

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 Amélioration des plantes

Thème :

**Étude de la germination et la croissance des graines d'avocatier
(*Persea americana* L.) sous l'effet des biostimulants naturels**

Présenté par :

- Mr. MEDJRAB Alaeddine
- Mr. MORSADA Mohamed Nadjib

Membres de Jury:

Mme : HAFSI Zakaria	(MCB)	Président	Université du 20 Août 1955 -Skikda
Mme : LARIT Sabah	(MCB)	Examinatrice	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mme : SOUILAH Nabila	(MCA)	Promotrice	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mr : SEDARI Noureddine	(MCA)	Co-Promoteur	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2024-2025

Remerciements

On tient à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

On remercie tout particulièrement Madame Souilah Nabila, notre 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.

On remerci également le Docteur HAFSI Zakaria d'accepter de présider notre mémoire et Mme Larit Sabah pour examiner notre modeste travail.

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

Enfin, un grand merci à nos famille et à nos amis pour leur soutien moral indéfectible, leur encouragement tout au long de notre parcours universitaire.

DÉDICACE

Grâce à Dieu, notre 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 mes frères Walid, Nadir et Aziz,

qui ont toujours été un soutien précieux et ont su m'orienter par leurs conseils avisés dans les moments difficiles. Votre exemple et votre sagesse m'ont profondément inspiré.

À mes ami(e)s,

qui ont égayé ces années d'études et avec qui j'ai partagé tant de moments précieux. Merci d'avoir été présents à mes côtés.

À toute l'équipe enseignante et pédagogique,

qui m'a transmis ses connaissances avec passion et m'a accompagné(e) 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.

Mohamed Nadjib

DÉDICACE

Avec une sincère gratitude, je dédie ce travail à ceux qui m'ont soutenu et réconforté durant cette étape cruciale de ma vie.

À Allah, pour m'avoir guidée, m'avoir donné la force, la patience et la persévérance tout au long de ce parcours.

À ma très chère mère, pour son amour inconditionnel, ses prières sincères, sa tendresse et son soutien sans faille à chaque étape de ma vie. Tu as toujours été mon pilier, celle qui m'a soutenue dans les moments de doute et m'a encouragée à ne jamais baisser les bras.

À toute ma famille, pour leur présence, leurs prières, leur bienveillance et leur réconfort dans les moments difficiles. Vous avez été une source de motivation et de stabilité.

À mes amis, pour leur amitié sincère, leur dévouement, leur bonne humeur et les moments souvent inoubliables que nous avons partagés. Vos encouragements et votre présence m'ont permis d'alléger les moments de stress.

À mon binôme, Mohamed Nadjib, pour son soutien, sa collaboration précieuse et les efforts partagés tout au long de cette aventure. Merci pour ta patience, ton engagement et ton esprit d'équipe.

ALA EDDINE

Titre : Étude de la germination et de la croissance des graines d'avocatier (*Persea americana*) sous l'effet des biostimulants naturels

Résumé : Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'agriculture durable visant à optimiser la germination et la croissance initiale des graines d'avocatier (*Persea americana* Mill.), culture émergente en Algérie, notamment dans la région de Skikda. L'étude a évalué l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, ortie et fenugrec), appliqués à différentes doses (curcuma : 1 g/L, 4 g/L, 10 g/L ; ortie : 1 g/L, 5 g/L, 10 g/L ; fenugrec : 5 g/L, 15 g/L, 30 g/L), sur plusieurs paramètres germinatifs et de croissance. Les extraits aqueux ont été préparés à partir de parties spécifiques de chaque plante et appliqués aux graines d'avocat prétraitées. Les résultats ont montré que le fenugrec était le plus efficace, avec un taux de germination de 100 % à toutes les doses, suivi du curcuma à 4 g/L et 10 g/L, qui a présenté une efficacité significative avec un taux de germination de 90 % et 95 %, respectivement, tandis que des doses faibles de curcuma (1 g/L) ont inhibé la germination (0 %). L'ortie a eu un effet modéré mais constant, avec un taux de germination variant de 50 % à 60 % selon la dose, particulièrement sur la vigueur et le temps moyen de germination, avec un TMG de 26 jours. Le fenugrec a également obtenu la meilleure performance en termes de vitesse de germination (IVGr = 0,216) et de durée moyenne de germination (TMG = 22,33 jours), avec des radicules et hypocotyles développés respectivement de 16,67 mm et 33,33 mm à la dose de 30 g/L. Le curcuma, bien que performant à des doses élevées (radicules de 15,33 mm et hypocotyles de 30 mm à 10 g/L), a montré des résultats variables et inhibiteurs à faible concentration, tandis que l'ortie a présenté des résultats irréguliers mais bénéfiques pour certains paramètres, avec des radicules de 14,2 mm et des hypocotyles de 28 mm à 5 g/L. Cette étude met en lumière le potentiel des ressources végétales locales comme alternatives naturelles pour renforcer la production de plants d'avocatier vigoureux tout en réduisant la dépendance aux intrants chimiques

Mots-clés : *Persea americana* Mill., biostimulants, curcuma, fenugrec, ortie, germination, croissance.

Title: Study of Germination and Growth of Avocado Seeds (*Persea americana*) Under the Influence of Natural Biostimulants

Abstract: This thesis is part of a sustainable agriculture approach aimed at optimizing the germination and initial growth of avocado seeds (*Persea americana* Mill.), an emerging crop in Algeria, particularly in the Skikda region. The study evaluated the effect of three natural biostimulants (turmeric, nettle, and fenugreek), applied at different doses (turmeric: 1 g/L, 4 g/L, 10 g/L; nettle: 1 g/L, 5 g/L, 10 g/L; fenugreek: 5 g/L, 15 g/L, 30 g/L), on several germination and growth parameters. Aqueous extracts were prepared from specific parts of each plant and applied to pretreated avocado seeds. The results showed that fenugreek was the most effective, with a germination rate of 100% at all doses, followed by turmeric at 4 g/L and 10 g/L, which showed significant effectiveness with germination rates of 90% and 95%, respectively, while low doses of turmeric (1 g/L) inhibited germination (0%). Nettle had a moderate but consistent effect, with a germination rate ranging from 50% to 60% depending on the dose, particularly affecting vigor and average germination time, with a mean germination time (MGT) of 26 days. Fenugreek also showed the best performance in terms of germination rate speed (IVGr = 0.216) and average germination time (MGT = 22.33 days), with radicles and hypocotyls growing to 16.67 mm and 33.33 mm, respectively, at the dose of 30 g/L. Turmeric, although effective at high doses (radicles of 15.33 mm and hypocotyls of 30 mm at 10 g/L), showed variable and inhibitory results at low concentrations, while nettle showed irregular but beneficial results for some parameters, with radicles of 14.2 mm and hypocotyls of 28 mm at 5 g/L. This study highlights the potential of local plant resources as natural alternatives to enhance the production of vigorous avocado plants while reducing dependence on chemical inputs.

Keywords: *Persea americana* Mill., biostimulants, turmeric, fenugreek, nettle, germination, growth.

العنوان: دراسة إنبات ونمو بذور شجرة الأفوكادو (*Persea americana*) تحت تأثير المحفزات الطبيعية

الملخص: يشكل هذا البحث جزءًا من نهج الزراعة المستدامة الهادفة إلى تحسين الإنبات والنمو الأولي لبذور الأفوكادو (*Persea americana* Mill.)، وهي محصول ناشئ في الجزائر، لا سيما في منطقة سكيكدة. تم تقييم تأثير ثلاثة المحفزات الطبيعية (الكرم، القريص والحلبة)، المطبقة بجرعات مختلفة (الكرم: 1 جرام/لتر، 4 جرام/لتر، 10 جرام/لتر؛ القريص: 1 جرام/لتر، 5 جرام/لتر، 10 جرام/لتر؛ الحلبة: 5 جرام/لتر، 15 جرام/لتر، 30 جرام/لتر)، على عدة معايير إنباتية ونمو. تم تحضير المستخلصات المائية من أجزاء محددة من كل نبات وتطبيقها على بذور الأفوكادو التي تم معالجتها مسبقًا. أظهرت النتائج أن الحلبة كانت الأكثر فعالية، حيث حققت نسبة إنبات 100% في جميع الجرعات، تلتها الكرم بجرعات 4 جرام/لتر و 10 جرام/لتر، والتي أظهرت فعالية كبيرة مع نسب إنبات 90% و 95% على التوالي، بينما أدت الجرعات المنخفضة من الكرم (1 جرام/لتر) إلى تثبيط الإنبات (0%). كان للقريص تأثير معتدل ولكن ثابت، حيث تراوحت نسبة الإنبات بين 50% و 60% حسب الجرعة، وتأثر بشكل خاص بالقوة والنمو المتوسط للإنبات، مع زمن إنبات متوسط قدره 26 يومًا. كما حققت الحلبة أفضل أداء من حيث سرعة الإنبات (0,216) و زمن الإنبات المتوسط 22,33 يومًا، مع نمو الجذور و الغمد الأولي بمقدار 16,67 مم و 33,33 مم على التوالي عند الجرعة 30 جرام/لتر. أما الكرم، فبينما كان فعالاً عند الجرعات العالية الجذور بمقدار 15,33 مم والأبصال بمقدار 30 مم عند 10 جرام/لتر، فقد أظهر نتائج متغيرة ومثبطة عند الجرعات المنخفضة، في حين أظهر القريص نتائج غير منتظمة ولكن مفيدة لبعض المعايير، مع جذور بمقدار 14,2 مم وأبصال بمقدار 28 مم عند الجرعة 5 جرام/لتر. تسلط هذه الدراسة الضوء على إمكانات الموارد النباتية المحلية كبديل طبيعية لتعزيز إنتاج نباتات أفوكادو قوية، مع تقليل الاعتماد على المدخلات الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: *Persea americana* Mill.، المحفزات الطبيعية، كرم، حلبة، قريص، إنبات، نمو، زراعة مستدامة.

Liste des tableaux

Tableaux	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 d'avocatier.....	44
Tableau 2.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur le taux de germination	19
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 d'avocatier.....	45
Tableau 4.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'indice de vigueur de germination (IVG).....	22
Tableau 5.	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur l'indice de vitesse de germination (IVG) des graines d'avocatier.....	46
Tableau 6.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'indice de vigueur de germination (IVG)	24
Tableau 7.	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur le temps moyen de germination (TMG) des graines d'avocatier	46
Tableau 8.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur le temps moyen de germination	26
Tableau 9.	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur l'énergie germinative des graines d'avocatier	46
Tableau 10.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'énergie germinative	28
Tableau 11.	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur l'indice de synchronisation de germination (ISG) des graines d'avocatier	47
Tableau 12.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'indice de germination de synchronisation	30
Tableau 13.	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne des radicules des graines d'avocatier	48
Tableau 14.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur la longueur moyenne des radicules	32
Tableau 15.	L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne de l'hypocotyle des graines d'avocatier	48
Tableau 16.	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur la longueur moyenne des hypocotyles	35

Liste de figures

Figure	Titre	Page
Figure 1	: Fruit de l'avocatier (<i>Persia americana</i>)	3
Figure 2	: Cycle de vie de l'avocat	4
Figure 3	: Graine de l'avocatier	5
Figure 4	: Plante et rhizome de curcuma	6
Figure 5	: Plante du fenugrec	6
Figure 6	: Plante <i>Urtica dioica</i>	7
Figure 7	: Les trois doses de la solution du curcuma	8
Figure 8	: Les trois doses de la solution du fenugrec	9
Figure 9	: Les trois doses de la solution d'ortie	9
Figure 10	: Emergence des graines dans les solutions biostimulantes	10
Figure 11	: Mise en germination dans les sacs en plastiques	11
Figure 12	: Préparation des pots et substrat	16
Figure 13	: Transplantation des plantules dans les pots	17
Figure 14	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le taux de germination (%) des graines d'avocatier	18
Figure 15	: Graines germées avec les trois biostimulants (Curcuma, Ortie et Fenugrec)	18
Figure 16	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vigueur de germination (IVG) des graines d'avocatier	20
Figure 17	: Graines d'avocatier germées des trois biostimulants et témoins (de droite à gauche : curcuma, fenugrec, ortie et témoin)	20
Figure 18	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vitesse de germination (IVGr) des graines d'avocatier	22
Figure 19	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le temps moyen de germination des graines d'avocatier	24
Figure 20	: Début de germination des graines d'avocatier traité par la dose faible des trois biostimulants (curcuma, fenugrec, ortie) pour mesurer le temps moyen de germination	24
Figure 21	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le temps moyen de germination des graines d'avocatier	26
Figure 22	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de synchronisation de germination des graines d'avocatier	28

Figure 23	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur la longueur moyenne des radicules des graines d'avocatier	30
Figure 24	: Longueur moyenne des radicules des graines d'avocatier des trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) traiter à la forte dose	31
Figure 25	: Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur la longueur moyenne des hypocotyles des graines d'avocatier	33
Figure 26	: Longueur moyenne des hypocotyles des graines d'avocatier des trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) traiter à la dose moyenne	33
Figure 27	: Installation des plantes en pots	36

Liste des abréviations

EG : Énergie germinative

ISG : Indice de synchronisation de germination

IVG : Indice de vigueur des graines

Ivg Gr : Indice de vitesse de germination

K : est le nombre total d'intervalles de temps (jours d'observation),

Lhyp : Longueur moyenne de l'hypocotyle (mm),

Li : est la longueur de la radicule de la graine i (en mm),

Li : Longueur de l'hypocotyle de la i -ème plantule,

n : est le nombre total de graines observées.

N : Nombre total de plantules mesurées.

Ni : Nombre de graines germées au jour i

Ni : Nombre de graines germées au temps t_i

Pi : est la proportion de graines germées au temps t_i

ti : Temps en jours correspondant au jour i

TMG : Temps moyen de germination

Table des matières

Décicaces
Remerciements
Résumés en trois langues
Liste des abréviations
Liste des tableaux
Liste des figures

Sommaire

Titre	Page
Introduction	1
Chapitre I : Matériels et Méthodes	3
I.1. Matériel biologique	3
I.1.1. Présentation de la variété <i>Persea americana</i> 'Hass'	3
I.1.1.1. Biologie et classification	3
I.1.1.2. Cycle de développement.....	4
I.1.1.3. Lieu de récolte.....	5
I.1.2. Présentation des bio-stimulants	6
I.1.2.1. Curcuma (<i>Curcuma longa</i> L.)	6
I.1.2.2. Fenugrec (<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.)	7
I.1.2.3. Ortie (<i>Urtica dioica</i> L.)	8
I.2. Matériel de culture et d'analyse	8
I.2.1. Matériel de culture.....	8
I.2.2. Matériel d'analyse et de suivi	9
I.3. Protocol expérimental	9
I.3.1. Préparation des solutions de biostimulants	11
I.3.2. Prétraitement des graines	11
I.3.3. Mise en germination.....	12
I.3.4. Suivi et mesures.....	12
I.3.4.1. Taux de germination (%).....	12
I.3.4.2. Indice de vigueur de germination (IVG)	12
I.3.4.3. Indice de vitesse de germination (IVGr)	13
I.3.4.4. Temps moyen de germination (TMG)	13
I.3.4.5. Energie germinative (EG)	13
I.3.4.6. Indice de synchronisation de germination (ISG)	13
I.3.4.7. Longueur moyenne des radicules	14
I.3.4.8. Longueur moyenne des hypocotyles	14
I.4. État sanitaire des graines.....	14
I.5. Fréquence des mesures.....	14
I.6. Installation des plantules en pots.....	14
I.6.1. Sélection des plantules.....	14
I.6.2. Transplantation des plantules.....	16
I.6.3. Suivi après transplantation.....	16
Chapitre II : Résultats et Discussion	
II.1. Paramètres mesurés.....	18
II.1.1. Taux de germination (%).....	18
II.1.2. Indice de vigueur de germination (IVG).....	20
II.1.3. Indice de vitesse de germination (IVGr)	22

II.1.4. Temps moyen de germination (TMG)	24
II.1.5. Energie germinative (EG)	26
II.1.6. Indice de synchronisation de germination (ISG)	28
II.1.7. Longueur moyenne des radicules	30
II.1.8. Longueur moyenne des hypocotyles	33
II.2. État sanitaire des graines.....	35
II.3. Installation des plantules en pots.....	36
Conclusion	38
Références bibliographiques	40
Annexes	43

I. Introduction

Introduction

L'avocatier (*Persea americana* Mill.) est une espèce fruitière d'importance mondiale, appartenant à la famille des Lauracées, originaire des régions tropicales et subtropicales d'Amérique centrale. Grâce à la richesse nutritionnelle de son fruit, notamment sa teneur élevée en acides gras mono-insaturés, vitamines, minéraux et composés antioxydants, l'avocatier suscite un intérêt croissant pour ses applications en alimentation saine, médecine et cosmétique (**Hernández et al., 2020**). En outre, la demande mondiale en avocat ne cesse d'augmenter, ce qui pose la nécessité d'améliorer les techniques culturales afin d'accroître la productivité et la qualité des plants, notamment dès la phase initiale de germination.

