

# L'influence d'un biostimulant enracineur sur la croissance racinaire du haricot vert

## The influence of a rooting biostimulant on the root growth of green beans.

Hassane Tahiri<sup>1</sup>, Mohammed El yachioui<sup>1</sup>, Abderrazzak Khadmaoui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of science, Department of biology, 14000 Kenitra, Morocco

**Résumé.** Les biostimulants enracineur sont des produits qui visent à stimuler le développement du système racinaire des plantes. Ils peuvent être appliqués au moment du semis, de la transplantation ou pendant la croissance des cultures. Ces produits contiennent généralement des substances naturelles, telles que des extraits d'algues, des hormones végétales, des acides aminés et des vitamines, qui agissent en synergie pour favoriser la croissance et le développement des racines. Les légumineuses telles que les pois, les haricots et les lentilles, jouent un rôle important dans l'agriculture durable en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et à améliorer la fertilité du sol. Les haricots verts sont riches en fibres alimentaires et une source de vitamines et de protéines végétales. Au Maroc, la superficie cultivée du haricot vert augmente au fur et à mesure pour atteindre 8.000 hectares en 2020. Plusieurs études ont examiné les effets des biostimulants enracineur sur les légumineuses, et les résultats sont prometteurs. L'application de ces produits a été associée à une augmentation de la longueur et de la densité des racines, ce qui améliore l'absorption des nutriments et de l'eau. De plus, les biostimulants enracineur ont montré des effets bénéfiques sur la nodulation des légumineuses, en favorisant la formation de nodules racinaires et en augmentant la fixation de l'azote atmosphérique. Le but de notre travail consiste à étudier l'efficacité d'un biostimulant enracineur sur le développement racinaire du haricot vert. Les résultats obtenus montrent une augmentation moyenne de plus de 55% du poids de la racine en comparaison aux plantes non traitées après trois mois de cultures, ainsi que la longueur de la racine avec une augmentation de presque 60% par rapport au témoin. Les essais aux champs confirment la faisabilité à une grande assurance de ce biostimulant qui a montré des résultats très encourageants.

**Abstract.** Rooting biostimulants are products aimed at stimulating the development of plant root systems. They can be applied during seeding, transplanting, or throughout the crop growth. These products typically contain natural substances, such as algae extracts, plant hormones, amino acids, and vitamins, which work synergistically to promote root growth and development. Legumes, such as peas, beans, and lentils, play a crucial role in sustainable agriculture due to their ability to fix atmospheric nitrogen and enhance soil fertility. Green beans are rich in dietary fiber and are a source of vitamins and plant-based proteins. In Morocco, the cultivated area of green beans has been increasing, reaching 8,000 hectares in 2020. Several studies have examined the effects of rooting biostimulants on legumes, and the results are promising. The application of these products has been associated with an increase in root length and density, improving nutrient and water absorption. Additionally, rooting biostimulants have shown beneficial effects on legume nodulation, promoting the formation of root nodules and enhancing atmospheric nitrogen fixation. The aim of our study is to investigate the effectiveness of a rooting biostimulant on the root development of green beans. The results show an average increase of over 55% in

root weight compared to untreated plants after three months of cultivation, as well as root length with an almost 60% increase compared to the control group. Field trials confirm the feasibility and high efficacy of this biostimulant, which has shown very encouraging results.

