

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOGRAPHIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des Biotechnologies et Agro-Ecologie



**Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme en Master
académique**

Option : Phytopharmacie et protection des végétaux

Thème

***Evaluation de la physiologie végétale d'une culture sous l'effet des
biofertilisants.***

Réalisé par :

HAMMOUCHE Asma

OUCHEN Samira

Devant les membres de jury composé de :

Mme. AMARA.N	MCA	U.S.D.B1	Présidente
Mme. CHAICHI.W	MCA	U.S.D.B1	Promotrice
Mme. KHADDAR.R	MCB	U.S.D.B1	Examinatrice
Mme SEKIOU.I	Doctorante	U.S.D.B1	Co-Promotrice

Année universitaire 2021/2022.

Remercîment

Mes remerciements sont d'abord au Dieu tout puissant de m'avoir la force et la patience pour terminer ce travail.

Je voudrais adresser toute ma gratitude à ma promotrice Mme CHAICHI Wissem, pour sa patience, sa disponibilité et ses judicieux conseils et ses encouragements durant l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie cordialement Mme KHADDAR R, pour ses conseils et d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail.

Je voudrais également remercier les membres du jury, d'avoir acceptés de juger ce travail.

De même je remercie vivement toute ma famille, mes amies, et toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont permis de mener à bien ma tâche.



Dédicace

Merci à mon DIEU qu'il m'a donnée la force pour accomplir ce mémoire.

Je dédie ce modeste travail aux plus chères personnes de ma vie :

A mes parents, pour leur soutien moral dans les moments difficiles et pour avoir toujours cru en moi et m'avoir permis d'arriver jusqu'ici.

A mes frères ANES et SOHLAIB. A ma sœur LINA pour leurs aides et leurs encouragements, que dieu vous garde pour moi.

A toute ma famille et surtout mes cousines.

A mon binôme et cher amie SAMIRA, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble. Merci pour tout.

A mes amies.

A mes camarades de promotion, pour tous les moments qu'on a partagés ensemble.



Asma



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les
plus durs et ceux à qui je dois tant*

*A mes très chers parents **Rabeh** et **Malika** qui ont toujours été là pour
moi, et*

qui m'ont donné l'amour et la force et dont je suis fière.

*A Mon cher frère **Omar**.*

A toute ma famille.

*A mon binôme **Asma**, qui m'a supporté tout le long de ce
travail et à qui je souhaite tout le bonheur du monde et de la réussite.*

A tous les gens de ma promotion, enseignants et étudiants.

A mes amis et à toutes les personnes qui me sont chères.



Résumé :

Les biofertilisants sont considérés comme des engrais alternatifs qui contribuent le développement et croissance des cultures, aussi pour augmenter le rendement et la qualité du fruit. Pour répondre à cette demande. Notre objectif porte sur l'évaluation des potentialités de type de bioproduit à base d'un mélange d'oligo-élément. Silicium sous forme d'acide orthosilicique, ces influences sur les paramètres de croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum*) en conditions semi-contrôlées au niveau de la serre de la station expérimentale du département de biotechnologie et Agro- Ecologie de l'université de Blida1. L'essai a constaté un type de biofertilisant à trois différentes doses à savoir (2ml, 5ml et 10ml) qui sont appliqués par application foliaire. L'apport est renouvelé chaque jour durant 09/03/2022 jusqu'au 15/05/2022 durant tout le cycle végétatif de la tomate (*Solanum lycopersicum*). A chaque palier d'apport de biofertilisant au stade levé des plantules vont être repiquées dans des pots en plastiques, les paramètres de croissance, et les traits morpho-physiologiques ont été estimés. Les résultats ont indiqué une différence hautement significative observée pour les plantes traitées par le biofertilisant au niveau la vitesse de croissance et la hauteur finales de la partie aérienne et la partie souterraine, la croissance de la surface foliaire et sur la biomasse sèche.

Mots clés : paramètres de croissance, paramètres morpho-physiologiques, biofertilisant, effet de doses.

Abstract:

Biofertilizers are considered alternative fertilizers that contribute to the development and growth of crops, also to increase the yield and quality of the fruit. To come back to this request. Our objective relates to the evaluation of the potentialities of type of bioproduct based on a mixture of trace element. Silicon in the form of ortho-silicic acid, these influences on the growth parameters of tomato (*Solanum lycopersicum*) under semi-controlled conditions at the level of the greenhouse of the experimental station of the department of biotechnology and Agro-Ecology of the university by Blida1. The trial appalled a type of biofertilizer has three different doses to see (2ml, 5ml and 10ml) which are applied by foliar application. The supply is renewed every day from 09/03/2022 until 15/05/2022 throughout the vegetative cycle of the tomato (*Solanum lycopersicum*). At each level of biofertilizer intake at the emergence stage, seedlings will be transplanted into plastic pots, the growth parameters, and the morpho-physiological traits have been estimated. The results indicated a highly significant difference observed for the plants treated with the biofertilizer at the level of the speed of growth and the final height of the aerial part and the underground part, the growth of the foliar surface and on the dry biomass.

Keywords: growth parameters, morpho-physiological parameters, biofertilizer, dose effect.

ملخص :

تعتبر الأسمدة الحيوية من الأسمدة البديلة التي تساهم في تنمية المحاصيل ونموها وزيادة غلة وجودة الثمار. للعودة إلى هذا الطلب. يتعلق هدفنا بتقييم إمكانات نوع المنتج الحيوي بناءً على مزيج من العناصر النزرة. السيليكون على شكل حمض أورثو سيليسيك، يؤثر على معاملات نمو الطماطم

(*Solanum lycopersicum*) في ظل ظروف شبه خاضعة للرقابة على مستوى الدفيئة بالمحطة التجريبية لقسم التكنولوجيا الحيوية والبيئة الزراعية بجامعة البليدة 1. أظهرت التجربة أن نوعاً من الأسمدة الحيوية يحتوي على ثلاث جرعات مختلفة (2 مل، 5 مل و 10 مل) يتم تطبيقها عن طريق الرش الورقي. يتم تجديد العرض كل يوم من 2022/03/09 حتى 2022/05/15 طوال الدورة الخضرية للطماطم (*Solanum lycopersicum*) في كل مستوى من مدخول الأسمدة الحيوية في مرحلة النشوء، سيتم زرع الشتلات في أواني بلاستيكية، وقد تم تقدير معاملات النمو والصفات الشكلية الفيزيولوجية. أشارت النتائج إلى وجود فرق معنوي كبير للنباتات المعالجة بالسماد الحيوي على مستوى سرعة النمو والارتفاع النهائي للجزء الجوي والجزء تحت الأرض ونمو السطح الورقي وعلى الكتلة الحيوية الجافة.

الكلمات المفتاحية: معاملات النمو، العوامل المورفولوجية الفسيولوجية، الأسمدة الحيوية، تأثير الجرعة.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction.....01

Partie bibliographie

Chapitre I : La physiologie végétale

I.1. Généralité sur la physiologie végétale.....03

I.2. Les paramètres de la physiologie végétal03

I .2.1. Nutrition et métabolisme03

I .2.1.1. Nutrition03

I .2.1.1.1. Nutrition hydrique.....03

I .2.1.1.2. Nutrition minérale.....04

I .2.1.1.2.1. Les éléments minéraux impliqués dans la nutrition.....04

I .2.1.1.2.1.1. Les macroélément.....04

I .2.1.1.2.1.2. Les microéléments.....04

I .2.1.2. Métabolisme (Photosynthèse).....04

I .2.1.2.1. Définition de la photosynthèse.....04

I.3. Croissance et développement de la tomate.....05

CHAPITRE II : LA CULTURE DE TOMATE ET LES BIOFERTILISANTS :

II.1. La culture de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	07
II.1.1. Généralité sur la tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	07
II.1.2. Classification botanique de la tomate.....	07
II.1.3. Description morphologique de la plante.....	07
II.1.3.1. Les graines.....	07
II.1.3.2 Le système racinaire.....	08
II.1.3.3. L'appareil végétatif.....	08
II.1.3.3.1. La tige.....	08
II.1.3.3.2. Les feuilles.....	08
II.1.3.3.3. Les fleurs.....	09
II.1.3.3.4. Les fruits.....	10
II.2. Les biofertilisants.....	10
II.2.1. Définition des biofertilisants.....	10
II.2.2. Les différents types des biofertilisants.....	10
II.2.2.1. Les Engrais.....	10
II.2.2.2. Les fumiers.....	11
II.2.2.3. Le compost.....	11
II.2.3. Les Intérêts des biofertilisants.....	11
II.2.4. Les inconvénients des biofertilisants.....	12
II.3. Stimulateurs de défense (SDN).....	12
II.3.1. Les éléments les plus importants des biofertilisants.....	13

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. L'objectif de l'expérience.....	15
I.2. Matériel végétal.....	15
I.3. Conditions expérimentales.....	15
I.3.1. Lieu de l'expérimentation.....	15
I.4. Substrat.....	16
I.4.1. La tourbe.....	16
I.5. Méthode d'étude.....	17

I.5.1. Dispositif expérimental.....	17
I.6. Piège à phéromone.....	18
I.7. Préparation du traitement.....	19
I.7.1. Description du biofertilisant utilisé.....	19
I.7.1.1. La composition.....	19
I.7.1.2. L'importance.....	19
I.8. Paramètres de croissance.....	20
I.8.1. Mesure de croissance en longueur de la partie aérienne.....	20
I.8.2. La surface foliaire.....	21
I.8.3. La mesure de la partie souterraine.....	22
I.8.4. Biomasse fraîche de la partie aérienne et souterraine (g).....	22
I.8.5. Biomasse sèche de la partie aérienne et souterraine (g).....	23
I.9. La formule de la biomasse sèche dans les plantes de tomate.....	23
I.10. Les analyses statistiques.....	25
I.10.1. Diagramme de ternaire (PAST vers. 1.91).....	25
I.10.2. Le teste One-Way ANOVA.....	25
I.10.3. Analyse multi variable PAST.....	25
I.10.4. Les boites à moustache.....	25
I.10.5. Logiciel DIGMIZER.....	25

Chapitre II : RESULTAT ET DESCUSSION

II.1. Suivi de l'état physiologique de la plante.....	26
II.1.1. Cas du taux d'infestation du ravageur <i>T. absoluta</i>	26
II.2. Effet de la fertilisation biologique sur les paramètres de croissance végétative.....	26
II.2.1. Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne de la plante (cm).....	27
II.3. Evaluation temporelle de l'effet des différentes doses d'application de bioproduit sur la croissance.....	28
II.4. Modulation de l'effet des différentes doses de bioproduit sur la croissance des plants de tomate.....	29
II.5. Evaluation temporelle de l'effet des différentes doses d'application de bioproduit sur la biomasse sèche.....	34

