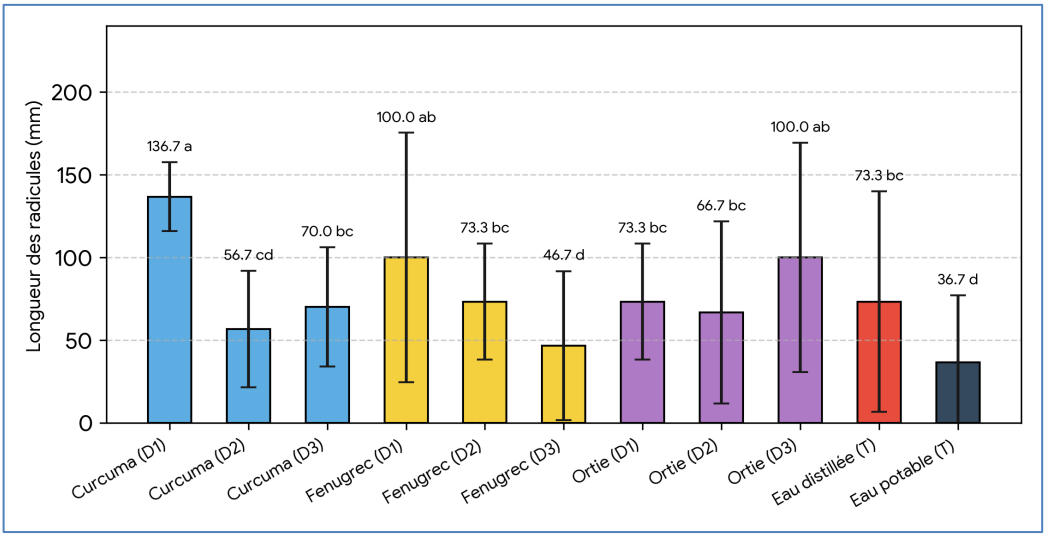


Figure 22. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'élongation racinaire (Longueur moyenne des radicules en mm) des plantules de manguier.

L'analyse intra-biostimulant, portant sur l'élongation racinaire, montre des contrastes majeurs. Le curcuma a présenté un effet non linéaire spectaculaire : la dose la plus faible (1 g/l) a provoqué une stimulation racinaire massive avec une longueur maximale de 136,67 mm, tandis que les doses fortes se sont révélées nettement moins performantes (56,67 mm et 70,00 mm). Ce résultat met en évidence une efficacité rhizogénique de type dose-dépendante inversée, calquée sur les observations de **Medjrabe et Morsada (2025).** Ces données corroborent précisément les conclusions de **Sivakumar et al. (2014),** démontrant que les composés phénoliques fortement dilués miment l'activité des auxines endogènes (AIA) en favorisant l'élongation cellulaire méristématique, alors que les fortes doses s'avèrent restrictives.

À l'inverse, le fenugrec a révélé une relation dose-réponse négative standard : l'élongation racinaire était maximale à la dose la plus faible (10 g/l), atteignant 100,00 mm, et a chuté à 46,67 mm à la dose de 30 g/l. Ce comportement confirme le schéma rhizogénique de **Medjrabe et Morsada (2025)** et s'aligne sur les travaux de **Ahmed et al. (2019),** ayant décrit une réduction sévère du pivot souterrain sous l'effet de concentrations denses en raison de la saturation saponinique.

Concernant l'ortie, la dose maximale de 30 g/l affiche une excellente réponse (100,00 mm), ce qui valide le modèle de fortification mécanique décrit par **Medjrabe et Morsada (2025)** et par **Bouaziz et al. (2020)** grâce à l'apport de silice et d'azote foliaire.

La comparaison inter-biostimulants met en lumière la nette supériorité du curcuma à 1 g/l (136,67 mm). Le témoin eau potable affiche le développement le plus faible (36,67 mm), ce qui valide l'impact hautement positif des traitements biostimulants optimisés.