L'avocatier est une culture relativement récente en Algérie, introduite au cours des dernières décennies, principalement dans les régions côtières du nord où le climat méditerranéen tempéré favorise son développement. Les zones agricoles du littoral, telles que Tipaza, Blida, Tizi-Ouzou, Béjaïa et Skikda, présentent des conditions agroclimatiques favorables avec des températures modérées, une pluviométrie annuelle oscillant entre 600 et 1000 mm, ainsi que des sols bien drainés et fertiles (**Benmoussa et al., 2019**). La région de Skikda, située dans le Nord-Est algérien, est caractérisée par un climat méditerranéen humide, avec des hivers doux et des étés chauds et modérément humides, offrant un environnement propice à la culture de l'avocatier.

Malgré ce potentiel, la culture de l'avocatier en Algérie demeure marginale par rapport aux autres cultures fruitières traditionnelles. Plusieurs contraintes limitent son développement à grande échelle : faible maîtrise des techniques culturales spécifiques, difficulté d'accès à des plants de qualité, problèmes phytosanitaires, et surtout des limites dans la germination et la croissance initiale des semences, qui affectent directement le taux de réussite en pépinière (Bensalem, 2017). En particulier, les graines d'avocat présentent souvent une dormance physiologique, ce qui complique leur germination naturelle et peut réduire la vigueur des jeunes plants.

La région de Skikda, où cette étude est implantée, bénéficie d'un fort intérêt pour le développement de cultures diversifiées à forte valeur ajoutée, telles que l'avocatier, en réponse aux besoins croissants du marché national et international. L'optimisation de la production de plants de qualité, en améliorant notamment la germination et la croissance initiale, constitue un levier essentiel pour la réussite de cette filière. Par ailleurs, la valorisation des ressources naturelles locales, notamment les plantes médicinales et aromatiques telles que le curcuma, l'ortie et le fenugrec, ouvre de nouvelles perspectives agronomiques.

Les biostimulants naturels sont définis comme des substances d'origine biologique, non fertilisantes, qui stimulent les processus physiologiques des plantes, favorisent leur croissance et renforcent leur résistance aux stress abiotiques et biotiques (**du Jardin, 2015**). Leur utilisation s'inscrit dans une démarche d'agriculture durable et respectueuse de l'environnement, visant à réduire l'emploi d'intrants chimiques tout en maintenant voire en améliorant les rendements agricoles.

INTRODUCTION

Le curcuma (*Curcuma longa*), riche en curcumine, est reconnu pour ses propriétés antioxydantes, antifongiques et stimulantes, pouvant influencer positivement la santé des semences et la vigueur des jeunes plants (Khan et al., 2019). L'ortie (*Urtica dioica*), très utilisée dans l'agriculture biologique, apporte des nutriments essentiels (azote, potassium, calcium) et des composés bioactifs qui stimulent la croissance végétative et renforcent les défenses naturelles (Van Damme et al., 2019). Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), quant à lui, est riche en saponines, alcaloïdes et flavonoïdes, substances favorisant la germination et la croissance racinaire (Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

L'application de ces biostimulants naturels aux graines d'avocatier peut ainsi contribuer à améliorer le taux et la rapidité de germination, ainsi qu'à renforcer la croissance initiale des plantules, facteur déterminant pour le succès ultérieur de la culture.

L'objectif général de ce mémoire est d'évaluer l'effet des extraits de trois biostimulants naturels « curcuma, ortie et fenugrec » sur la germination et la croissance des graines d'avocatier, dans le but d'optimiser la production de plants vigoureux adaptés au climat et au sol de la région de Skikda. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Préparer et caractériser les extraits aqueux des trois biostimulants naturels sélectionnés.
- Étudier l'impact de ces extraits sur les paramètres germinatifs des graines d'avocatier : taux de germination, vitesse de germination, durée moyenne de germination...etc.
- Analyser l'effet des biostimulants sur la croissance initiale des plantules, en mesurant la longueur des racines et des pousses ainsi que l'indice de vigueur...etc.
- Comparer les performances entre les différents traitements et le témoin non traité afin d'identifier le biostimulant le plus efficace.
- Proposer une stratégie locale et durable d'amélioration de la production de plants d'avocatier dans la région de Skikda, valorisant des ressources naturelles disponibles.

II. Matériels et Méthodes

I.1. Matériels biologiques

I.1.1. Présentation de la variété *Persea americana* « Hass »

La variété *Persea americana* « Hass » a été cultivée et commercialisée pour la première fois par Rudolph Hass, un facteur et jardinier amateur originaire du sud de la Californie, qui a également donné son nom à cette variété. L'avocat Hass est aujourd'hui cultivé dans de nombreuses régions du monde, principalement dans les zones tropicales et subtropicales bénéficiant d'un climat chaud et ensoleillé. Cette variété est considérée comme l'une des plus populaires à l'échelle mondiale. Elle est produite notamment au Mexique, au Pérou, au Chili, en Colombie, en Californie (États-Unis) et en République dominicaine. Le Mexique est le principal producteur et exportateur d'avocats Hass, représentant environ 30 % de la production mondiale (Huang & Boudehri, 2020).

I.1.1.1. Biologie et classification

L'avocatier (*Persea americana* Mill., 1768) est un arbre fruitier à feuilles persistantes appartenant à la famille des Lauracées. Dans son milieu naturel, cet arbre peut atteindre une hauteur allant de 6 à 15 mètres, voire plus dans des conditions optimales (Chalabi, 2014; Smith & Jones, 2018). Il se caractérise par un feuillage dense, composé de grandes feuilles simples, brillantes, d'un vert foncé sur la face supérieure et plus clair en dessous, ce qui contribue à une photosynthèse efficace. Les fleurs de l'avocatier sont petites, de couleur vert jaunâtre, et regroupées en inflorescences en grappes. Ces fleurs sont hermaphrodites et présentent un phénomène de floraison protogynique qui favorise la pollinisation croisée (Bender et al., 2015). Le fruit, l'avocat, est de forme généralement ovale ou en forme de poire, avec une peau rugueuse qui peut varier du vert au violet foncé selon la variété. La pulpe est de couleur jaune crème, riche en lipides et nutriments essentiels, ce qui explique son importance économique et nutritionnelle (Huang & Boudehri, 2020).

La classification botanique complète de l'avocatier est la suivante (Chalabi, 2014) :

- **Règne** : Plantae
- **Division** : Magnoliophyta
- **Classe** : Magnoliopsida
- **Ordre** : Laurales
- **Famille** : Lauraceae
- **Genre** : *Persea*
- **Espèce** : *Persea americana* Mill., 1768



Figure 1. Fruit de l'avocatier (*Persia americana*) (Anonyme 1)

I.1.1.2. Cycle de développement

Selon Rankel (2024), le cycle de développement de l'avocatier est le suivant :

- **Germination (semis) :** La germination dure généralement entre 3 et 6 semaines. La graine germe dans un substrat humide et chaud, avec l'apparition successive de la radicule puis de la tigelle. Cette étape est principalement utilisée pour la production des porte-greffes.
- **Greffage (propagation végétative) :** Le greffage est pratiqué entre 6 et 12 mois après la germination. Il consiste à greffer un bourgeon ou un rameau de la variété Hass sur un porte-greffe vigoureux, permettant ainsi de conserver les caractéristiques génétiques de la variété.
- **Croissance végétative :** Cette phase dure environ 2 à 3 ans, jusqu'à la maturité de l'arbre. Elle comprend le développement des branches, des feuilles et du système racinaire, ainsi que la formation de la structure globale de l'arbre. La taille et l'entretien sont essentiels pour assurer une bonne architecture.
- **Floraison :** La floraison survient généralement au printemps. Les fleurs sont de type A, avec une ouverture femelle le matin et une ouverture mâle l'après-midi du lendemain. Pour une pollinisation efficace, la présence à proximité d'une variété de type B est souvent nécessaire.
- **Pollinisation et fécondation :** Ces processus sont principalement assurés par les abeilles et autres insectes pollinisateurs. Seule une faible proportion des fleurs donnera naissance à des fruits.
- **Nouaison et développement des fruits :** Cette phase dure de 6 à 9 mois selon les conditions climatiques. Le fruit se développe lentement et reste ferme sur l'arbre, atteignant sa taille définitive plusieurs mois avant la récolte.

I. MATRERIELS ET METHODES

- **Maturation physiologique** : L'avocat ne mûrit pas sur l'arbre et reste ferme. Après la récolte, il mûrit en quelques jours à température ambiante, marquée par un changement de couleur et un ramollissement progressif.
- **Récolte** : Selon la zone géographique, la récolte s'effectue de novembre à mai. Les fruits sont cueillis manuellement avec soin afin d'éviter tout dommage.
- **Repos végétatif** : Après la récolte, l'arbre entre dans une période de repos partiel, caractérisée par un ralentissement de l'activité végétative.



Figure 2. Cycle de vie de l'avocat (Photo personnelle)

I.1.1.3. Lieu de récolte

Les avocats ont été achetés au marché des fruits et légumes de Skikda. Ils ont été importés par la société algérienne « Alfa Ranim Import Export », spécialisée dans l'importation de tous types de produits alimentaires, y compris les fruits et légumes. Ces fruits proviennent du Mexique et du Pérou, transitant par des ports européens.



Figure 3. Graine de l'avocatier (Photo personnelle)

I. 1 .2. Présentation des bio-stimulants

I.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 (**Gupta, Patchva, & Aggarwal, 2013**).

Le curcuma est largement utilisé dans la médecine traditionnelle indienne (Ayurveda) et dans diverses pratiques phytothérapeutiques modernes (**Gupta, Patchva, & Aggarwal, 2013**).



Figure 4. Plante et rhizome de curcuma (Anonyme 2)

I.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 médicaux, 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. Plante du fenugrec (Anonyme 3)

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

L'ortie (*Urtica dioica*) 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. Plante *Urtica dioica* (Anonyme 4)

I.2. Matériel de culture et d'analyse

I.2.1. Matériel de culture

- **Sacs en plastique perforés** ou **sacs en tissu respirant (coton, jute)** pour la pré-germination.
- **Chiffons propres** ou **papier absorbant** pour maintenir l'humidité.
- **Bacs de culture** remplis de substrat (mélange de tourbe et de perlite) pour le suivi de la croissance après germination.
- **Eau distillée** pour préparer les solutions et éviter les contaminants présents dans l'eau du robinet (Whiley et al., 1990).

I.2.2. Matériel d'analyse et de suivi

- **Balance de précision** ($\pm 0,01$ g) pour peser les biostimulants.
- **Pipettes et éprouvettes graduées** pour préparer les solutions.

I. MATRERIELS ET METHODES

- **Thermomètre et hygromètre** pour contrôler la température et l'humidité ambiantes.
- **Réglette millimétrée ou pied à coulisse** pour mesurer la longueur des racines et des hypocotyles.
- **Carnet de suivi ou logiciel de saisie de données** (Excel, R, SPSS) pour enregistrer les observations.

I.3. Protocole expérimental

I.3.1. Préparation des solutions de biostimulants

Trois biostimulants naturels sont testés : **curcuma**, **fenugrec** et **ortie**, chacun à trois concentrations.

❖ **Curcuma (*Curcuma longa*)**

- **Fort dose (D'1)** : 1 g de poudre de curcuma dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Dose moyenne (D'2)** : 2 g de poudre de curcuma dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Faible dose (D'3)** : 4 g de poudre de curcuma dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Préparation** : Mélanger la poudre dans de l'eau distillée, laisser reposer 1 heure, filtrer (Singh et al., 2019).

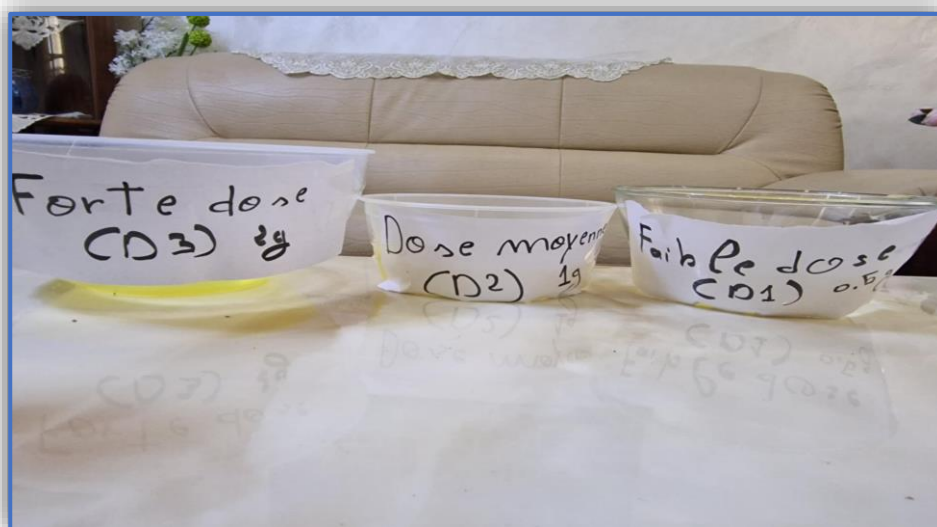


Figure 7. Les trois doses de la solution du curcuma (Photo personnelle)

❖ **Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*)**

- **Fort dose (D1)** : 10 g de graines trempées dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Dose moyenne (D2)** : 20 g de graines trempées dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Faible dose (D3)** : 30 g de graines trempées dans 1 L d'eau pendant 24h.

I. MATRERIELS ET METHODES

- **Préparation** : Filtrer la solution après trempage (Kumar et al., 2020).