II.6. Influence de différentes doses de bioproduit sur les niveaux de croissance de la surface foliaire.....	35
II.7. Discussion générale.....	40
Conclusion.....	42
Référence bibliographiques.....	43

Liste des figures		Pages
Figure N°01 :	Schéma représentatif du cycle de développement de la tomate.....	06
Figure N°02 :	Le système racinaire de la tomate.....	08
Figure N°03 :	Tige de tomate.....	08
Figure N°04 :	Feuille de tomate.....	09
Figure N°05 :	Les fleurs de la tomate.....	09
Figure N°06 :	Les fruits de la tomate.....	10
Figure N°07 :	Schéma simplifié des mécanismes de défense induits chez les plantes.....	13
Figure N°08 :	La culture de tomate.....	15
Figure N°09 :	Localisation du lieu de l'expérimentation.....	16
Figure N°10 :	Le sac de la tourbe.....	16
Figure N°11 :	Les plantules de la tomate.....	17
Figure N°12 :	Vue générale du dispositif expérimental.....	18
Figure N°13 :	Piège à phéromone.....	19
Figure N°14 :	Le biofertilisant à base d'un mélange d'oligo-éléments. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique.....	20
Figure N°15 :	Les étapes de préparation du traitement.....	20
Figure N°16 :	Mesure de la longueur des tiges (cm).	21
Figure N°17 :	Estimation de la surface foliaire avec DIGMIZER VER 4.0	21
Figure N°18 :	Mesure de la longueur des racines.....	22
Figure N°19 :	La biomasse fraîche d'une plante de tomate portée par une balance de précision en (g).....	22
Figure N°20 :	La biomasse sèche d'une plante de tomate portée par une balance de précision en(g).....	23
Figure N°21 :	Schéma directeur de l'étude.....	24
Figure N°22 :	Individus capturés de <i>Tuta absoluta</i> par le piège à phéromone.....	26

Figure N°23 :	Evolution temporelle de la croissance des tiges des plantes de la tomate sous l'effet de différentes doses d'un bioproduit.....	28
Figure N°24 :	Effet de différentes doses de traitement sur la mesure de croissance de la partie aérienne.....	29
Figure N°25 :	Projection de la croissance des plants de tomate sous l'effet de différentes doses de bioproduit.....	30
Figure N°26 :	Etude comparée du différent paramètre traité par différents doses du traitement.....	31
Figure N°27 :	Effet de l'efficacité de bioproduit sur la croissance de la partie aérienne et le développement de la partie souterraine.....	32
Figure N°28 :	Taux de croissance des plantes de tomates selon la courbe polynomiale	33
Figure N°29 :	Effet de la croissance sur le développement racinaire pivotant sous l'effet des différents blocs selon la courbe polynomiale.....	34
Figure N°30 :	La biomasse sèche de la culture de tomate	35
Figure N°31 :	Projection de la surface foliaire des plants de tomate sous l'effet de différentes doses de bioproduit.....	36
Figure N° 32 :	Taux de croissance de la surface foliaire des plantes de tomates selon la courbe polynomiale.....	38

. Liste des tableaux

Tableau N°01 :	La composition de la tourbe.....	17
-----------------------	----------------------------------	----

Liste des abréviations

- BS 2 :** Premier bloc (2ml dans 10 litres d'eau)
- BS 5 :** Deuxième bloc (5ml dans 10 litres d'eau)
- BS 10 :** Troisième bloc (10 ml dans 10 litres d'eau)
- ACP :** Analyses en Composantes Principales

INTRODUCTION

Introduction :

Les cultures maraîchères, végétaux à usage alimentaire, constituent une alternative intéressante dans la lutte contre l'insécurité alimentaire dans la mesure où elles améliorent le régime alimentaire de la population.

La production moyenne du maraîchage a atteint 130,2 millions de quintaux dont 12,8 de tomates en 2017, soit une hausse significative, en maraîchage, de plus de 121% durant la période 2010-2017 par rapport à 2000-2009 (**Madr, 2018**).

L'agriculture maraîchère occupe de ce fait une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie Algérienne qui par ailleurs a généré près de 12.3% du produit intérieur brut (PIB) en 2017 et employé 10.4% de la population active en 2017 en Algérie (**Madr, 2018**).

Cependant, même si une nette évolution des superficies cultivées et des productions est observable ces dernières années, les rendements restent relativement faibles par rapport aux normes de production pour l'ensemble des cultures (**Madr, 2018**). Ces résultats sont imputables à plusieurs types de facteurs à savoir, abiotiques (facteurs liés au milieu en général, indépendant des êtres vivants) et biotiques (organismes vivants).

Outre leur sensibilité aux facteurs climatiques, les cultures maraîchères sont confrontées aux attaques de nombreux organismes vivants, des ravageurs de cultures parmi lesquels des arthropodes très dommageables, des maladies cryptogamiques et virales. Ces agents limitent de façon significative leur production, leur développement et leur dispersion (**Verolet et al., 2001**).

Parmi ces ravageurs majeurs figure la mineuse sud-américaine de la tomate, *Tuta absoluta* (**Urbaneja et al., 2007**). Cette espèce très invasive et polyphage fut signalée en Algérie pour la première fois en mars 2008 à Mostaganem (ville portuaire au Nord-Ouest du pays). Ensuite, elle s'est rapidement propagée au reste du pays occasionnant des pertes de production non négligeables à de nombreuses cultures à haute valeur ajoutée (**Guenoui, 2008**).

Les luttes biologique, physique et culturales sont des techniques développées concrètement sur le terrain en Algérie et ailleurs dans le monde (**Nollet et Rathore, 2017**). Des méthodes novatrices de stimulation des défenses naturelles de la plante se mettent également en place (**Regnault-Roger et al., 2012 et Campolo et al., 2017**). A cet effet, des études ont révélé que les métabolites secondaires des plantes remplissaient diverses fonctions écologiques dont un rôle de protection contre les attaques des agents pathogènes et des phytophages (**Freeman et al., 2008**). La plante possède donc des molécules bioactives dont les concentrations peuvent augmenter localement ou de façon systémique pour rendre les tissus plus résistants, nocifs ou

moins attractifs aux diverses et nombreuses attaques (**Kennedy, 2003 et Kang *et al.*, 2010 et Kant *et al.*, 2004**).

Les plantes de la famille des Solanacées, dont les tomates, sont particulièrement connues pour produire des métabolites secondaires volatils et non volatils, tels que des terpénoïdes, phénylpropanoïdes, flavonoïdes et composés phénoliques (**Bleeker *et al.*, 2009 et Oliveira *et al.*, 2009**) ayant des effets négatifs sur la survie, la croissance, la reproduction et d'autres paramètres de vie de diverses espèces d'arthropodes s'attaquant aux Solanacées (**Oriani et Vendramim, 2010 et Oliveira *et al.*, 2010**).

Les biofertilisants sont considérés comme des engrais alternatifs qui contribuent aussi bien à la fertilité et à la vie des sols qu'au développement et à la croissance des cultures et doit être raisonnée pour permettre une bonne alimentation de la plante et d'assurer la disponibilité de tous les éléments nécessaires à la plante en période de forte consommation. (**Laouedj, 2020**).

L'objectif général de notre travail est de contribuer à la gestion durable de l'effet de différentes doses de biofertilisant bioproduit à base d'un mélange d'oligo-élément. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique et ces influences sur les paramètres de croissance, la surface foliaire et aussi la biomasse sèche de la culture du tomate (*Solanum lycopersicum*).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LA PHYSIOLOGIE VÉGÉTAL

I.1. Généralité sur la physiologie végétale :

La physiologie végétal ou phytobiologie, est la science qui étudie le fonctionnement des organes et des tissus végétaux. Elle raconte comment les plantes utilisent l'énergie solaire pour assimiler le carbone et comment elles convertissent ce carbone en leur propre substance (**Hopkins, 2003**). Elle nous apprend comment les plantes prélèvent et répartissent les nutriments et l'eau et nous dit comment les plantes croissent et se développent, comment elles répondent à leur environnement, comment elles réagissent aux stress et comment elles reproduisent. En bref, la physiologie végétale nous apprend comment les plantes fonctionnent. Elle se divise en deux grandes parties :

- Nutrition et métabolisme.
- Croissance et développement (**Hopkins, 2003**)

I.2. Les paramètres de la physiologie végétal :

I.2.1. Nutrition et métabolisme :

I.2.1.1. Nutrition :

Pour que les végétaux poussent de manière optimale, ils ont besoin de lumière (qu'elle soit naturelle ou artificielle), d'une température stable et tempérée, d'une hygrométrie de l'air suffisante ainsi que d'une oxygénation satisfaisante des racines, enfin, d'une nourriture adéquate en suffisance composée d'eau, de sels minéraux et d'oligo-éléments (**Ziegler, 2008**).

L'absorption hydrominérale peut être définie par le prélèvement de l'eau et d'éléments minéraux du milieu par l'ensemble des racines du système racinaire et leur pénétration dans la plante qui se ferait principalement à travers le plasmalemme (membrane cytoplasmique). Il forme un canal d'origine flagellaire) des cellules corticales suivi de leur conduction vers la sève. Le système racinaire doit pouvoir assurer la fonction d'alimentation hydrominérale de la plante dans les meilleures conditions. La solution nutritive doit couvrir la totalité de ces besoins. Elle doit apporter l'eau et les éléments minéraux ainsi que l'oxygène nécessaires pour le fonctionnement du système racinaire. (**Morard, 1995 ; Vilain, 1993**).

I.2.1.1.1. Nutrition hydrique :

Martinez en (2000), souligne que les fonctions physiologiques vitales de la plante et son développement sont assurés par une source indispensable qui est l'eau. Elle est le constituant le plus abondant des végétaux. Elle représente jusqu'à 85-90% de matière fraîche (**Morard, 1995**).

L'eau intervient par ses propriétés physiques et mécaniques, mais aussi par ses propriétés chimiques. Ses rôles sont nombreux ; c'est le moyen de transport des éléments nutritifs des sèves brute et élaborée et rentre dans plusieurs réactions du métabolisme cellulaire (**Lafont et al., 1996**).

Les mêmes auteurs indiquent que la teneur en eau des tissus varie selon : les espèces, les tissus, sa rigidité et leurs âges, l'intensité du métabolisme cellulaire et de la croissance, du transport des éléments minéraux et la régulation thermique grâce à l'évapotranspiration. Les conditions climatiques sont responsables de la consommation variable des plantes en eau, ou

l'abaissement de la température des racines au-dessous d'un certain seuil réduit fortement l'absorption d'eau (Cornillon, 1985 In. Saou, 2013).

