



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

Mémoire de fin d'études

Présenté par

Tedjini Mouaàd et Remou Mohamed

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité: Production Végétale

Thème

**Apport de biostimulants sur la culture de poivron
(*Capsicum annum* L.) sous serre en vue
d'améliorer le rendement.**

Devant le Jury :

Président :	Benguendouz Abdennour	MCA	UAB Mostaganem
Examinatrice :	Mme Hamza Houaria	MCB	UAB Mostaganem
Encadreur :	Arbaoui Mohamed	MCA	UAB Mostaganem
Co-encadrant :	Gelamallah Amine	Professeur	UAB Mostaganem

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

Nous remercions en premier lieu, Allah, tout puissant pour nous accorder la puissance et la volonté de terminer ce modeste travail.

On tient à remercier Monsieur Arbaoui Mohamed notre encadrant pour son suivi, sa Patience, sa disponibilité, ses orientations et ses remarques pertinentes qui nous ont apporté aide et soutien pour la réalisation de ce modeste travail.

Et notre co-encadrant Monsieur Ghelamallah Amine professeur à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier M. Benguendouz d'avoir accepté de président ce jury.

Aussi, à notre examinatrice Mme Hamza Houaria enseignante au département Production Végétale d'avoir accepté de participer à ce jury.

Dédicace

﴿وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ ۖ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ﴾

À ma chère mère, la source de tendresse et d'amour.

À celle qui a veillé des nuits entières pour me voir réussir, et qui n'a jamais cessé de prier
Dieu pour éclairer mon chemin.

À mon père que Dieu te préserve comme un couronnement sur ma tête.

Je te dédie ce travail, fruit de tes prières, de tes sacrifices et de ta bénédiction.

Avec tout mon amour, mon respect et ma profonde gratitude.

À ma chère famille, merci pour votre amour, votre soutien et votre patience.

À tous les travailleurs de la ferme de Mazagran, en reconnaissance de vos efforts, de votre
dévouement et de votre précieux soutien.

À tous mes camarades de promo, et tout spécialement à HAMID BILALE et BRAHIMI
SIHAME pour leur soutien, leur amitié et les moments inoubliables

À mon binôme TEDJINI MOUAÀDH avec laquelle j'ai partagé ce travail.

Mohamed

Dédicace

﴿أَنْ أَشْكُرَ لِي وَلِوَالِدَيْكَ إِلَيَّ الْمَصِيرُ﴾

Je dédie ce modeste travail

Aux êtres qui m'ont donné la vie, qui m'ont vu grandir, qui m'ont transmis tout le savoir et qui était pour moi un coeur veillant pendant toute ma vie, les deux que je ne pourrais jamais assez remercier A ma mère et mon père

A ma grand-mère AICHA

A toute mes oncles et tantes pour leur aide et encouragement sans cesse.

À tous mes camarades de promo, et tout spécialement à HAMID BILALE et BRAHIMI SIHAME pour leur soutien, leur amitié et les moments inoubliables

À tous les travailleurs de la ferme de Mazagran, en reconnaissance de vos efforts, de votre dévouement et de votre précieux soutien.

À mon binôme REMOU MOHAMED avec laquelle j'ai partagé ce travail.

A toute la famille TEDJINI et MAGHRAOUÏ

Mouaàd

ملخص

يعد هذا البحث دراسة تجريبية لتقييم تأثير نوعين من المحفزات الحيوية (maxim50 et Nano energy) علي النمو والإنتاجية لنبات الفلفل الحلو capsicum annuum L المزروع تحت الدفيئة البلاستيكية بمزرعة مزگران أظهرت النتائج التجريبية ان تطبيق المحفزات الحيوية أدى الى تحسين معنوي ملحوظ في جميع القياسات المورفولوجية والفسيولوجية ومكونات المردود مقارنة بالشاهد Témoin وقد سجلت المعاملة ب

Maxim50 و Nano energy اعلى معدلات في عقد الثمار والوزن الإجمالي والمردود الإجمالي لكل متر مربع مما يجعلها بديلا مستداما وفعالا لتقليل الاعتماد على الأسمدة الكيميائية وتحسين الانتاج.

الحيوية، المحفزات، الحلو **الكلمات المفتاحية:** المستدامة، المردود الإجمالي، الدفيئة ،

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'effet de deux biostimulants (Nano Energy et Maxim50) sur la croissance et le rendement du poivron (*Capsicum annuum* L.) cultivé sous serre plastique à l'Université de Mostaganem. Les résultats expérimentaux ont montré que l'application de ces biostimulants a entraîné une amélioration statistiquement significative de la majorité des paramètres morphologiques, physiologiques et des composantes du rendement par rapport au témoin. Les traitements avec Nano Energy et Maxim50 hanno enregistré les meilleures performances en termes de taux de nouaison, de poids moyen des fruits et de rendement Total par mètre carré, offrant ainsi une alternative écologique et durable pour optimiser la production maraîchère.

Mots-clés : *Capsicum annuum* L., Biostimulants, Serre, Rendement total, Agriculture durable.

Abstract

This study evaluates the effect of two biostimulants (Nano Energy and Maxim50) on the growth and yield components of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivated under greenhouse conditions at the University of Mostaganem. The experimental results indicated that the application of both biostimulants led to a statistically significant improvement in most morphological and physiological parameters, as well as yield characteristics compared to the control. The Nano Energy and Maxim50 treatments achieved the highest values in fruit set rate, average fruit weight, and total yield per square meter, presenting a promising eco-friendly alternative for sustainable crop production.

Keywords: Sweet pepper, Biostimulant, Plastic greenhouse, Total yield, metabolic efficiency, Sustainable agriculture

Sommaire

- I. الملخص
- II. Résumé
- III. Abstract
- IV. Liste des figures
- V. Liste des tableaux

Introduction	02
--------------------	----

Première partie : Étude bibliographique

Chapitre 1. Généralités sur le poivron (*Capsicum annuum* L.)

1. Présentation générale	05
1.1. Historique	05
1.2. Origine et classification botanique	05
1.3. Description morphologique	05
1.4. Importance économique	06
1.4.1. Dans le monde	06
1.4.2. En Algérie	06
1.4.3. A Mostaganem	06
1.5. Importance nutritionnelle	07
2. Exigences pédoclimatiques	08
2.1. Climatiques	08
2.2. Edaphiques	08
3. Culture du poivron sous serre	08
3.1. Techniques culturales	08
3.2. Contraintes de production	09

Chapitre 2. Biostimulants en agriculture

1. Définition et classification des biostimulants	11
1.1. Définition	11
1.2. Types de biostimulants	11
1.2.1. Biostimulants Organiques	11
1.2.2. Biostimulants Microbiens	12
1.2.3. Biostimulants inorganiques	12
2. Modes d'action des biostimulants	12

2.1.Effet sur la nutrition des plantes.....	13
2.2.Effet sur la tolérance aux stress.....	13
3. Rôle des biostimulants en agriculture moderne	13

Chapitre 3. Effets biostimulants sur la culture de poivron

1. Effets sur la croissance et le développement.....	16
1.1.Croissance végétative.....	16
1.2.Développement racinaire	
2. Effets sur le rendement.....	16
2.1.Nombre et Poids des fruits	17
3. Effets sur la qualité et la résistance	17
3.1.Qualité des fruits (taille, couleur, goût)	17
3.2.Résistance aux stress abiotiques et biotiques.....	18

Deuxième partie : Étude expérimentale

1. Objectif de l'essai	21
2. Matériel et méthodes	21
2.1.Matériel Végétal	21
2.1.1. Caractéristique du matériel végétal	21
2.2.Biostimulants	22
2.3.Protection Phytosanitaire.....	23
2.4.Méthode d'étude	24
2.4.1. Site expérimental.....	24
2.4.2. Expérimentation	25
2.4.3. Itinéraire cultural	27
2.5.Paramètres mesurés	29
2.5.1. Paramètres morphologiques	29
2.5.1.1. Longueur de la tige.....	29
2.5.1.2. Longueur de la racine	30
2.5.2. Teneur en eau de la plante (racinaire)	30
2.6.Analyse statistique	

3^{ème} partie : Interprétation des résultats

1. Paramètres morphologiques	32
1.1.Longueur de la tige.....	32

1.2.Longueur de la racine	33
1.3.Nombre des fleurs	34
1.4.Nouaison.....	35
1.5.Nombre de feuilles	36
1.6.Nombre de fruits par plant	37
2. Paramètres physiologiques	38
2.1.Teneur en eau racinaire	38
2.2.Paramètres du rendement	39
2.3.Poids moyen des fruits	40
2.4.Rendement par plant.....	41
2.5.Rendement total.....	42
Discussion	44
Conclusion	48
Références bibliographiques	50

Liste des abréviations

ANOVA	Analyse de la Variance
BAC	Bloc Aléatoire Complet
Cm	Centimètre
°C	Degré Celsius
DDT	DichloroDiphénylTrichloroéthane
DSA	Direction des Services Agricoles
EC	Concentré Émulsionnable (Emulsifiable Concentrate)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
F1	Première Génération Hybride
G	Gramme
Ha	Hectare
H%	Teneur en Eau (%)
Kg	Kilogramme
kg/ha	Kilogramme par hectare
L	Litre

Liste des Tableaux

Tableau 1. Schéma du dispositif expérimental	26
Tableau 2 Protocole d'application des biostimulants.	28
Tableau 3. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la longueur de la tige de <i>Capsicum annuum</i> L.	32
Tableau 4. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la longueur de la racine de <i>Capsicum annuum</i> L.	33
Tableau 5. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le Nombre des fleurs de <i>Capsicum annuum</i> L.	34
Tableau 6. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la Noaison de <i>Capsicum annuum</i> L.	35
Tableau 7. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le Nombre de feuilles de <i>Capsicum annuum</i> L.	36
Tableau 8. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le Nombre de fruits par plant de <i>Capsicum annuum</i> L.	37
Tableau 9. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la Teneur en eau de <i>Capsicum annuum</i> L.	38
Tableau 10. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le calibre moyen des fruits de <i>Capsicum annuum</i> L.	39
Tableau 11. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le Poids moyen des fruits de <i>Capsicum annuum</i> L.	40
Tableau 12. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le Rendement par plant de <i>Capsicum annuum</i> L.	41
Tableau 13. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le rendement total de <i>Capsicum annuum</i> L.	42

Liste des figures

Figure 1. Production du poivron dans la région de Mostaganem 2003-2014	07
Figure 2. Le fruit de poivron	07
Figure 3. Cartographie terminologie des biostimulants	11
Figure 4. Les revendications des biostimulants	12
Figure 5. Vue d'ensemble du système racinaire.....	17
Figure 6. Exemple du stress chez les plantes	19
Figure 7. Fruit de poivron	21
Figure 8. Biostimulant de type Maxim50.....	22
Figure 9. Biostimulant de type Nano Energy	22
Figure 10. Produits de Protection Phytosanitaire : Albis	23
Figure 11. Produits de Protection Phytosanitaire : Acrivertine	23
Figure 12. Produits de Protection Phytosanitaire : Radix 30SC	24
Figure 13. Photos de la serre	25
Figure 14. Dispositif expérimental	26
Figure 15. Photos de l'expérimentation (a) et (b)	26
Figure 16. Plant de poivron	27
Figure 17. Poivron en fleur	28
Figure 18. Mesure de la longueur de la tige à l'aide d'un ruban à mesurer métrique.	29
Figure 19 : Différentes étape dans la détermination de la teneur en eau de la racine	30
Figure 21. Effet de deux biostimulants sur la longueur de la racine de <i>Capsicum annum</i> L. La barre d'erreur	32
Figure 22 Nombre des fleurs	33
Figure 23. Nouaison	34
Figure 24. Nombre de feuilles.....	35
Figure 25. Nombre de fruits par plant du poivron traité avec biostimulant	36
Figure 26. Teneur en eau	37
Figure 27. Calibre moyen des fruits	38
Figure 28. Poids moyen des fruits.....	39
Figure 29. Rendement par plant	40
Figure 30. Rendement total	41

Introduction

Introduction

L'agriculture contemporaine est confrontée à des défis de plus en plus importants, dont celui d'optimiser les productions tout en réduisant au minimum l'empreinte écologique. Un des enjeux majeurs consiste à minimiser l'emploi d'engrais chimiques, qui bien qu'efficaces, peuvent porter préjudice à la santé des sols. Des écosystèmes adjacents. Dans cette perspective, les biostimulants naturels comme les extraits de plantes et d'algues se présentent comme une solution alternative encourageante. L'usage de biostimulants peut considérablement diminuer l'emploi de pesticides et d'engrais **(Rouphael et Colla, 2020)**.