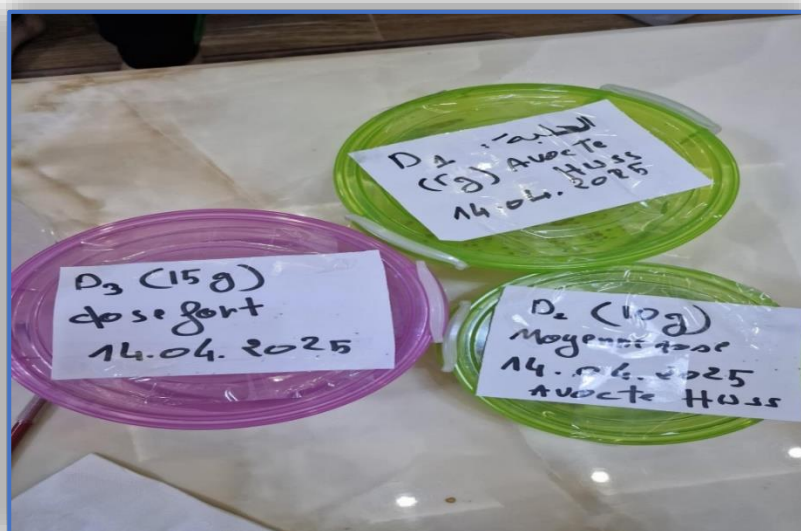


Figure 8. Les trois doses de la solution du fenugrec (Photo personnelle)

❖ *Ortie (Urtica dioica)*

- **Fort dose (D1)** : 10 g de feuilles fraîches macérées dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Dose moyenne (D2)** : 20 g de feuilles fraîches macérées dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Faible dose (D3)** : 30 g de feuilles fraîches macérées dans 1 L d'eau pendant 24h.
- **Préparation** : Filtrer la solution avant usage (García-Mina et al., 2015).

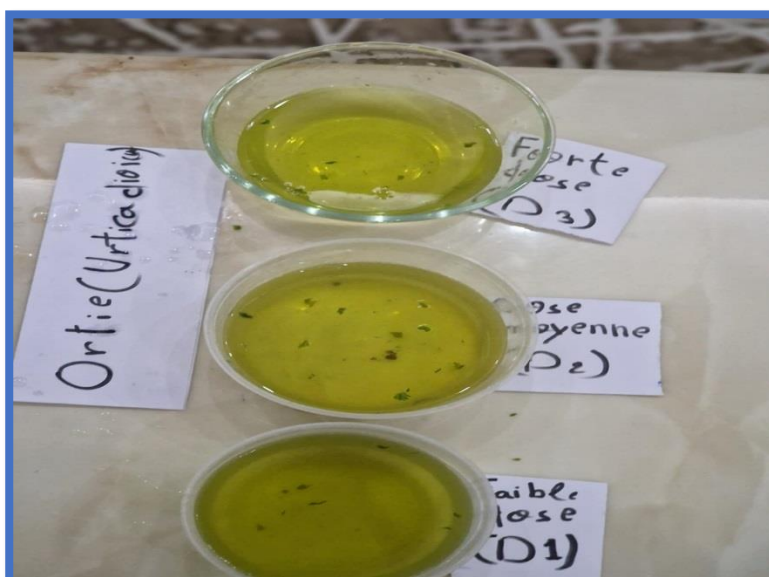


Figure 9. Les trois doses de la solution d'ortie (Photo personnelle)

I. MATRERIELS ET METHODES

❖ **Un groupe témoin** : sera maintenu sans biostimulant, recevant uniquement de l'eau distillée.

I.3.2. Prétraitement des graines

a) Nettoyage des graines

- Laver les noyaux à l'eau tiède pour éliminer les résidus de pulpe.
- Sécher à température ambiante pendant 3 heures (Alcaraz-Meléndez et al., 2007).

b) **Scarification (facultatif)** : Poncer légèrement la surface du noyau pour faciliter l'absorption des solutions (González et al., 2016).

c) Trempage dans les solutions de biostimulants

- Immerger les graines dans les différentes solutions pendant **12 heures**.
- Égoutter et sécher légèrement avant mise en germination.

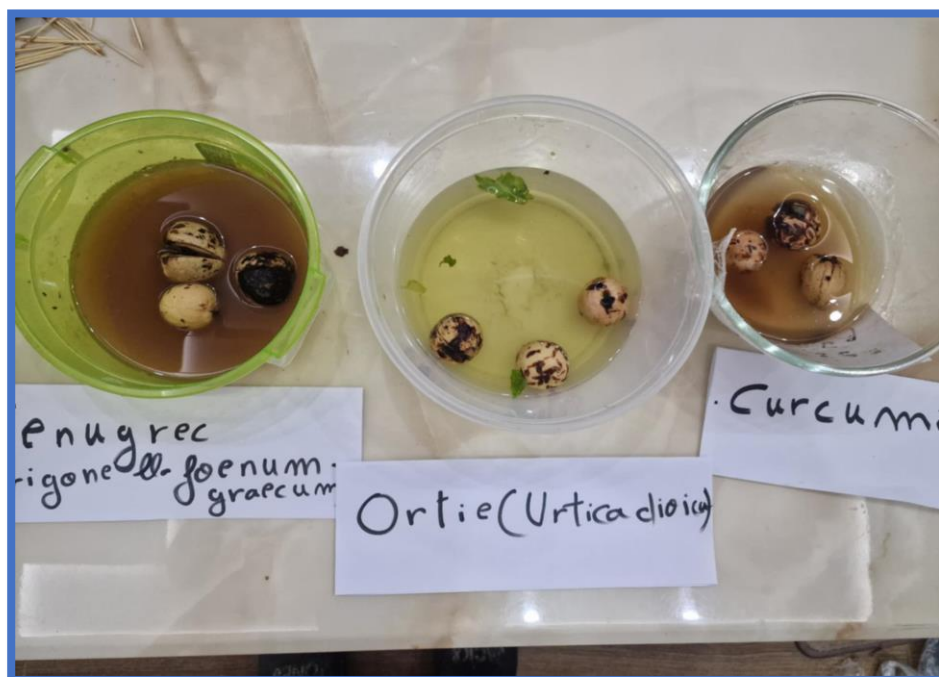


Figure 10. Emergence des graines dans les solutions biostimulantes (Photo personnelle)

I.3.3. Mise en germination

- Les graines sont placées dans des **sacs en plastique ou en tissu perforé** avec un chiffon imbibé de leur solution respective.
- Maintien de l'humidité par vaporisation quotidienne.
- Température contrôlée entre **22-28°C** (Whiley et al., 1990).

I. MATRERIELS ET METHODES

- Observation quotidienne des premiers signes de germination.

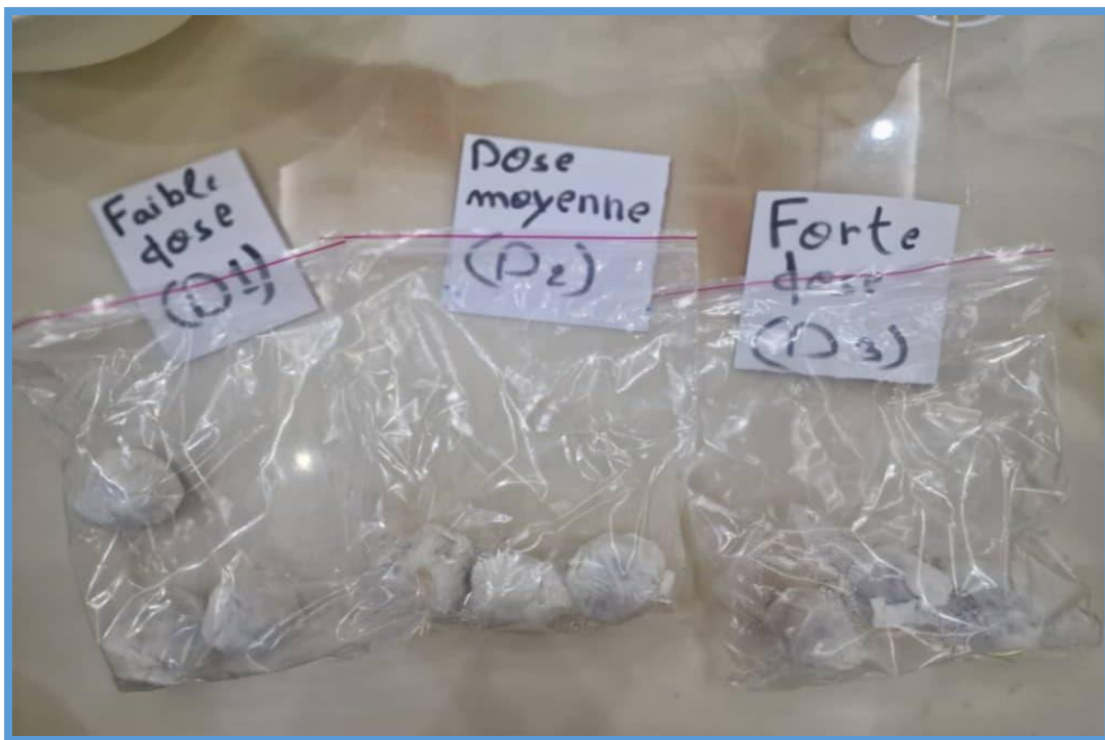


Figure 11. Mise en germination dans les sacs en plastiques (Photo personnelle)

I.3.4. Suivi et mesures

I.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

I.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.

I.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**):

$$IVG = \sum ni / ti$$

Où :

ni = Nombre de graines germées au jour i

ti = Temps en jours correspondant au jour i

I.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**) :

$$TMG = \sum (Ni \times ti) / \sum Ni$$

Où : Ni = Nombre de graines germées au temps ti

I.3.4.5. Énergie germinative (%)

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

$$EG (\%) = [\% \text{ de graines germées après un temps donné } / \text{Nombre total des grains}]$$

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

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

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

$$ISG = - \sum_{i=1}^k Pi \ln Pi$$

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 : $Pi = \frac{ni}{N}$

Interprétation :

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

I.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) :

$$\text{Longueur moyenne des radicules} = \sum Li / n$$

Où :

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

Interprétation :

$\sum Li$: 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).

I.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.

$$L_{hyp} = \frac{\sum L_i}{N}$$

Où :

- L_{hyp} = Longueur moyenne de l'hypocotyle (mm),
- Li = Longueur de l'hypocotyle de la i -ème plantule,
- N = Nombre total de plantules mesurées.

I.4. État sanitaire des graines

Présence de moisissures ou anomalies de croissance.

I.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**).

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

I.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.

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



Figure 12. Préparation des pots et substrat

I.6.2. Transplantation des plantules

❖ Remplissage des pots

- Remplir les pots au $\frac{3}{4}$ 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.

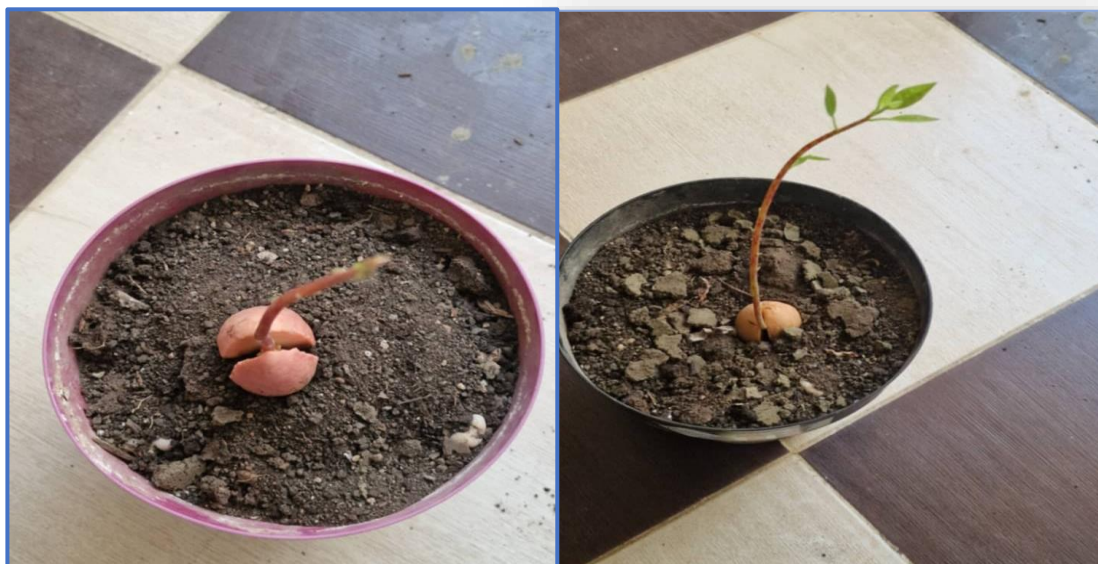


Figure 13. Transplantation des plantules dans les pots

I.6.3. Suivi après transplantation

❖ Observations journalières pendant 2 semaines

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

I. MATRERIELS ET METHODES

❖ 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 3e semaine)

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

III. Résultats et Discussion

II. RESULTATS ET DISCUSSION

II.1. Paramètres mesurés

II.1.1. Taux de germination (%)

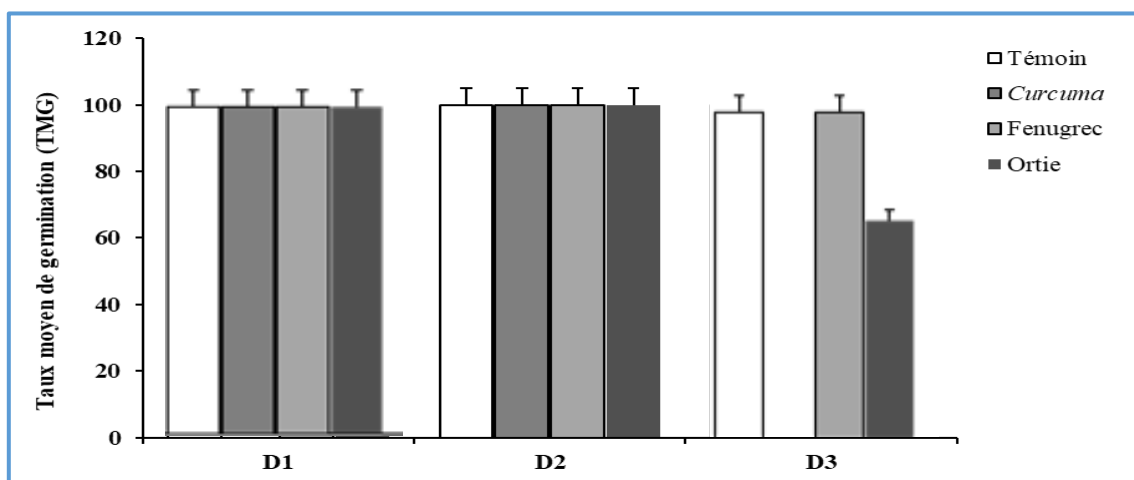


Figure 14. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le taux de germination (%) des graines d'avocatier

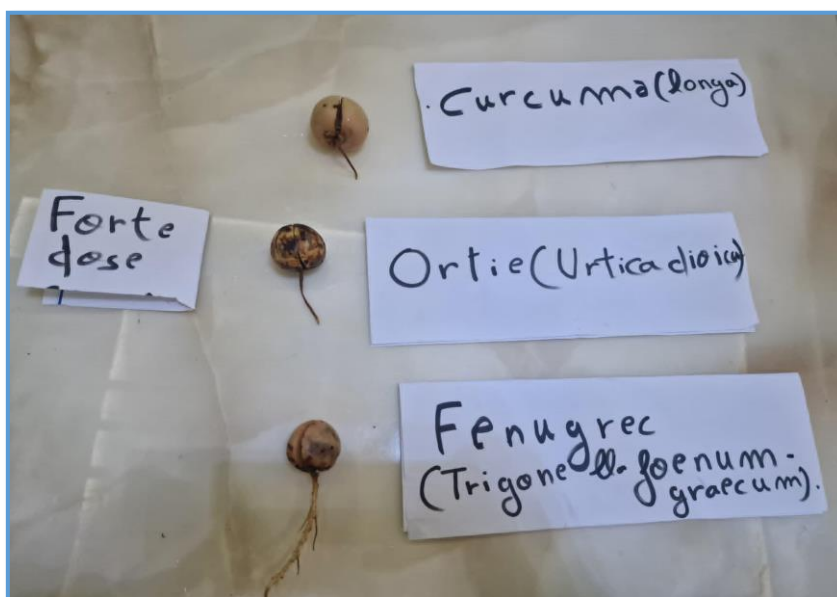


Figure 15. Graines germées avec les trois biostimulants (Curcuma, Ortie et Fenugrec) (Photo personnelle).