I .2.1.1.2 Nutrition minérale :

La nutrition minérale se définit comme l'ensemble des processus biologiques qui permettent aux végétaux d'assimiler – essentiellement par leurs racines – les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : développement, croissance et reproduction (Morot, 2020). Les plantes représentent la principale voie d'entrée des ions minéraux nutritifs, issus du sol, dans la biosphère et les chaînes alimentaires qui conduisent à l'homme. Sur le plan appliqué, les connaissances acquises dans ce domaine sont utilisées pour gérer au mieux la fertilisation des cultures, de façon rationnelle sur le plan socio-économique, et de façon durable sur le plan écologique (Morot, 2020).

I .2.1.1.2.1. Les éléments minéraux impliqués dans la nutrition :

Outre le carbone (C) – assimilé par la photosynthèse à partir du CO₂ présent dans l'air – et l'hydrogène (H) et l'oxygène (O), qui sont les constituants de l'eau et de l'atmosphère, les éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes sont prélevés le plus souvent par les racines sous forme d'ions positifs (les cations) ou négatifs (anions) ; ces ions sont classés selon leur abondance relative en deux catégories : les macroéléments et les microéléments (Morot, 2020).

I .2.1.1.2.1.1 Les macroéléments :

Le potassium K, le calcium Ca⁺ et le magnésium Mg⁺ sont prélevés du sol sous forme de cations simples K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Le phosphore est prélevé sous forme d'ortho phosphate H₂PO₄⁻ et de pyrophosphate HPO₄²⁻ (suivant le pH du sol) et le soufre (S) l'est sous forme de sulfate SO₄²⁻. L'azote (N) est prélevé sous forme de nitrate NO₃⁻ ou d'ammonium NH₄⁺. Chacun représente au moins 0,1 % et généralement 2 % au plus de la matière sèche de la plante. Les cations simples K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ permettent de compenser les charges négatives des molécules organiques chargées négativement, suite à la présence d'atomes d'oxygène (Marot, 2020).

I .2.1.1.2.1.2. Les microéléments :

Le chlore (Cl) est prélevé du sol sous forme d'anion Cl⁻, et le bore (B) en milieu alcalin sous forme de borate B(OH)₄. Le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo) et le nickel (Ni) sont prélevés sous forme de cations, Fe²⁺ ou Fe³⁺ (selon les espèces), Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, MoO₄²⁻ et Ni²⁺. Leur concentration dans les tissus végétaux varie de 0,01 % pour le chlore Cl et le fer Fe³⁺, à 0,00001 % pour le nickel et le molybdène (Marot, 2020).

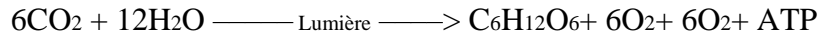
I .2.1.2. Métabolisme (Photosynthèse) :

I .2.1.2.1. Définition de la photosynthèse :

La photosynthèse est un ensemble de réactions permettant aux végétaux de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique utilisable pour la synthèse de matière organique. Lors de ce processus, les glucides (C₆H₁₂O₆) sont obtenus suite à l'assimilation du dioxyde de

carbone (CO₂). Ce processus est rendu possible grâce à l'ensemble des réactions produisant le pouvoir réducteur (NADPH) et une source d'énergie (ATP) issue, à la base, de la photolyse de l'eau couplée à un dégagement d'oxygène (**Whitmarsh et Govindjee, 1999**).

La photosynthèse se résume par l'équation suivante :



I.3. Croissance et développement de la tomate :

On distingue 4 phases pour le cycle végétatif de la tomate :

❖ Phase de germination :

Les graines germent en 6 à 8 jours après le semis à la température optimale du sol (20 à 25C°) (**Van der vossen *et al.*, 2004 In Labeled et Bentamra, 2018**).

Au-dessus du sol apparaissent la tigelle et deux feuilles cotylédonaire simples et opposées. Dans le sol, la radicule possède un manchon de poils absorbants bien visible (**Labeled et Bentamra, 2018**).

❖ Phase de croissance :

C'est la phase où la plante émet plus de racines et développe sa partie aérienne par l'émission des paires de feuilles. La radicule s'allonge et prend l'aspect d'un filament blanchâtre sur lequel apparaissent des racines secondaires. Les deux premières vraies feuilles apparaissent vers le 11ème jour. Elles ne sont bien développées que vers le 20ème jour. Au bout de premier mois environ, il y a 3 à 4 paires de feuilles (**Labeled et Bentamra, 2018**).

❖ Phase de floraison :

La première inflorescence, apparaît deux mois et demi environ après le semis. Les autres inflorescences vont apparaître au-dessus de la première, entre deux inflorescences, un nombre variable de feuilles. La floraison s'échelonne donc de bas en haut (**Labeled et Bentamra, 2018**).

❖ Phase de fructification et de maturation :

Elle débute durant la phase de floraison. Elle commence par la nouaison des fruits de l'inflorescence de base et se poursuit par les inflorescences supérieures au fur et à mesure de l'apparition des inflorescences et de la fécondation des fleurs. Les fleurs se développent, grossissent et après avoir atteint leur taille définitive, ils commencent par perdre leur coloration verte au profit du jaune puis au rouge de plus en plus accentué. Cette phase dure environ deux mois, soit de quatre à six mois après le semis. La durée du cycle végétatif complet de la tomate est de 4 à 5 mois environ pour les semis directs en pleine terre et de 5 à 6 mois pour les plants repiqués. En contre saison, le cycle végétatif s'allonge et il peut atteindre 7 mois (**Labeled et Bentamra, 2018**).

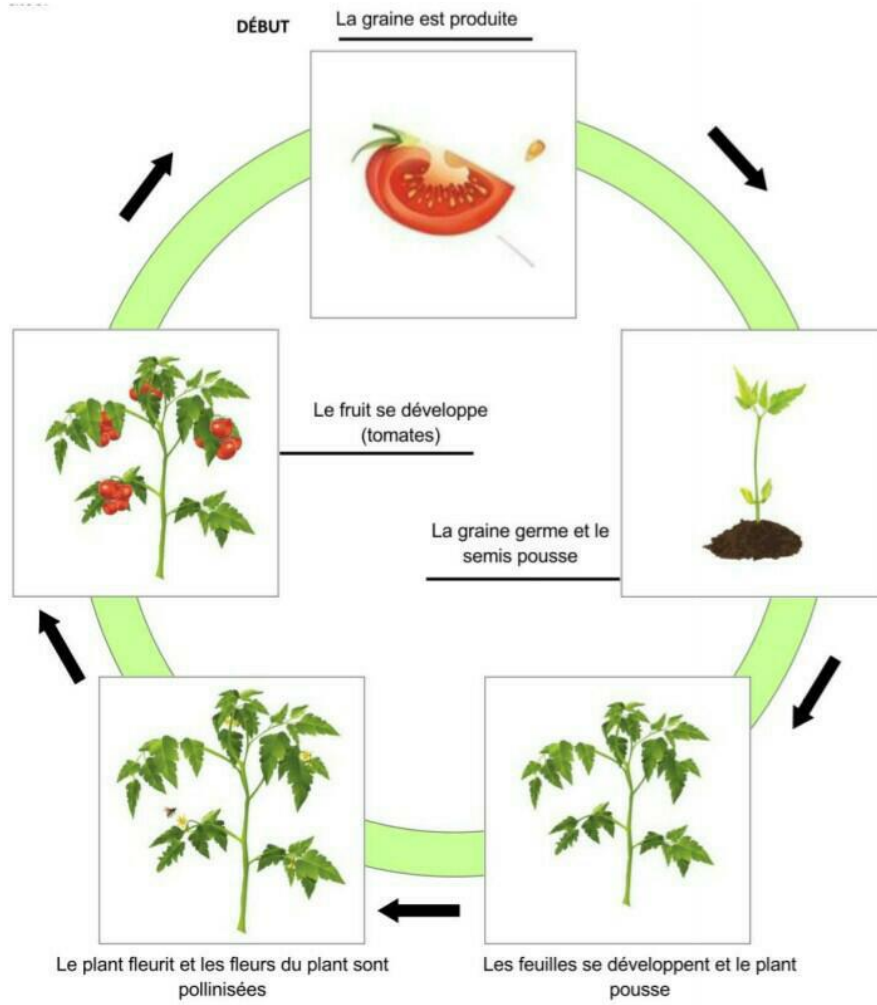


Figure N° 01 : Schéma représentatif du cycle de développement de la tomate (Labeled et Bentamra, 2018).

CHAPITRE II : LA CULTURE DE TOMATE ET LES BIOFERTILISANTS

II.1. La culture de tomate (*Solanum lycopersicum*) :

II.1.1. Généralité sur la tomate (*Solanum lycopersicum*) :

La tomate est une espèce de plantes herbacées de la famille des Solanacées. Cette culture est répandue dans le monde entier, 90% de la production mondiale est obtenue dans l'hémisphère nord (Bassin Méditerranéen, Californie et Chine). Il existe plus de 4000 variétés de tomate ; certaines sont résistantes aux maladies et à d'autres facteurs (biotiques et abiotiques), d'autres sont différentes par les caractéristiques de leurs fruits, leur précocité et leur type de croissance (indéterminé ou déterminé) (Celma *et al.*, 2009 in. Laouedj 2020)

Selon le même auteur, la tomate est une culture à cycle assez court, donne un haut rendement et elle présente de bonnes perspectives économiques. Elle est cultivée aussi bien pour la consommation fraîche que pour la transformation industrielle.

II.1.2. Classification botanique de la tomate :

La tomate (*Solanum Lycopersicum*) est une plante de la famille des solanacées, comme la pomme de terre qui a la même origine géographique (Jean-Marie, 2007 in Boudouane. I,2017).

Elle appartient à la classification suivante :

Règne :..... Plantae.

Sous-règne : Tracheobionta.

Division :Magnoliophyta..

Classe :.....Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre:.....Solanales.

Famille:.....Solanacées.

Genre:.....Solanum

Espèce:*Solanum lycopersicum*

II.1.3. Description morphologique de la plante :

II.1.3.1. Les graines :

Les pépins sont entourés d'une sorte de mucilage provenant de la gélification de l'enveloppe de la graine (Polese, 2007).

Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen.1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (shankara *et al.*, 2005).

II.1.3.2 Le système racinaire :

Le système racinaire est puissant, très ramifié à tendance fasciculée. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à 1 mètre de profondeur (Chaux et Foury, 1994).