Le poivron "*Capsicum annuum* L." appartient au genre *Capsicum*, c'est l'espèce maraîchère la plus importante sur le plan économique, sa culture s'est développée en premier lieu dans la zone centrale du Continent Sud-Américain. Le poivron est originaire du piment, il fut introduit en Europe à la fin du 15^e siècle et au début du 16^e siècle par les conquistadors, avec l'évolution des grandes voies commerciales entre les divers continents, *Capsicum annuum* s'est diffusé dans le monde, de l'Afrique considérée comme le centre de diffusion à l'Océanie et à l'Asie **(Erard, 2002)**.

Ces dernières années ont vu un intérêt croissant pour la culture et la consommation de poivrons. Par conséquent, de nouvelles solutions sont recherchées afin d'offrir aux plants de poivron les conditions les plus favorables à leur croissance et à leur développement. **(Majkowska-Gadomska et al., 2021)**.

Dans cette perspective, l'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de biostimulants sélectionnés sur les paramètres biométriques, le rendement et la valeur nutritionnelle des fruits de *Capsicum annuum*.

- La première partie, constituant la synthèse bibliographique, traite une Généralités sur le poivron, et Effets des biostimulants sur leur culture.
- La seconde partie, consacrée à la méthodologie, décrit les principales étapes ainsi que les tests expérimentaux mis en œuvre pour détecter les souches de *Capsicum annuum*.
- La troisième partie, consacrée aux résultats et discussion, présente une analyse de divers fruits de *Capsicum annuum* avec une recherche d'Effets des biostimulants sur la culture du poivron, a également été réalisé au cours de cette étude.

Première partie :

Étude bibliographique

Chapitre 1.

Généralités sur le poivron **(*Capsicum annuum* L.)**

1. Présentation générale

1.1.Historique

La culture du poivron remonte à longtemps ; on suppose qu'il provient du Brésil. À Tehuacan, au Mexique, on le faisait déjà pousser 7500 ans avant Jésus-Christ. Il y a 7000 ans, c'était l'une des premières plantes à être cultivées en Amérique du Sud. On employait les piments pour leurs propriétés thérapeutiques, en tant qu'assaisonnement ou comme légume. Ce n'est qu'à la fin du XVe siècle, après les expéditions de Christophe Colomb, que les piments ont été introduits en Europe. Repéré par les Espagnols à Saint-Domingue, le piment va vite se transformer en « l'épice du pauvre ». Effectivement, durant les 17^{ème} et 18^{ème} siècle, le prix élevé des épices importées en faisait un symbole visible de la richesse. Ainsi, le piment a substitué le « poivre d'Inde », qui était très coûteux (FAO, 2015).

1.2.Origine et classification botanique

Le *Capsicum* est une plante annuelle qui se reproduit de préférence par auto-fécondation et par semences. Il s'agit d'un sous-arbrisseau buissonnant, qui se transforme en un arbuste de 0,5 à 1 mètre de hauteur après deux à trois ans de croissance. Ses feuilles, de forme ovale et lancéolée, sont disposées par trois. Ses fleurs, de couleur blanc clair, se présentent en nombre de cinq à sept, organisées en paires ou individuellement. Le fruit est constitué de baies peu charnues, très diverses en forme et de couleur changeante (vert, jaune, rouge, pourpre), qui contiennent beaucoup de graines de teinte jaunâtre logées dans d'importants placentas (Goetz et Le Jeune, 2012 ; Azerou et Amaouz, 2020).

La classification internationale de Cronquist est la suivante (Goetz et Le Jeune, 2012)

: Règne : *Plantae*

Sous règne : *Tracheobionta*

Subdivision : *Spermatophyta*

Division : *Magniolophyta*

Classe : *Magniolopsida*

Sous classe : *Asteridae*

Ordre : *Solanales*

Famille : *Solanaceae*

Genre : *Capsicum*

Espèce : *Capsicum annum L.*

1.3.Description morphologique

Le piment est un fruit plus ou moins charnu qui renferme plusieurs graines dans son espace intérieur. Ils se développent sur des végétaux pouvant atteindre approximativement 1.5

mètres de hauteur. On compte presque 10 variétés de piments qui se présentent (**Bernier et al., 2004**).

1.4.Importance économique

En raison de l'importance de la culture du poivron, avec ses différentes variétés et couleurs, ainsi que son rôle essentiel dans l'industrie alimentaire de transformation. De nombreux pays ont fait des investissements dans ce secteur. Chaque année, des millions de tonnes sont produites, avec une productivité parfois remarquable par mètre cube.

1.4.1. Dans le monde

Près de 24 millions de tonnes de poivrons frais sont cultivés à travers le monde, avec une proportion significative en Asie. On les trouve aussi en Amérique du Nord et Centrale (Tableau). Bien que le Nigeria soit le principal producteur de piments piquants, c'est l'Afrique qui domine leur production (**Marchoux et al., 2008**).

1.4.2. En Algérie

L'évolution de la superficie et du rendement du poivron cultivé sous serre a été particulièrement marquée à partir de 2006. Sur une période de huit ans, le rendement a évolué de 130560.79 (Tonnes/Ha) en 2006 à 215504.29 (Tonnes/Ha) en 2013 pour une superficie de 22388 Ha (**FAO, 2016**).

1.4.3. A Mostaganem

Au niveau de la wilaya de Mostaganem, le maraichage couvre environ 45000 ha dont 5000 ha pratiqués en sous abris. Ainsi près de 1550 ha sont réservés à la culture de poivron (**DSA, 2015**). Les années 80, la wilaya de Mostaganem a introduit, dans ses activités agricoles pour la première fois, la plasticulture dans la région de Siret pour la culture de poivron. Cette technique s'est propagée par la suite, dans tout le territoire de la wilaya qui a connu un développement intensif de la production du poivron. Entre 2003 et 2014, la région a connu une augmentation sensible des superficies cultivées en tomate et poivron. Ceci est dû à l'implantation de nombreux agriculteurs venus des régions de Chlef et de Tipaza pour exploiter les zones du littoral conçues pour la production de la tomate primeur (**DSA 2009**).

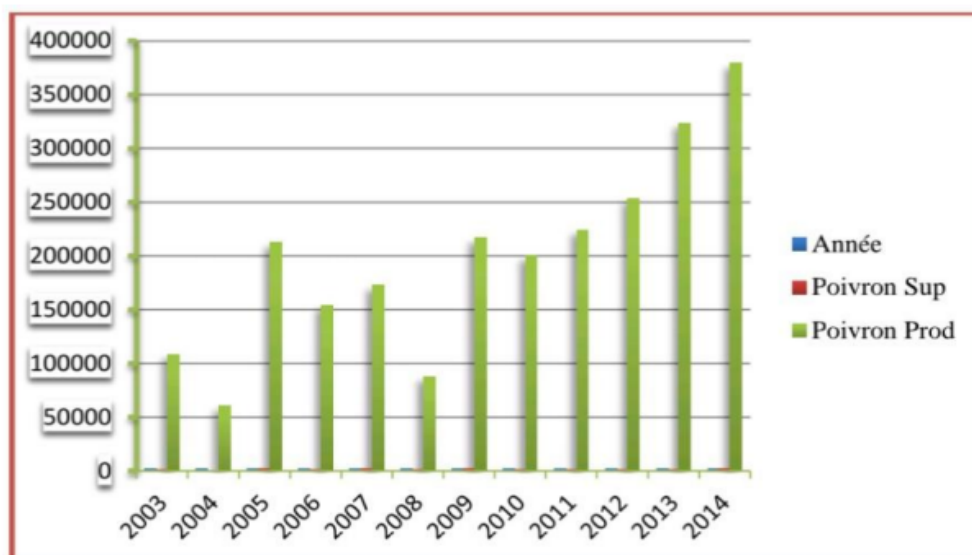


Figure 1. Production du poivron dans la région de Mostaganem 2003-2014 (DSA, 2015)

1.5. Importance nutritionnelle

Une portion de 80g de poivron rouge (cru) apporte :17 kcal/71KJ, 0,6 g de protéines, 0,2 g de lipides, 3,4 g de glucides, 1,8 g de fibres, 173 mg de potassium, 60 mcg de folate, 101 mg de vitamine C.

Il est intéressant de noter que l'apport nutritionnel des poivrons varie en fonction de leur couleur, les variétés rouges fournissant plus de potassium, de vitamine C et d'acide folique que leurs équivalents jaunes, orange ou verts. Cependant, les poivrons verts immatures sont nettement plus riches que leurs équivalents rouges matures en composés végétaux protecteurs connus sous le nom de polyphénols (BBC Food, 2022).



Figure 2. Fruit de poivron (Patrick, 2023).

2. Exigences pédoclimatiques

2.1.Climatiques

Le poivron est l'une des plantes maraîchères les plus sensibles aux températures, tout en étant moins dépendant de l'ensoleillement que la tomate. La plante requiert une chaleur considérable, son pic de croissance se trouve à 24°C, et la croissance de la plante est freinée lorsque la température descend en dessous de 13°C (**Skiredj et al., 2005**). Le *Capsicum* a besoin d'une bonne luminosité, car ce sont des plantes à jours courtes facultatifs. Elles fleurissent de manière optimale et en grande quantité pendant les jours courts, à condition que la température et les conditions climatiques soient appropriées. Les conditions requises. (**Valder, 2000**).

2.2.Edaphiques

Le poivron et le piment nécessitent un sol bien aéré et à structure motteuse, de manière à limiter les risques d'asphyxie racinaire. Une préparation du sol incluant un labour suivi d'un travail superficiel est conseillée. L'utilisation d'un rotovator lorsque le sol contient peu de résidus de culture. En cas de sol lourd d'effectuer d'abord un sous-solage, puis un passage de rotobèche ou de canadien, sur une profondeur de 15 à 20 cm. Selon l'auteure, la culture sur butte est particulièrement indiquée : elle favorise le réchauffement du sol au printemps et réduit les risques d'asphyxie racinaire (**Jobbé-Duval, 2017**).

La culture du poivron nécessite des apports de 115 kg/ha d'azote, 200 kg/ha de phosphore et 200 kg/ha de potassium. Pour un rendement de 2,5 kg/m², les exportations en éléments nutritifs s'élèvent à environ 150 kg/ha d'azote, 80 kg/ha de phosphore et 200 kg/ha de potassium (**George, 2009**).

3. Culture du poivron sous serre

Il s'agit d'une culture intensive basée sur l'utilisation des abris en polyéthylène. Les plants sont placés dans des conteneurs avec un support favorable à leur croissance. (**Barchiche, 2002**).

3.1.Techniques culturales

La culture du poivron en serre est plus performante lorsque les installations disposent d'une hauteur suffisante permettant une meilleure circulation de l'air et un développement optimal de la canopée végétale. L'intégration de techniques complémentaires, telles que la désinfection des sols, la lutte intégrée contre les ravageurs et les systèmes hydroponiques à recirculation des solutions nutritives, contribue également à améliorer la productivité, à réduire les pertes et à optimiser l'utilisation des ressources dans les systèmes de production sous serre (**Eleanor et al., 2026**).

3.2. Contraintes de production

Les conditions climatiques ont conduit à une réduction de 30 à 40 % de la production. Les températures nocturnes ont chuté à 8-9°C, touchant les cultures sous serre, particulièrement celles sans protections adéquates. Bien qu'Universal Peppers cultive des variétés résistantes sur 60 % de ses surfaces pour limiter les pertes, la pression virale demeure. La baisse de production coïncide avec une demande européenne souvent faible en fin d'année, mais les prix pourraient augmenter à partir de janvier. Les producteurs de poivrons californiens souffrent particulièrement, tandis que Mansour maintient un rythme d'exportation de trois camions par semaine avec la variété Kapi, prisée dans certaines diasporas en Europe (Erard, 2002).

Chapitre 2.

Biostimulants en agriculture

1. Définition et classification des biostimulants

1.1. Définition

Un Biostimulant est une substance ou microorganisme appliqué aux plantes dont le but est de renforcer l'efficacité de la nutrition, la tolérance aux stress abiotique et/ou les caractéristiques de la qualité des fruits, indépendamment de leur contenu en nutriments nutritifs (Fiedor *et al.*, 2005).