**Mots clés** — légumineuse- haricots vert - biostimulant- fertilisation- durabilité-rendement

## I. Introduction

L'agriculture moderne vise à mettre au point des moyens écologiquement durables, capable de réduire l'impact des engrais chimiques sur les cultures et l'environnement tels que la pollution des sols, des cours d'eau et des nappes phréatiques. (Xu et Geelen, 2018 ; Dookie et al.2021). Cependant, le domaine de l'agriculture et de la biotechnologie a connu récemment la découverte de substances ou des micro-organismes qui stimule la croissance des plantes, tout en améliorant les processus naturels des plantes tels que la germination, la croissance des racines, l'absorption des nutriments, la photosynthèse, la production d'hormones végétales, la résistance aux maladies, etc. Ils agissent également sur la structure du sol et la biodiversité microbienne, favorisant ainsi un environnement propice à la croissance des plantes (Oleg I Yakhin, 2016). Les biostimulants (BS) semblent être la stratégie la plus efficace pour répondre à la demande pressante de produits alternatifs en raison de leur bioactivité, de leurs effets toxiques nuls sur les organismes non ciblés et de leur faible persistance écologique (Kocira et al., 2020 ; Lau et al., 2022 ; Pahalvi et al., 2021). Leurs mécanismes d'action sont liés à ceux de l'augmentation de la tolérance au stress abiotique, de l'amélioration des caractéristiques de qualité et de l'augmentation de la disponibilité des nutriments (UE, 2019/1009). Les biostimulants comprennent des peptides, des composés phénoliques, des hormones, des saccharides, des acides aminés libres, des composés humiques et d'autres composants organiques, dérivés d'hydrolysats de protéines, d'algues marines ou de micro-organismes (Chehade et al., 2018 ; Distefano et al., 2022 ; Kocira, 2019).

Par ailleurs, le marché mondial des biostimulants végétaux connaît une croissance significative au cours des dernières années. En 2019, le marché mondial des biostimulants végétaux a été évalué à environ 2 milliards de dollars (Dunham et Trimmer, 2020). Toutefois, on estime que 1,5 million d'hectares de terres sont en danger et d'ici 2050, on s'attend à une perte de 50 % des terres cultivables (Ibrahim, 2016). Les agriculteurs dans le monde se penchent massivement sur l'utilisations des biostimulants en tant qu'engrais biologiques (De Saeger et al., 2020 ; Del Buono, 2021). Par ailleurs, les biostimulants sont appliqués pour traiter directement les semences, les feuilles et autres organes aériens ainsi pour la préparation de sol (Drobek et al., 2019). Son action est gouvernée à des facteurs comme les conditions environnementales, le facteur génétique, la nature du sol et autres (Ashour et al., 2021 ; Della Lucia et al., 2021).

Ces dernières années, le Maroc traverse une période de sécheresse qui laisse derrière des graves conséquences sur l'agriculture, l'économie et la vie quotidienne des personnes. Pour en assurer la durabilité, les responsables vont dans l'application de ceraines alternatives comme les sources primaires de biostimulants tels que l'acide humique, l'acide fulvique, les hydrolysats de protéines, les extraits d'algues, le chitosan, les composés inorganiques, les champignons bénéfiques et les bactéries bénéfiques (McHugh, 2013 ; du Jardin, 2015).

Le but de notre étude est de mettre au point l'efficacité d'un biostimulant biologique sur le développement de la croissance du système racinaire chez le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*).

## II. Matériel et méthodes

### 1. Préparation du champ de culture

- **Analyse du sol**

Le sol de la parcelle d'expérimentation est Argileux (45%) -limino (20%)-sableux (35%) ne présentant aucune contrainte physique pour la culture d'haricot vert. Nous avons choisi comme paramètres le pH, l'azote, la matière organique, le potassium, le phosphore etc

- **Préparation du sol**

Pour la préparation du lit de semence, on a procédé à un labour de 25 à 30 cm à l'aide des outils à dents suivi de deux passages croisés avec le cover-crop afin de casser les mottes, aérer le sol et garantir une couche meuble la plus épaisse possible avec l'élimination des mauvaises herbes,

- **Type d'irrigation**

Le système d'irrigation adopté est la gaine d'irrigation en goutte à goutte, à raison de trois irrigations par semaines d'un débit de 2 L/h.

## 2. Matériel Végétal

Notre choix a été porté sur la culture d'haricot vert (*Phaseolus vulgaris*), appartient à la famille des légumineuses dont la partie consommée est la gousse au stade non mûr, à cause de sa richesse en protéine, vitamines A et C et en sels minéraux Ca, Mg, P et K. Le semis été effectué en Mars en plein champ.

## 3. Biostimulants

Un Biostimulant Enracineur biologique dont sa composition est comme suit :

Extrait Algue (30%) ; Matières Glucidiques (20%) ; Azote total (12%) ; Azote total (4.25%) ; Azote ammoniacal ( 5%) ; Anhydre Phosphore(P2O5) (5%) ;Oxyde de Potassium(K2O) (15%) ; Acides Aminées total (5%) ; Zinc (0.5%) ; Manganèse (0.5%) ; Bore (0.35%) et Molybdène (0.2%).