Figure N° 02 : le système racinaire de la tomate (blancard, 2009)

II.1.3.3. L'appareil végétatif :

II.1.3.3.1. La tige :

La tige principale constitue un puissant pivot sur lequel se développent des ramifications secondaire et tertiaire pour donner au final un aspect buissonnant. Les tiges sont herbacées presque ligneuses, de couleur verte pourvus de poils blanchâtres et elles portent les feuilles, fleurs et fruits. Les tiges des plants à croissance déterminées arrêtent à une longueur estimée entre 60 et 80 cm, alors que celle des plants à croissance indéterminée arrive à 1,40-1,60 m, voire 2 mètres (Shankara *et al.*, 2005).

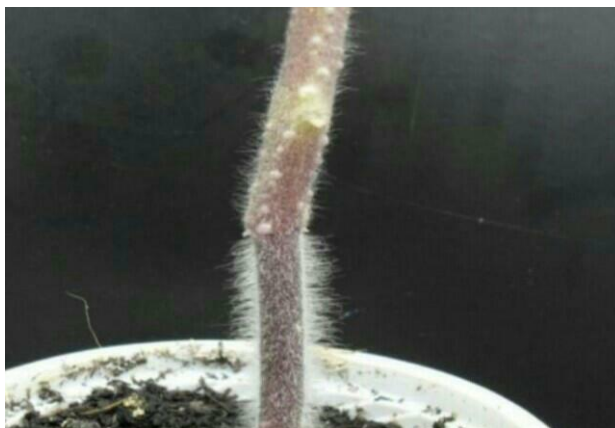


Figure N° 03 : Tige de tomate (Naika *et al.*, 2005)

II.1.3.3.2. Les feuilles :

Les feuilles de la tomate sont odorantes composées (El fadl et Chtaina, 2010).

Elles répondent une odeur spécifique lorsqu'on froisse, grâce à une sécrétion dégagée par les petits poils qui recouvrent la plante. (Kolev, 1976)

Les feuilles sont imparipennées avec des folioles les plus ou moins dentées (Blancard *et al.*, 2009).

Selon (Shankara *et al.*, 2005). Les feuilles sont disposées en spirale, elles sont de 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées a oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm.



Figure N° 04 : Feuille de tomate (krid et messati, 2013)

II.1.3.3.3. Les fleurs :

Les fleurs sont hermaphrodites et groupées en bouquet de 03 à 08 fleurs, elles sont composées de 05 pétales, 05 sépales de couleur jaune vif, de 05 étamines et de 2 carpelles (OURCHENE, 2019).



Figure N° 5 : Les fleurs de la tomate (krid et messati, 2013)

II.1.3.3.4. Les fruits :

Les fruits sont en forme de grosses baies charnues à placentation centrale. Ils sont rouges à maturité, à peau lisse et plus ou moins arrondis suivant les variétés. Ceux-ci contenant des semences blanches, plates, rondes, à albumen charnu et à embryon Dicotylédone compte de 2 à 3 grammes pour 1000 graines. Le nombre de graines dans un fruit varie de 50 à 350 graines (Clause, 1987 in. OURCHEN, 2019).



Figure N° 06 : Les fruits de la tomate (krid et messati, 2013)

II.2. Les biofertilisants :

II.2.1. Définition des biofertilisants :

Les biofertilisants peuvent également être appelés « biostimulants », « stimulateurs de croissance et/ou développement », « activateurs de sol » ou encore « phytostimulants » (Faessel *et al.*, 2015).

D'après la définition retenue par l'EBIC (European Biostimulants Industry Council) un biofertilisant est : « un matériel qui contient une (des) substance(s) et/ou microorganisme(s) dont la fonction, quand ils sont appliqués aux plantes ou à la rhizosphère, est de stimuler les processus naturels pour améliorer/avantager l'absorption des nutriments, l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, et la qualité des cultures, indépendamment du contenu en nutriments du biostimulant » (European Biostimulants Industry Council). Cette approche inclut une large gamme de micro-organismes comme par exemple les rhizobactéries, les cyanobactéries, et les champignons mycorhiziens. Ceux-ci sont utiles pour la croissance, le rendement, l'assimilation de nutriments et la défense des plantes face à différents stress en déclenchant différents gènes liés à la croissance et la défense (Fruchart, 2016).

II.2.2. Les différents types des biofertilisants :

II.2.2.1. Les Engrais :

L'engrais est toute matière naturelle ou manufacturée, sèche ou liquide, ajoutée au sol afin d'apporter un ou plusieurs nutriments végétaux (**Subhash, 2014**).

Ces produits contenant un ou plusieurs éléments végétaux essentiels qui, lorsqu'ils sont ajoutés à un système sol / plante, facilitent la croissance des plantes et / ou augmentent la productivité en fournissant des éléments essentiels supplémentaires à l'usage des plantes (**Benton et Jones, 2012**).

II.2.2.2. Les fumiers :

Le fumier est une excellente source de nutriments pour les plantes, car la plupart de ce que mangent les animaux provient des plantes, et la plupart de ce que mangent les animaux passe dans les excréments. Les propriétés physicochimiques et biologiques du fumier font un amendement du sol vraiment incroyable (**Mark, 2015**).

Selon **Gérald et al., (2011)** les fumiers stimulent en quantité et en activité la biomasse du sol et augmentent la minéralisation de l'azote. En effet, l'activité des micro-organismes (mesure de l'activité enzymatique) et le niveau de minéralisation de l'azote sont favorisés. Les effets s'expriment sur une courte durée (1 année culturale). Dans ce cas ces derniers influent moins sur le stock en carbone organique du sol (**Gérald et al., 2011**).

II.2.2.3. Le compost :

Le compost est une matière brunâtre qui ressemble à du terreau, il provient de la décomposition contrôlée des matières organiques par des millions d'organismes vivant, depuis les bactéries microscopiques jusqu'aux vers de terre (**Smeesters, 1993**).

C'est une source importante de matière organique produite par la dégradation ou la décomposition de la matière organique fraîche par les micro-organismes (**Petit et Jobin, 2005**).

D'insectes et de vers de terre (**Duplessis, 2002**) dans des conditions bien définies. Le compost est un des éléments fondamentaux de la culture biologique, car il représente le moyen le plus rationnel d'utiliser les déchets végétaux de toutes sortes qui s'obtient par empilement dans un coin, ceux-ci sont retournés régulièrement pour activer la fermentation. L'application de ces techniques conduit au bout de trois à six mois à la formation d'un compost mûr (**Hargrovet, 2008**).

Ainsi, les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires et les déchets industriels appropriés, peuvent être appliquées aux sols en tant que fertilisants, une fois le processus de compostage est terminé (**Petit et Jobin, 2005**).

II.2.3. Les Intérêts des biofertilisants :

De nombreux agriculteurs sont engagés dans une démarche d'agriculture respectueuse de l'environnement. Pour mener à bien leurs cultures, des solutions alternatives sont mises à leur disposition, parmi lesquelles les biofertilisants, car ils disposent de nombreux avantages :

- ❖ Amélioration de l'état nutritionnel des cultures
- ❖ Meilleure structuration des sols
- ❖ Production de molécules bénéfiques au développement de la plante
- ❖ Meilleure résistance aux stress abiotiques

- ❖ Rendre les plantes plus actives
- ❖ Améliorer la qualité du sol, le rendement et en vue de cultiver des légumes et des fruits de bonne qualité.
- ❖ Stimuler les processus naturels pour améliorer l'absorption des nutriments
- ❖ Permet d'apporter une réponse concrète aux enjeux actuels, et constitue une alternative naturelle à l'utilisation d'engrais chimiques,
- ❖ Stimuler la croissance des plantes, ils agissent notamment sur les réserves de nutriments immobilisés dans le sol.
- ❖ Répondre aux contraintes environnementales
- ❖ Stimuler le potentiel nutritif du sol
- ❖ Conserver la rentabilité de votre exploitation (**mohanty et al., 2013 in. Laouedj 2020**). (**Demoulin et leymergie, 2009**).

II.2.4. Les inconvénients des biofertilisants :

Biofertilisants nécessitent des soins spéciaux pour le stockage à long terme parce qu'ils sont vivants, ils doivent être utilisés avant leur date d'expiration. Si d'autres micro-organismes contaminent le milieu de support ou si les producteurs utilisent la mauvaise souche, ils ne sont pas aussi efficaces, le sol doit contenir des nutriments adéquats pour les organismes de biofertilisants de prospérer et de travailler. Biofertilisants complètent d'autres engrais, mais ils ne peuvent pas remplacer totalement. Biofertilisants perdent leur efficacité si le sol est trop chaud ou sec. Sols excessivement acides ou alcalins entravent également la croissance réussie des micro-organismes bénéfiques., en outre, ils sont moins efficaces si le sol contient un excès de leurs ennemis naturels microbiologiques. Les pénuries de souches particulières de micro-organismes ou de la meilleure moyenne de plus en plus de réduire la disponibilité de certains biofertilisants (**Laouedj, 2020**).

II.3. Stimulateurs de défense (SDN) :

Une SDN est une molécule biologique capable de déclencher les événements moléculaires, biochimiques et cytologiques menant à l'expression de la résistance chez une plante. Son mode d'action est totalement nouveau puisqu'il rend les plantes plus résistantes aux maladies en stimulant leurs mécanismes de défense naturelle. Une SDN est une molécule biologique capable de déclencher les événements moléculaires, biochimiques et cytologiques menant à l'expression de la résistance chez une plante. Il s'agit donc d'une sorte de « vaccin » susceptible d'activer le « système immunitaire » de la plante de telle sorte qu'une plante initialement sensible à un agent pathogène devienne résistante (**Benhamou et Rey, 2012**).

En effet, dans le milieu industriel, les experts du Réseau Mixte Technologique RMT Elicitra, définissent comme SDN toute substance ou tout micro-organisme vivant non pathogène qui, appliqué sur une plante, est capable de promouvoir un état de résistance significativement plus élevé par rapport à une plante non traitée, face à des stress biotiques. Une SDN n'agit pas directement sur les bio-agresseurs. Il est perçu par la plante comme un message d'alerte. Celle-ci va réagir en préparant ou en mettant en place différents mécanismes de défense qui vont l'aider à mieux résister aux attaques (**Berthelot et al., 2018**).

Les SDN ne sont pas des inhibiteurs de croissance, car trop souvent sont accusés de détourner le métabolisme de la plante. Du fait, les SDN ont naturellement un coût pour

l'organisme, sinon ils n'auraient aucun effet : toute activation des mécanismes de défense mobilise de l'énergie, mais ce coût énergétique est très inférieur à l'impact délétère des maladies (**Berthelot et al., 2018**).