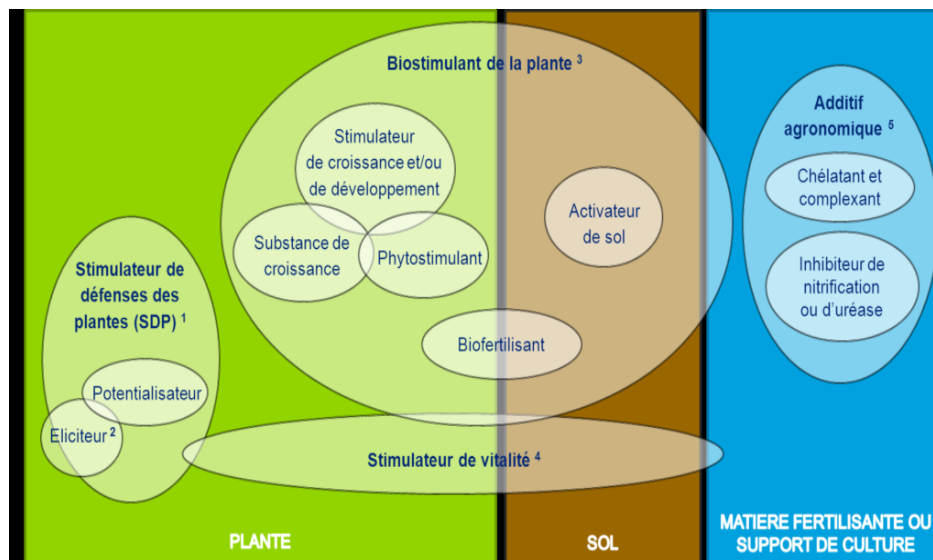


Figure 3. Cartographie terminologie des biostimulants (Jing *et al.*, 2022).

1.2. Types de biostimulants

1.2.1. Biostimulants Organiques

Les biostimulants organiques (non microbiens) sont constitués d'un groupe de substances naturelles provenant du règne végétal ou animal, qui influencent la physiologie des plantes sans apporter directement des nutriments. Ils sont efficaces grâce à un ensemble de procédés : l'ajustement hormonal, l'activation enzymatique, l'amélioration des processus métaboliques et l'optimisation des interactions entre les racines et le sol (Battacharyya *et al.*, 2015).

1.2.2. Biostimulants Microbiens

Les biostimulants microbiens englobent tous les micro-organismes vivants appliqués aux végétaux ou aux sols, dans le but de promouvoir directement ou indirectement leur développement et leur résistance aux stress.

Leur principal mode d'action consiste à coloniser la rhizosphère, cet espace d'interaction entre les racines, le sol et le microbiote. Ils y modifient les dynamiques biologiques et augmentent la capacité des plantes à assimiler les nutriments et à faire face aux contraintes abiotiques. On compte parmi les organismes étudiés des champignons mycorrhiziens ainsi que certaines

bactéries bénéfiques appelées rhizobactéries promotrices de croissance (PGPR) (Colla *et al.*, 2017).

1.2.3. Biostimulants inorganiques

(Le silicium élément chimique présent dans le sol, les Oligoéléments...) Ils peuvent s'utiliser seuls ou en apport au sol ou par pulvérisation sur les plantes et enfin être Disposés en enrobage de semences (Yakhin *et al.*, 2017).

2. Modes d'action des biostimulants

Les biostimulants favorisent la germination, la croissance des racines et des plantes, la photosynthèse, l'absorption des éléments nutritifs du sol, la résistance aux stress abiotique et le métabolisme de l'azote et du phosphore dans le sol. Photosynthèse, absorption du nutriment du sol, activation des micro-organismes du sol. Réduit ou améliorer les effets négatifs des facteurs de stress abiotique (Franzoni *et al.*, 2022).

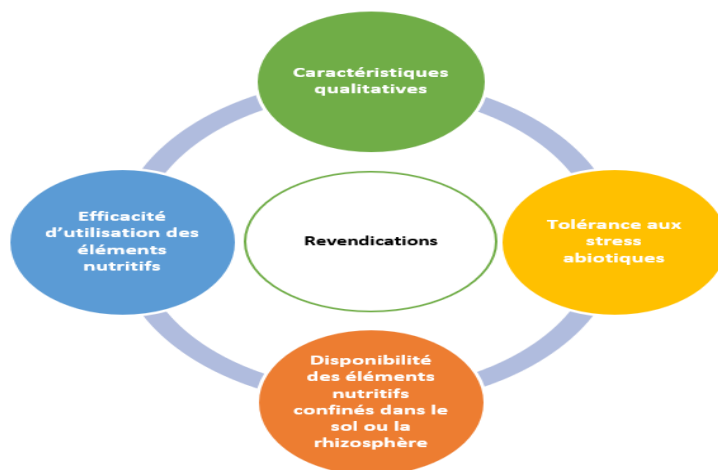


Figure 4. Les revendications des biostimulants (Crenn, 2022)

2.1. Effet sur la nutrition des plantes

Un biostimulant est un produit qui stimule les processus de nutrition des végétaux indépendamment des éléments nutritifs qu'il contient, dans le seul but d'améliorer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes des végétaux ou de leur rhizosphère : l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs ; la tolérance au stress abiotique ; les caractéristiques qualitatives ; la disponibilité des éléments nutritifs confinés dans le sol ou la rhizosphère (Gry, 2019).

2.2. Effet sur la tolérance aux stress

Le stress hydrique chez les plantes est parmi les stress abiotiques les plus contraignants ayant des effets néfastes sur les plantes, qui apparaissent aussi bien au niveau morphologique que physiologique. L'amélioration de la tolérance des plantes au stress hydrique est le principal intérêt pour de nombreux scientifiques. Les chercheurs tentent de développer des approches

récentes et efficaces afin d'améliorer la production végétale. Les biostimulants en agriculture représentent une solution prometteuse pour lutter efficacement contre les stress biotiques et abiotiques tout en minimisant l'utilisation des pesticides (**Boucelha et al., 2020**). Les biostimulants microbiens sont un mécanisme biologique prometteur pour améliorer la tolérance ou la résistance aux environnements et conditions de sol défavorables (**Kenekar, 2025**).

3. Rôle des biostimulants en agriculture moderne

- ✓ Améliorer la productivité agricole et la qualité des récoltes, ce qui contribue à l'augmentation de la production alimentaire.
- ✓ Aide à combattre le stress causé par la sécheresse et les éléments climatiques.
- ✓ Optimise la qualité du sol.
- ✓ N'entraîne aucune pollution et respecte l'environnement.
- ✓ Une qualité supérieure des produits agricoles, donc bénéfique pour les agriculteurs.
- ✓ Des aliments qui sont sûrs, sains et nutritifs pour le consommateur.
- ✓ Active les défenses naturelles des plantes, diminuant de ce fait la nécessité d'utiliser des pesticides.
- ✓ Par conséquent, tout comme les amendements du sol, les biostimulants ont toutes les caractéristiques requises pour favoriser la production agricole, ce qui peut aider à satisfaire les besoins alimentaires futurs.
- ✓ En outre, cela peut soutenir la communauté agricole dans l'accomplissement de ses objectifs en matière de production alimentaire, dans l'atténuation des impacts des conditions climatiques adverses et dans la réalisation de bénéfices par le biais de produits de qualité supérieure.
- ✓ En fin, l'emploi de biostimulants peut grandement diminuer la dépendance vis-à-vis des engrais chimiques et des pesticides, proposant ainsi une solution durable à l'agriculture intensive qui n'entraîne pas de pollution pour l'environnement (**Kenekar, 2025**).

Chapitre 3.

Effets biostimulants sur la culture de poivron

1. Effets sur la croissance et le développement

1.1.Croissance végétative

La croissance et l'évolution d'une plante illustrent les changements quantitatifs et qualitatifs qui se produisent tout au long des diverses phases de son existence. La croissance végétale d'une plante est l'ensemble des changements quantitatifs irréversibles qui se produisent au cours de son cycle de vie. La croissance est l'augmentation continue de toutes les dimensions de la plante : longueur, largeur, diamètre, surface, volume et masse.

Le méristème est un tissu végétal constitué d'un ensemble de cellules indifférenciées, dotées d'une activité mitotique considérable, qui rendent possible la croissance infinie en longueur de la plante. Les méristèmes primaires, qui apparaissent en premier lors de l'embryogénèse, produisent les tissus primaires. Les cellules des méristèmes primaires se trouvent à l'extrémité des tiges (histogène et organogène) et à l'extrémité des racines (histogène, méristème racinaire). Les méristèmes secondaires sont des tissus de croissance présents chez les plantes. Les tissus secondaires sont dérivés des méristèmes secondaires, qui apparaissent plus tard lors de la maturation. Les méristèmes secondaires facilitent l'expansion en largeur autour de la tige et des racines des Angiospermes Dicotylédones, tandis que les Monocotylédones en sont dépourvues (**Bouزيد, 2019**).

Les biostimulants ont un effet positif direct sur la croissance et le développement des plantes (**Tan et al., 2021**).

1.2.Développement racinaire

Il s'agit de tous les changements qualitatifs dans le développement d'une plante. Cela implique l'établissement des diverses structures végétales, connu sous le nom d'organogénèse, qui inclut la Rhizogénèse (pour les racines) et la Caulogénèse (pour les tiges). On différencie la phase de croissance végétative de la phase de reproduction. Au cours de la phase initiale, suite à la germination, la plante évolue de son stade juvénile vers un état où elle se subdivise et augmente ses organes végétatifs (feuilles, tiges, racines). La phase de reproduction est caractérisée par la formation des organes reproducteurs floraux (**Bouزيد, 2019**).

Les biostimulants favorisent une meilleure absorption des nutriments. Ils favorisent spécifiquement une meilleure tolérance de la plante aux déficits nutritifs en azote en stimulant l'expression et/ou l'activité du nitrate réductase via des composés spécifiques (**Guilayn et al., 2019**).



Figure 5. Vue d'ensemble du système racinaire (Grondin, 2023).

2. Effets sur le rendement

2.1. Nombre et Poids des fruits

Les biostimulants améliorent le développement du système racinaire favorisant ainsi la bonne reprise, puis le bon développement des végétaux. En effet, sa composition en azote et en acides aminés favorise la bonne croissance et le développement des plantes. Il entraîne une augmentation du nombre de fleurs, de fruits et du rendement. Cela pourrait être expliqué par le fait une concentration élevée d'un nutriment dans la plante crée une baisse de performance dans le fonctionnement de la plante. Les doses d'engrais doivent prendre en compte la disponibilité des nutriments par rapport à la qualité du sol. De plus, les nutriments dépendent les uns des autres et quand un nutriment est apporté en forte quantité alors que les autres restent bas, ceux-ci peuvent empêcher l'effet de cet élément. Donc Les biostimulants permis d'enregistrer les meilleures performances en termes de hauteur et nombre de fruits par rapport aux autres traitements (Ndiaye et *al.*, 2023).

3. Effets sur la qualité et la résistance

3.1. Qualité des fruits (taille, couleur, goût)

La production fruitière moderne recherche de plus en plus des stratégies durables pour améliorer la croissance, le rendement et la qualité des fruits tout en minimisant l'impact environnemental. Les biostimulants végétaux – substances d'origine naturelle ou micro-organismes bénéfiques, tels que les extraits d'algues et de plantes, les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR), les substances humiques, les hydrolysats de protéines et le silicium – apparaissent comme des outils prometteurs pour atteindre ces objectifs en stimulant des processus physiologiques et biochimiques clés. Ils peuvent améliorer l'absorption et l'efficacité des nutriments, moduler les voies hormonales et métaboliques et renforcer l'activité des antioxydants enzymatiques et non enzymatiques, ce qui conduit à une meilleure vitalité des plantes et à une meilleure qualité des fruits. Les biostimulants influencent

également les communautés microbiennes de la rhizosphère et la santé des sols, favorisant le cycle des nutriments, la diversité microbienne bénéfique et la structure du sol. (Gonçalves et al., 2025).

3.2. Résistance aux stress abiotiques et biotiques

Les systèmes de culture voient leur potentiel de production freiné essentiellement par les stress biotiques et abiotiques. Puisque la production végétale se fonde sur une base fondamentale qui repose sur deux piliers. Le premier axe concerne la nutrition des végétaux par l'emploi d'engrais ou de fertilisants (qu'ils soient organiques ou minéraux).

Le second axe, tout aussi crucial, porte sur la sauvegarde des cultures face aux agressions de bioagresseurs et d'insectes grâce à l'utilisation de produits phytosanitaires (pesticides). L'approche actuelle qui considère les facteurs environnementaux et le stress est en constante évolution, liée à la prise de conscience croissante que l'on évoque souvent sous le terme de biocontrôle qui a pour objectif principal d'améliorer la productivité et la résilience des Écosystèmes cultivés et préservation de leurs ressources naturelles ; cette performance est entretenue par l'élaboration de nouveaux instruments qui renforcent la résistance aux pressions atmosphériques et la robustesse de la plante face à différentes maladies en encourageant la prédation naturelle. Les biostimulants dérivés de composés vivants ou inactifs font partie des outils les plus prometteurs (Mellouk, 2016).