## 4. Prises des mesures et analyses statistiques

Le suivi et l'évaluation de l'effet des biostimulants le long du cycle de la culture a été effectué sur des prises des mesures chaque 15 jours à raison de 10 échantillons par prise. Les paramètres pris en compte pour les racines sont le poids et la longueur des racines.

L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel SPSS. Une analyse descriptive basée sur la moyenne  $\pm$ Ecart type et une analyse de comparaison de moyenne par le test « t student ».

## III. Résultats

### 1. Analyse physicochimiques et microéléments

Le tableau 1 illustre les résultats de l'analyse physico-chimique et des microéléments du sol. En effet, le PH (8) apparaît légèrement basique, Matière organique oxydable (3,36%), Phosphore disponible Olsen (77 mg/kg), Calcium disponible meq/100 g (22,1g), Magnésium disponible meq/100g (5,34g), Potassium disponible meq/100g (0,99) et Manganese mg/kg (9,34 mg/kg).

Tableau 1 : caractéristiques physicochimique et microéléments du sol

Paramètre	Résultats	Norme
pH	8	Très haut
Conductivité électrique Us/cm à 20°C	286	normal
Matière organique oxydable %	3,36	Très haut
Nitrogène Dumas mg/kg	2,18	haut
Phosphore disponible Olsen mg/kg	77	Très haut
Calcaire actif %CaCO3	2	bas
Calcium disponible meq/100 g	22,1	Très haut
Magnésium disponible meq/100g	5,34	Très haut
Potassium disponible meq/100g	0,99	Très haut
Sodium disponible meq/100g	0,76	haut
Bore mg/kg	0,90	normal

<b>Fer mg/kg</b>	<4	bas
<b>Manganese mg/kg</b>	9,34	Très haut
<b>Cuivre mg/kg</b>	0,94	normal
<b>Zinc mg/kg</b>	0,91	bas

## 2. Effet de biostimulant enracineur sur la biomasse racinaire

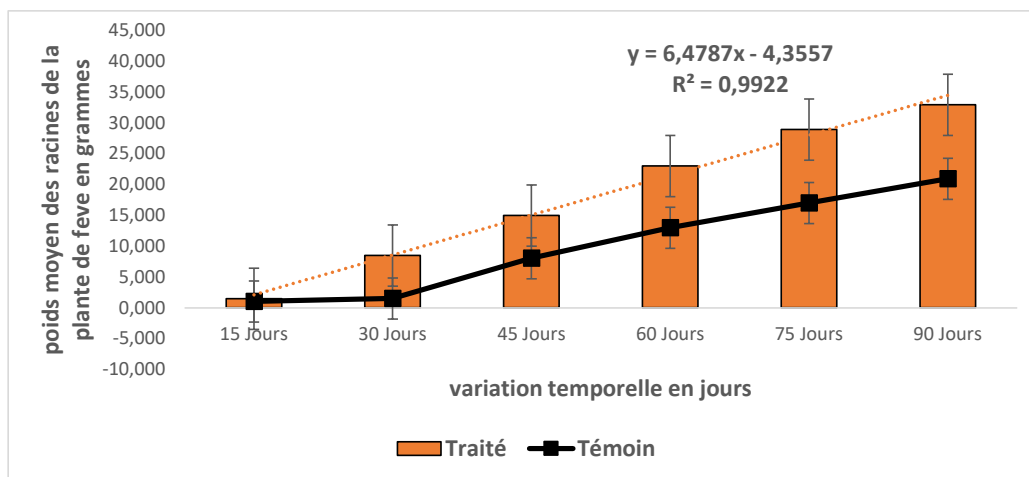
Le tableau 2 présente les résultats du poids racinaires des plantes non traitées et traitées en fonction du temps. Par ailleurs, le test de « student » montre des différences significatives entre les deux groupes (témoin et traité) et ceci pour toutes les intervalles de temps ( $p < 0,000$ ). La figure 1 présente les résultats de l'évolution du poids de la biomasse racinaire d'haricot vert au cours de son cycle végétatif. Cette évolution apparait croissante en fonction du temps chez le groupe témoin et le groupe traité avec le biostimulant ( $r = 0,99$  ;  $p < 0,000$ ). En effet, les poids racinaires à 15 jours de croissance chez le témoin et le traité sont respectivement de  $1,002 \pm 0,02$  g et  $1,494 \pm 0,02$  g, cette différence entre les deux poids moyens s'est montrée très hautement significative ( $t = -59,278$  ;  $p < 0,000$ ) alors que après 90 jours de croissance les poids atteints chez le témoin et le traité sont respectivement  $20,954 \pm 0,06$  g et chez le traité  $32,969 \pm 0,15$ g. Par ailleurs une nette amélioration du poids racinaire est observée sous l'effet de ce biostimulants. Les figures 1a et 1b montrent la densité des racines chez la plante du haricot vert.