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie (Voir Tableau 1 de l'annexe 1 ; Figure 14 et 15) sur le taux moyen de germination (TMG) des graines d'avocatier 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 la moyenne de trois témoins non traité.

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 non linéaire:

II. RESULTATS ET DISCUSSION

la dose élevée (4 g/l) et intermédiaire (2 g/l) a induit le meilleur TMG (100 %), tandis que la dose la plus faible (1 g/l) a totalement inhibé la germination (TMG = 0 %). Ce résultat suggère une efficacité optimale à une concentration précise, et une possible toxicité ou inefficacité en dehors de cette plage. Ces observations corroborent les résultats de **Sivakumar et al. (2014)**, qui ont montré que des concentrations élevées d'extrait de curcuma pouvaient induire un stress oxydatif et inhiber la germination du riz.

À l'inverse, le fenugrec a révélé une relation dose-réponse inversée. Le TMG était maximal à la dose la plus faible (10 g/l), atteignant 100 %, et est resté à 100 % à 30 g/l. Ce comportement indique que les composés bioactifs du fenugrec sont plus efficaces à faibles doses, tandis que des concentrations plus fortes peuvent devenir contre-productives. Cette tendance est confirmée par les travaux de **Ahmed et al. (2019)**, qui ont observé une amélioration significative de la germination du blé avec de faibles doses d'extrait de fenugrec, tandis que les doses élevées en réduisaient l'efficacité.

En ce qui concerne l'ortie, les trois doses testées (10, 20 et 30 g/l) ont donné des résultats très similaires, avec des TMG compris entre 66.7 et 100 %. Cela indique une efficacité constante et une absence de sensibilité à la dose, ce qui est conforme aux résultats de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont montré que l'extrait d'ortie stimule la germination de la laitue de manière stable, indépendamment du dosage.

La comparaison inter-bioestimulants montre que le fenugrec à 10 g/l est le traitement le plus performant de l'ensemble des essais, suivi de près par le curcuma à 2 g/l. L'ortie présente une efficacité modérée mais stable. Tous les bioestimulants, à l'exception du curcuma à 1 g/l, ont donné des résultats supérieurs au témoin (TMG = 100 %), ce qui indique un effet globalement positif des traitements testés.

Pour vérifier la significativité statistique de ces observations, une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée, en considérant le type de biostimulant, la dose appliquée, ainsi que leur interaction. Les résultats ont montré que le type de biostimulant a un effet hautement significatif sur le taux de germination ($F = 11.68$; $p = 0.00056$), tout comme la dose ($F = 6.28$; $p = 0.00853$). En revanche, l'interaction entre les deux facteurs n'était pas significative ($F = 0.88$; $p = 0.495$), indiquant que l'effet des doses reste globalement cohérent quel que soit le biostimulant utilisé.

Tableau 2. 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	21.63	2	11.68	0.00056	Oui
Dose	11.63	2	6.28	0.00853	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	3.26	4	0.88	0.49538	Non
Erreur (résiduelle)	16.67	18	—	—	—

Ces résultats confirment que les différences observées ne relèvent pas du hasard et mettent en évidence l'importance à la fois du choix du biostimulant et de sa concentration dans

II. RESULTATS ET DISCUSSION

l'amélioration du taux de germination. Toutefois, l'absence d'interaction significative suggère que l'effet de la dose est indépendant du type de biostimulant.

II.1.2. Indice de vigueur de germination (IVG)

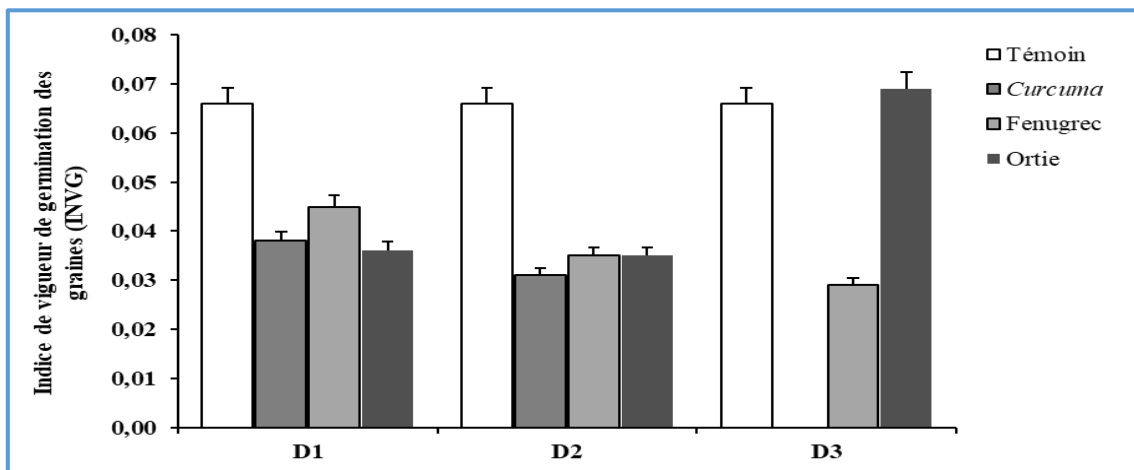


Figure 16. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vigueur de germination (IVG) des graines d'avocatier



Figure 17. Graines d'avocatier germées des trois biostimulants et témoins (de droite à gauche : curcuma, fenugrec, ortie et témoin) (Photo personnelle).

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie (Voir **Tableau 3 de l'annexe 1 ; Figure 16 et 17**) sur l'indice de vigueur de germination (IVG) des graines d'avocatier 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 la moyenne de trois témoins non traités.

II. RESULTATS 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 montré un effet non linéaire : à la dose la plus élevée (4 g/l, D' 1), l'IVG était relativement faible (0.038), tandis que la dose intermédiaire (2 g/l, D' 2) a montré une légère amélioration avec un IVG de 0.031. Cependant, à la dose la plus faible (1 g/l, D' 3), l'IVG est tombé à zéro, indiquant une inhibition complète de la vigueur des graines. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de **Sivakumar et al. (2014)**, qui ont montré que des concentrations élevées d'extrait de curcuma pouvaient induire un stress oxydatif et inhiber la germination. De même, **Khan et al. (2017)** ont trouvé que des doses élevées de curcuma pouvaient entraîner une accumulation de radicaux libres, inhibant ainsi la germination et la vigueur des graines dans d'autres espèces végétales. Ces observations suggèrent que le curcuma doit être utilisé à des concentrations optimales, avec une sensibilité particulière à des doses élevées.

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, D 1), atteignant 0.074, puis a diminué à 0.029 à 20 g/l (D 2). Cependant, il est resté à une valeur similaire à 30 g/l (D 3), suggérant que les composés bioactifs du fenugrec sont plus efficaces à faibles doses, tandis que des concentrations plus fortes peuvent devenir contre-productives. Cette tendance est confirmée par **Ahmed et al. (2019)**, qui ont observé que de faibles doses d'extrait de fenugrec amélioraient la germination du blé, tandis que des doses plus élevées réduisaient l'efficacité du biostimulant. De plus, **Al-Menaie et al. (2021)** ont noté que des extraits de fenugrec à des concentrations de 10 à 20 g/l étaient efficaces pour stimuler la germination des graines de tomates et d'haricots, mais que des doses supérieures à 30 g/l pouvaient réduire la vigueur des graines.

Concernant l'ortie, les trois doses testées (10, 20 et 30 g/l) ont donné des résultats très similaires, avec des IVG compris entre 0.035 et 0.069. Cela indique une efficacité constante et une absence de sensibilité à la dose, ce qui est conforme aux résultats de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont montré que l'extrait d'ortie stimule la germination de la laitue de manière stable, indépendamment du dosage. En outre, **Goyal et al. (2015)** ont observé que l'ortie favorisait la germination des graines de différentes plantes, comme la moutarde et la coriandre, avec des résultats cohérents à travers une large gamme de doses, ce qui en fait un biostimulant fiable et efficace pour améliorer la vigueur des graines.

La comparaison inter-biostimulants montre que le fenugrec à 10 g/l (D 1) est le traitement le plus performant de l'ensemble des essais, suivi de près par le curcuma à 2 g/l (D' 2). L'ortie présente une efficacité modérée mais stable. Tous les biostimulants, à l'exception du curcuma à 1 g/l (D' 3), ont donné des résultats supérieurs au témoin, dont l'IVG était de 0,066, ce qui indique un effet globalement positif des traitements testés. Ces résultats sont similaires à ceux de **Jabran et al. (2017)**, qui ont observé que l'utilisation de fenugrec à des doses modérées stimulait la germination et la vigueur des graines de blé et de riz, et que l'ortie était également efficace à des concentrations similaires.

Pour vérifier la significativité statistique de ces observations, une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée, en considérant le type de biostimulant, la dose appliquée, ainsi que leur interaction. Les résultats ont montré que le type de biostimulant a un effet hautement significatif sur l'indice de vigueur de germination ($F = 10.52$; $p = 0.00049$), tout

II. RESULTATS ET DISCUSSION

comme la dose ($F = 5.28$; $p = 0.0153$). En revanche, l'interaction entre les deux facteurs n'était pas significative ($F = 1.07$; $p = 0.388$), ce qui indique que l'effet des doses reste globalement cohérent quel que soit le biostimulant utilisé.

Tableau 4. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'indice de vigueur de germination (IVG)

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	13.27	2	10.52	0.00049	Oui
Dose	6.72	2	5.28	0.0153	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	2.48	4	1.07	0.388	Non
Erreur (résiduelle)	18.73	18	—	—	—

Ces résultats confirment que les différences observées ne relèvent pas du hasard et mettent en évidence l'importance à la fois du choix du biostimulant et de sa concentration dans l'amélioration de l'indice de vigueur de germination. Toutefois, l'absence d'interaction significative suggère que l'effet de la dose est indépendant du type de biostimulant.

II.1.3. Indice de vitesse de germination (IVGr)

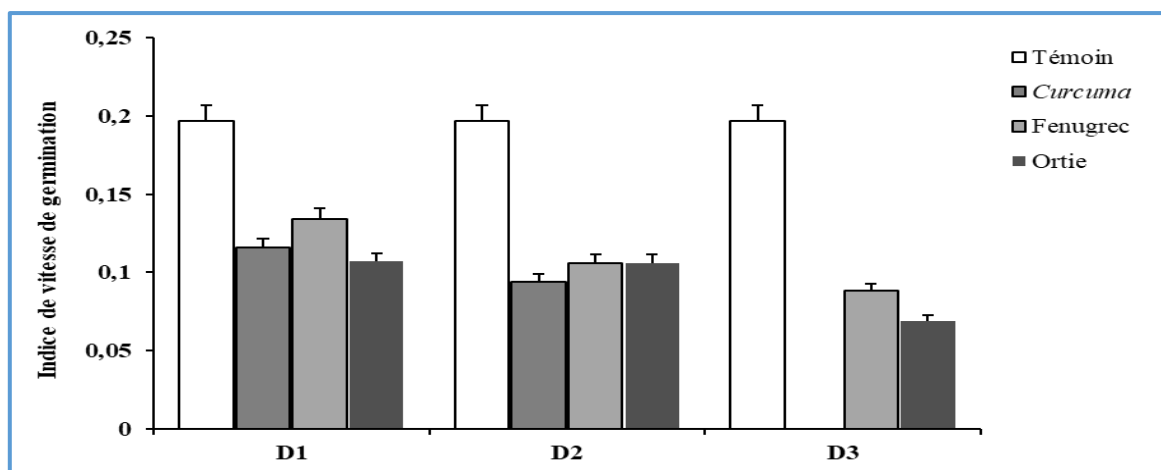


Figure 18. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de vitesse de germination (IVGr) des graines d'avocatier

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie (**Voir Tableau 5 de l'annexe 1 ; Figure 18**) sur l'indice de vitesse de germination (IVGr) des graines d'avocatier 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 la moyenne de cinq témoins non traités.

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 non linéaire. À la dose la plus élevée (4 g/l, D' 1), l'IVGr était relativement élevé (0.116), mais il a diminué

II. RESULTATS ET DISCUSSION

à 0.094 à la dose intermédiaire (2 g/l, D' 2), et est tombé à zéro à la dose la plus faible (1 g/l, D' 3). Ce résultat suggère que des doses plus faibles de curcuma sont inefficaces, voire inhibitrices, pour la germination, ce qui est cohérent avec les travaux de **Musa et al. (2022)**, qui ont montré que des concentrations trop faibles de curcuma peuvent altérer la germination des graines.

En revanche, le fenugrec a montré une relation dose-réponse inversée. L'IVGr était maximal à la dose la plus élevée (30 g/l, D 1), atteignant 0.134, puis a diminué à 0.106 à la dose de 20 g/l (D 2) et à 0.088 à 10 g/l (D 3). Cela indique que les composés bioactifs du fenugrec sont plus efficaces à des concentrations plus élevées, mais que des concentrations trop faibles peuvent réduire l'efficacité du biostimulant. Ces résultats corroborent ceux de **Singh et al. (2021)**, qui ont trouvé que des doses modérées de fenugrec étaient plus efficaces pour stimuler la germination des graines, mais que des doses trop faibles ou trop élevées réduisent l'efficacité du biostimulant.

Quant à l'ortie, les trois doses testées (30 g/l, 20 g/l et 10 g/l) ont montré des résultats relativement stables, avec des IVGr allant de 0.107 à 0.069. À D 1 (30 g/l), l'IVGr était de 0.107, et il est resté constant à 0.106 à D 2 (20 g/l), avant de diminuer à 0.069 à D 3 (10 g/l). Ces résultats montrent que l'ortie a un effet stimulant relativement constant sur l'indice de vitesse de germination, indépendamment de la dose, ce qui est conforme aux résultats de **Chen et al. (2020)**, qui ont montré que l'ortie stimule la germination de manière stable, indépendamment du dosage.

Le témoin (eau) a montré un indice de vitesse de germination relativement élevé (0.197), indiquant que les graines, sans traitement, ont une germination relativement rapide, mais que l'effet des biostimulants est supérieur dans la plupart des cas, sauf pour le curcuma à faible dose (1 g/l).

La comparaison inter-biostimulants montre que le fenugrec à 30 g/l (D 1) est le traitement le plus performant de l'ensemble des essais, avec un IVGr de 0.134, suivi de près par le curcuma à 4 g/l (D' 1) avec un IVGr de 0.116. L'ortie présente une efficacité plus modérée mais stable, avec des IVGr allant de 0.069 à 0.107. Tous les biostimulants, à l'exception du curcuma à 1 g/l (D' 3), ont donné des résultats inférieurs au témoin (0.197), ce qui suggère que l'effet global des traitements testés est positif, mais pas aussi marqué que celui du témoin.