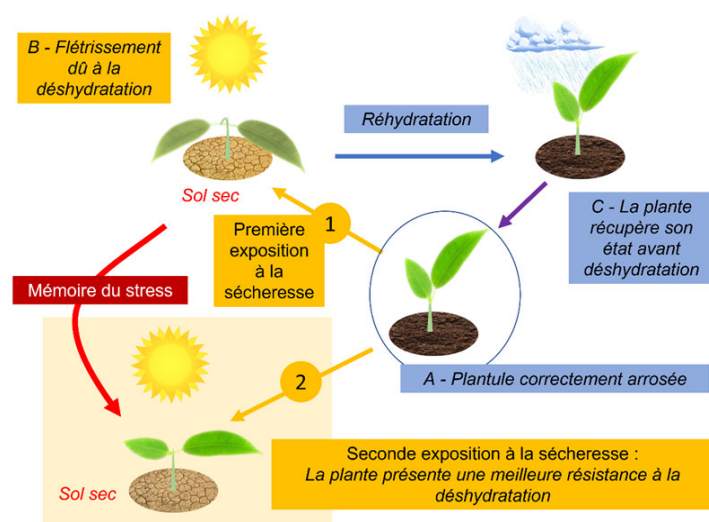


Figure 6. Exemple du stress chez les plantes (Dizengremel, 2023)

Deuxième partie :

Étude expérimentale

1. Objectif de l'essai

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer l'impact des biostimulants sur le comportement morpho-physiologique et la productivité de la variété de poivron Magister F1 sous serre tunnel dans la région de Mostaganem

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel Végétal

Le matériel végétal utilisé pour l'étude est le poivron *Capsicum annuum* L. variété Magister. Cette variété présente les caractéristiques suivantes :

- Haute et vigoureuse mesure entre 80 et 95 cm de haut avec de grandes feuilles vert foncé.
- Son fruit est en forme de flèche, mesurant 8 à 9 cm de largeur et 20 à 22 cm de longueur.
- Cette variété est très populaire parmi les agriculteurs de Mostaganem et est une variété à haut rendement.

2.2. Caractéristique du matériel végétal

- **Feuilles:** Une forme ovoïde de couleur verte avec une longueur de 07 à 12 cm et couverte par des poils.
- **Tige:** Elle est ligneuse à la base et herbacée avec longueur de 80 à 95 cm.
- **Système racinaire :** Le système racinaire est pivotant et peut atteindre 7 à 80 cm. Le développement horizontal des racines.
- **Fleurs:** Blanchâtres, pendante sous-dressées avec de largeur 2 à 3 cm.
- **Les fruits:** La couleur est verte avec une forme allongée avec une taille de 8 à 9 cm de largeur et de 18 à 22 cm de longueur.
- **Les maladies et ravageurs:** La mouche mineuse, Les aleurodes, mouches blanches, Les acariens, Thrips, puceron la mosaïque du tabac (T.M.V), nécroses, L'oïdium.



Figure 7. Fruit de poivron (Originale, 2026).

2.3. Biostimulants

Dans cet essai, deux types de biostimulants ont été testés pour booster la performance du poivron :

- **Maxim50:**

Nature : Biostimulant à base d'acides aminés (L- α -aminoacides).

Fonction : Il est utilisé pour réduire l'énergie dépensée par la plante pour la synthèse protéique, stimuler la croissance végétative et aider le poivron à surmonter les stress abiotiques (thermiques et hydriques).

Mode d'action : Favorise le verdissement des feuilles et la vigueur générale de la tige.



Figure 8. Biostimulant de type Maxim50 (Originale, 2026)

- **Nano Energy :**

Nature : Régulateur de croissance (Biostimulant complexe).

Composition : Formulé à base d'extraits d'algues marines (28%), enrichi en Azote (5%), Phosphore (6%) et Potassium (7%).

Fonction : Grâce aux hormones naturelles issues des algues, il stimule les processus physiologiques durant les phases critiques (floraison et nouaison) et améliore la qualité finale des fruits (calibre et poids).



Figure 9. Biostimulant de type Nano Energy (Originale, 2026)

2.4. Protection Phytosanitaire

Afin de protéger la culture de poivron (Magister F1) contre les bioagresseurs, plusieurs produits ont été utilisés durant l'essai:

- **Les Insecticides**

Albis : C'est un insecticide systémique et polyvalent.

Matière active : Acétamipride 20%.

Cible : Principalement utilisé pour la lutte contre les pucerons (Aphides) et d'autres insectes piqueurs-suceurs sous serre.



Figure 10. Produits de Protection Phytosanitaire : Albis. (Originale, 2026)

- **DDT (DichloroDiphénylTrichloroéthane)**

Un insecticide organochloré persistant, mentionné pour la lutte contre les fourmis.

- **Les Acaricides**

Acrivertine : Un insecticide-acaricide très efficace.

Matière active : Abamectine 18 g/L (EC : Concentré Émulsionnable).

Cible : C'est le produit clé utilisé contre l'Acarien jaune (Tetranychusurticae), agissant par contact et ingestion.



Figure 11. Produits de Protection Phytosanitaire : Acrivertine (Originale, 2026)

- **Fongicides**

Radix 30SC : Une fongicide systémique spécifique.

Matière active : Hymexazol 30% (SC : Suspension Concentrée).

Cible : Appliqué généralement par fertigation ou drenchage pour lutter contre les maladies du sol, notamment le Pythium et le Fusarium (pourritures racinaires), particulièrement lors de la phase de transplantation.



Figure 12. Produits de Protection Phytosanitaire : Radix 30SC (Originale, 2026)

Matériel de traitement

- Pulvérisateur à dos agricole
- Pulvérisateur manuel à gâchette
- Une seringue

2.5.Méthode d'étude

2.4.1. Site expérimental

Le site retenu pour notre étude est situé entre la commune de Mostaganem au nord, Mazagran à l'ouest, Hassi Mamèche au sud et Douar Djedid à l'est. Cette zone est caractérisée par un climat semi-aride avec une hygrométrie comprise entre 60 et 70% pendant la période estivale, les températures moyennes oscillent entre 25 et 30°C en été et de 6 à 13°C pendant l'hiver.

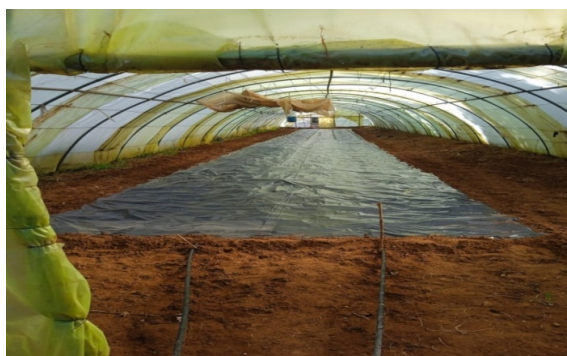


Figure 13. Photos de la serre

2.4.2. Expérimentation

• Dispositif Expérimental :

L'étude repose sur un plan expérimental contrôlé à un seul facteur, à savoir le type de biostimulant utilisé. Ce facteur est divisé en trois niveaux de traitement : deux modes de biostimulation (P1 et P2) et un mode témoin (T) servant de référence pour l'analyse comparative. Le dispositif expérimental adopté pour cette étude est un modèle en Bloc aléatoire complet (BAC).

Ce choix méthodologique permet d'organiser l'essai de manière rigoureuse afin de minimiser les erreurs expérimentales. La parcelle principale est constituée de trois lignes de culture, où chaque ligne comprend environ 15 plants de poivron (Variété Magister F1). Ces lignes correspondent aux modalités suivantes : P1 (Nano Energy), P2 (Maxim 50) et T (Témoin). Pour assurer la précision des résultats, chaque ligne a été subdivisée en trois blocs de répétition (Bloc A, B et C), séparés par des zones tampons (espaces vides) pour éviter tout effet de bordure. Au sein de chaque bloc, un échantillon de 05 plants a été marqué pour un suivi détaillé.

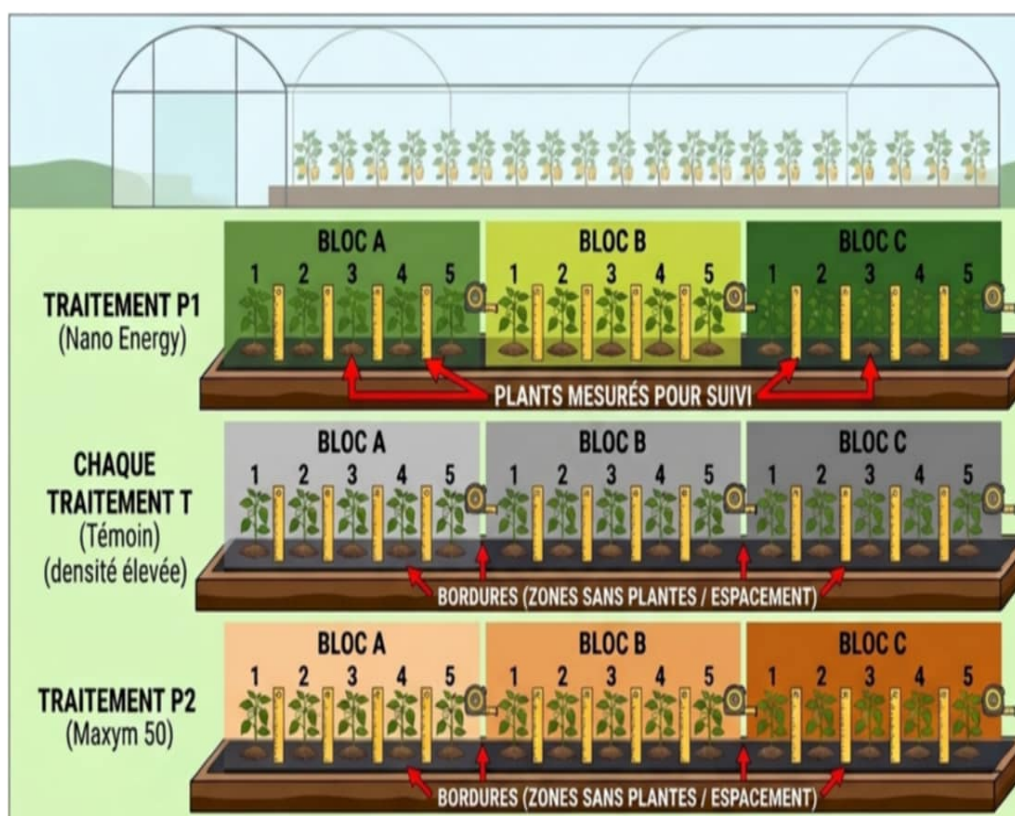


Figure 14. Dispositif expérimental

Tableau 1. Schéma du dispositif expérimental

Bloc A	P2	P1	T
Bloc B	T	P2	P1
Bloc C	P1	T	P2

Variété de poivron Magister : 1

3 Blocs : A, B, C. (répétitions).

5 plants par unité expérimentale



(a) Vue d'ensemble du dispositif expérimental



(b) Préparation des lings (billons)

Figure 15. Photos de l'expérimentation (a) et (b) (Originale, 2026)

2.4.3. Itinéraire cultural

- **Préparation du sol**

- Un labour a été effectué par une charrue à soc l
- Un travail superficiel du sol par un covercrop
- Préparation des lings (billons) par une billonneuse

- **Transplantation des plantes**

Les plants de 1 mois ont été acheté du commerce. La plantation a été faite sous serre le 17 décembre 2025. Les plants de poivron ayant de 5-9 cm de hauteur et de 3 à 4 cm de diamètre.

**Figure 16.** Plant de poivron (Originale, 2025)

- **Irrigation**

L'irrigation a été assurée par un système de goutte-à-goutte permettant un apport hydrique précis et régulier. Le sol a été recouvert d'un paillage plastique noir afin de maintenir l'humidité, d'augmenter la température du sol et de limiter la prolifération des mauvaises herbes.

Application du biostimulant

L'application des biostimulants (Nano Energy et Maxim 50) par voie foliaire, en respectant un calendrier séquentiel de six (06) interventions basées sur les stades

phénologiques clés de la culture, afin de soutenir la plante durant ses phases physiologiques les plus exigeantes.

Dose d'Application

Les biostimulants (Nano Energy et Maxim 50) ont été préparés avec une concentration de 2 ml/L (2 millilitres de produit pour 1 litre d'eau). Le prélèvement du produit pur a été effectué avec précision à l'aide d'une seringue graduée. La solution ainsi obtenue a été appliquée par pulvérisation foliaire jusqu'à saturation du feuillage.

L'application des biostimulants (P1 et P2) a été réalisée par voie foliaire, suivant un calendrier technique rigoureux basé sur les stades phénologiques clés de la culture de poivron. Au total, six (06) interventions ont été programmées :

Avant Floraison : Pour préparer la plante à l'induction florale.

Après Floraison : Pour soutenir l'énergie de la plante après l'effort de floraison.