**Tableau 2 comparaison des moyennes du poids de la racine du haricot vert témoin et le traité en fonction du temps par le test de « student »**

jours	groupe	N	Mean±SD Poids moyen des racines	Test levene	p-value	Test « student »	
						Test	p-value
<b>J 15</b>	Témoin	10	1,002±0,02	0,32	0,578	-59,278	p<0,000***
	Traité	10	1,494±0,02				
<b>J30</b>	Témoin	10	1,5±0,01	2,09	0,16	-635,05	p<0,000***
	Traité	10	8,508±0,03				
<b>J45</b>	Témoin	10	8,05±0,10	0,59	0,45	-119,83	p<0,000***
	Traité	10	14,98±0,15				
<b>J 60</b>	Témoin	10	12,99±0,11	0	1	-203,59	p<0,000***
	Traité	10	23,01±0,11				
<b>J 75</b>	Témoin	10	17±0,11	0,76	0,39	-238,23	p<0,000***
	Traité	10	28,958±0,12				
<b>J 90</b>	Témoin	10	20,954±0,06	2,11	0,16	-234,46	p<0,000***

Traité	10	32,969±0,15
--------	----	-------------

**J** : jour ; **N** : effectif ; **Mean** : moyenne ; **SD** : Standard déviation ; **Test de Levene sur l'égalité des variances** ; **Test t pour égalité des moyennes et \*\*\*** : différence très hautement significative.



**Figure 1** Evolution du poids de la biomasse racinaire d'haricot vert au cours de son cycle végétatif

### 3. Effet de biostimulant enracineur sur l'élongation des racines

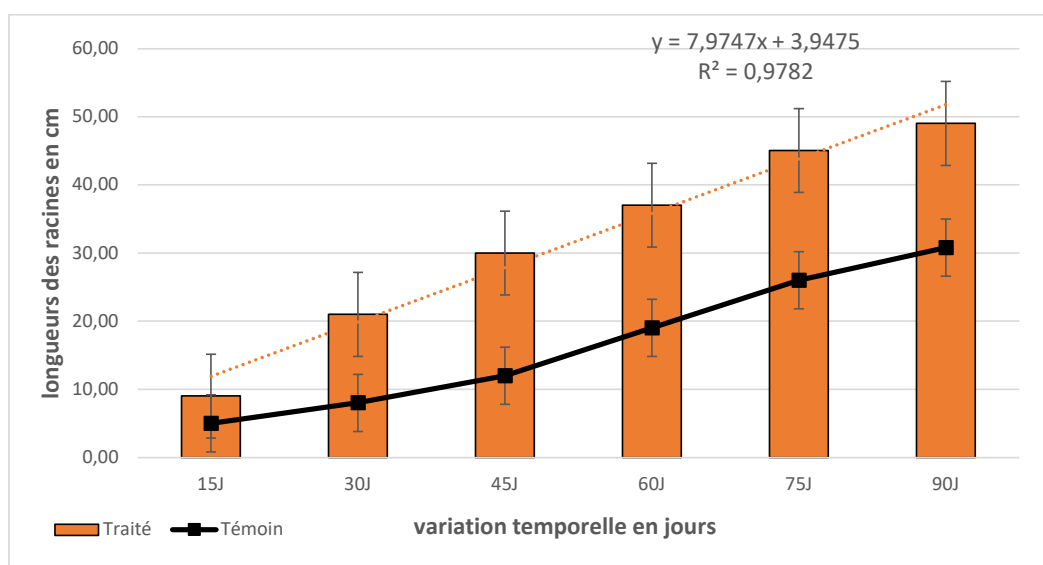
Les résultats de la comparaison des longueurs moyennes des racines sont présentés dans le tableau 3. Il ressort une différence très hautement significatives entre les longueurs moyennes du témoin et le traité en fonction du temps et ceci pendant tous les intervalles de prise de mesure ( $p < 0,000$ ). La figure 2 présente les résultats de l'évolution de la longueur de la racine d'haricot vert au cours de son cycle végétatif. Cette évolution apparait croissante en fonction du temps chez le groupe témoin avec un coefficient de corrélation de ( $r = 0,98$  ;  $p < 0,000$ ) et chez le groupe traité avec le biostimulant ( $r = 0,97$  ;  $p < 0,000$ ). En effet, chez le témoin la longueur moyenne des racines passe de  $5,03 \pm 0,05$  cm en 15<sup>ème</sup> jour de la croissance à  $30,80 \pm 0,05$  cm au 90<sup>ème</sup> jour à  $49,03 \pm 0,05$  cm au 90<sup>ème</sup> jour. Par ailleurs, la longueur moyenne chez les traités dépasse significativement celle du témoin (voir photo a et b).