Par ailleurs, il faut prendre garde aux limites entre SDN et biostimulants, la frontière réglementaire est assez claire, car une SDN revendique un effet sur un bioagresseur (agent pathogène ou ravageur) et est soumise à une autorisation de mise sur le marché (AMM), alors qu'un biostimulant, comme son nom l'indique, stimule le développement des plantes et leur permet de mieux supporter des stress abiotiques (stress salin, stress hydrique, froid...etc.). Or, la procédure pour les produits de fertilisations, que sont les biostimulants, est beaucoup plus souple (**Berthelot et al., 2018**).

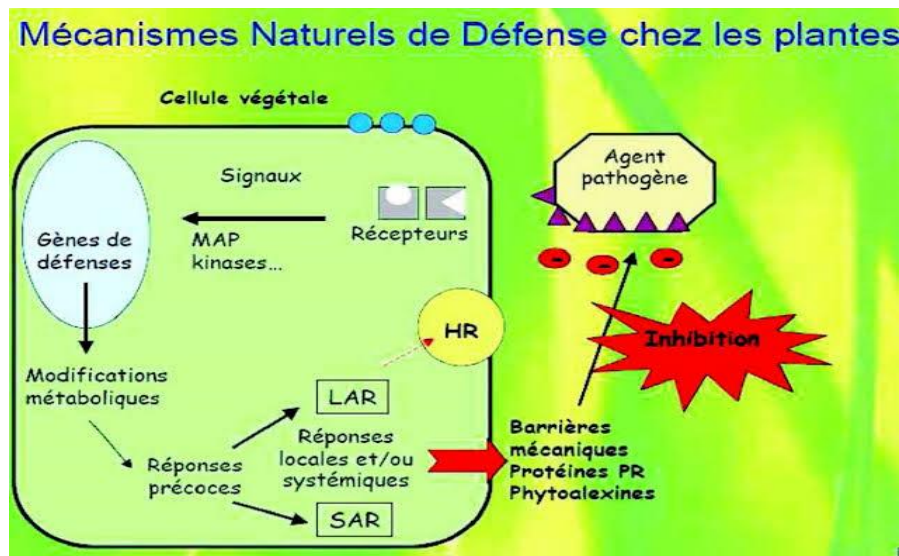


Figure N° 07 : Schéma simplifié des mécanismes de défense induits chez les plantes (**Maille, 2018**)

II.3.1. Les éléments les plus importants des biofertilisants :

- Le biofertilisant peut, d'une manière significative, influencer la croissance et la productivité des plantes (**SINHA et al., 2009**). En raison de leurs éléments, vitamines, enzymes et hormones micro et macro (**MAKULEC, 2002**). Les biofertilisants enrichissent le sol grâce à son statut nutritif contenant : 9,15 - 17,98% carbone organique, 0,5 -1,5% d'azote total, 0,1 - 0,3% de phosphore disponible, 0,15% de potassium disponible, 22,70 - 70 mg/100 g de calcium et de magnésium.
- Ils pourraient agir directement sur le métabolisme primaire mais aussi sur le métabolisme secondaire.
- Les biofertilisants influencent sur l'incidence et les dommages des ravageurs (**Albuzio et al., 1994**).
- Les biofertilisants sont connus pour fournir un modèle de libération nutritionnelle lent et équilibré aux plantes, en particulier la libération de N soluble dans la plante, K soluble, Ca échangeable, Mg et P (**Edwards et al., 1988**).

- Ils stimulent l'activité photosynthétique et augmentent les réserves énergétiques.

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. L'objectif de l'expérience :

L'objectif de notre travail est de suivre de l'évaluation de la physiologie végétale d'une culture du tomate (*Solanum lycopersicum*) sous l'effet d'application d'un biofertilisant à base d'un mélange d'oligo-éléments silicium sous forme d'acide ortho silicique et ces influences sur la croissance, le développement et l'état phytosanitaire.

I.2. Matériel végétal :

Le matériel végétal est constitué d'une variété de tomate type cerise (*Solanum Lycopersicum*) vigoureuse, au port indéterminé (Figure n°08). Feuilles de petite taille et surtout les fruits rappelant la forme d'une cerise, à la taille et au poids réduits, qui se présentent en petites grappes florales très ramifiées portant de nombreux fruits.



Figure N° 08 : La culture de tomate (Original, 2022).

I.3. Conditions expérimentales :

I.3.1. Lieu de l'expérimentation :

Notre expérience s'est déroulée au niveau de la station expérimentale du département de biotechnologie et Agro- Ecologie de l'université de Blida1 (Figure n°09). Notre essai a été réalisé dans une serre en polycarbonate destinée à protéger du froid les plantes et à favoriser la croissance des cultures en créant des conditions climatiques plus favorables que le climat externe. Elle est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autre, l'expérimentation a duré depuis le mois de mars jusqu'à la fin de mai 2022.

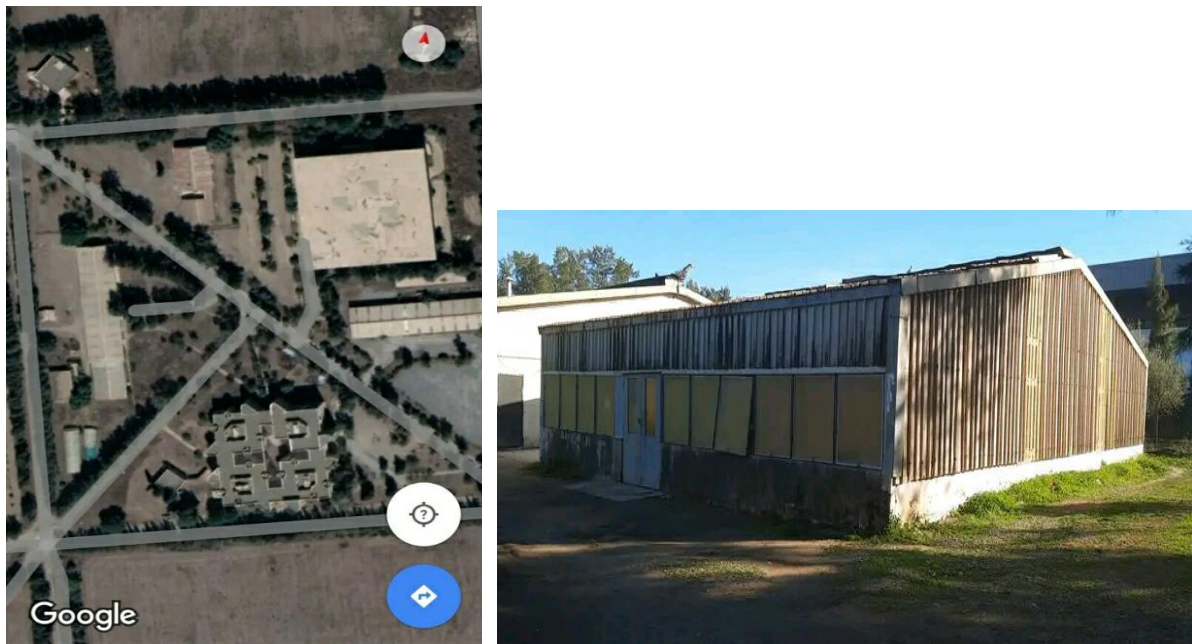


Figure N° 09 : Localisation du lieu de l'expérimentation (Originale, 2022).

I.4. Substrat :

I.4.1. La tourbe :

La tourbe est un type d'humus formé en anaérobiose permanente ou presque permanente. C'est une couche souvent de plusieurs mètres dont l'humification ne s'effectue que partiellement surtout après un assèchement superficiel des sites humides (Duchaufour, 1977). C'est une tourbe noire de sphaigne moyennement décomposée d'origine Allemande qu'on appelle PREMIUM (Figure n°10), elle est utilisée pour la production de jeunes plants maraichers. La tourbe noire de sphaigne joue un rôle de réservoir hydrique grâce à son excellente capacité de rétention en eau et tient une place importante dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes. Elle contribue également à la formation d'un complexe argilo humique.



Figure N°10 : Le sac de la tourbe (original, 2022).

Tableau N° 01 : la composition de la tourbe.

<u>Composition</u>	<u>Valeurs</u>
Matière organique	80-950%
PH	4,5- 6,5
Mesure d'humidité	40- 65%
C / N	1 :37
Densité	305kg/m ³
Degré de saturation en eau	627/ 100g
Tourbe noire de sphaigne	60%
Tourbe blanche de sphaigne	40%

I.5. Méthode d'étude :

I.5.1. Dispositif expérimental :

Au cours de notre essai nous avons envisagé de tester l'efficacité d'un bioproduit (biofertilisant) sur la culture du tomate (*Solanum Lycopersicum*). Les plantules ont été semis directement dans des petits pots en plastique remplis en tourbe.



Figure N°11 : Les plantules de la tomate (original, 2022).

Le dispositif expérimental est selon trois blocs, chaque bloc constitué d'une dose différent et un bloc témoin. Ces blocs continents de quatre répétitions.

Les blocs sont distants de 10cm les uns des autres. Les plantules sont irriguées régulièrement :

- Bloc 1 : traiter par eau seulement (Témoin, application racinaire).
- Bloc 2 : traiter par 2ml --> 10L d'eau ; application journalière, foliaire par pulvérisation.
- Bloc 3 : traiter par 5ml --> 10L d'eau ; application journalière, foliaire par pulvérisation.
- Bloc 4 : traiter par 10ml --> 10L d'eau ; application journalière, foliaire par pulvérisation.



Figure N°12 : Vue générale du dispositif expérimental (Originale, 2022).

I.6. Piège à phéromone :

Ces appareils de captures sont des récipients transparents, opaques ou colorés, remplis d'eau contenant une petite quantité de détersif, jouant le rôle de mouillant. Ces récipients sont placés aussi près que possible de la végétation, soit sur des plateaux fixés à des piques ou directement aux branches s'il s'agit de piéger dans une frondaison (**Leberre et Roth, 1973**).

Le piège à phéromone est déposé à la base de la culture de la tomate. Nous comptons le nombre de papillons mâles de *Tuta absoluta* capturés pour chaque semaine. Les capsules de phéromone pour *T. absoluta* sont renouvelées toutes les 4 semaines.



Figure N°13 : Piège à phéromone (original, 2022).

I.7. Préparation du traitement :

I.7.1. Description du biofertilisant utilisé :

Ce bioproduit est à base d'un mélange d'oligo-éléments. Silicium sous forme d'acide orthosilicique.

I.7.1.1. La composition :

- Oxyde de silicium (SiO_2) 2%.
- Molybdène (MO) soluble dans l'eau 0,03%.
- Zinc (Zn) soluble dans l'eau.