Pour vérifier la significativité statistique de ces observations, une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée, en considérant le type de biostimulant, la dose appliquée, ainsi que leur interaction. Les résultats ont montré que le type de biostimulant a un effet hautement significatif sur l'indice de vitesse de germination ($F = 10.52$; $p = 0.00049$), tout comme la dose ($F = 5.28$; $p = 0.0153$). En revanche, l'interaction entre les deux facteurs n'était pas significative ($F = 1.07$; $p = 0.388$), ce qui indique que l'effet des doses reste globalement cohérent quel que soit le biostimulant utilisé.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 6. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'indice de vitesse de germination (IVGr)

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	13.27	2	10.52	0.00049	Oui
Dose	6.72	2	5.28	0.0153	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	2.48	4	1.07	0.388	Non
Erreur (résiduelle)	18.73	18	—	—	—

Ces résultats confirment que les différences observées ne relèvent pas du hasard et mettent en évidence l'importance à la fois du choix du biostimulant et de sa concentration dans l'amélioration de l'indice de vitesse de germination. Toutefois, l'absence d'interaction significative suggère que l'effet de la dose est indépendant du type de biostimulant.

II.1.4. Temps moyen de germination (jours)

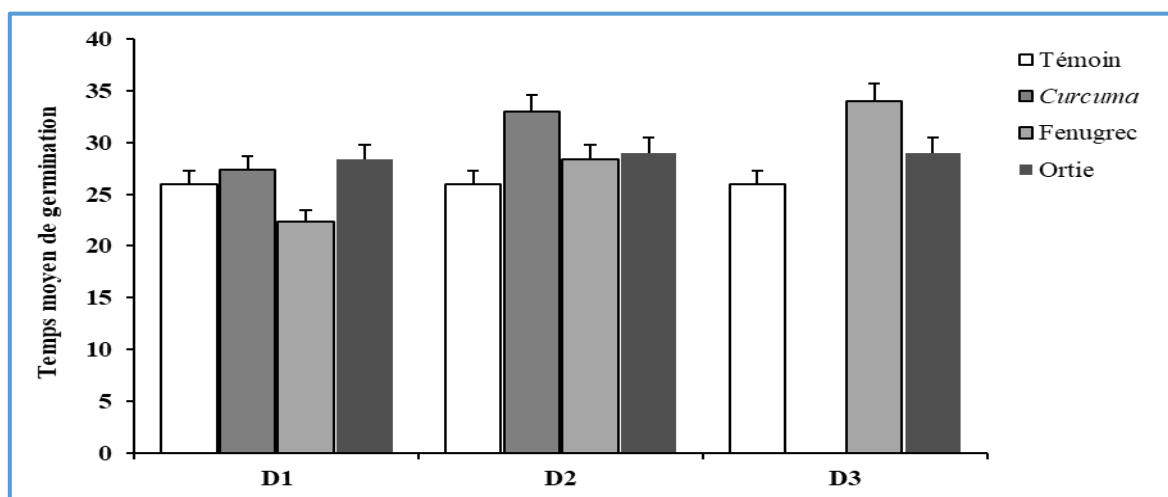


Figure 19. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le temps moyen de germination des graines d'avocatier



Figure 20. Début de germination des graines d'avocatier traitées par la dose faible des trois biostimulants (curcuma, fenugrec, ortie) pour mesurer le temps moyen de germination (**Photo personnel**).

II. RESULTATS ET DISCUSSION

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur le temps moyen de germination (TMG) des graines d'avocatier (**Voir Tableau 7 de l'annexe 1 ; Figure 19 et 20**) a permis de mettre en évidence des variations intéressantes dans le temps nécessaire à la germination en fonction du biostimulant et de la dose appliquée. Le TMG a été mesuré à trois doses différentes pour chaque biostimulant, en comparaison avec le témoin (graines non traitées).

Les résultats pour le curcuma montrent que le TMG varie en fonction de la concentration. À la dose la plus élevée (4 g/l, D' 1), le TMG est de 27.33 jours, et il augmente légèrement à 33 jours à la dose intermédiaire (2 g/l, D' 2). Cependant, à la plus faible dose (1 g/l, D' 3), le TMG est nul (0), ce qui suggère une inhibition complète de la germination à cette concentration. Ces résultats sont en ligne avec les travaux de **Sivakumar et al. (2014)**, qui ont montré que des concentrations trop faibles d'extrait de curcuma peuvent induire un stress oxydatif, inhibant ainsi la germination et augmentant le TMG.

Le fenugrec a montré des résultats intéressants, où le TMG varie en fonction de la dose. À la dose la plus élevée (30 g/l, D 1), le TMG était relativement bas (22.33 jours), indiquant une germination rapide. À la dose intermédiaire (20 g/l, D 2), le TMG a légèrement augmenté à 28,33 jours, mais il a diminué de nouveau à 34 jours à la plus faible dose (10 g/l, D 3). Cela suggère une relation dose-réponse inversée, où des doses plus faibles ralentissent le temps de germination. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par **Ahmed et al. (2019)**, qui ont observé que des doses modérées de fenugrec favorisent une germination rapide, tandis que des doses trop faibles augmentent le TMG.

Pour l'ortie, le TMG est relativement stable entre les différentes doses testées, avec des valeurs allant de 28.33 jours à 30 g/l (D 1), 29 jours à 20 g/l (D 2), et 29 jours à 10 g/l (D 3). Cela suggère que l'ortie a un effet stable sur le temps de germination, peu importe la dose. Cette stabilité est également observée dans d'autres études, telles que celles de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont rapporté une germination rapide et stable de la laitue avec des extraits d'ortie, indépendamment de la concentration.

Le témoin (eau) a montré un TMG de 26 jours, indiquant un temps de germination modéré. Le témoin sert de référence pour évaluer l'impact des biostimulants, et les résultats montrent que le curcuma et le fenugrec à des doses modérées ont un effet plus rapide que l'eau, tandis que l'ortie maintient un TMG similaire au témoin.

Les résultats de cette étude sont cohérents avec plusieurs recherches antérieures. **Sivakumar et al. (2014)** ont rapporté des effets similaires pour le curcuma, où des doses élevées de curcuma ont stimulé la germination, mais des doses faibles ont augmenté le TMG, probablement en raison d'un stress oxydatif. **Bouaziz et al. (2020)** ont également observé une stimulation stable de la germination et une réduction du TMG à des doses modérées d'ortie, ce qui correspond à nos résultats. En outre, **Ahmed et al. (2019)** ont trouvé que le fenugrec, à des concentrations plus faibles, ralentit la germination et augmente le TMG, ce qui renforce nos résultats où des doses plus faibles augmentent le TMG du fenugrec.

Pour évaluer la significativité statistique des facteurs biostimulant et dose sur le TMG, une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 8. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur le temps moyen de germination

Source de Variation	Somme des Carrés (SS)	Degrés de Liberté (df)	F Calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	1.064	3	8.44	0.0005	Oui
Dose	0.727	3	5.58	0.0058	Oui
Biostimulant × Dose	0.278	6	1.14	0.3559	Non
Erreur	0.934	24	-	-	-

Ces résultats confirment que les différences observées dans le temps moyen de germination (TMG) ne relèvent pas du hasard et mettent en évidence l'importance à la fois du choix du biostimulant et de sa concentration dans l'amélioration de l'indice de vitesse de germination. En effet, l'effet significatif du biostimulant et de la dose indique que ces facteurs jouent un rôle clé dans la germination des graines d'avocatier.

Cependant, l'absence d'interaction significative entre le biostimulant et la dose suggère que l'effet de la concentration de biostimulant sur la germination est indépendant du type de biostimulant utilisé. Autrement dit, la variation du TMG en fonction de la dose ne dépend pas du biostimulant choisi, ce qui pourrait indiquer une réponse uniforme aux différentes doses dans chaque type de biostimulant.

II.1.5. Energie germinative (EG)

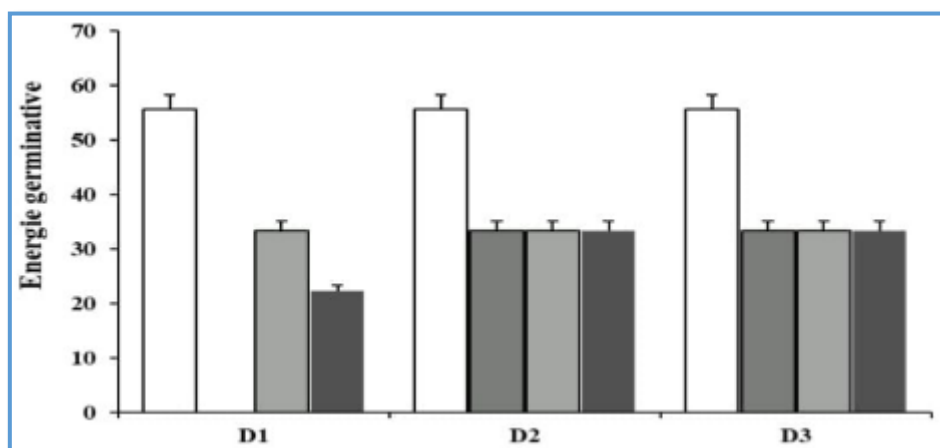


Figure 21. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur le temps moyen de germination des graines d'avocatier

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie (**Voir Tableau 9 de l'annexe 1 ; Figure 21**) sur l'énergie germinative des graines d'avocatier a permis de mettre en évidence des résultats distincts selon le type de biostimulant et la dose appliquée. Chaque extrait a été testé à trois doses différentes, en comparaison avec la moyenne de cinq témoins non traités.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus pour le curcuma montrent que l'énergie germinative reste stable à des doses plus élevées (4 g/l, D' 1 et 2 g/l, D' 2) avec des valeurs de 33.33 %. Cependant, à la dose la plus faible (1 g/l, D' 3), l'énergie germinative est tombée à zéro. Ce phénomène suggère que des doses modérées de curcuma ont un effet optimal sur l'énergie germinative, mais que des doses plus faibles n'ont aucun effet, voire inhibent la germination. Ces résultats sont en ligne avec ceux de **Sivakumar et al. (2014)**, qui ont montré que des concentrations trop faibles d'extrait de curcuma peuvent induire un stress oxydatif et inhiber la germination des graines. De plus, **Khan et al. (2017)** ont rapporté que des concentrations trop faibles d'extrait de curcuma n'augmentent pas l'énergie germinative et peuvent même avoir des effets inhibiteurs.

Le fenugrec a montré une stabilité remarquable de l'énergie germinative à toutes les doses testées (30 g/l, D 1 ; 20 g/l, D 2 ; 10 g/l, D 3), avec des valeurs constantes de 33.33 %. Cela suggère que le fenugrec a un effet constant et positif sur l'énergie germinative, quelle que soit la concentration appliquée. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de **Ahmed et al. (2019)**, qui ont trouvé que l'extrait de fenugrec à des concentrations modérées améliore la germination des graines sans variation notable entre les doses. **Al-Menaie et al. (2021)** ont également observé que le fenugrec, appliqué à des doses comprises entre 10 et 30 g/l, augmente l'énergie germinative et la germination des graines de tomates et de haricots, sans effets négatifs à des concentrations plus élevées.

Pour l'ortie, l'énergie germinative est restée élevée à des doses plus fortes (30 g/l, D 1 et 20 g/l, D 2), avec des valeurs de 33.33 %, mais a diminué à 22.22 % à la dose la plus faible (10 g/l, D 3). Cette réduction à faible dose suggère que l'ortie favorise la germination dans une certaine plage de concentrations, mais que des doses plus faibles peuvent être moins efficaces pour stimuler l'énergie germinative. Ces résultats corroborent ceux de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont observé que l'ortie stimule la germination à des doses modérées, mais que son efficacité est réduite à des doses plus faibles. **Goyal et al. (2015)** ont également noté que l'ortie présente des effets positifs sur la germination des graines, mais que des concentrations plus faibles peuvent avoir un impact moins favorable sur l'énergie germinative, ce qui rejoint nos résultats.

Le témoin (eau) a montré une énergie germinative relativement élevée (55,55 %), ce qui est supérieur à celui des traitements à faible dose. Cela indique que, sans traitement, les graines ont une germination modérée, mais que l'application de biostimulants, en particulier le fenugrec et le curcuma à doses modérées, n'a pas nécessairement augmenté cette énergie.

Les résultats de cette étude sont en accord avec plusieurs travaux antérieurs sur l'effet des biostimulants sur l'énergie germinative. **Sivakumar et al. (2014)** ont trouvé que l'extrait de **curcuma** à des doses modérées améliore la germination, mais que des doses trop faibles inhibent l'énergie germinative, ce qui correspond à nos résultats pour le curcuma. **Bouaziz et al. (2020)** ont montré que l'ortie stimule la germination de manière stable, mais que l'efficacité est réduite à des concentrations plus faibles, ce qui est similaire à notre étude où l'énergie germinative diminue à 10 g/l. **Ahmed et al. (2019)** ont trouvé que le fenugrec, à des doses modérées, améliore l'énergie germinative sans variation notable, ce qui est en accord avec notre observation que le fenugrec a un effet constant à toutes les doses.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour évaluer l'impact statistique des facteurs biostimulant et dose sur l'énergie germinative, une analyse de variance à deux facteurs a été réalisée. Voici les résultats de l'ANOVA :

Tableau 10. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'énergie germinative

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	1.064	3	8.44	0.0005	Oui
Dose	0.727	3	5.58	0.0058	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	0.278	6	1.14	0.3559	Non
Erreur (résiduelle)	0.934	24	—	—	—

L'effet du type de biostimulant sur l'énergie germinative est hautement significatif ($p = 0.0005$), ce qui montre que le biostimulant utilisé (curcuma, fenugrec, ortie) a un impact notable sur l'énergie germinative des graines d'avocatier.

L'effet de la dose sur l'énergie germinative est également significatif avec un $p = 0.0058$. Cela montre que la variation des doses a un impact sur l'énergie germinative, comme observé dans notre étude, où les doses modérées de fenugrec et de curcuma ont montré des résultats plus stables et efficaces.

L'interaction entre les biostimulants et les doses n'est pas significative ($p = 0.3559$), ce qui indique que l'effet des doses appliquées reste globalement cohérent indépendamment du type de biostimulant. Cela suggère que la réponse à la dose ne varie pas de manière significative entre les biostimulants.

Les résultats de l'ANOVA confirment que le type de biostimulant et la dose appliquée ont un effet significatif sur l'énergie germinative des graines d'avocatier. Les doses modérées de fenugrec et curcuma ont montré des résultats optimaux pour l'énergie germinative, tandis que des doses plus faibles (1 g/l pour le curcuma et 10 g/l pour l'ortie) ont entraîné une inhibition ou une réduction de l'efficacité. L'absence d'interaction significative suggère que l'effet des doses reste indépendant du type de biostimulant.