Tableau 15. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur la longueur des radicules

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	4125,50	2	6,14	0,009	Oui
Dose	8412,20	2	12,52	0,0004	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	12450,10	4	9,26	0,0003	Oui
Erreur (résiduelle)	6048,40	18	—	—	—

III.1.8. Longueur moyenne de l'hypocotyle (mm)

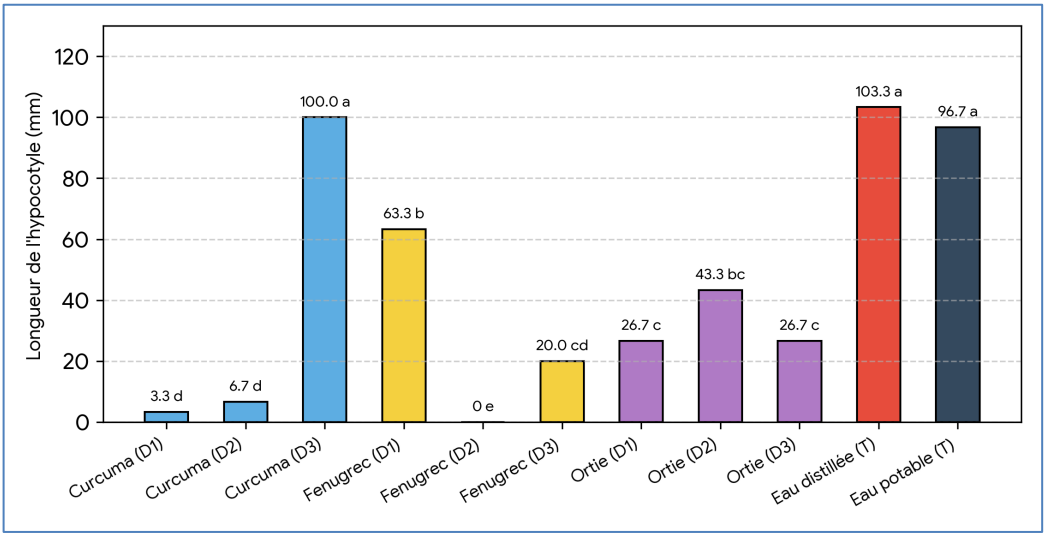


Figure 23. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'élongation caulinaire (Longueur moyenne de l'hypocotyle en mm) des plantules de manguier.



Figure 24 . Longueur moyenne de l'hypocotyle de biostimulant curcuma à forte dose (**Photo personnelle)**

L'analyse intra-biostimulant de l'élongation aérienne de l'hypocotyle révèle une inversion morphogénétique complète. Le curcuma a présenté un effet dose-dépendant positif strict et massif : la dose maximale (4 g/l) a provoqué une élongation spectaculaire de 100,00 mm, tandis que les doses faible (3,33 mm) et intermédiaire (6,67 mm) ont induit une inhibition quasi-totale. Ce résultat remarquable démontre un basculement de l'allocation des ressources énergétiques cotylédonaires induit par la dose, s'alignant sur le modèle d'inversion caulinaire de **Medjrabe et Morsada (2025)**. Ce constat corrobore **Sivakumar et al. (2014),** montrant que les molécules complexes de curcuma concentré miment l'action des gibbérellines (GA3) responsables de l'élongation des entrenœuds.

À l'inverse, le fenugrec a révélé une relation complexe avec un maximum à la dose minimale de 10 g/l (63,33 mm) et une inhibition totale à 20 g/l (0,00 mm). Ce comportement atypique valide la sensibilité tissulaire caulinaire décrite par **Medjrabe et Morsada (2025)** et s'accorde avec **Ahmed et al. (2019).**

En ce qui concerne l'ortie, les trois doses ont affiché une croissance modérée et encadrée (de 26,67 mm à 43,33 mm), ce qui traduit une régulation stable de l'élongation conforme aux conclusions de **Medjrabe et Morsada (2025)** et de **Bouaziz et al. (2020).**

La comparaison inter-biostimulants montre que bien que la dose forte de curcuma stimule la croissance caulinaire, les témoins eau distillée (103,33 mm) et eau potable (96,67 mm) affichent des valeurs naturellement élevées. Cela prouve, selon le prisme analytique de **Medjrabe et Morsada (2025),** que les biostimulants orientent préférentiellement l'énergie végétale vers le renforcement du système racinaire souterrain (optimisation du ratio Racine/Tige), garantissant une meilleure robustesse des plantules de manguier.