Figure 17. Poivron en fleur (Originale, 2026)

Avant Nouaison : Pour favoriser la transformation des fleurs en fruits.

Après Nouaison : Pour limiter la chute des jeunes fruits (coulure).

Avant Grossissement : Pour stimuler la division cellulaire du fruit.

Après Grossissement : Pour améliorer le calibre final et la qualité de récolte.

Tableau 2. Journées de pulvérisation de biostimulants et de produits de protection phytosanitaire.

Date	Protocole d'application
Le 27 janvier	Application du biostimulant (stade avant floraison)
Le 08 février	Un traitement à l'Acrivertine et installation des pièges
Le 08 février	Traitement avec P2 au début de floraison
Le 26 février	Application du biostimulant (stade après floraison).
Le 08 mars	Application du biostimulant (stade avant nouaison).
Le 18 mars	Application de l'insecticide Albis
Le 24 mars	Application du biostimulant (stade après nouaison).
Le 29 mars	Application de l'acaricide Acrivertine.
Le 31 mars	Application du biostimulant (stade avant grossissement).
Le 07 avril	Application de l'acaricide Acrivertine.
Le 19 avril	Application du fongicide Hymexazol.
Le 26 avril	Application du biostimulant (stade après grossissement).

En matière de protection des plantes, une approche de lutte intégrée contre les ravageurs a été adoptée. Outre l'utilisation ciblée d'insecticides (tels que l'acétamipride et l'abamectine) et de fongicides (hymexazole), également selon un calendrier précis, nous avons installé des pièges à insectes artisanaux. Ces pièges sont constitués de bouteilles contenant un mélange d'eau et de savon, placées stratégiquement pour capturer les ravageurs de manière écologique.

2.5. Paramètres mesurés

Afin d'évaluer l'influence des deux biostimulants (P1 et P2) par rapport au témoin (T), un suivi rigoureux a été effectué sur les 45 plants échantillonnés.

2.5.1. Paramètres morphologiques

2.5.1.1. Longueur de la tige

La longueur de la tige de chaque plant a été estimée en centimètres (cm) à l'aide d'un ruban métrique gradué, en mesurant la distance séparant le collet de la plante jusqu'à son apex caulinaire.



Figure 18. Mesure de la longueur de la tige à l'aide d'un ruban à mesurer métrique.

2.4.1.1. Longueur de la racine

La longueur de la racine principale a été déterminée en centimètres (cm) du collet jusqu'à l'extrémité de la racine la plus longue.

2.4.2. Teneur en eau de la plante (racinaire)

La teneur en eau a été déterminée spécifiquement au niveau du système racinaire pour évaluer la capacité de rétention hydrique des tissus sous l'effet des différents traitements.

Poids Frais (PF) : Les échantillons de racines ont été pesés immédiatement après le prélèvement à l'aide d'une balance de précision (exprimé en grammes).

Poids sec : Les morceaux ont ensuite été placés dans une étuve réglée à une température de 105°C pendant une durée de 24 heures afin d'éliminer complètement l'eau libre. À la sortie de l'étuve, les échantillons ont été pesés à nouveau pour obtenir la matière sèche constante.

La teneur en eau racinaire (H%) est calculée selon la formule suivante :

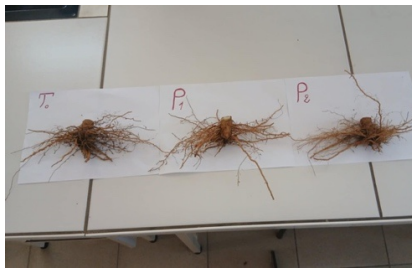
$$\text{Teneur en eau} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PF}} \times 100$$



Étuve



Balance



Echantillons



Figure 19. Différentes étapes dans la détermination de la teneur en eau de la racine au laboratoire (Originale, 2026).

2.5. Analyse statique

Les données récoltées ont été analysé par une étude statistique (ANOVA) Excel à 1 facteur. Les moyennes calculées ont été comparées à l'aide du test de student à $p=0,05$.

Troisième partie :

Interprétation des résultats

1. Paramètres morphologiques

1.1 Longueur de la tige

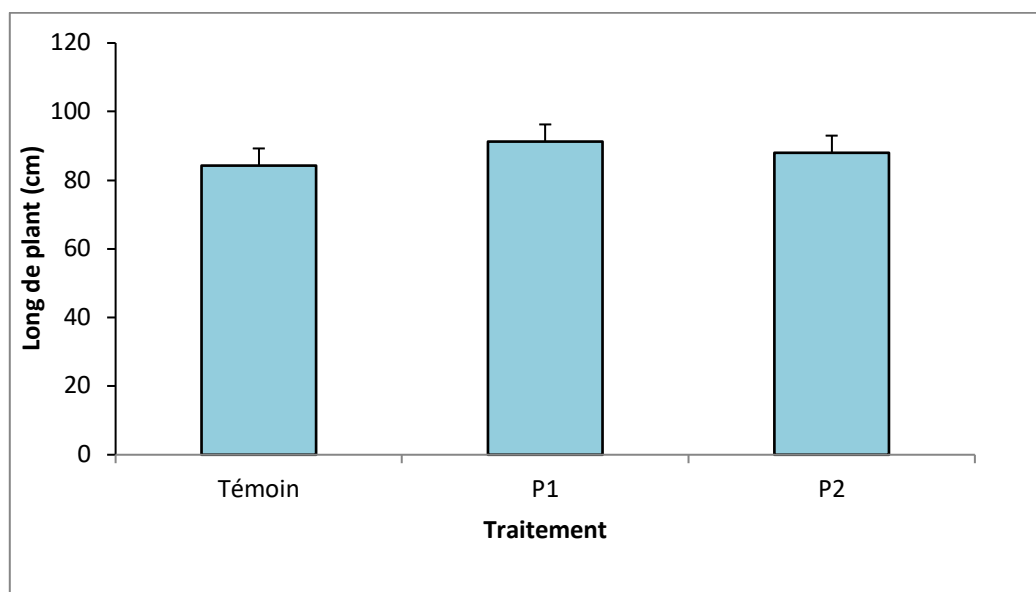


Figure 20. Effet de deux biostimulants sur la longueur de la tige de *Capsicum annuum* L. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions.

Les résultats enregistrés ont illustré la longueur de la tige des plantes de poivron sous l'effet des différents traitements de biostimulant. Le biostimulant (P1) a enregistré la croissance végétative la plus importante avec une moyenne de **92.13 cm**. En revanche, le biostimulant (P2) a induit un développement moyen de **86.00 cm**, ce qui reste légèrement supérieur aux plantes témoins (T0) qui ont marqué la valeur la plus faible avec **85.80 cm**.

Tableau 3. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la longueur de la tige de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	dl	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Signification
Entre groupes	2	37,47	0.0001	5,143	***
Total	8				

(Dl) : Degré de liberté ; signification (S : *, $p < 0.05\%$) ; (TS: **, $p < 0.01\%$), (HS: *** $p < 0.001\%$) NS : $p > 0.05\%$)

L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur a confirmé la présence d'une **différence hautement significative** du traitement biostimulant (F : **37.47** ; dl : 2 ; P = 0.001) (tableau 3).

1.2. Longueur de la racine

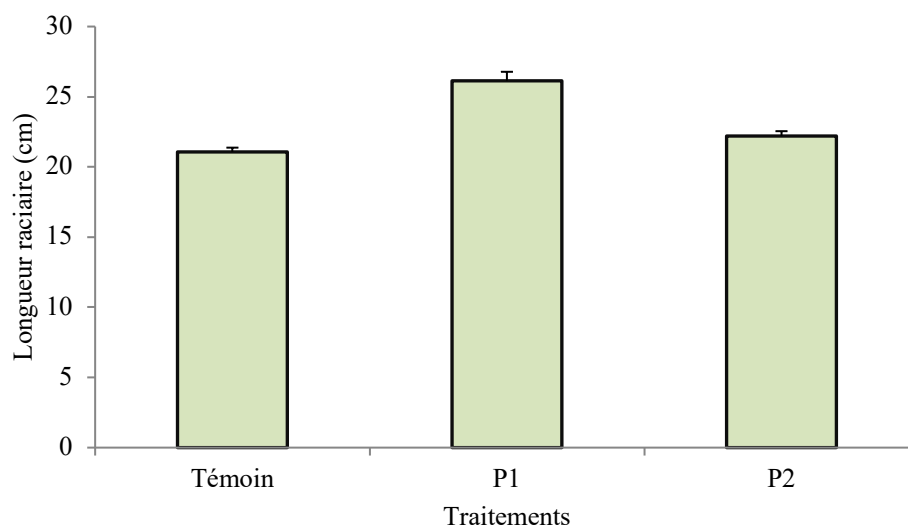


Figure 21. Effet de deux biostimulants sur la longueur de la racine de *Capsicum annuum* L. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions.

Les données ont illustré graphiquement, mettent en évidence des variations hautement significatives quant à l'élongation du système racinaire des plantes de poivron sous l'effet des biostimulants appliqués (Figure 21). Les plantes traitées par le biostimulant 1 (P1) ont développé le système racinaire le plus long, atteignant une valeur moyenne remarquable de 26.67 cm. Les plantes sous l'influence du biostimulant 2 (P2) se placent en deuxième position avec une longueur moyenne de 23.47 cm. En revanche, les plantes témoins (T0) affichent le développement racinaire le plus faible avec une moyenne de 21.33 cm.

Tableau 4. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la longueur de la racine de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	Dl	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Signification
Entre groupes	2	13,075	0,006499	5,1432	**
Total	8				

(Dl) : Degrée de liberté ; signification (S : *, $p < 0.05\%$) ; (TS: **, $p < 0.01\%$), (HS: *** $p < 0.001\%$) NS : $p > 0.05\%$)

L'analyse de la variance à un facteur confirme de manière rigoureuse que ces écarts sont très significatifs. En effet, la valeur de F calculée (13.08) excède largement le seuil de la

valeur critique théorique (5.14). De surcroît, la valeur de la probabilité associative ($P = 0.0065$) se situe bien en dessous du seuil statistique critique ($\alpha = 0.01$) (tableau 4).

1.3. Nombre des fleurs par plant



Figure 22. Effet de deux biostimulants sur le nombre de fleurs par plant de *Capsicum annuum* L.). La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions.

Le nombre de fleurs par plant de poivron a été influencé par la présence du biostimulant (Figure 22), une augmentation numérique chez les plantes traitées par les biostimulants comparativement au témoin a été révélée. Les plantes soumises au biostimulant 1 (P1) ont enregistré la moyenne la plus élevée avec 41,33 fleurs/plant, suivies par le traitement P2 avec une moyenne de 38,20 fleurs/plant. En revanche, les plantes témoins (T0) affichent le nombre de fleurs le plus faible avec une moyenne de 26,60 fleurs/plant.

Tableau 5. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le nombre des fleurs par plant de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	Dl	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Signification
Entre Groupes	2	2,433	0,16833	5,14325	Ns
Total	8				

(Dl) : Degré de liberté ; signification (S : *, $p < 0.05\%$) ; (TS: **, $p < 0.01\%$), (HS: *** $p < 0.001\%$) NS : $p > 0.05\%$)

Néanmoins, l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur a montré un effet non significatif (tableau 5). En effet, la valeur de F calculée (2,43) est inférieure à la valeur

critique théorique (5,14). De plus, la valeur de la probabilité ($P = 0,1683$) est largement supérieure au seuil d'erreur alpha standard ($\alpha = 0,05$).

1.4. Nombre de fleurs nouées par plant

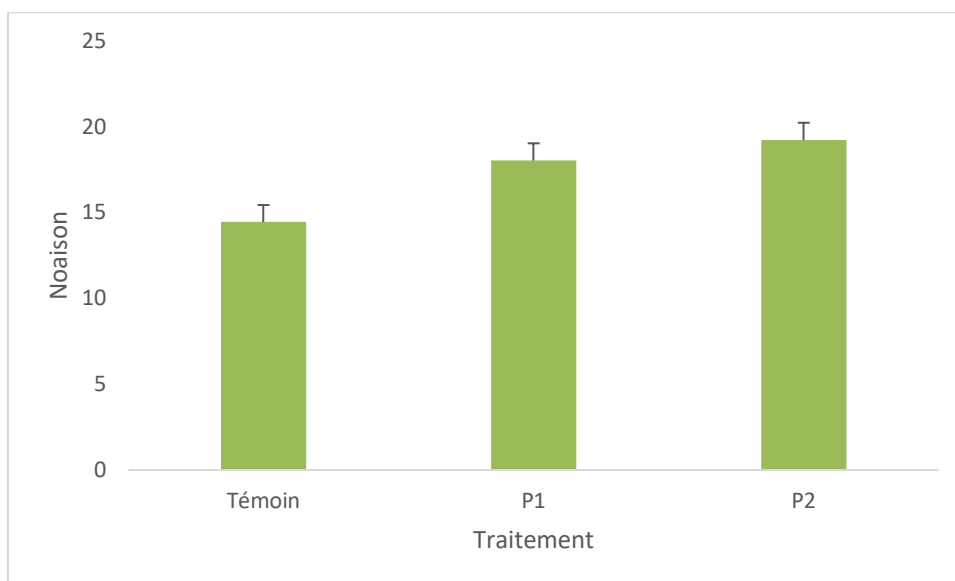


Figure 23. Effet de deux biostimulants sur le nombre de fleurs nouées par plant de poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec deux biostimulants. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions

Les données relatives au nombre de fleurs nouées par plant ont illustré des variations statistiquement significatives entre les différents traitements (tableau 6). Les plantes soumises au biostimulant 2 (P2) ont enregistré le taux de nouaison le plus élevé avec une moyenne de 19,26%. Les plantes traitées par le biostimulant 1 (P1) se placent en deuxième position avec une valeur moyenne de 18,06%. En revanche, les plantes témoins (T0) affichent le taux de réussite le plus faible avec une moyenne de 14,46% (Figure 23).