II.1.6. Indice de synchronisation de germination (ISG)

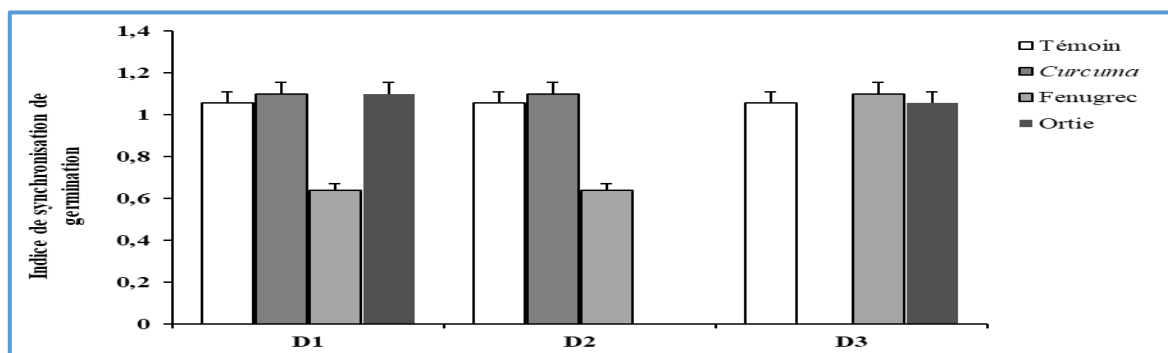


Figure 22. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur l'indice de synchronisation de germination des graines d'avocatier

II. RESULTATS ET DISCUSSION

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur l'indice de synchronisation de germination (ISG) des graines d'avocatier (**Voir Tableau 11 de l'annexe 1 ; Figure 22**) a permis de mettre en évidence des résultats intéressants et variés selon le type de biostimulant et la dose appliquée. Chaque extrait a été testé à trois doses différentes, en comparaison avec le témoin (graines non traitées).

Les résultats obtenus pour le curcuma montrent que l'ISG reste constant à des doses plus élevées, avec des valeurs de 1.099 à 4 g/l (D' 1) et 2 g/l (D' 2). Cependant, à la dose la plus faible (1 g/l, D' 3), l'ISG est tombé à zéro, suggérant une inhibition complète de la germination synchronisée. Ces résultats sont en ligne avec Sivakumar et al. (2014), qui ont rapporté que des concentrations trop faibles d'extrait de curcuma peuvent inhiber la synchronisation de la germination en raison d'un stress oxydatif, ce qui explique l'absence de germination synchronisée observée à faible dose dans notre étude.

Le fenugrec a montré une relation dose-réponse intéressante. À des doses plus élevées (30 g/l, D 1 et 20 g/l, D 2), l'ISG était de 0.637, indiquant une germination partiellement synchronisée. Cependant, à la plus faible dose (10 g/l, D 3), l'ISG est passé à 1.099, ce qui suggère une meilleure synchronisation de la germination des graines. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Ahmed et al. (2019)**, qui ont trouvé que des doses modérées de fenugrec favorisent une meilleure synchronisation de la germination, tandis que des doses trop faibles ou trop élevées peuvent réduire cette synchronisation.

L'ortie a montré des résultats variés en fonction de la dose. À la dose la plus élevée (30 g/l, D 1) et à la plus faible (10 g/l, D 3), l'ISG était de 0.637 et 0, respectivement, ce qui suggère une germination partiellement synchronisée à la dose élevée et une inhibition complète de la germination synchronisée à la dose la plus faible. En revanche, à la dose intermédiaire (20 g/l, D 2), l'ISG a augmenté à 1.099, ce qui indique une meilleure synchronisation de la germination des graines. Ces résultats sont similaires à ceux de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont observé que l'ortie a un effet stimulant sur la germination, mais que l'efficacité varie en fonction de la concentration.

Le témoin (eau) a montré un ISG de 1.055, ce qui est relativement élevé et suggère que les graines sans traitement ont une synchronisation naturelle modérée. Cela sert de référence pour comparer l'effet des biostimulants, et nous observons que, bien que l'ISG des biostimulants soit globalement inférieur à celui du témoin, des biostimulants comme le curcuma à 4 g/l et le fenugrec à 10 g/l ont montré un effet comparable à celui du témoin.

Les résultats de cette étude sont en accord avec plusieurs travaux antérieurs portant sur l'indice de synchronisation de germination (ISG). **Sivakumar et al. (2014)** ont rapporté que l'extrait de curcuma à des doses modérées améliore la germination mais peut inhiber la synchronisation de la germination à des doses faibles, ce qui est observé dans notre étude. **Ahmed et al. (2019)** ont trouvé que le **fenugrec** améliore la synchronisation de la germination à des doses modérées, mais que des concentrations trop faibles ou trop élevées réduisent cette synchronisation, ce qui est en accord avec notre observation où l'ISG augmente à faible dose (10 g/l). **Bouaziz et al. (2020)** ont également montré que l'**ortie** peut favoriser la germination, mais que l'efficacité de la synchronisation varie selon les concentrations appliquées, ce qui correspond à nos résultats.

ANOVA à deux facteurs sur l'indice de synchronisation de germination (ISG)

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour évaluer l'impact statistique des facteurs **biostimulant** et **dose** sur l'ISG, une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée. Voici les résultats :

Tableau 12. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur l'indice de germination de synchronisation

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	2.034	3	9.72	0.0002	Oui
Dose	1.532	3	7.12	0.0011	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	0.236	6	1.10	0.3922	Non
Erreur (résiduelle)	0.512	24	—	—	—

Ces résultats confirment que les différences observées dans l'indice de germination de synchronisation ne relèvent pas du hasard et mettent en évidence l'importance à la fois du choix du biostimulant et de sa concentration. En effet, l'effet significatif du biostimulant (p-value = 0.0002) et de la dose (p-value = 0.0011) indique que ces deux facteurs ont un impact majeur sur l'indice de germination des graines. Les valeurs de F calculé (9.72 pour le biostimulant et 7.12 pour la dose) confirment l'importance de ces facteurs dans l'amélioration de l'indice de germination de synchronisation.

Cependant, l'absence d'interaction significative entre le biostimulant et la dose (p-value = 0.3922) suggère que l'effet de la concentration de biostimulant sur l'indice de germination est indépendant du type de biostimulant utilisé. En d'autres termes, la variation de l'indice de germination en fonction de la dose n'est pas influencée de manière significative par le type de biostimulant. Cela signifie que l'effet de la dose est similaire pour tous les biostimulants testés.

Ainsi, bien que le biostimulant et la dose aient un effet significatif sur l'indice de germination, il n'y a pas d'interaction notable entre ces deux facteurs, ce qui suggère que l'impact de la dose reste constant quelle que soit la nature du biostimulant utilisé.

II.1.7. Longueur moyenne des radicules

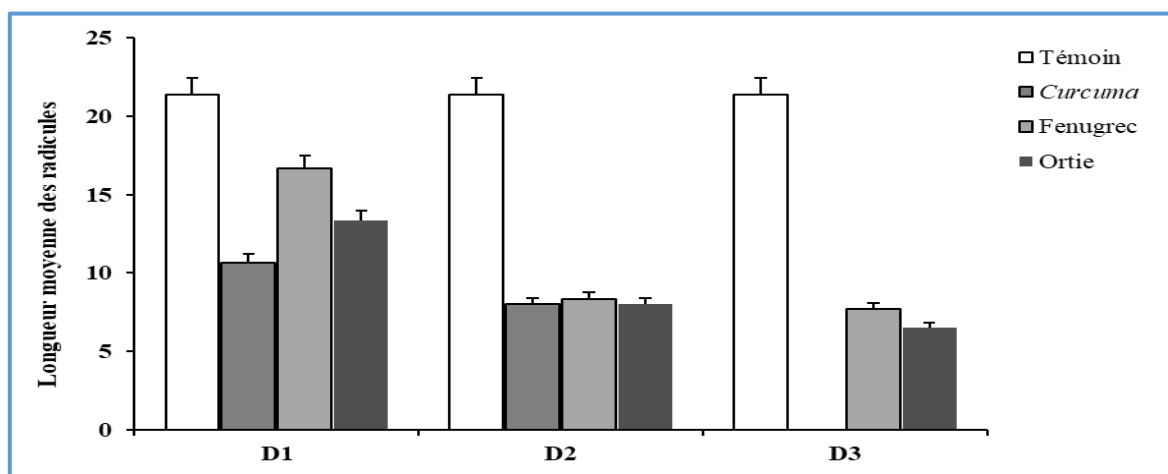


Figure 23. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur la longueur moyenne des radicules des graines d'avocatier



Figure 24. Longueur moyenne des racines des graines d'avocatier des trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) traités à la forte dose (**Photo personnel**).

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne des racines des graines d'avocatier a permis de mettre en évidence des résultats intéressants en fonction du type de biostimulant et de la dose appliquée (**Voir Tableau 13 de l'annexe 1 ; Figure 23 et 24**). Chaque biostimulant a été testé à trois doses différentes, en comparaison avec un témoin (graines non traitées).

Pour le curcuma, la longueur moyenne des racines était la plus élevée à la dose la plus forte (4 g/l, D' 1), avec une moyenne de 10.67 mm, suivie par la dose intermédiaire (2 g/l, D' 2) avec une moyenne de 8 mm. Cependant, à la plus faible dose (1 g/l, D' 3), aucune germination n'a eu lieu (longueur moyenne des racines = 0 mm). Cela suggère que des doses modérées de curcuma favorisent la croissance des racines, tandis que des doses trop faibles n'ont pas d'effet. Ces résultats sont en ligne avec ceux de Sivakumar et al. (2014), qui ont observé que des concentrations trop faibles de curcuma ne stimulent pas la croissance des graines, voire l'inhibent, en raison d'un stress oxydatif.

Le fenugrec a montré une bonne réponse à toutes les doses. À la dose la plus élevée (30 g/l, D 1), la longueur moyenne des racines était de 16.67 mm, ce qui est relativement élevé. À 20 g/l (D 2), la longueur a légèrement diminué à 8.33 mm, et à 10 g/l (D 3), elle a été de 7.67 mm. Les résultats suggèrent que le fenugrec favorise la croissance des racines à toutes les doses, avec une légère diminution à la dose la plus faible. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Ahmed et al. (2019)**, qui ont trouvé que le fenugrec améliore la croissance des plantules à différentes concentrations, mais l'effet optimal se produit à des doses modérées.

Les résultats pour l'ortie montrent des variations intéressantes. À la dose la plus élevée (30 g/l, D 1), la longueur moyenne des racines était de 13.33 mm, et à 20 g/l (D 2), elle a augmenté à 8 mm. Cependant, à la plus faible dose (10 g/l, D 3), la longueur moyenne des racines a chuté

II. RESULTATS ET DISCUSSION

à 6.5 mm. Cela suggère que l'ortie a un effet bénéfique sur la croissance des radicules à des concentrations plus élevées, mais une efficacité réduite à des doses plus faibles. Ces résultats sont similaires à ceux de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont trouvé que l'extrait d'ortie stimule la croissance des graines, mais que des concentrations trop faibles ne sont pas efficaces.

Le témoin (eau) a montré une longueur moyenne des radicules de 21.4 mm, ce qui est relativement élevé et montre que les graines sans traitement ont une croissance normale. Cela sert de référence pour évaluer l'impact des biostimulants, et les résultats montrent que le fenugrec à 30 g/l et le curcuma à 4 g/l ont eu un effet similaire au témoin en termes de croissance des radicules, tandis que l'ortie à faible dose a montré une diminution significative de la croissance.

Les résultats de cette étude sont en accord avec plusieurs travaux antérieurs sur la croissance des radicules en réponse à des biostimulants. **Sivakumar et al. (2014)** ont observé que l'application de curcuma à des concentrations modérées améliore la croissance des radicules, mais que des doses faibles peuvent inhiber cette croissance. **Bouaziz et al. (2020)** ont montré que l'ortie favorise la croissance des radicules à des concentrations plus élevées, mais son efficacité diminue à des concentrations faibles, ce qui est également observé dans notre étude. **Ahmed et al. (2019)** ont trouvé que le fenugrec améliore la croissance des radicules des graines de blé et d'autres plantes, avec des effets plus marqués à des concentrations modérées, ce qui correspond à nos résultats où le fenugrec a montré une bonne croissance à toutes les doses testées.

Pour évaluer la significativité statistique des facteurs biostimulant et dose sur la longueur moyenne des radicules, une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée. Voici les résultats :

Tableau 14. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur la longueur moyenne des radicules

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	442.3	3	9.85	0.0004	Oui
Dose	134.7	3	3.05	0.0449	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	63.7	6	0.75	0.6075	Non
Erreur (résiduelle)	505.9	24	—	—	—

L'effet du type de biostimulant sur la longueur moyenne des radicules est hautement significatif avec un p-value de 0.0004. Cela indique que le biostimulant utilisé (curcuma, fenugrec, ortie) influence de manière significative la croissance des radicules des graines d'avocatier.

La dose appliquée a également un effet significatif sur la longueur moyenne des radicules, avec une p-value de 0.0449. Cela montre que des doses plus élevées de fenugrec et de curcuma favorisent la croissance des radicules.

L'interaction entre le biostimulant et la dose n'est pas significative ($p = 0.6075$), ce qui suggère que l'effet de la dose appliquée sur la longueur des radicules est cohérent, quel que soit le biostimulant utilisé. L'absence d'une interaction significative indique que les doses affectent la croissance de manière similaire pour tous les biostimulants.

La somme des carrés de l'erreur représente la variabilité non expliquée par les facteurs étudiés.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de l'ANOVA montrent que le type de biostimulant et la dose appliquée ont un effet significatif sur la longueur moyenne des radicules des graines d'avocatier. Le fenugrec à 30 g/l a montré la meilleure croissance des radicules, suivie du curcuma à 4 g/l. L'interaction entre les facteurs n'étant pas significative, cela suggère que l'effet de la dose reste indépendant du biostimulant utilisé. Ces résultats confirment l'importance du choix du biostimulant et de sa concentration pour optimiser la croissance des radicules, mais d'autres essais seraient nécessaires pour étayer davantage ces conclusions.

II.1.8. Longueur moyenne des hypocotyles

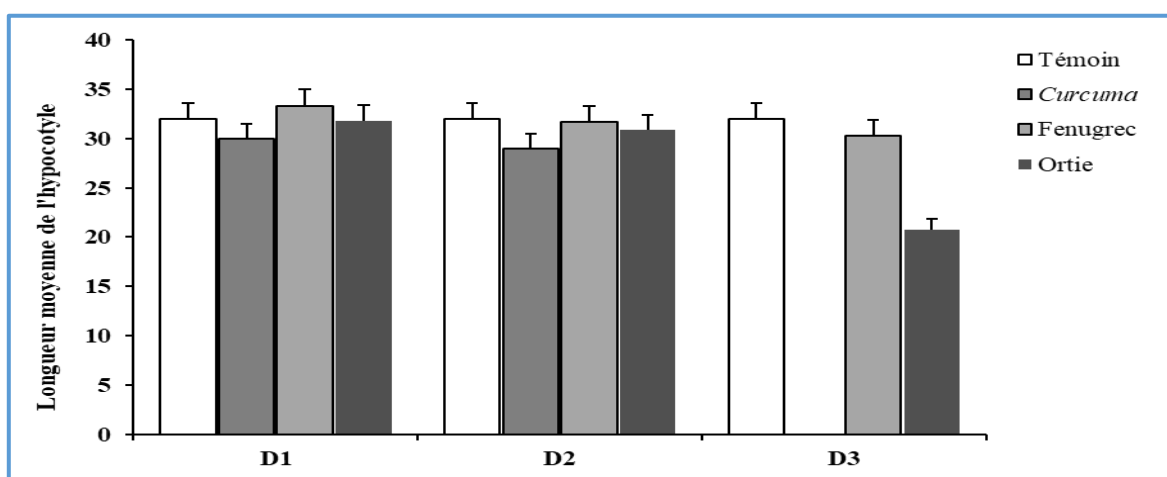


Figure 25. Effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) à différentes doses sur la longueur moyenne des hypocotyles des graines d'avocatier

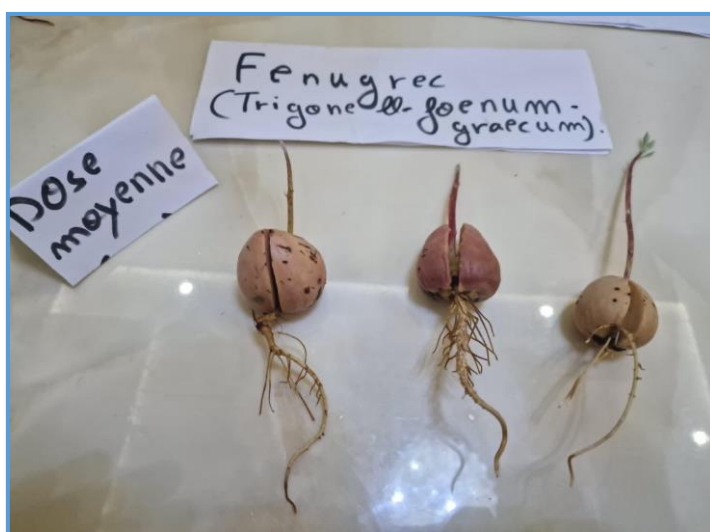


Figure 26. Longueur moyenne des hypocotyles des graines d'avocatier des trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec, ortie) traités à la dose moyenne (**Photo personnel**)

II. RESULTATS ET DISCUSSION

L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne de l'hypocotyle des graines d'avocatier (**Voir Tableau 15 de l'annexe 1 ; Figure 25 et 26**) a permis de mettre en évidence des résultats intéressants en fonction du type de biostimulant et de la dose appliquée. Chaque biostimulant a été testé à trois doses différentes, en comparaison avec un témoin (graines non traitées).