I.7.1.2. L'importance :

- Tolérance aux stress abiotique.
- Mobilisateur des nutriments.
- efficacité de l'engrais
- Conservation post-récolte.
- modifie la fonction de l'état hydrique nutritionnel et du stade phénologique de la culture.



Figure N°14 : Le biofertilisant à base d'un mélange d'oligo-éléments. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique (Originale,2022).

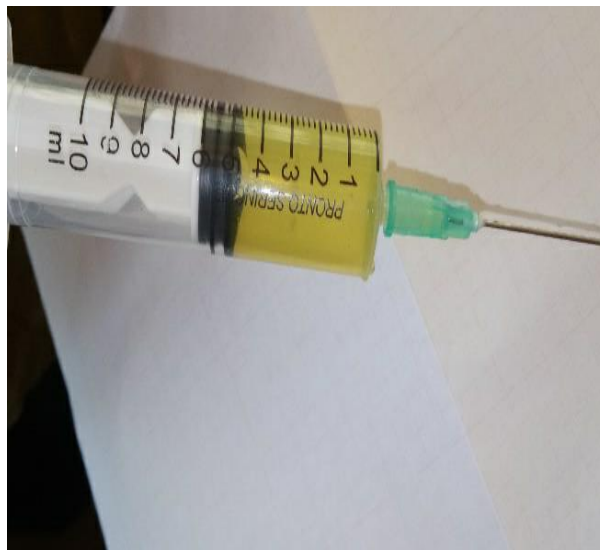


Figure N°15 : Les étapes de préparation du traitement (Originale,2022).

I.8. Paramètres de croissance :

I.8.1. Mesure de croissance en longueur de la partie aérienne :

La mesure de la longueur de la partie aérienne est évaluée après les prélèvements de quatre répétitions aléatoires de chaque bloc, la longueur de la tige, la partie aérienne est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse à lecture digitale (SYLVAC).



Figure N° 16 : Mesure de la longueur des tiges (cm).

I.8.2. Mesure de la surface foliaire :

Le principe consiste à étaler les feuilles, en faisant apparaître clairement les rebordes. Nous calculons la moyenne de trois feuilles dans chaque plantes les feuilles ainsi étalées sont en photos par un téléphone smartphone par la suite nous avons traités par le logiciel image **DIGMIZER**. Afin d'évaluer la surface foliaire (figure 17).

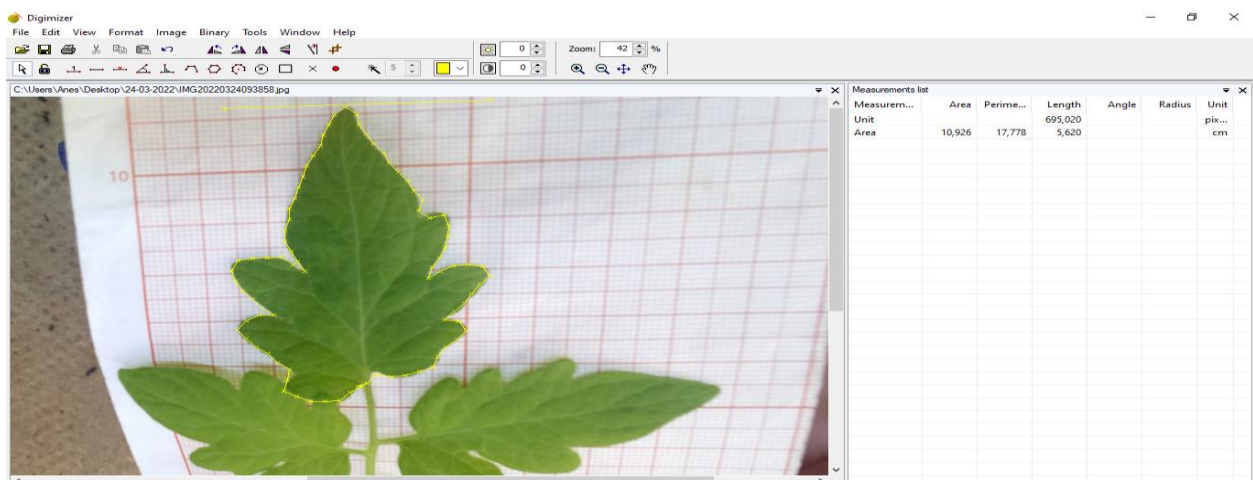


Figure N°17 : Estimation de la surface foliaire avec **DIGMIZER** VER 4.0.(Originale, 2022).

I.8.3. La mesure de la partie souterraine :

La mesure de la partie souterraine a été faite à l'aide d'un papier millimétré, après lavé soigneusement de ces derniers du substrat.



Figure N°18 : mesure de la longueur des racines (Originale, 2022).

I.8.4. La mesure de biomasse fraîche de la partie aérienne et souterraine (g) :

La biomasse fraîche de la partie aérienne et souterraine exprimées en gramme a été effectuées par pesées les deux parties avec une balance de précision (BCE-BS 6000).



Figure N° 19 : La biomasse fraîche d'une plante de tomate portée par une balance de précision en (g).

I.8.5. Mesure de biomasse sèche de la partie aérienne et souterraine (g) :

La biomasse sèche produite a été mesurée après le dessèchement des poids frais des tiges et des feuilles et des racines de chaque bloc. La dessiccation a été réalisée dans une étuve réglée à 75° jusqu'à stabilité du poids sec qui est réduit à 1/10^{ème} de sa valeur souterraine l'eau liée.



Figure N° 20 : La biomasse sèche d'une plante de tomate portée par une balance de précision en (g).

I.9. La formule de la biomasse sèche dans les plantes de tomate :

La mesure de la teneur en eau d'un végétal est donnée par la formule suivante :

$$\Theta = (MF-MS) / MF * 100$$

Tel que : Θ : teneur en eau %

MF et MS : matière fraîche et matière sèche. (Cheniti, 2016).

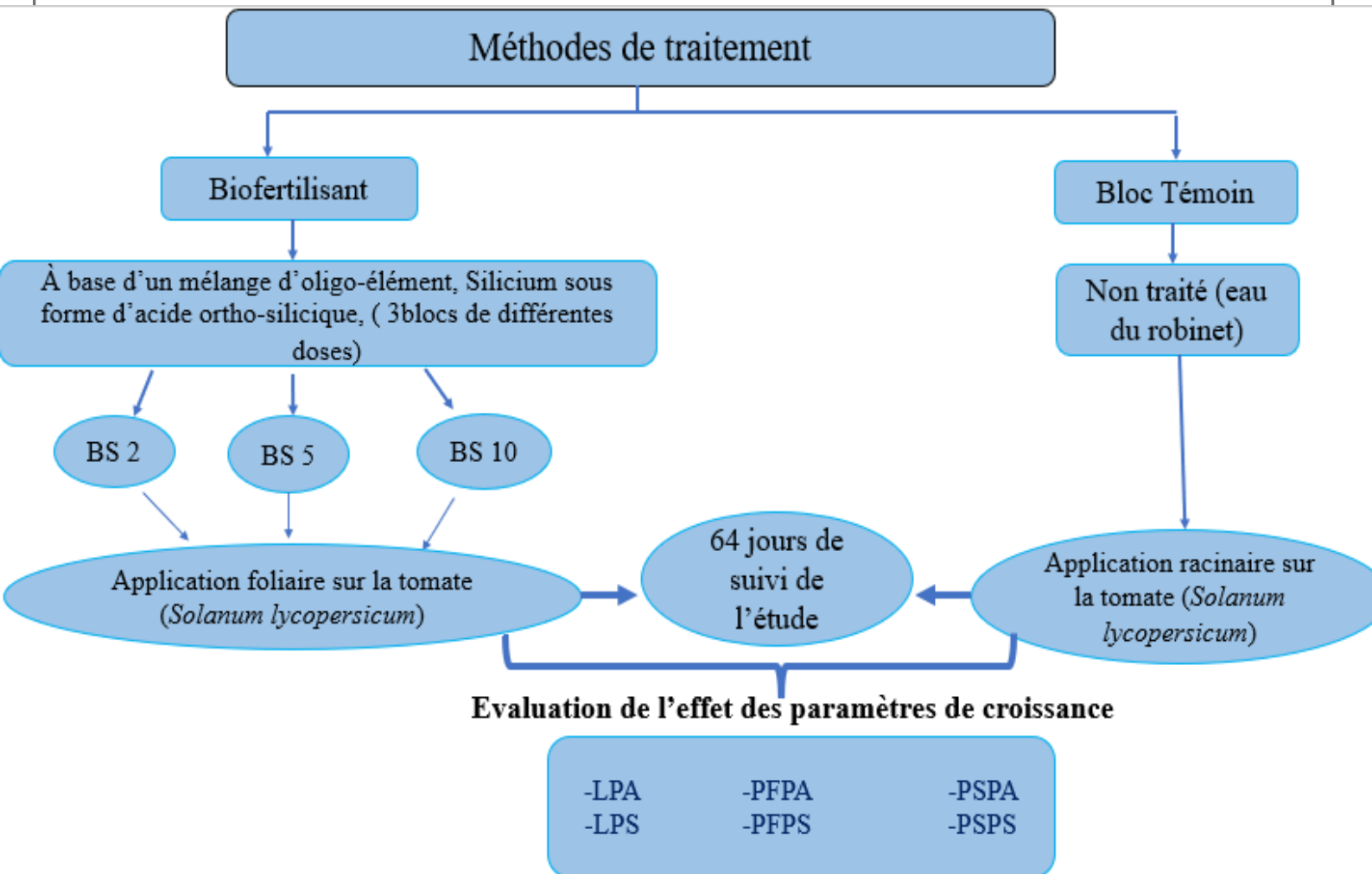


Figure N°21 : Schéma directeur de l'étude.

I.10. Les analyses statistiques :

Les valeurs moyennes des poids et des mesures sont présentées par des graphes pour visualiser les différences entre les doses. Le plus souvent ce type de graphique est réalisé par Excel.

I.10.1. Diagramme de ternaire (PAST vers. 1. 91) :

Dans le cas d'une comparaison quantitative entre 3 variables, les points d'intersection sont étudiés à l'aide d'un diagramme ternaire, la comparaison concerne la valorisation quantitative entre les 3 variables:(2ml, 5ml, 10ml) (**Hammer et al., 2001**).