Tableau 6. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le nombre de fleurs nouées de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	dl	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Signification
Entre Groupes	2	6,916	0,02768	5,143	*
Total	8				

(dl) : Degré de liberté ; signification (S : *, $p < 0,05\%$) ; (TS: **, $p < 0,01\%$), (HS: *** $p < 0,001\%$) NS : $p > 0,05\%$).

L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur a confirmé la significativité de ces résultats, où la valeur de F calculée (6,91) surpasse la valeur critique théorique (5,14). De

plus, la valeur de la probabilité ($P = 0,0276$) est inférieure au seuil alpha de signification requis ($\alpha = 0,05$) (tableau 6).

1.5. Nombre de feuilles par plant

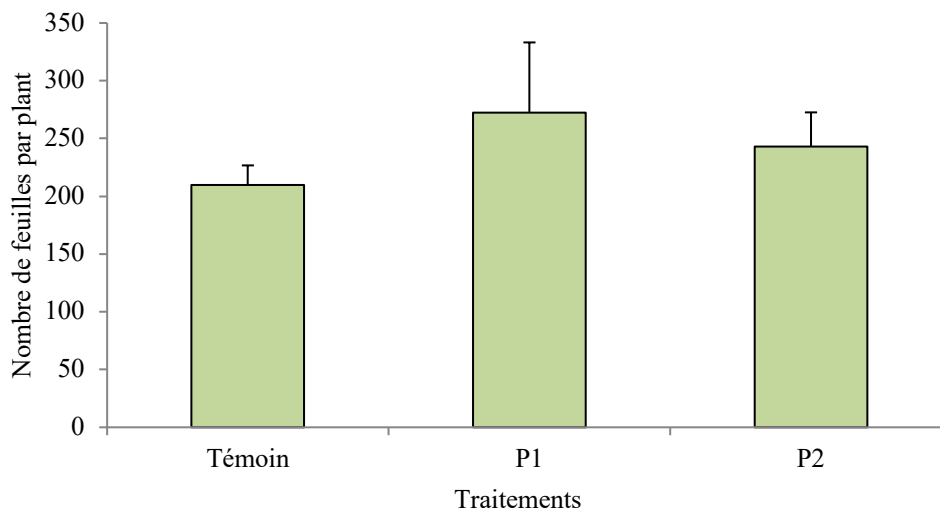


Figure 24. Effet de deux biostimulants sur le nombre de feuilles par plant de poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec deux biostimulants. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions.

Les résultats concernant le nombre de feuilles par plant ont montré une supériorité numérique chez les plantes traitées par le biostimulant 1 (P1) qui ont enregistré la moyenne la plus élevée avec 272,33 feuilles/plant. Les plantes soumises au biostimulant 2 (P2) ont affiché également une valeur importante de 243,26 feuilles/plant, tandis que les plantes témoins (T0) ont marqué la moyenne la plus faible avec 209,60 feuilles/plant (Figure 24).

Tableau 7. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le nombre de feuilles de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	Dl	F	Probabilité	Valeur pour F	critique	Signification
Entre Groupes	2	1,824	0,2404	5,1432		Ns
Total	8					

(Dl) : Degré de liberté ; signification (S : *, $p < 0.05\%$) ; (TS: **, $p < 0.01\%$), (HS: *** $p < 0.001\%$) NS : $p > 0.05\%$).

Cependant, l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur montre que cette différence est non significative (ns). En effet, la valeur de F calculée (1,82) est nettement inférieure à la

valeur critique théorique (5,14). De plus, la valeur de la probabilité ($P = 0,2404$) est largement supérieure au seuil d'erreur alpha ($\alpha = 0,05$) (tableau 7).

1.6. Nombre de fruits par plant

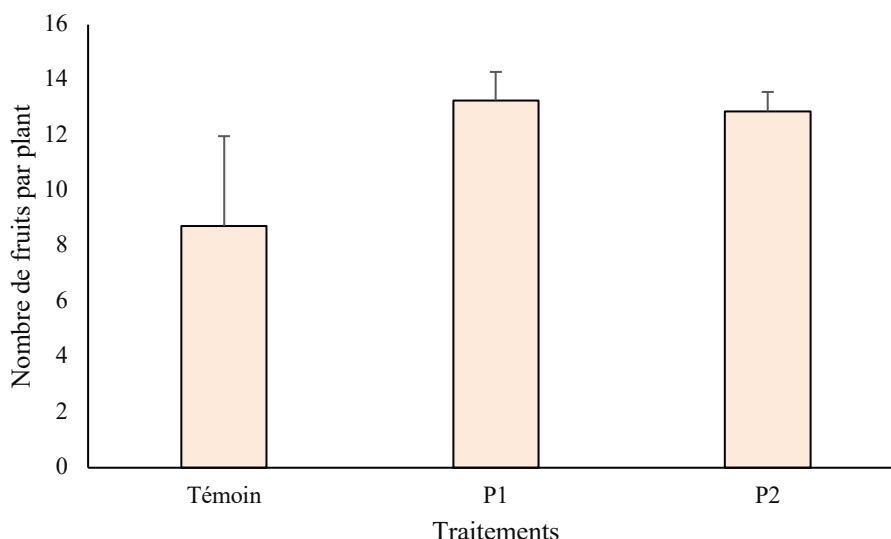


Figure 25. Effet de deux biostimulants sur le nombre de fruits par plant du poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec biostimulant. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions.

La figure 25 a présenté une variation entre les différents traitements, le biostimulant 1 a affiché des chiffres de 13.26 de fruits par plant nettement supérieurs par au témoin (8.73 fruits par plant), cependant, le biostimulant 2 a été inférieur avec (12.86 fruits par plant) par rapport au biostimulant 1, mais reste supérieur au témoin. L'analyse de la variance à un facteur a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements (tableau 8).

Tableau 8 ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le nombre de fruits par plant de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	DL	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Signification
Entre Groupes	2	4,708	0,0589	5,1432	Ns
Total	8				

(DL) : Degré de liberté ; signification (S : *, $p < 0.05\%$) ; (TS: **, $p < 0.01\%$), (HS: *** $p < 0.001\%$) NS : $p > 0.05\%$).

2. Paramètres physiologiques

2.1. Teneur en eau racinaire

Les résultats illustrés par le graphique et regroupés dans le tableau ci-dessus indiquent une stabilité et une homogénéité marquées de la teneur en eau des racines entre les différentes

modalités expérimentales. Les plantes traitées avec le biostimulant 1 (P1) affichent le taux d'hydratation racinaire le plus élevé avec une moyenne de 75,85%, suivies de très près par les plantes témoins (T0) qui enregistrent 75,13%. En contrepartie, le traitement (P2) induit une légère baisse numérique avec une valeur moyenne de 72,09%.

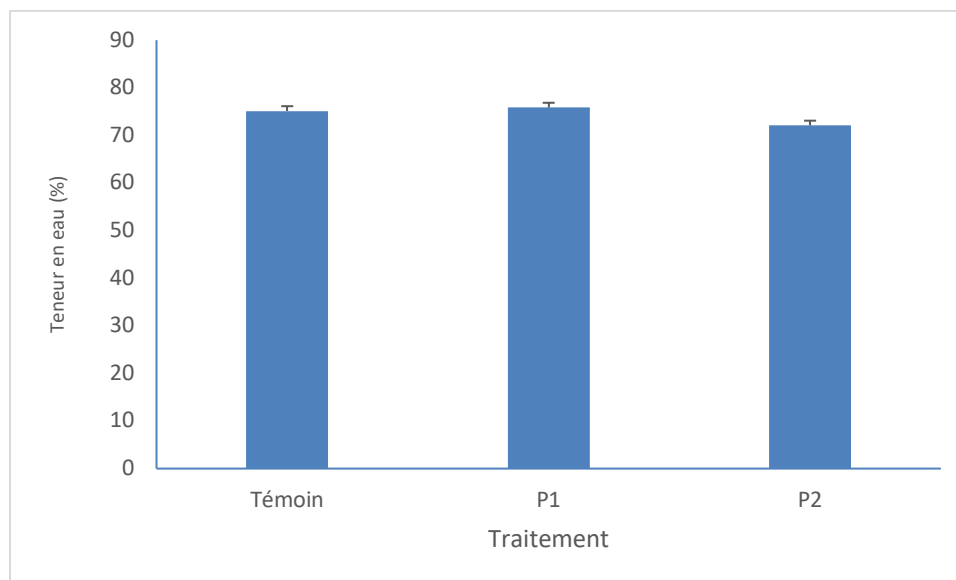


Figure 26. Effet de deux biostimulants sur la teneur en eau des racines de plants de poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec deux biostimulants. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions.

L'étude statistique a désigné qu'il existe un effet significatif entre. Les traitements (Tableau 9).

Tableau 9. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la Teneur en eau de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	Dl	F	Probabilité	Valeur pour F	critique	Signification
Entre Groupes	2	7,029	0,0267	5,143		*
Total	8					

(Dl) : Degré de liberté ; signification (S : *, $p < 0.05\%$) ; (TS: **, $p < 0.01\%$), (HS: *** $p < 0.001\%$) NS : $p > 0.05\%$).

2.2. Paramètres du rendement

Les résultats ont porté sur le calibre des fruits de poivron, qui ont révélé des variations hautement significatives entre les différentes modalités étudiées. Les plantes traitées avec le biostimulant 2 (P2) ont produit les fruits les plus longs, enregistrant une moyenne maximale de 20,59 cm. Elles sont suivies par les plantes soumises au biostimulant 1 (P1) avec une

longueur moyenne de 19,61 cm. En revanche, les plantes témoins (T0) affichent le calibre de fruit le plus faible avec une valeur moyenne de 18,80 cm (figure 27).

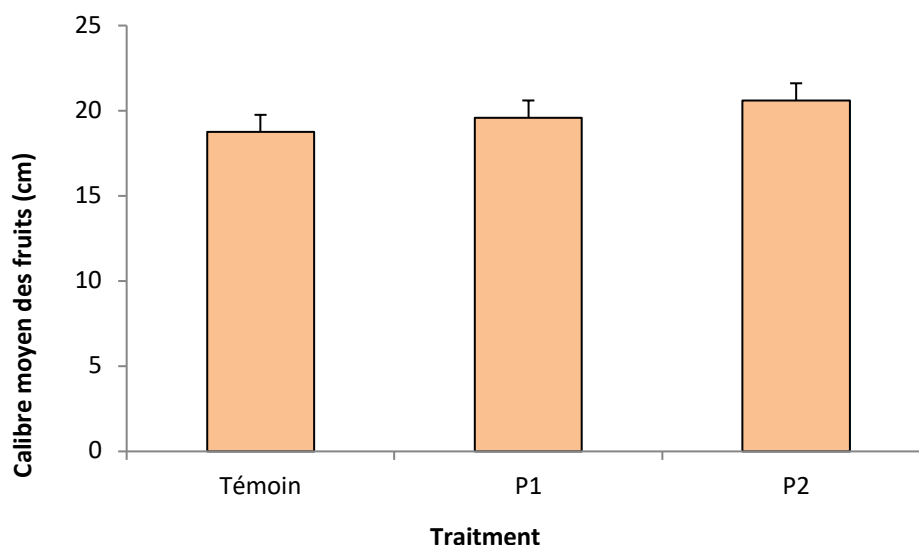


Figure 27. Calibre moyen des fruits par plant de poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec deux biostimulants.

L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur a confirmé une différence hautement significative avec F calculé 58,47 dépasse largement la valeur critique théorique (5,14). De même, la valeur de la probabilité associative (P = 0,000116) est inférieure au seuil alpha hautement restrictif (alpha = 0,01) (tableau 10).