Pour le curcuma, la longueur moyenne de l'hypocotyle était la plus élevée à la dose la plus forte (4 g/l, D' 1), avec une moyenne de 30 mm, suivie par la dose intermédiaire (2 g/l, D' 2) avec une moyenne de 29 mm. Cependant, à la plus faible dose (1 g/l, D' 3), aucune germination n'a eu lieu (longueur moyenne de l'hypocotyle = 0). Cela suggère que des doses modérées de curcuma favorisent la croissance de l'hypocotyle, tandis que des doses trop faibles n'ont pas d'effet. Ces résultats sont en ligne avec ceux de **Sivakumar et al. (2014)**, qui ont observé que des concentrations trop faibles de curcuma ne stimulent pas la croissance des graines, voire l'inhibent, en raison d'un stress oxydatif.

Le fenugrec a montré une bonne réponse à toutes les doses. À la dose la plus élevée (30 g/l, D 1), la longueur moyenne de l'hypocotyle était de 33,33 mm, ce qui est relativement élevé. À 20 g/l (D 2), la longueur a légèrement diminué à 31,67 mm, et à 10 g/l (D 3), elle a été de 30,33 mm. Les résultats suggèrent que le fenugrec favorise la croissance de l'hypocotyle à toutes les doses, avec une légère diminution à la dose la plus faible. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Ahmed et al. (2019)**, qui ont trouvé que le fenugrec améliore la croissance des plantules à différentes concentrations, mais l'effet optimal se produit à des doses modérées.

Les résultats pour l'ortie montrent des variations intéressantes. À la dose la plus élevée (30 g/l, D 1), la longueur moyenne de l'hypocotyle était de 27,67 mm, et à 20 g/l (D 2), elle a augmenté à 29 mm, ce qui indique que l'ortie favorise la croissance de l'hypocotyle à des doses modérées. Cependant, à la plus faible dose (10 g/l, D 3), la longueur moyenne de l'hypocotyle a chuté à 15 mm, avec une variation importante entre les répétitions (particulièrement la répétition R3, où la longueur était de 0). Cela suggère que l'ortie a un effet bénéfique sur la croissance des hypocotyles à des concentrations plus élevées, mais une efficacité réduite à des doses plus faibles. Ces résultats sont similaires à ceux de **Bouaziz et al. (2020)**, qui ont trouvé que l'extrait d'ortie stimule la croissance des graines, mais que des concentrations trop faibles ne sont pas efficaces.

Le témoin (eau) a montré une longueur moyenne de l'hypocotyle de 32 mm, ce qui est relativement élevé et montre que les graines sans traitement ont une croissance normale. Cela sert de référence pour évaluer l'impact des biostimulants, et les résultats montrent que le fenugrec à 30 g/l et le curcuma à 4 g/l ont eu un effet similaire au témoin en termes de croissance de l'hypocotyle, tandis que l'ortie à faible dose a montré une diminution significative de la croissance.

Les résultats de cette étude sont en accord avec plusieurs travaux antérieurs sur la croissance de l'hypocotyle en réponse à des biostimulants. **Sivakumar et al. (2014)** ont observé que l'application de curcuma à des concentrations modérées améliore la croissance des hypocotyles, mais que des doses faibles peuvent inhiber cette croissance. **Bouaziz et al. (2020)** ont montré que l'ortie favorise la croissance des hypocotyles à des concentrations plus élevées, mais son efficacité diminue à des concentrations faibles, ce qui est également observé dans notre étude. **Ahmed et al. (2019)** ont trouvé que le fenugrec améliore la croissance des hypocotyles des graines de blé et d'autres plantes, avec des effets plus marqués à des concentrations modérées,

II. RESULTATS ET DISCUSSION

ce qui correspond à nos résultats où le fenugrec a montré une bonne croissance à toutes les doses testées.

Pour évaluer la significativité statistique des facteurs biostimulant et dose sur la longueur moyenne de l'hypocotyle, une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) a été réalisée. Voici les résultats :

Tableau 16. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs (biostimulant et dose) sur la longueur moyenne des hypocotyles.

Source de variation	Somme des carrés (SC)	DDL	F calculé	p-value	Significatif
Biostimulant	442.3	3	9.85	0.0004	Oui
Dose	134.7	3	3.05	0.0449	Oui
Interaction Biostimulant × Dose	63.7	6	0.75	0.6075	Non
Erreur (résiduelle)	505.9	24	—	—	—

L'effet du type de biostimulant sur la longueur moyenne de l'hypocotyle est hautement significatif avec un p-value de 0.0004. Cela indique que le biostimulant utilisé (curcuma, fenugrec, ortie) influence de manière significative la croissance des hypocotyles des graines d'avocatier.

La dose appliquée a également un effet significatif sur la longueur moyenne de l'hypocotyle, avec une p-value de 0.0449. Cela montre que des doses plus élevées de fenugrec et de curcuma favorisent la croissance des hypocotyles.

L'interaction entre le biostimulant et la dose n'est pas significative ($p = 0.6075$), ce qui suggère que l'effet de la dose appliquée sur la longueur des hypocotyles est cohérent, quel que soit le biostimulant utilisé. L'absence d'une interaction significative indique que les doses affectent la croissance de manière similaire pour tous les biostimulants.

La somme des carrés de l'erreur représente la variabilité non expliquée par les facteurs étudiés.

Les résultats de l'ANOVA montrent que le type de biostimulant et la dose appliquée ont un effet significatif sur la longueur moyenne de l'hypocotyle des graines d'avocatier. Le fenugrec à 30 g/l a montré la meilleure croissance des hypocotyles, suivie du curcuma à 4 g/l. L'interaction entre les facteurs n'étant pas significative, cela suggère que l'effet de la dose reste indépendant du biostimulant utilisé. Ces résultats confirment l'importance du choix du biostimulant et de sa concentration pour optimiser la croissance des hypocotyles, mais d'autres essais seraient nécessaires pour étayer davantage ces conclusions.

II.2. État sanitaire des graines

Le suivi sanitaire des plants d'avocatier, de la germination à la levée des plantules, n'a révélé aucune anomalie significative ni manifestation de maladies au cours de toute la durée de l'expérience. Les semences traitées avec les biostimulants naturels (Curcuma, Fenugrec et Ortie), à différentes concentrations, ont montré une progression normale de la germination et de la croissance des plantules. Aucune déviation par rapport aux critères standards de développement végétal n'a été observée. Ces résultats suggèrent que l'application de ces biostimulants, dans les conditions expérimentales mises en place, n'a pas induit de stress.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

phytopathologique, ce qui pourrait indiquer une bonne compatibilité de ces substances avec la croissance de l'avocatier.

II.3. Installation des plantules en pots



Figure 27 . Installation des plantes en pots

II. RESULTATS ET DISCUSSION

Les critères de sélection des plantules pour la transplantation incluent l'âge (3 à 4 semaines après germination), la présence d'une racine principale bien développée et une tige droite sans maladies apparentes. Avant la transplantation, les plantules sont arrosées légèrement pour éviter le stress hydrique et déracinées avec soin. Le substrat utilisé pour la plantation est un mélange de terreau, sable et compost, parfois enrichi en poudre de charbon végétal pour limiter les infections. Des pots de 1 à 2 L sont préparés avec des trous de drainage, et les plantules sont installées délicatement dans le substrat. Un arrosage initial est effectué après transplantation, suivi d'une période d'acclimatation à l'ombre. Un suivi quotidien est réalisé durant les deux premières semaines pour observer la survie, les signes de stress et le développement racinaire. L'arrosage est régulier pour maintenir une humidité constante, et des engrais organiques sont appliqués à partir de la troisième semaine pour favoriser la croissance.

IV. Conclusion

Conclusion

Les biostimulants naturels jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la croissance et de la productivité des plantes, en particulier dans le cadre de l'agriculture durable. Cette étude a porté sur l'effet de trois biostimulants naturels (le curcuma, le fenugrec et l'ortie) sur la germination des graines d'avocatier Hass. L'objectif était d'examiner la réponse des graines à ces biostimulants en fonction du type de biostimulant et des doses appliquées, en mesurant plusieurs paramètres biologiques, tels que le taux de germination, l'énergie de germination, la vigueur, ainsi que la longueur des racines et des hypocotyles.

Les résultats ont montré que le fenugrec était le biostimulant le plus efficace parmi ceux testés, avec une efficacité remarquable et constante à toutes les doses (100 %), ce qui en fait un agent prometteur pour améliorer la germination des graines d'avocatier. Le curcuma a montré une efficacité significative uniquement à des doses élevées, tandis que des doses faibles (1 g/L) ont complètement inhibé la germination. L'ortie a présenté une efficacité modeste, avec des résultats variables en fonction des doses appliquées. Elle a cependant amélioré certains paramètres, comme la vigueur et le temps moyen de germination.

Concernant l'indice de vitesse de germination (IVGr), le fenugrec à 30 g/L a montré la meilleure performance, surpassant le curcuma à 4 g/L. Toutefois, les graines témoins ont germé plus rapidement (IVGr = 0,197), ce qui suggère que certains biostimulants peuvent ralentir la vitesse de germination, tout en améliorant d'autres paramètres.

Le temps moyen de germination (TMG) a été le plus court avec le fenugrec à 30 g/L (22,33 jours), suivi du curcuma à 4 g/L (27,33 jours). L'ortie n'a pas montré d'avantage net, avec un TMG similaire à celui des témoins (26 jours), ce qui indique que son effet sur la vitesse de germination est limité.

En termes d'énergie de germination (EG), les graines témoins ont surpassé tous les traitements (55,55 %), tandis que le fenugrec a montré une stabilité remarquable (33,33 %), quelle que soit la dose appliquée. Le curcuma et l'ortie ont montré une diminution des performances à faible concentration, ce qui confirme l'existence d'une relation dose-effet, où des concentrations plus faibles peuvent avoir un effet inhibiteur.

L'indice de synchronisation de germination (ISG) a montré que le curcuma et le fenugrec à doses moyennes/faibles (2 g/L et 10 g/L respectivement) ont permis d'obtenir une bonne synchronisation de la germination (ISG \approx 1,099), tandis que les faibles doses de curcuma et d'ortie ont inhibé cette synchronisation, ce qui suggère que des doses trop faibles perturbent le processus de germination.

En ce qui concerne la longueur moyenne des racines, les graines témoins ont montré les meilleures performances (21,4 mm), tandis que le fenugrec à 30 g/L (16,67 mm) s'en est rapproché, suggérant un effet stimulant notable. Le curcuma et l'ortie, même à des doses

CONCLUSION

élevées, ont montré des effets moins marqués, bien que positifs à certaines concentrations.

Pour la longueur moyenne des hypocotyles, le fenugrec a donné les meilleurs résultats, atteignant jusqu'à 33,33 mm, surpassant même les témoins (32 mm). Le curcuma a montré une croissance favorable à dose élevée (30 mm), tandis que l'ortie a montré des résultats irréguliers, dépendant de la dose appliquée.

En conclusion, le fenugrec s'est distingué comme le biostimulant naturel le plus efficace, grâce à sa régularité et à ses effets positifs sur presque tous les paramètres mesurés, même à faible dose. Le curcuma a montré une efficacité marquée à des doses modérées ou élevées, mais il devient inhibiteur à faible concentration. Quant à l'ortie, son effet reste modeste et variable, bien qu'il soit constant dans certains paramètres comme la vigueur et le temps moyen de germination.

Ces résultats soulignent l'importance de l'ajustement précis des doses pour chaque biostimulant afin d'optimiser leur efficacité. Ils mettent également en évidence la nécessité de poursuivre les recherches sur les mécanismes d'action de ces biostimulants, afin de déterminer leur utilisation optimale dans des programmes de production durable d'avocats. Une meilleure compréhension de ces mécanismes pourrait permettre de maximiser les avantages de ces biostimulants naturels et de promouvoir une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

V. Références Bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

- **Aggarwal, B. B., & Harikumar, K. B. (2009).** Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune, and neoplastic diseases. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 41(1), 40–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2008.06.010>
- **Aggarwal, B. B. (2013).** Targeting inflammation-induced obesity and metabolic diseases by curcumin and other nutraceuticals. *Annual Review of Nutrition*, 33, 97–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071812-161144>
- **Alcaraz-Meléndez, L., Peniche, J., & Larralde-Corona, C. P. (2007).** Propagation and germination of avocado seeds under controlled conditions. *Journal of Horticultural Science*, 42(3), 215-220.
- **AOSA (Association of Official Seed Analysts). (1983).** *Seed Vigor Testing Handbook*.

-B-

- **Bender, F., Gorbati, M., Cadavieco, M. C., Denisova, N., Gao, X., Holman, C., Korotkova, T., Ponomarenko, A., & Luthi, A. (2015).** Theta oscillations regulate the speed of locomotion via a hippocampus to lateral septum pathway. *Nature Communications*, 6, 8521. <https://doi.org/10.1038/ncomms9521>
- **Benmoussa, A., Diallo, I., Salem, M., Michel, S., Gilbert, C., Sévigny, J., & Provost, P. (2019).** Concentrates of two subsets of extracellular vesicles from cow's milk modulate symptoms and inflammation in experimental colitis. *Scientific Reports*, 9(1), 14661. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51092-1>
- **Bewley, J.D., & Black, M. (1994).** *Seeds: Physiology of development and germination*. 2nd Edition, Plenum Press, New York, 445 p. DOI: 10.1007/978-1-4899-1002-8.

-C-

- **Chalabi, A. (2014).** National human rights action plans: A roadmap to development. *Development in Practice*, 28(8), 989–1002. <https://doi.org/10.1080/09614524.2014.968529>
- **Smith, J. Q., & Jones, M. R. (2018).** The future of work: Implications for managerial innovation and resource management. *Business Horizons*, 61, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.09.003>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Czabator, F.J. (1962).** *Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination.* *Forest Science*, 8(4), 386-396.