**Tableau 3** comparaison des moyennes de la longueur racinaire de la fève entre le témoin et le traité en fonction du temps par le test de « student »

jours	groupe	N	Mean±SD Poids moyen des racines	Test levene	p-value	Test « student »	p-value
<b>J 15</b>	Témoin	10	5,03±0,05	0,004	0,950	-177,419	$p < 0,000^{***}$
	Traité	10	9,03±0,05				
<b>J30</b>	Témoin	10	8,03±0,06	0,900	0,355	-499,69	$p < 0,000^{***}$

<b>J45</b>	Traité	10	21,02±0,04	0,002	0,982	-1171,23	p<0,000***
	Témoin	10	12,01±0,03				
<b>J 60</b>	Traité	10	30,00±0,03	1,51	0,238	-526,68	p<0,000***
	Témoin	10	19,03±0,05				
<b>J 75</b>	Traité	10	37,03±0,09	1,65	0,24	-866,36	p<0,000***
	Témoin	10	26,02±0,04				
<b>J 90</b>	Traité	10	45,05±0,05	1,11	0,16	-102,89	p<0,000***
	Témoin	10	30,80±0,05				
	Traité	10	49,03±0,05				

**J** : jour ; **N** : effectif ; **Mean** : moyenne ; **SD** : Standard déviation ; **Test de Levene** sur l'égalité des variances ; **Test t** pour égalité des moyennes et **\*\*\*** : différence très hautement significative.



**Figure 2** Evolution de la longueur des racines d'haricot vert au cours de son cycle végétatif

## Discussion

Devant les contraintes environnementales, les plantes sont capables de modifier leur systèmes racinaire, rhizosphère, soit directement soit indirectement en établissant des liens avec les autres organismes du sol (**Carof M. 2018**). L'amélioration des biostimulants est devenue une priorité pour répondre à la demande accrue aux produits biologiques. Il existe des formulations de ces biostimulateurs qui peuvent favoriser et sensibiliser les défenses et la résistance des plantes

Contre différents stress environnementaux. Dans notre étude, nous avons mené des expérimentations au champ en vue d'étudier l'effet d'un biostimulant enracineur. Les résultats obtenus montrent une augmentation significative du poids des racines par plante. Ces résultats sont en concordance avec d'autres travaux antérieurs sur d'autres biostimulants (acide humiques, acides fulviques) précisant que la perception au niveau racinaire d'une concentration en nutriments dans le milieu donne lieu à l'induction de signaux conduisant à des modifications

locales de l'architecture racinaire et foliaire. Ces réponses localisées peuvent se traduire par des augmentations de la croissance racinaire et du diamètre des racines ainsi que par des augmentations du nombre de racines secondaires. (**Forde& Lorenzo, 2001; Laçtitia, 2012**). Cette amélioration est due essentiellement aux extraits d'algues qui permettent d'améliorer l'assimilation des éléments nutritifs. En particulier, ils permettent à la plante de mieux tolérer des carences nutritives en azote en favorisant l'expression et/ou l'activité de la nitrate réductase grâce à certains composés (mannitol) (**Durand et al., 2003 ; Phytoma, 2005**). L'expression de phosphatases racinaires impliquées dans l'absorption du phosphate peut aussi être stimulée par certains extraits d'algues (**Klarzynski et al., 2006**).