Tableau 10. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur la Calibre moyen des fruits de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	Dl	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Signification
Entre groupes	2	58,4	0,0001	5,143	***
Total	8				

(Dl) : Degrée de liberté ; signification (S : *, p<0.05%) ; (TS: **, p<0.01%), (HS: *** p<0.001%) NS : p>0.05%).

2.3. Poids moyen des fruits par plant

Les résultats relatifs au poids moyen des fruits (exprimé en kg ou g selon l'échelle globale de la récolte), sont illustrés par le graphique de la figure 28, mettent en évidence des variations statistiquement significatives entre les traitements testés. Les plantes soumises au biostimulant 2 (P2) ont enregistré le poids moyen par fruit le plus élevé avec 2,484 kg. Les fruits issus du traitement avec le biostimulant 1 (P1) suivent de près avec une masse moyenne

de 2,416 kg. À l'inverse, les plantes témoins (T0) ont affiché la valeur pondérale la plus faible avec une moyenne de 1,389 kg.

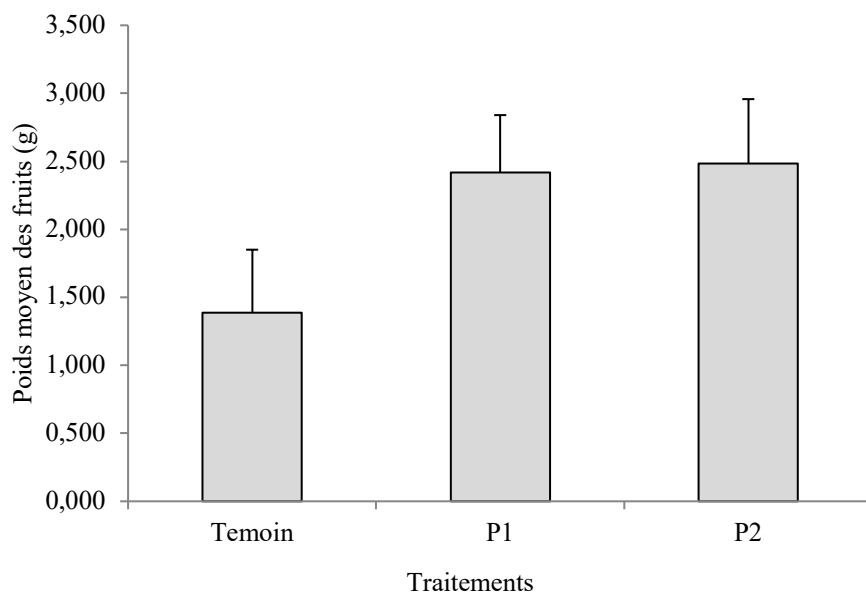


Figure 28. Poids moyen des fruits par plant de poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec deux biostimulants. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions

L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur a confirmé la significativité de ces écarts (Signifiante), avec une valeur de F calculée (10,51) supérieure à la valeur critique théorique (5,14). De plus, la probabilité statistique ($P = 0,0109$) s'établit en dessous du seuil de tolérance classique ($\alpha = 0,05$) (tableau 11).

Tableau 11. ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le poids moyen des fruits de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	Dl	F	Probabilité	Valeur pour F	critique	Signification
Entre groupes	2	10,50	0,0109	5,143		*
Total	8					

(Dl) : Degrée de liberté ; signification (S : *, $p < 0.05\%$) ; (TS: **, $p < 0.01\%$), (HS: *** $p < 0.001\%$) NS : $p > 0.05\%$).

2.4. Rendement moyen des fruits par plant

Les résultats relatifs au rendement moyen par plant de poivron (exprimé en kg), ont illustrés des variations statistiquement significatives entre les différentes modalités expérimentales (figure 29). Les plantes traitées avec le biostimulant 2 (P2) ont enregistré la productivité la plus élevée avec un rendement moyen de 0,1928 kg/plant. Les plantes soumises au biostimulant 1 (P1) se placent en deuxième position avec une valeur moyenne de

0,1821 kg/plant. En contrepartie, les plantes témoins (T0) ont affiché le rendement le plus faible avec une moyenne de 0,1609 kg/plant.

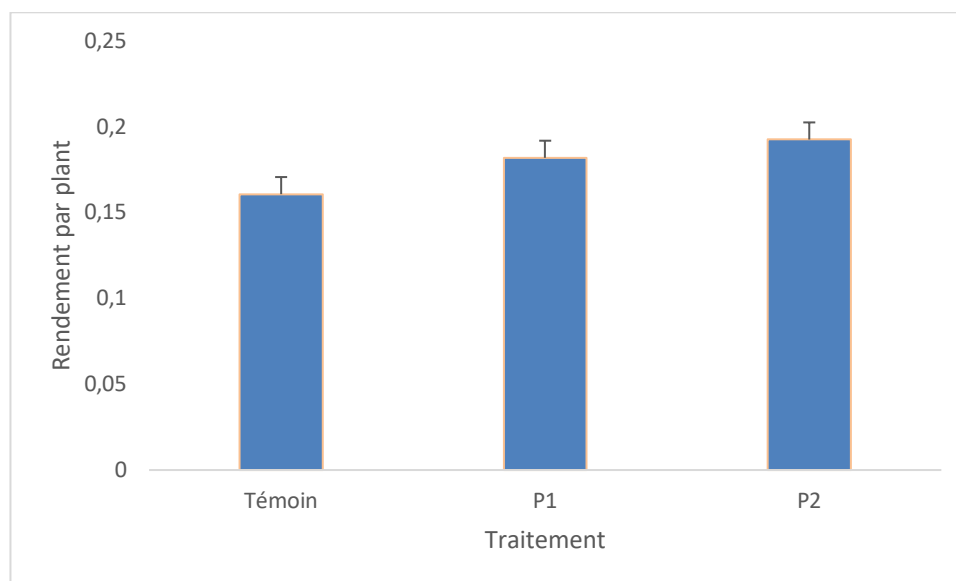


Figure 29. Rendement moyen des fruits par plant de poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec deux biostimulants. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions.

Les calculs statistiques ont confirmé une différence significative entre les traitements (F : 8,24 ; dl : 2 ; P = 0,0189) (Tableau 12).

Tableau 12 ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le rendement par plant de *Capsicum annuum* L.

<i>Source des variations</i>	<i>des</i>	<i>DI</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>	<i>Signification</i>
Entre Groupes		2	8,24	0,0189	5,143	*
Total		8				

(DL) : Degré de liberté ; signification (S : *, p<0.05%) ; (TS: **, p<0.01%), (HS: *** p<0.001%) NS : p>0.05%).

2.5. Rendement total

Les données relatives au rendement total chez les plantes de poivron, illustrées par le graphique de la Figure 30, révèlent des variations statistiquement significatives entre les différentes modalités étudiées. Les plantes soumises au biostimulant 2 (P2) ont enregistré le rendement total le plus élevé avec une moyenne de 2,892. Les plantes traitées par le biostimulant 1 (P1) se placent en deuxième position avec une valeur moyenne de 2,732. En

revanche, les plantes témoins (T0) affichent le rendement total le plus faible avec une moyenne de 2,414.

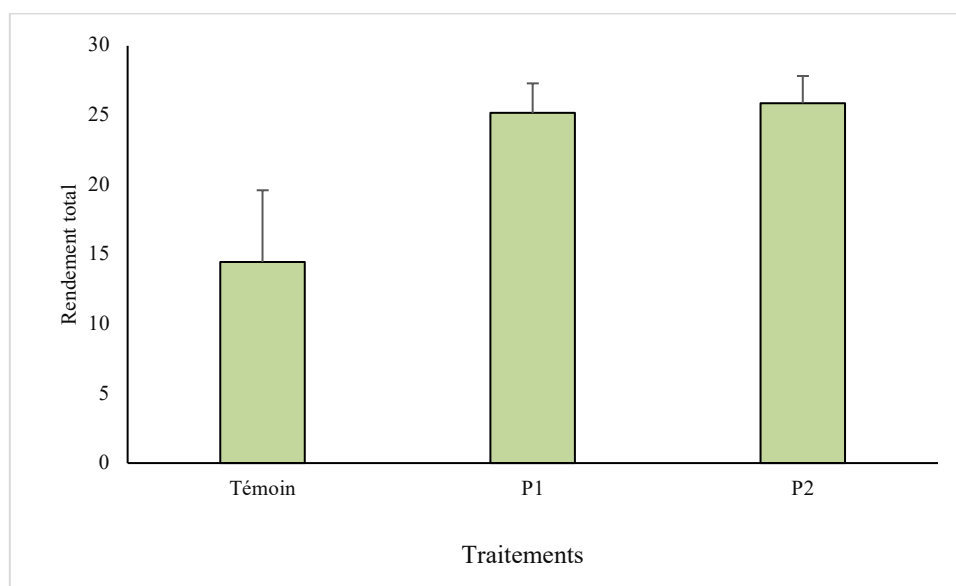


Figure 30. Rendement total des fruits de poivron (*Capsicum annuum* L.) traité avec deux biostimulants. La barre d'erreur représente la moyenne de trois répétitions

L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur confirme la significativité de ces résultats, où la valeur de F calculée (8,2470) surpasse la valeur critique théorique (5,1432) pour un degré de liberté (dl = 2) entre les groupes. De plus, la valeur de la probabilité (P = 0,0189) est inférieure au seuil alpha de signification requis (alpha = 0,05) (tableau 13).

Tableau 13 ANOVA à un facteur au seuil de 5% sur l'influence de deux biostimulants sur le rendement total de *Capsicum annuum* L.

Source des variations	des	Dl	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Signification
Entre Groupes		2	10,509	0,0109	5,1432	*
Total		8				

(Dl) : Degrée de liberté ; signification (S : *, p<0.05%) ; (TS: **, p<0.01%), (HS: *** p<0.001%) NS : p>0.05%).

Discussion

Il s'agit de mener une étude comparative entre deux types de biostimulants : l'un riche en acides aminés (Maxim 50) et l'autre à base d'extraits d'algues (Nano Energy), afin de déterminer leur efficacité dans la stimulation de la croissance végétative, l'amélioration de la précocité de floraison et l'optimisation du rendement final. En outre, ce travail vise à tester la capacité de ces produits à renforcer la résilience de la plante face aux stress thermiques printaniers et aux attaques de l'acarien jaune (*Tetranychusurticae*), tout en proposant une stratégie de fertilisation plus durable et respectueuse de l'environnement.

L'augmentation significative de la hauteur de la tige observée principalement chez les plantes traitées par le biostimulant P1 (Nano Energy) par rapport au témoin (T0) peut être attribuée à la présence de molécules bioactives (telles que les acides aminés libres ou les phytohormones naturelles) qui stimulent la division et l'élongation cellulaire au niveau des méristèmes caulinaires. Nos observations concordent avec les travaux de **(Calvo et al., 2014)**, qui stipulent que les biostimulants améliorent l'efficacité d'utilisation des nutriments et stimulent la croissance longitudinale des parties aériennes. De plus, **(Paradiković et al., 2011)** ont également rapporté qu'un apport de biostimulants sur le poivron induit une vigueur végétative supérieure se traduisant par une élongation nette de la tige principale sous serre.

Cependant, le développement remarquable de la longueur racinaire induit par l'application de P1 (Nano Energy) et P2 (Maxim 50) met en évidence le pouvoir rhizogénique de ces produits. Un système racinaire plus étendu permet une meilleure exploration des couches du sol, ce qui est crucial pour l'absorption hydrominérale sous serre. Ces résultats corroborent les conclusions de **(Halpern et al., 2015)**, qui ont démontré que l'application racinaire ou foliaire de substances biostimulantes modifie l'architecture racinaire en augmentant la longueur et la surface absorbante. De même, **(Rouphael et al., 2015)** ont souligné que l'amélioration du système racinaire est l'un des effets primaires les plus constants des biostimulants chez les solanacées.

Les traitements P1 et P2 aient montré une augmentation numérique du nombre de feuilles par plant, l'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative en raison d'une forte variabilité intra-traitement (écarts-types élevés). Cela indique que le taux d'apparition des feuilles est un paramètre fortement influencé par les facteurs environnementaux de la serre (lumière, température microclimatique) et par le statut nutritionnel global plutôt que par l'action directe et isolée des biostimulants. Néanmoins, la tendance positive observée rejoint les constatations de **(Ertani et al., 2014)**, qui expliquent que l'effet des biostimulants sur le nombre de feuilles dépend étroitement de la concentration appliquée et de la fréquence des

traitements. Une augmentation de la biomasse foliaire, même non significative sur le plan statistique, offre une plus grande surface photosynthétique pour la plante.