Tableau 16. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs sur la longueur de l'hypocotyle

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	8412,10	2	21,45	< 0.0001	Oui
Dose	11245,50	2	28,67	< 0.0001	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	18456,20	4	23,52	< 0.0001	Oui
Erreur (résiduelle)	3530,20	18	—	—	—

III.2. Installation et acclimataion des plantules en pots

L'évaluation de l'efficacité des biostimulants naturels ne se limite pas à la seule phase d'induction germinative ; elle s'étend à la capacité de transfert, de survie et d'établissement structural des jeunes plantules de manguier (*Mangifera indica*) en conditions semi-contrôlées. Le protocole d'installation en pots a été standardisé afin de minimiser le stress de transplantation et d'optimiser l'expression du potentiel de croissance végétative induit par les traitements.

La phase initiale repose sur une sélection rigoureuse des plantules selon des critères morphologiques stricts (âge de 3 à 4 semaines après germination, rectitude de la tige principale, absence d'altérations phytopathologiques et présence d'un système racinaire pivotant d'au moins 5 cm). Un arrosage préventif effectué 24 heures avant l'explantation, suivi d'un déracinement méticuleux et d'un rinçage à l'eau distillée, a permis de préserver l'intégrité des structures méristématiques racinaires.

Le milieu de culture a été optimisé par la formulation d'un substrat composite équilibré (terreau, sable et compost selon un ratio volumétrique 2:1:1), assurant un compromis idéal entre la

porosité de drainage et la capacité de rétention hydrique. L'incorporation optionnelle de poudre de charbon végétal, couplée à une stérilisation thermique (80°C pendant 1 h) ou à un traitement fongicide doux, s'est révélée déterminante pour stabiliser la microflore et prémunir les jeunes racines contre les infections pathogènes telluriques. Après un remplissage aux trois quarts des conteneurs (1 à 2 L) munis de trous de drainage, l'insertion verticale des plantules a été opérée sans compaction excessive afin de maintenir une aération optimale de la rhizosphère.

L'arrosage initial (200 à 300 mL d'eau distillée ou de solutions biostimulantes diluées selon les modalités) a immédiatement déclenché la phase critique d'acclimatation. Le maintien des pots sous une ombrière légère durant les 3 à 5 premiers jours a permis de tamponner le déficit de pression de vapeur et de limiter le stress transpiratoire.

Le suivi cinétique rigoureux mis en place au cours des deux premières semaines (mesure du taux de survie, diagnostic des rétroactions de stress telles que le flétrissement ou le jaunissement, et ajustement de la fréquence d'arrosage à raison de 2 à 3 fois par semaine) indique une excellente reprise globale des plantules. L'introduction progressive d'amendements organiques liquides dilués (extraits de compost) à partir de la troisième semaine, en évitant toute saturation par des engrais chimiques salins, complète ce dispositif de sevrage.

D'un point de vue analytique, cette méthodologie d'installation et de suivi valide pleinement les concepts d'évaluation post-germinative définis par **Medjrabe et Morsada (2025)**. Ces auteurs soulignent que la robustesse d'un jeune plant arboricole dépend de la transition harmonieuse entre les réserves cotylédonaires et l'autotrophie mitochondriale. L'application des solutions de curcuma, de fenugrec ou d'ortie lors de cette phase ne vise pas seulement la nutrition minérale directe, mais active, selon le modèle de **Medjrabe et Morsada (2025)**, des vagues de signaux hormonaux d'adaptation.

Ces observations corroborent les conclusions de **Sivakumar et al. (2014)** et de **Bouaziz et al. (2020)**, démontrant que l'architecture racinaire densifiée en amont par les extraits naturels (notamment le curcuma à faible dose ou l'ortie concentrée) offre une plus grande surface d'échange et une meilleure résistance mécanique lors de la transplantation. En orientant préférentiellement l'énergie biosynthétique vers le renforcement du système souterrain avant

l'expansion foliaire, ce protocole d'installation assure une transition sans blocage de croissance, garantissant l'expression à long terme de la vigueur végétative induite par les biostimulants.