I.10.2. Le teste One-Way ANOVA:

Les résultats présentés sous forme de courbe, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes, ces derniers ont été réalisés par le logiciel Excel. Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative va significativement selon les conditions (traitement, température, temps), la détermination de la variance à l'aide du teste One-Way ANOVA (teste de comparaison par paires) dans les conditions paramétriques, les différences ont été considérées significatives à $p < 0,05$. Le déroulement des tests a été réalisés par le logiciel PAST, version (**Hammer et al., 2001**).

I.10.3. Analyse multi variable PAST vers (Hammer et al., 2001) : Dans le cas de variables quantitatives, les relations multi variées sont étudiées à l'aide d'une analyse en composantes principales (A.C.P), l'exploitation des résultats a fait appel une analyse multi variée (A.C.P).

I.10.4. Les boites à moustache :

Est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une statistique quantitative. La boite à moustache résume seulement quelques caractéristiques de position du caractère étudié (médiane, quartiles, minimum, maximum ou déciles). Ce diagramme est utilisé principalement pour comparer un même caractère dans deux populations de taille différentes.

I.10.5. Logiciel DIGMIZER :

La croissance en longueur des plants a été estimée par la même procédure. Les plants ont été étalés, puis pris en photo prise par un téléphone Smartphone, par la suite nous avons traités par le logiciel **DIGMIZER** Afin d'évaluer la longueur finale totale.

Chapitre II : RESULTAT ET DISCUSSION

II.1. Suivi de l'état physiologique de la plante

II.1.1. Cas du taux d'infestation du ravageur *T. absoluta* :

Nos résultats signalent que les échantillons des feuilles n'ont pas été attaqués par les larves de *Tuta absoluta*. Sachant qu'on a installé le piège à phéromone de *T. absoluta* après la mise en place de notre culture de 20 jours.

Le comptage a été effectué au fur à mesure du suivi du développement de la culture du tomate (*Solanum Lycopersicum*), 54 individus des larves de *T. absoluta* ont été recensés dans le piège à phéromone. Aucune infestation n'a été signalée au niveau des feuilles des différents blocs traités par les différentes doses (2ml, 5ml, 10ml).



Figure N°22 : Individus capturés de *Tuta absoluta* par le piège à phéromone (Original, 2022).

II.2. Effet de la fertilisation biologique sur les paramètres de croissance végétative :

La croissance verticale est une mesure utile pour vérifier le développement des plantes durant une période donnée. Aussi, durant les jours de croissance, les plantes développent un nombre considérable de feuilles. Ces données sont intéressantes pour suivre l'évolution de la croissance durant la période de développement. Elle permet de vérifier si une plante croît davantage en début ou en milieu ou en fin de culture. De ce fait, l'effet de l'application des biofertilisants sur la croissance végétative du tomate (la longueur de la tige et le nombre des feuilles).

Les résultats relatifs à l'effet de biofertilisant à base d'un mélange d'oligo-éléments. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique sur les paramètres morphologiques de la tomate *Solanum lycopersicum*, sont présentés dans le chapitre ci – dessous (**Kezzim, 2013**) :

II.2.1. Mesure de la croissance en longueur de la partie aérienne de la plante (cm) :

L'étude des traits de croissance de la tomate a été étudiée sous l'effet de différentes doses de bioproducts. Nous avons considéré la longueur, la biomasse fraîche et sèche des parties aérienne et souterraine comme paramètre ayant la capacité de dévoiler l'aptitude du biofertilisant chez la tomate.

Pour mieux montrer les vitesses de croissance des plantes au niveau des différents doses de traitement (biofertilisant), un suivi journalier de la croissance des plantes a été effectué dès le début de l'attribution de traitement.

- Les résultats relatifs aux croissances des tiges des plantes de tomate sont représentés dans la (Figure n°23).

Les résultats sont classés en trois groupes selon les mois, le premier groupe (**A**) représente mois de mars, le second groupe (**B**) représente mois d'Avril et le dernier groupe (**C**) représente mois de mai.

- ✚ **Groupe A (09/03/2022 > 29/03/2022)** : montre que le bloc T a une taille moindre que les autres blocs au début de l'expérience (1^{er} jour – 09/03/2022) qui prend la longueur minimale 11,62cm où la plante est dans le stade pousse au cycle du développement. Puis, on peut remarquer une stabilisation à la taille des tiges chez les quatre blocs jusqu'à 30/03/2022. Dès que la longueur maximale est (33cm) le 29/03/2022 remarqué au BS 2. (Figure n°23).
- ✚ **Groupe B (10/04/2022 > 20/04/2022)** : Ce groupe montre que le bloc T et BS 10 présentent les valeurs de taille les plus élevés, puis BS 2 qui prend des valeurs de taille près au bloc T et BS 10. La longueur maximale (67,75cm marquée au bloc T le 20/04/2022). Puis, BS 5 qui tient la longueur minimale (42,37cm marqué le 10/04/2022) d'où, on constate que la plante est dans un stade de développement juvénile. (Figure n°23).
- ✚ **Groupe C (11/05/2022)** : montre des valeurs de taille élevées dans le bloc T et le BS 2 et BS 10 par contre au BS 5 qui montre des faibles valeurs. La longueur maximale (103,5cm présent dans le bloc T) et la longueur minimale (86,57cm dans le BS 5), dans ce groupe les plantes sont au le stade de développement juvénile. (Figure n°23).

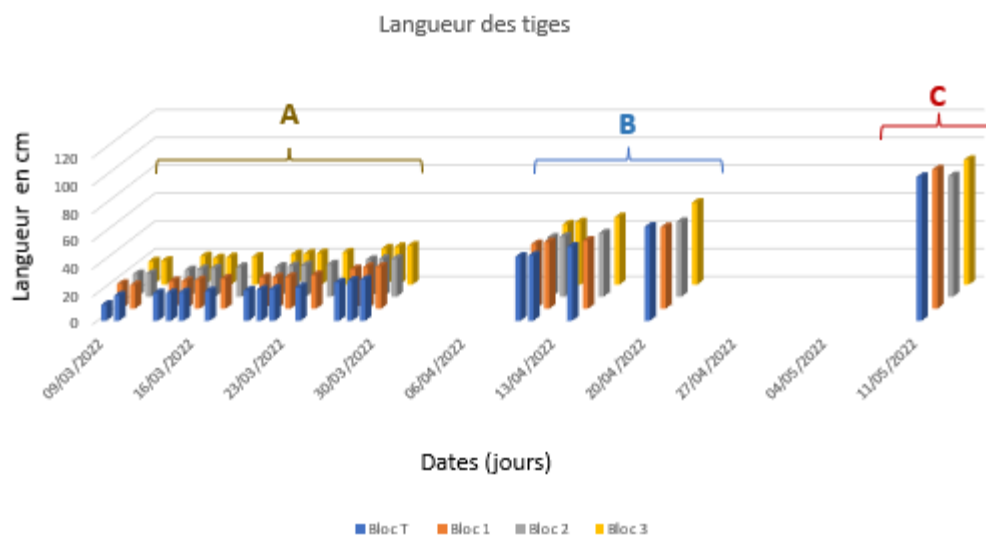


Figure N° 23 : Evolution temporelle de la croissance des tiges des plantes de la tomate sous l’effet de différentes doses d’un bioproduit.

II.3. Evaluation temporelle de l’effet des différentes doses d’application de bioproduit sur la croissance :

Le graphe de la figure n°24 représente des boîtes à moustaches qui montre l’applications des différentes doses de bioproduit à base d’un mélange d’oligo-éléments. Silicium sous forme d’acide ortho-silicique sous l’effet de différents blocs à savoir, bloc T (témoin) ; BS 2 ; BS 5 ; BS 10 sur la mesure de la croissance en longueur des plants de tomate durant la période du suivi (09/03/2022 jusqu’à 11/05/2022). Les résultats de la corrélation expriment globalement une différence hautement significative de ($p= 9.748 \times 10^{-09}$) pour les quatre blocs. La comparaison par paire établie par la corrélation fait ressortir la présence d’une différence hautement significative ($p= 8,77 \times 10^{-17}$, $p < 1\%$) entre le bloc T et BS 2. La suite de comparaison par corrélation entre BS 5 et BS 10, on remarque qu’il y’a une différence hautement significative avec ($p= 2.93 \times 10^{-21}$, $p < 1\%$). Ensuite, la comparaison entre BS 2 et BS 5 indique une différence hautement significative de ($p= 2.54 \times 10^{-23}$, $p < 1\%$). La corrélation désigne la présence d’une différence hautement significative ($p= 7.49 \times 10^{-19}$; $p < 1\%$) entre BS 2 et BS 10. Puis, la corrélation fait ressortir d’une différence hautement significative ($p= 9.05 \times 10^{-19}$, $p < 1\%$) entre bloc T et BS 5. Enfin, la comparaison entre bloc T et BS 10 montre également une différence hautement significative de ($p= 2.80 \times 10^{-20}$; $p < 1\%$).

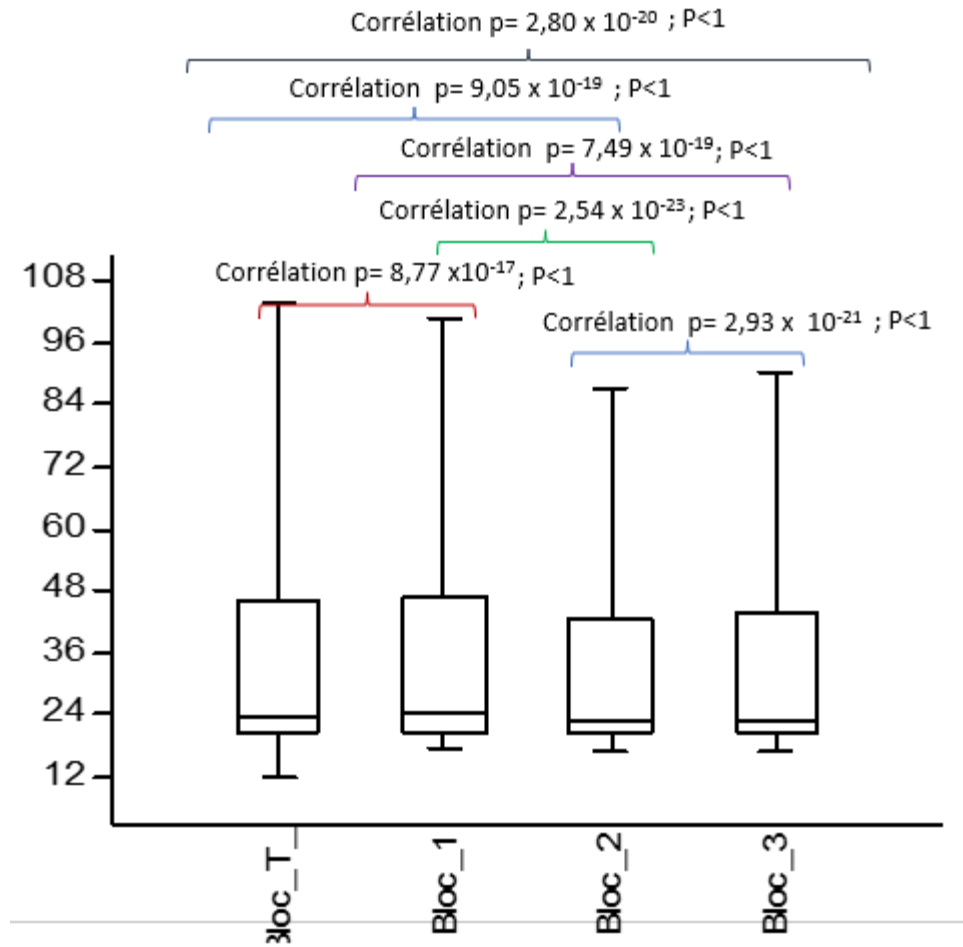


Figure N°24 : Effet de différentes doses de traitement sur la mesure de croissance de la partie aérienne.