L'augmentation du nombre de fleurs par plant chez les lots traités traduit une influence positive des biostimulants sur l'induction florale. L'apport externe de composés actifs aurait agi comme un signal moléculaire stimulant la transition de la phase végétative à la phase reproductive. (**Chanthini et al., 2019**) ont rapporté que l'application de biostimulants organiques induit une floraison plus abondante chez le poivron en améliorant l'état nutritionnel et énergétique général de la plante, favorisant ainsi une meilleure allocation des ressources vers les organes reproducteurs.

Le taux de nouaison est un indicateur capital de la réussite de la phase reproductive. Nos résultats ont montré une hausse significative de ce taux sous l'effet du produit P2 (Maxim 50), suivi par P1 (Nano Energy). Sous serre, le poivron a subi souvent des avortements floraux (coulure) dus aux stress thermiques. Les travaux de (**Kaur et al., 2018**) ont confirmé que l'application de formules biostimulantes réduit significativement l'abscission des fleurs et des jeunes fruits chez les cultures maraîchères en régulant les voies de signalisation de l'éthylène et de l'acide abscissique.

La stabilité de la teneur en eau au niveau des tissus racinaires entre les différents lots (T0, P1, P2) prouve que l'application de ces produits n'a provoqué aucun stress osmotique ni déséquilibre hydrique au sein de la plante. Selon (**Battacharyya et al., 2015**), les biostimulants aident à réguler le potentiel hydrique cellulaire en favorisant l'accumulation d'osmolytes compatibles, assurant ainsi une hydratation constante des tissus, même lors des pics de température sous serre plastique.

L'élongation linéaire supérieure des fruits obtenus avec le traitement P2 (Maxim 50) indique une action ciblée durant la phase initiale du développement du fruit. Nos données s'accordent avec celles de (**Colla et al., 2015**), qui démontrent que certains types de biostimulants agissent comme des régulateurs de croissance qui modifient positivement la morphologie et le calibre des fruits récoltés chez les Solanacées, améliorant de ce fait leur qualité commerciale.

L'augmentation remarquable et statistiquement significative du poids moyen des fruits chez les lots traités par rapport au témoin ont montré l'efficacité des produits à maximiser le remplissage des fruits. Ces résultats sont en parfaite adéquation conjointe avec les recherches de (**Zulfiqar et al., 2020**), qui ont souligné que l'usage de biostimulants a augmenté la biosynthèse de la matière sèche et a amélioré le poids unitaire des poivrons grâce à une meilleure efficacité métabolique globale de la plante.

Le rendement par plant est lié directement au nombre de fruits récoltés et à leur calibre. Comme le traitement P2 (Maxim 50) a permis d'obtenir le meilleur taux de nouaison (plus de fruits par plant) et un poids individuel élevé, il est logique de constater qu'il a donné la productivité par plant la plus forte sous serre. Cependant, le rendement total par unité de surface (kg/m²) est le reflet final de l'amélioration de tous les paramètres mesurés précédemment. Les résultats de l'ANOVA ont confirmé le gain de productivité hautement significatif chez les lots traités, avec une supériorité pour le produit P2 (Maxim 50). Ces conclusions corroborent pleinement les thèses de du (**Jardin, 2015**) et de (**Rouphael et Colla, 2020**), affirmant que les biostimulants modernes ne sont pas de simples engrais, mais des outils physiologiques majeurs capables de maximiser le potentiel génétique de rendement des cultures maraîchères de haute valeur économique comme le poivron.

Conclusion

Conclusion

En guise de conclusion générale, ce travail de recherche expérimental apporté sur l'évaluation de l'efficacité de deux formulations de biostimulants commerciaux innovants (P1 : Nano Energy et P2 : Maxim 50) sur le développement morpho-physiologique et le rendement du poivron doux (*Capsicum annuum* L.) cultivé sous serre plastique, plusieurs conclusions majeures peuvent être dégagées afin de répondre à notre problématique initiale.

Les résultats agronomiques et les analyses statistiques obtenus ont démontré clairement que l'application de ces biostimulants a marqué un saut qualitatif dans l'amélioration des performances globales de la plante par rapport aux plantes témoins (T0) menées en conditions standards. Cette influence positive s'est manifestée de manière complémentaire tout au long du cycle végétatif et reproductif de la culture.

Au stade végétatif précoce, le produit P1 (Nano Energy) a réussi à stimuler vigoureusement la croissance de la tige principale. Parallèlement, les deux traitements (P1 et P2) ont provoqué un développement remarquable de la longueur de la racinaire. Cette amélioration de système racinaire a offert aux plantes un réseau d'absorption hydrominérale puissant et équilibré, maintenant une teneur en eau cellulaire optimale au niveau des tissus sans causer le moindre stress osmotique.

Sur le plan physiologique et productif, qui demeure l'objectif agronomique majeur, nos résultats confirment que le traitement P2 (Maxim 50) s'est révélé être le régulateur le plus efficace durant la phase de reproduction. En effet, il a contribué de manière hautement significative à augmenter le taux de nouaison et à limiter le phénomène d'avortement ou de coulure des fleurs, souvent accentué par les variations thermiques sous serre. Cette amélioration s'est traduite directement par une augmentation de la longueur des fruits, de leur poids moyen, et par conséquent, par l'obtention du rendement total par unité de surface le plus élevé (25,86 kg/m²), comparativement au lot témoin qui a enregistré la productivité la plus faible (14,45 kg/m²).

Au vu de ces données, nous pouvons affirmer que l'intégration des biostimulants dans le parcours technique de la culture du poivron sous serre ne constitue pas un simple apport secondaire, mais représente une stratégie agronomique et environnementale des plus prometteuses. Elle permet non seulement de maximiser la productivité quantitative et la qualité commerciale des fruits tout en optimisant l'espace cultivé, mais elle ouvre également de nouvelles perspectives vers une agriculture durable et éco-responsable. Cette approche

contribue à réduire la dépendance excessive vis-à-vis des engrais chimiques conventionnels tout en préservant l'équilibre des écosystèmes agricoles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Azerou H, Amaouz H.** (2020). Étude des caractéristiques physicochimiques, nutritionnelles et antioxydantes du piment (*Capsicum* spp.). 64p.
- Barchiche K.** (2002). Production hors sol des plants d'agrumes Premier séminaire sur les agrumes à Chlef du 02 à 04 mars, pp 2-8.
- Battacharyya D, Babgohari M Z, Rathor P, Prithivira B.** (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39–48.
- Battacharyya, D., et al.** (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48.
- BBC Food.** (2022). Poivron : les 5 principaux avantages de cet aliment pour la santé.
- Bernier PD, Borvano M, Ougasta F.** (2004). Syndrome du côlon irritable.
- BoucelhaL, Djebbar R, Thiziri A, Zineb Kh.** (2020). Amélioration de la tolérance des plantes au stress hydrique par traitement prégerminatif des graines.
- Bouزيد S.** (2019). Ecophysiologie gi végétale. Page19 -23.
- Calvo, P., et al.** (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3-41.
- Colla, G., et al. (2015).** Protein hydrolysates as plant biostimulants. *Scientia Horticulturae*, 196, 28-38.
- Colla G, Nardi S, Cardarelli M, Ertani A, Lucini L, Canellas L P, Rouphael Y.** (2017). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 28–38.
- Chanthini, K. M.-P., et al.** (2019). Electro-biostimulation of Solanaceae crops for growth and yield maximization. *Industrial Crops and Products*, 135, 122-131.
- Crenn K.** (2022). Biostimulants : harmonisation européenne des règles de mise en marché.
- Du Jardin, P. (2015).** Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
- Dizengremel P.** (2023). Contraintes environnementales et stress oxydant chez les plantes .page 12
- DSA.**(2015). Données statistiques de la direction de services agricoles de Mostaganem.
- Ertani, A., et al. (2014).** Biostimulant activity of alfalfa plant extract on chili pepper. *Frontiers in Plant Science*, 5, 412.
- Eleanor L, Meys Samantha A, Willden Laura, Ingwell Garima K, Kacie J.** (2026). A Review of Integrated Pest Management Practices in High Tunnel Specialty Crop Production. *Crop Protection*, Volume 202, Article 107530 (pas de numéro de page traditionnel).

- Erard P.** (2002) - La courgette C.T.I.F.L. (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. France, p169.
- FAO.** (2015). Food and Agricultural Organisation, Statistique agricole.
- Fiedor J, Fiedor L, Haessner R, Scheer H.** (2005). Cyclic endoperoxides of β -carotene, potential pro-oxidants, as products of chemical quenching of singlet oxygen. *Biochim. Biophys. Acta* 1709, 1-4.
- Franzoni G, Cocetta G, Princi B, ferrante A, Espen L.** (2022). Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. *Horticulturae*, 8(3), 189.
- George, R A T.** (2009). Solanaceae. In *Vegetable Seed Production* (3e éd., p. 202-225). CABI.
- Goetz P, Le Jeune R.** (2012). *Capsicum annuum* et *Capsicum frutescens* Piment. *Phytothérapie*, 10(2) : 126-130.
- Gonçalves B, Santos M, Silva V, Rodrigues A, Oliveira I, Lopes T, Sujeeth N, Guinan KJ.** (2025). Biostimulants dans la production fruitière : impacts sur la croissance, le rendement et la qualité des fruits. *Horticulturae*, 11 (12), 1452
- Grondin A.** (2023). Le système racinaire des plantes : de l'ombre à la lumière
- Gry L.** (2019). Biostimulants et nutrition des plantes : Une efficacité reconnue. Page 29.
- Guilayn F, Rouez M, Crest M, Patureau D, Jimenez J.** (2020). Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants : A critical review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(2), 419-462. (S. d.)
- Halpern, M., et al.** (2015). Crop responses to biostimulants. *Advances in Agronomy*, 133, 79-122.
- Jing L, T Gerrewey T, Geelen D.** (2022). A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field trials. *Frontiers in Plant Science* 13, 836702.
- Jobbé-Duval, M.** (2017). Solanacées. In F. Rey, A. Coulombel, M.-L. Melliand, M. Jonis, & M. Conseil (Éds.), *Produire des légumes biologiques—Tome 2 : Fiches techniques par légumes* (p. 318-391). ITAB.
- Kaur, H., et al.** (2018). Role of biostimulants in fruit setting and yield of vegetable crops. *Journal of Plant Nutrition*, 41(10), 1290-1305.
- Kenekar A.** (2025). Le rôle des biostimulants dans l'agriculture moderne. page 26
- Majkowska-Gadomska J, Dobrowolski A, Jadwisieńczyk KK.** (2021). Effet des biostimulants sur la croissance, le rendement et la valeur nutritionnelle de *Capsicum annuum* cultivé sous tunnel plastique non chauffé. *SciRep* 11, 22335 (2021).

- Ndiaye S, Ousmane A, Goudiaby K, Dieme I, Ndiaye O, Mamadou BA, Makanera K.** (2023). Effets de la combinaison des biostimulants foliaires et racinaires sur la croissance et la production du poivron (*Capsicum annuum* L.) en Basse Casamance, Sénégal. page 1968.
- Parađiković, N., et al. (2011).** Effect of biostimulants on yield and quality of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 129(4), 562-566.
- Patrick CO.** (2023). Le poivron : vert, jaune ou rouge, quelle couleur choisir ? page 17.
- Rouphael, Y., et al. (2015).** Foliar applications of a legume-derived protein hydrolysate elicit hormone-like activity on greenhouse pepper. *Scientia Horticulturae*, 192, 128-133.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020).** Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants. *Agronomy*, 10(10), 1538.
- Rouphael Y, Colla G.** (2020). Editorial : Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, p11.
- Service du développement rural.** (2016). Le poivron - *Capsicum annuum* L. page 01.
- Skiredj A, Elattir H, ElFadl A.** (2005). Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département d'horticulture.
- Tan CY, Dodd I C, Chen J E, Phang SM, Chin C F, Yow YY, Ratnayeke S.** (2021). Regulation of algal and cyanobacterial auxin production, physiology, and application in agriculture: An overview. *Journal of Applied Phycology*, 33(5), 2995-3023. (S. d.).
- Valdez V.** (2000). *Cultuvode Aji*, Edition : Centro d'information de FDA. 17pVegetable crops.Ed. NayaProkash. Calcutta, India, pp 101 – 105.
- Yakhin OI, Lubyantsov AA, Yakhin IA, Brown PH.** (2017). Biostimulants in Plant Science: A global Perspective. *Frontiers in Plant Science. A Global Perspective. Front. Plant Sci.*7, pp 20-49.
- Yassine S.** (2017). Simulation numerique de la convection naturelle dans une serre agricole semi cylindrique fermeechauffee par le bas. 2017.
- Zulfiqar, F., et al. (2020).** Biostimulants application in horticultural crops under greenhouse: A review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(1), 15-32.