Des travaux de **Diédhiou (2009)** ont montré que l'utilisation des extraits ou de poudre de *Jatropha curcas* comme bio stimulateur sur les cultures du haricot vert affecte la croissance et le rendement des cultures et il a montré que les feuilles de *J. curcas* contiendraient de l'azote et des sels minéraux qui ont permis l'amélioration de la croissance et du rendement du haricot.

Nos résultats sont comparables à ceux obtenus par Nelson et van Staden (1984) sur le développement de haricot traité aux extraits liquides d'algues. Ils peuvent s'expliquer par le fait que les extraits aqueux d'algues contiendraient des substances solubles dans l'eau telles que les polysaccharides, les phytohormones comme l'auxine des minéraux (**Crouh et al., 1992**) qui provoquent une meilleure croissance générale de la plante et un bon rendement. Plusieurs biostimulants ont été utilisés qui améliorent la croissance végétatif comme chez le piment (**Barrajón-Catalán, et al., 2020**) **Paul, K. et al ;, 2019**)

## Conclusion

En conclusion, les résultats de cette étude démontrent de manière convaincante les effets bénéfiques de l'application des biostimulants sur la croissance et la performance des plantes, en particulier le haricot vert. Une explication plausible de ces effets positifs réside dans l'action directe des composants des biostimulants sur la nutrition des plantes, à la fois au niveau du sol et des racines.

Les biostimulants agissent en fournissant des nutriments essentiels et en favorisant l'absorption des éléments nutritifs présents dans le sol. Cela se traduit par une amélioration de l'apport en éléments nutritifs nécessaires à la croissance et au développement des plantes. Les composants des biostimulants peuvent également améliorer la disponibilité des nutriments déjà présents dans le sol, permettant ainsi une utilisation plus efficace des ressources disponibles.

Une autre explication de l'effet bénéfique des biostimulants réside dans leur capacité à influencer directement le système racinaire des plantes. Les biostimulants favorisent le développement racinaire en stimulant la multiplication cellulaire et en améliorant la formation de radicelles. Une biomasse racinaire plus importante permet aux plantes d'explorer davantage le sol et d'absorber plus efficacement les nutriments et l'eau, ce qui conduit à une croissance plus vigoureuse et à une augmentation de la productivité.

Les résultats de cette étude confirment clairement l'impact positif des biostimulants sur la culture du haricot vert. La biomasse racinaire significativement accrue observée dans les plantes traitées par rapport aux plantes témoins souligne l'importance de l'application des biostimulants pour améliorer la santé et la productivité des cultures. Ces conclusions renforcent la nécessité d'intégrer les biostimulants dans les pratiques agricoles pour maximiser les rendements tout en réduisant l'utilisation de fertilisants chimiques et en préservant l'environnement.

En résumé, l'utilisation des biostimulants présente un grand potentiel pour soutenir l'agriculture durable en favorisant la nutrition des plantes, en stimulant le développement racinaire et en améliorant la productivité des

cultures. Il est essentiel de poursuivre les recherches et de promouvoir l'adoption de ces techniques pour garantir une production agricole plus efficace, respectueuse de l'environnement et durable à long terme.

## Références

Nelson W.R., van Staden J., 1984. The effect of seaweed concentrate on the wheat culms. *Journal of Plant Physiology* 82: 199-200.