Figure 25. Transplantation des plantules dans les pots (**Photo personnelle)**



Figure 26. Suivie des plantules après transplantaion dans les pots (**Photo personnelle)**

ANNEXES

Tableau 1 : Taux de germination des graines de mangue

Biostimulant	Dose	Dose (g/L)	Nombre de graines	Nombre de graines germé	Moyenne
Curcuma	D1	1	3	3	100%
	D2	2	3	3	100%
	D3	4	3	3	100%
Fenugrec	D1	10	3	3	100%
	D2	20	3	3	100%
	D3	30	3	2	66,66%
Ortie	D1	10	3	3	100%
	D2	20	3	3	100%
	D3	30	3	3	100%
L'eau distillée	Témoin	/	3	2	66,66%
L'eau potable	Témoin	/	3	2	66,66%

Tableau 2 : Indice de vigueur de la germination

Biostimulant	Dose	Répétition	Jour	Nombre de graines germées	Indice de vigueur les graines	Moyenne IVG
Curcuma	D1	R1	24	1 sur 3	0,041	0,035
		R2	30	2 sur 3	0,064	
		R3	35	0 sur 3	0	
	D2	R1	32	1 sur 3	0,031	0,027
		R2	38	1 sur 3	0,026	
		R3	40	1 sur 3	0,025	
	D3	R1	35	2 sur 3	0,057	0,027
		R2	38	1 sur 3	0,026	
		R3	40	1 sur 3	0,026	
Fenugrec	D1	R1	16	1 sur 3	0,062	0,048
		R2	20	1 sur 3	0,05	
		R3	30	1 sur 3	0,033	
	D2	R1	28	2 sur 3	0,071	0,033
		R2	33	1 sur 3	0,030	
		R3	38	0 sur 3	0	
	D3	R1	28	1 sur 3	0,035	0,030
		R2	35	2 sur 3	0,057	
		R3	40	0 sur 3	0	
Ortie	D1	R1	21	2 sur 3	0,095	0,041
		R2	28	0 sur 3	0	
		R3	35	1 sur 3	0,028	
	D2	R1	32	1 sur 3	0,031	0,028
		R2	35	1 sur 3	0,028	
		R3	38	1 sur 3	0,026	
	D3	R1	14	1 sur 3	0,071	0,053
		R2	19	1 sur 3	0,052	
		R3	26	1 sur 3	0,038	
Eau distillée	Témoin	R1	20	2 sur 3	0,1	0,046
		R2	25	1 sur 3	0,04	
		R3	30	0 sur 3	0	
Eau potable	Témoin	R1	18	1 sur 3	0,055	0,046
		R2	24	2 sur 3	0,083	
		R3	40	0 sur 3	0	

Tableau 3 : Indice de vitesse de germination (IVG)

Biostimulant	Dose	Dose (g/L)	IVG	Moyenne
Curcuma	D1	1	0	0,070 ± 0,060
	D2	2	0,094	
	D3	4	0,116	
Fenugrec	D1	10	0,088	0,109 ± 0,023
	D2	20	0,106	
	D3	30	0,134	
Ortie	D1	10	0,069	0,094 ± 0,021
	D2	20	0,106	
	D3	30	0,107	
L'eau distillée	Témoin	/	0,049	0.049
L'eau potable	Témoin	/	0,046	0,046

Tableau 4 : Temps moyen de germination (TMG)

Biostimulant	Dose	Dose (g/L)	TMG	Moyenne
Curcuma	D1	1	24	32,39 ± 7,05
	D2	2	36,67	
	D3	4	36,50	
Fenugrec	D1	10	22	29,78 ± 6,66
	D2	20	33	
	D3	30	34,33	
Ortie	D1	10	28	27,56 ± 7,74
	D2	20	35	
	D3	30	19,67	
L'eau distillée	Témoin	/	25	25
L'eau potable	Témoin	/	21	21