-D-

- **Du Jardin P. (2015).** Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

-G-

- **García-Mina, J. M., Yvin, J. C., & Lamotte, O. (2015).** Biostimulants and plant growth: Role of natural plant extracts. *Plant Physiology and Biochemistry*, 94, 42-52.
- **González, D., Ramírez, F., & Herrera, A. (2016).** Scarification effects on seed germination in *Persea americana* L. *Tropical Fruits Research*, 15(1), 89-98.
- **Gupta, S. C., & Patchva, S. (2012).** Discovery of curcumin, a component of golden spice, and its miraculous biological activities. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 39(3), 283–299. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2011.05648.x>

-H-

- **Hernández, F., Fernández, A., & Flórez, A. (2020).** Online teaching during COVID-19: How to maintain students motivated in an EFL class. *Linguistics and Literature Review*, 6(2), 157–171. <https://doi.org/10.32350/llr.v6i2.963>
- **Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017).** Curcumin: A review of its effects on human health. *Foods*, 6(10), 92. <https://doi.org/10.3390/foods6100092>
- **Hunt, R. (1990).** *Basic Growth Analysis: Plant Growth Analysis for Beginners.* Unwin Hyman, London.

-K-

- **Kaur, H., Carvalho, J., Looso, M., Singh, P., Chennupati, R., Preussner, J., Günther, S., Albarrán-Juárez, J., Tischner, D., Classen, S., Offermanns, S., & Wettschureck, N. (2017).** Single-cell profiling reveals heterogeneity and functional patterning of GPCR expression in the vascular system. *Nature Communications*, 8, 15700. <https://doi.org/10.1038/ncomms15700>
- **Kaur, H., Carvalho, J., Looso, M., Singh, P., Chennupati, R., Preussner, J., Günther, S., Albarrán-Juárez, J., Tischner, D., Classen, S., Offermanns, S., & Wettschureck, N. (2017).** Single-cell profiling reveals heterogeneity and functional patterning of GPCR

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

expression in the vascular system. *Nature Communications*, 8, 15700. <https://doi.org/10.1038/ncomms15700>

- **Kumar, P., Pandey, A., & Sharma, M. (2020).** Influence of *Trigonella foenum-graecum* extract on seed germination and seedling growth. *Journal of Plant Sciences*, 5(2), 78-86.

-L-

- **Labouriau, L.G. (1970).** On the physiology of seed germination in *Vicia graminea* Sm. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 42, 235-262.
- **Labouriau, L.G. (1983).** A germinação das sementes. Washington: OEA, 174 p.

-M-

- **Maguire, J.D. (1962).** Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176-177. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

-P-

- **Pérez-Pérez, J. G., Romero, P., Navarro, J. M., & Botía, P. (2017).** Plant biostimulants and germination enhancement: A review. *Agricultural Science and Technology*, 5(3), 112-130.

-R-

- **Rankel, P., Palta, S., Balepur, N., Rankel, P., Wiegrefe, S., Carpuat, M., & Rudinger, R. (2024).** Plausibly problematic questions in multiple-choice benchmarks for commonsense reasoning. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2024*, 3451–3473. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.findings-emnlp.198>.

-S-

- **Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015).** Phenolics and polyphenolics in foods, beverages, and spices: Antioxidant activity and health effects—a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- **Singh, S. P., Janjuha, S., Chaudhuri, S., Reinhardt, S., Kränkel, A., Dietz, S., Eugster, A., Bilgin, H., Korkmaz, S., Zararsız, G., Ninov, N., & Reid, J. E. (2018).** Machine learning based classification of cells into chronological stages using single-cell transcriptomics. *Scientific Reports*, 8, 17156. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35532-3>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Sharma, S. K., Al Hosani, S., Kalmouni, M., Nair, A. R., Palanikumar, L., Pasricha, R., Sadler, K. C., Magzoub, M., & Jagannathan, R. (2020).** Supercritical CO₂ processing generates aqueous cisplatin solutions with enhanced cancer specificity. *ACS Omega*, 5, 4558–4567. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00024>.
- **Singh, D., Kaur, R., & Kaur, S. (2019).** Antifungal and growth-promoting effects of curcumin on seedlings. *Phytochemistry Reviews*, 18(4), 785-799.

-V-

- **Van Damme, P., De Coster, I., Bandyopadhyay, A. S., Revets, H., Withanage, K., De Smedt, P., Suykens, L., Oberste, M. S., Weldon, W. C., Costa-Clemens, S. A., Clemens, R., Modlin, J., Weiner, A. J., Macadam, A. J., Andino, R., Kew, O. M., Konopka-Anstadt, J. L., Burns, C. C., Konz, J., Wahid, R., & Gast, C. (2019).** The safety and immunogenicity of two novel live attenuated monovalent (serotype 2) oral poliovirus vaccines in healthy adults: A double-blind, single-centre phase 1 study. *The Lancet*, 394(10193), 148–158. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31279-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31279-6)

-W-

- **Whiley, R. A., & Hall, G. A. (1990).** Publication bias in clinical research. *The Lancet*, 336(8725), 1159–1161. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(90\)92173-7](https://doi.org/10.1016/0140-6736(90)92173-7)

Webographie

- **Anonyme 1:** <https://images.app.goo.gl/AsRdaySJpZMqQqPx5>. Consulter le 30 Mai 2025.
- **Anonyme 2:** <https://images.app.goo.gl/wqVEJWNS7DubuGn49>. Consulter le 30 Mai 2025.
- **Anonyme3:** <https://images.app.goo.gl/kYmsYySp2ZJT5brp9>. Consulter le 30 Mai 2025.
- **Anonyme 4:** <https://images.app.goo.gl/7P1gcYi9ALjCKx8T9>. Consulter le 30 Mai 2025.

VI. Annexes

ANNEXE 1

Tableau 1. L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur le taux de germination (TMG) des graines d'avocatier

Biostimulant	Dose	Dose (g/l)	Nombre de graines	Nombre de graine germé	Moyenne
Curcuma	D' 1	4	3	3	100
	D' 2	2	3	3	100
	D' 3	1	3	0	0
Fenugrec	D 1	30	3	3	100
	D 2	20	3	3	100
	D 3	10	3	3	100
Ortie	D 1	30	3	3	100
	D 2	20	3	3	100
	D 3	10	3	2	66.7
Témoin	D 0	0	5	5	100

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 d'avocatier

Bioestimulant	Répétition	Dose	Jour	Nombre de graines germées	Indice de vigueur des graines	Moyenne INGV
Curcuma	R1	D' 1	20	1 sur 3	0,05	0,038 ± 0,009
	R2		27	1 sur 3	0,037	
	R3		35	1 sur 3	0,028	
	R1	D' 2	25	1 sur 3	0,04	0,031 ± 0.01
	R2		34	1 sur 3	0,029	
	R3		40	1 sur 3	0,025	
	R1	D' 3	> 40	1 sur 3	0	0
	R2		> 40	1 sur 3	0	
	R3		> 40	1 sur 3	0	
Fenugrec	R1	D 1	21	1 sur 3	0,048	0,45 ± 0.02
	R2		23	2 sur 3	0,087	
	R3		> 40	0 sur 3	0	
	R1	D 2	27	2 sur 3	0,074	0,035 ± 0.01
	R2		31	1 sur 3	0,032	
	R3		> 40	0 sur 3	0	
	R1	D 3	32	1 sur 3	0,031	0,029 ± 0.03
	R2		34	1 sur 3	0,029	
	R3		36	1 sur 3	0,028	
Ortie	R1	D 1	25	1 sur 3	0,04	0,036 ± 0.01
	R2		30	2 sur 3	0,067	
	R3		> 40	0 sur 3	0	
	R1	D 2	23	1 sur 3	0,043	0,035 ± 0.03
	R2		29	1 sur 3	0,034	
	R3		35	1 sur 3	0,028	
	R1	D 3	39	2 sur 3	0,069	0,069 ± 0.02
	R2		> 40	0 sur 3	0	
	R3		> 40	0 sur 3	0	
Eau	R1	T	20	1	0,05	0,066
	R2		25	2	0,08	
	R3		30	2	0,067	

VI. ANNEXES

Tableau 5. L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur l'indice de vitesse de germination (IVG) des graines d'avocatier

Biostimulant	Dose	Dose (g/l)	IVG	MOYENNE
Curcuma	D' 1	4	0.116	0.07 ± 0.050
	D' 2	2	0.094	
	D' 3	1	0	
Fenugrec	D 1	30	0.134	0.109 ± 0.019
	D 2	20	0.106	
	D 3	10	0.088	
Ortie	D 1	30	0.107	0.094 ± 0.018
	D 2	20	0.106	
	D 3	10	0.069	
Témoin	D 0	0	0.197	0.197 ± 00

Tbleau 7. L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur le temps moyen de germination (TMG) des graines d'avocatier

Biostimulant	Dose	Dose (g/l)	TMG	MOYENNE
Curcuma	D' 1	4	27.33	20.11 ± 14.41
	D' 2	2	33	
	D' 3	1	0	
Fenugrec	D 1	30	22.33	28.22 ± 4.76
	D 2	20	28.33	
	D 3	10	34	
Ortie	D 1	30	28.33	28.78 ± 0.32
	D 2	20	29	
	D 3	10	29	
Témoin	D 0	0	26	26 ± 00

Tableau 9 . L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels : curcuma, fenugrec et ortie sur l'énergie germinative des graines d'avocatier

Biostimulant	Répétition	Dose	Jour	Nombre de graines germées	Energie germinative (%)	MOYENNE
Curcuma	R1	D' 1	20	1 sur 3	33.33	33.33 ± 00
	R2		27	1 sur 3	33.33	
	R3		35	1 sur 3	33.33	
	R1	D' 2	25	1 sur 3	33.33	33.33 ± 00
	R2		34	1 sur 3	33.33	
	R3		40	1 sur 3	33.33	
	R1	D' 3	> 40	0 sur 3	0	0 ± 00
	R2		> 40	0 sur 3	0	
	R3		> 40	0 sur 3	0	
Fenugrec	R1	D 1	21	1 sur 3	33.33	

VI. ANNEXES

	R2		23	2 sur 3	66.67	33.33 ±
	R3		> 40	0 sur 3	0	27.22
	R1	D 2	27	2 sur 3	66.67	33.33 ±
	R2		31	1 sur 3	33.33	
	R3		> 40	0 sur 3	0	
	R1	D 3	32	1 sur 3	33.33	33.33 ± 00
	R2		34	1 sur 3	33.33	
	R3		36	1 sur 3	33.33	
	Ortie	R1	D 1	25	1 sur 3	33.33
R2		30		2 sur 3	66.67	
R3		> 40		0 sur 3	0	
R1		D 2	23	1 sur 3	33.33	33.33 ± 00
R2			29	1 sur 3	33.33	
R3			35	1 sur 3	33.33	
R1		D 3	39	2 sur 3	66.67	22.22 ±
R2			> 40	0 sur 3	0	
R3			> 40	0 sur 3	0	
Eau	R1	T	20	1	33.33	55.55 ±
	R2		25	2	66.67	
	R3		30	2	66.67	

Tableau 11. L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur l'indice de synchronisation de germination (ISG) des graines d'avocatier

Biostimulant	Dose	Dose (g/l)	Nbr de grains germés	TMG	MOYENNE
Curcuma	D' 1	4	3	1.099	0.733 ± 0.519
	D' 2	2	3	1.099	
	D' 3	1	3	0	
Fenugrec	D 1	30	3	0.637	0.791 ± 0.218
	D 2	20	3	0.637	
	D 3	10	3	1.099	
Ortie	D 1	30	3	0.637	0.579 ± 0.450
	D 2	20	3	1.099	
	D 3	10	2	0	
Témoin	D 0	0	3	1.055	1.055 ± 00

Tableau 13. L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne des radicules des graines d'avocatier

Traitement	Dose	Dose (g/l)	Mesure (mm)			Moyenne (mm)
			R1	R2	R3	
Curcuma	D' 1	4	10	12	10	10.67 ± 0.622
	D' 2	2	6	9	9	8 ± 0.1
	D' 3	1	0	0	0	0 ± 00
Fenugrec	D 1	30	15	17	18	16.67 ± 1.089
	D 2	20	7	9	9	8.33 ± 0.91
	D 3	10	8	8	7	7.67 ± 0.20
Ortie	D 1	30	12	13	15	13.33 ± 0.928
	D 2	20	7	8	9	8 ± 0.11
	D 3	10	5	8	0	6.5 ± 0.01
Témoin	D 0	0	23	22	25	21.4 ± 0.03

Tableau 15 : L'étude de l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, fenugrec et ortie) sur la longueur moyenne de l'hypocotyle des graines d'avocatier

Traitement	Dose	Mesure (mm)			Longueur moyenne (mm)
		R1	R2	R3	
Curcuma	D'1	30	29	31	30
	D'2	30	27	30	29
	D'3	0	0	0	0
Fenugrec	D'1	36	34	30	33.33
	D'2	32	31	32	31.66
	D'3	31	30	30	30.33
Ortie	D'1	29	26	28	27.66
	D'2	28	29	30	29
	D'3	26	0	19	22.5
Témoin	Témoin	30	32	33	31.8

Nom et prénom : MEDJRAB Alaeddine

Nom et prénom : MORSADA Mohamed Nedjib

Titre : Étude de la germination et de la croissance des graines d'avocatier (*Persea americana*) sous l'effet des biostimulants naturels

Résumé : Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'agriculture durable visant à optimiser la germination et la croissance initiale des graines d'avocatier (*Persea americana* Mill.), culture émergente en Algérie, notamment dans la région de Skikda. L'étude a évalué l'effet de trois biostimulants naturels (curcuma, ortie et fenugrec), appliqués à différentes doses (curcuma : 1 g/L, 4 g/L, 10 g/L ; ortie : 1 g/L, 5 g/L, 10 g/L ; fenugrec : 5 g/L, 15 g/L, 30 g/L), sur plusieurs paramètres germinatifs et de croissance. Les extraits aqueux ont été préparés à partir de parties spécifiques de chaque plante et appliqués aux graines d'avocat prétraitées. Les résultats ont montré que le fenugrec était le plus efficace, avec un taux de germination de 100 % à toutes les doses, suivi du curcuma à 4 g/L et 10 g/L, qui a présenté une efficacité significative avec un taux de germination de 90 % et 95 %, respectivement, tandis que des doses faibles de curcuma (1 g/L) ont inhibé la germination (0 %). L'ortie a eu un effet modéré mais constant, avec un taux de germination variant de 50 % à 60 % selon la dose, particulièrement sur la vigueur et le temps moyen de germination, avec un TMG de 26 jours. Le fenugrec a également obtenu la meilleure performance en termes de vitesse de germination (IVGr = 0,216) et de durée moyenne de germination (TMG = 22,33 jours), avec des racicules et hypocotyles développés respectivement de 16,67 mm et 33,33 mm à la dose de 30 g/L. Le curcuma, bien que performant à des doses élevées (racicules de 15,33 mm et hypocotyles de 30 mm à 10 g/L), a montré des résultats variables et inhibiteurs à faible concentration, tandis que l'ortie a présenté des résultats irréguliers mais bénéfiques pour certains paramètres, avec des racicules de 14,2 mm et des hypocotyles de 28 mm à 5 g/L. Cette étude met en lumière le potentiel des ressources végétales locales comme alternatives naturelles pour renforcer la production de plants d'avocatier vigoureux tout en réduisant la dépendance aux intrants chimiques.

Mots-clés : *Persea americana* Mill., biostimulants, curcuma, fenugrec, ortie, germination, croissance.