Crouh U., Smith M.T., van Staden J., Lewis M.J., Hoad G.V., 1992. Identification of auxins in a commercial seaweed concentrates. *Journal of Plant Physiology* 139: 590-594

Paul, K.; Sorrentino, M.; Lucini, L.; Roupael, Y.; Cardarelli, M.; Bonini, P.; Reynaud, H.; Canaguier, R.; Trtílek, M.; Panzarová, K.; et al. Understanding the biostimulant action of vegetal-derived protein hydrolysates by high-throughput plant phenotyping and metabolomics: A case study on tomato. *Front. Plant. Sci.* 2019, 10, 1–17. [CrossRef] [PubMed]

Barrajón-Catalán, E.; Álvarez-Martínez, F.J.; Borrás, F.; Pérez, D.; Herrero, N.; Ruiz, J.J.; Micol, V. Metabolomic analysis of the effects of a commercial complex biostimulant on pepper crops. *Food Chem.* 2020, 310, 125818. [CrossRef]

Fleming, T.R.; Fleming, C.C.; Levy, C.C.B.; Repiso, C.; Hennequart, F.; Nolasco, J.B.; Liu, F. Biostimulants enhance growth and drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* and exhibit chemical priming action. *Ann. Appl. Biol.* 2019, 174, 153–165. [CrossRef]

Diédhiou I., 2009. Impacts potentiels de l'introduction de *Jatropha curcas* L. dans un contexte de variabilité et de changements climatiques : impacts environnementaux, intérêts économiques pour les ménages et communautés rurales. Université de Thiès Sénégal, Réseau Sahel, 19p.

Klarzynski O., Fablet E., Euzen M. et Joubert J.-M., 2006, « État des connaissances sur les effets des extraits d'algues sur la physiologie des plantes », *Phytoma*, Issue 597.

Phytoma, 2005, « Mécanismes d'action de l'extrait d'algue GA7 », *La défense des végétaux*, 585, pp. 42-44

Durand N., Briand X. et Meyer C., 2003, « The effect of marine bioactive substances (N PRO) and exogenous cytokinins on nitrate reductase activity in *Arabidopsis thaliana* », *Physiologia Plantarum*, 119(4).

Carof M.1 , Laperche A.2 , Cannavo P.3 , Menasseri S.1 , Godinot O.1 , Julbault M.2 , Manzaneres-Dauleux M.2 , Guenon R.3 , Jaffrezic A.1 , Pérès G.1 , Le Cadre E. Valorisation des interactions plante-sol pour la nutrition et la santé des plantes. *Innovations Agronomiques* 69 (2018), 71-82.

Mchugh, D.J. (2013). "A guide to the seaweed industry". (Rome: Food and Agriculture Organization 772 of the United Nations)

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. 696 *Scientia Horticulturae* 196, 3-14.

Dunham W., Trimmer M. (2020). DunhamTrimmer® global biostimulant report. Section 7: Market overview. p. 60–67. Available at: <https://dunhamtrimmer.com/products/biostimulant-global-market-report/> [Accessed March, 2020]. [Google Scholar] [Ref list]

Della Lucia M. C., Bertoldo G., Broccanello C., Maretto L., Ravi S., Marinello F., et al.. (2021). Novel effects of leonardite-based applications on sugar beet. *Front. Plant Sci.* 12. doi: 10.3389/fpls.2021.646025 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]

Ashour M., Hassan S. M., Elshobary M. E., Ammar G. A. G., Gaber A., Alsanie W. F., et al.. (2021). Impact of commercial seaweed liquid extract (TAM®) biostimulant and its bioactive molecules on growth and antioxidant activities of hot pepper (*Capsicum annuum*). *Plants* 10, 1045. doi: 10.3390/plants10061045 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]

Drobek M., Fraç M., Cybulska J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress-a review. *Agronomy* 9 (6), 335. doi: 10.3390/agronomy9060335 [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]



Del Buono D. (2021). Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? it is time to respond. *Sci. Total. Environ.* 751, 141763. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141763 [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]

De Saeger J., Van Praet S., Vereecke D., Park J., Jacques S., Han T., et al.. (2020). Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *J. Appl. Phycol.* 32, 573–597. doi: 10.1007/s10811-019-01903-9 [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]

Dookie M., Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. (2021). Flowering gene regulation in tomato plants treated with brown seaweed extracts. *Sci. Hortic.* 276, 109715. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109715 [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]

Xu L., Geelen D. (2018). Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. *Front. Plant Sci.* 9. doi: 10.3389/fpls.2018.01567 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]

Oleg I Yakhin<sup>1</sup>, Aleksandr A Lubyaynov<sup>2</sup>, Ildus A Yakhin<sup>2</sup>, Patrick H Brown<sup>3</sup> Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front Plant Sci.* 2017;7:2049. doi: 10.3389/fpls.2016.02049.