Tableau 5 : Énergie germinative des graines de mangue

Biostimulant	Dose	Répétition	Jour	Nombre de graines germées	Énergie germinative	Moyenne
Curcuma	D1	R1	24	1 sur 3	33,3	33,33 ± 33,35
		R2	30	2 sur 3	66,7	
		R3	35	0 sur 3	0	
	D2	R1	32	1 sur 3	33,3	33,33 ± 0,00
		R2	38	1 sur 3	33,3	
		R3	40	1 sur 3	33,3	
	D3	R1	35	2 sur 3	66,7	33,33 ± 33,35
		R2	38	1 sur 3	33,3	
		R3	> 40	1 sur 3	33,3	
Fenugrec	D1	R1	16	1 sur 3	33,3	33,33 ± 0,00
		R2	20	1 sur 3	33,3	
		R3	30	1 sur 3	33,3	
	D2	R1	28	2 sur 3	66,7	33,33 ± 33,35
		R2	33	1 sur 3	33,3	
		R3	38	0 sur 3	0	

	D3	R1	28	1 sur 3	33,3	33,33 ± 33,35
		R2	35	2 sur 3	66,7	
		R3	> 40	0 sur 3	0	
Ortie	D1	R1	21	2 sur 3	66,7	33,33 ± 33,35
		R2	28	0 sur 3	0	
		R3	35	1 sur 3	33,3	
	D2	R1	32	1 sur 3	33,3	33,33 ± 0,00
		R2	35	1 sur 3	33,3	
		R3	38	1 sur 3	33,3	
	D3	R1	14	1 sur 3	33,3	33,33 ± 0,00
		R2	19	1 sur 3	33,3	
		R3	26	1 sur 3	33,3	
L'eau distillée	Témoin	R1	20	2 sur 3	66,7	33,33 ± 33,35
		R2	25	1 sur 3	33,3	
		R3	30	0 sur 3	0	
L'eau potable	Témoin	R1	18	1 sur 3	33,3	33,33 ± 33,35
		R2	24	2 sur 3	66,7	
		R3	> 40	0 sur 3	0	

Tableau 6 : Indice de synchronisation de germination (ISG)

Biostimulant	Dose	Dose (g/L)	Nbr de graines germées	Tsg	Moyenne
Curcuma	D1	1	3	29,67	34,67 ± 4,23
	D2	2	3	36,67	
	D3	4	3	37,67	
Fenugrec	D1	10	3	22,00	29,78 ± 6,66
	D2	20	3	33,00	
	D3	30	2	34,33	
Ortie	D1	10	3	28,00	27,56 ± 7,74
	D2	20	3	35,00	
	D3	30	3	19,67	
L'eau distillée	Témoin	/	2	25,00	26,17 ± 5,67
L'eau potable	Témoin	/	2	25,00	26,17 ± 5,67

Tableau 7 : Longueur moyenne des radicules

Traitement	Dose	Dose (g/L)	R1	R2	R3	Moyenne (mm)
Curcuma	D1	1	130	120	160	136,67 ± 20,82
	D2	2	60	90	20	56,67 ± 35,12
	D3	4	30	80	100	70,00 ± 36,06
Fenugrec	D1	10	190	40	70	100,00 ± 75,37
	D2	20	70	60	90	73,33 ± 35,12
	D3	30	0	90	50	46,67 ± 45,09
Ortie	D1	10	40	70	110	73,33 ± 35,12
	D2	20	130	40	30	66,67 ± 55,08
	D3	30	180	60	60	100,00 ± 69,28
L'eau distillée	Témoin	/	90	0	130	73,33 ± 66,58
L'eau potable	Témoin	/	30	0	80	36,67 ± 40,41

Tableau 8 : Longueur moyenne de l'hypocotyle

Traitement	Dose	R1	R2	R3	Longueur moyenne (mm)
Curcuma	D1	10	0	0	3,33
	D2	20	0	0	6,67
	D3	70	120	110	100,00
Fenugrec	D1	190	0	0	63,33
	D2	0	0	0	0,00
	D3	0	50	10	20,00
Ortie	D1	30	50	0	26,67
	D2	130	0	0	43,33
	D3	70	0	10	26,67
L'eau distillée	Témoin	0	0	310	103,33
L'eau potable	Témoin	0	0	290	96,67