II.4. Modulation de l'effet des différentes doses de bioproduit sur la croissance des plants de tomate :

Les données de la moyenne de la mesure de croissance ont été soumises à un ACP (Analyses en Composantes Principales) effectuée avec PAST version 1.91 (Hammer *et al.*, 2001) (Figure n°25).

Une vision globale de spatiale des facteurs de différentes doses de bioproduit à base d'un mélange d'oligo-éléments. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique nous permis de distinguer une différence d'efficacité entre les différentes applications.

L'analyse en Composantes Principales (ACP) montre que les différentes doses appliquées sont comparables par les deux axes, l'axe 1 est de 99,76% et l'axe 2 est de 0,18%.

L'analyse multi variée est acceptable de faite que les deux axes présentent un pourcentage de contribution de 99,94%.

En revanche, la projection des variables montre que la tendance des vecteurs de différents blocs confirme l'efficacité de la mesure de croissance de la partie aérienne du traitement utilisé sur BS 2 au premier jour d'application du traitement où la plante est dans le stade pousse, le 09/03/2022. L'effet de BS 5 et BS 10 a été remarquer au niveau de la moitié de l'expérimentation, ce qui correspond au stade de croissance de la plante dès le 10/03/2022 au 11/04/2022. Par la suite on remarque que l'effet de bloc T apparait à la fin du l'expérimentation (jeune plante) le 14/04/2022 au 20/04/2022.

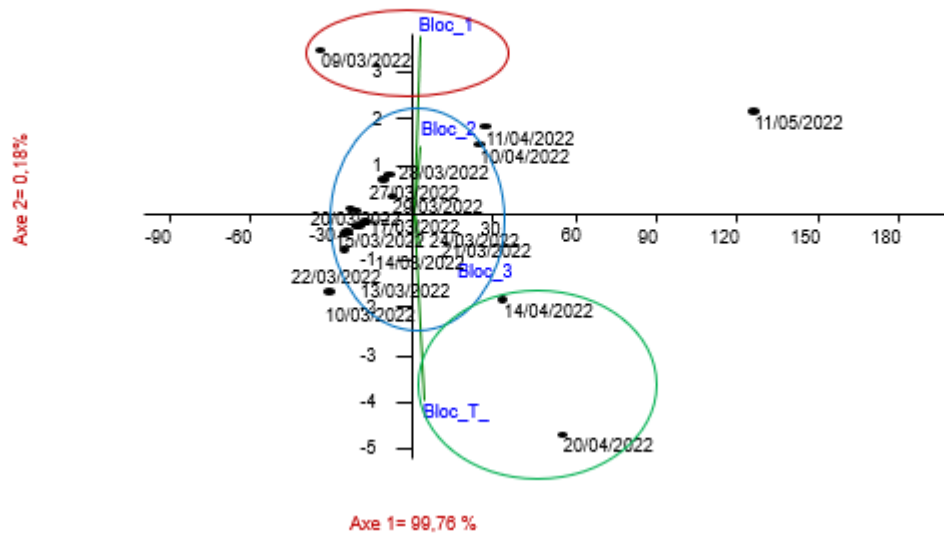


Figure N°25 : Projection de la croissance des plants de tomate sous l'effet de différentes doses de bioproduit.

Le ternaire de la (Figure n°26) nous a permis de comparer quantitativement l'efficacité des trois facteurs étalés durant la période de suivi (09/03/2022 – 11/05/2022). Pour cela, nous pouvons remarquer que les blocs (Témoin et les blocs traités au bioproduit) affichent une efficacité importante sur la croissance (> 70%) par rapport au développement racinaire.

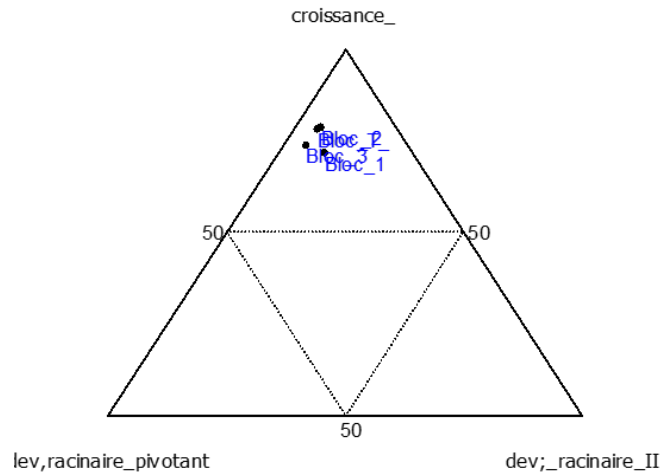


Figure N°26 : Etude comparée du différent paramètre traité par différents doses du traitement

L'analyse de variance par le test one-way ANOVA présente une différence significative qui est représentée dans la figure n° 27. A travers le test de Tukey, ($p= 1,15 \times 10^{-2}$; $p < 1\%$) entre développement racinaire pivotante et développement racinaire secondaire présente une différence hautement significative. Ensuite, la comparaison entre développement racinaire pivotant et la croissance désigne une différence hautement significative de ($p=1,83 \times 10^{-4}$; $p < 1\%$) selon le test de Tukey. Enfin, cette analyse fait ressortir à une différence hautement significative entre la croissance et le développement racinaire secondaire de ($p= 1,83 \times 10^{-4}$; $p < 1\%$).

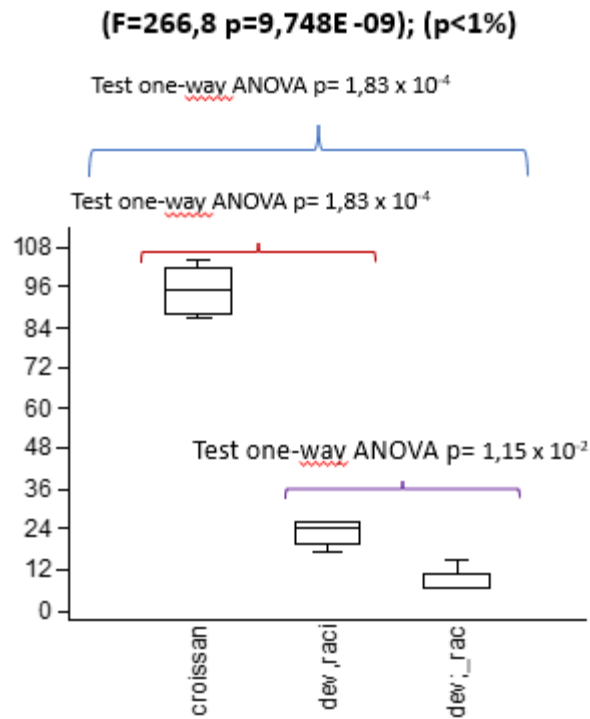


Figure N°27 : Effet de l'efficacité de bioproduit sur la croissance de la partie aérienne et le développement de la partie souterraine.

Le graphe de la (figure n° 28) montre une courbe polynomiale relative au suivi de croissance de la partie aérienne et la partie souterraine de la tomate présente une valeur de coefficient de régression forte ($R > 0,99$) indiquant l'existence d'une relation entre les dates et la croissance des plantes sous l'effet de différentes doses de bioproduit.

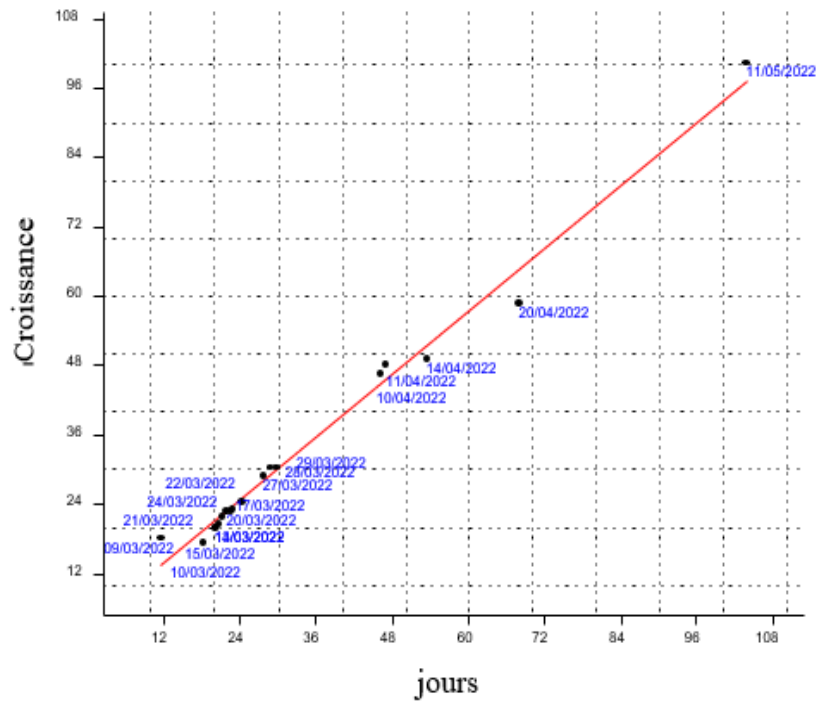


Figure N°28 : Taux de croissance des plantes de tomates selon la courbe polynomiale.

La figure n° 29 montre une courbe polynomiale relative au suivi de la croissance de la partie aérienne et le développement des racines de la plante de tomate. Le coefficient de régression présente une valeur très faible ($R > 0,39$), nous indiquant que les niveaux de croissance et de développement racinaire ne sont pas corrélés.

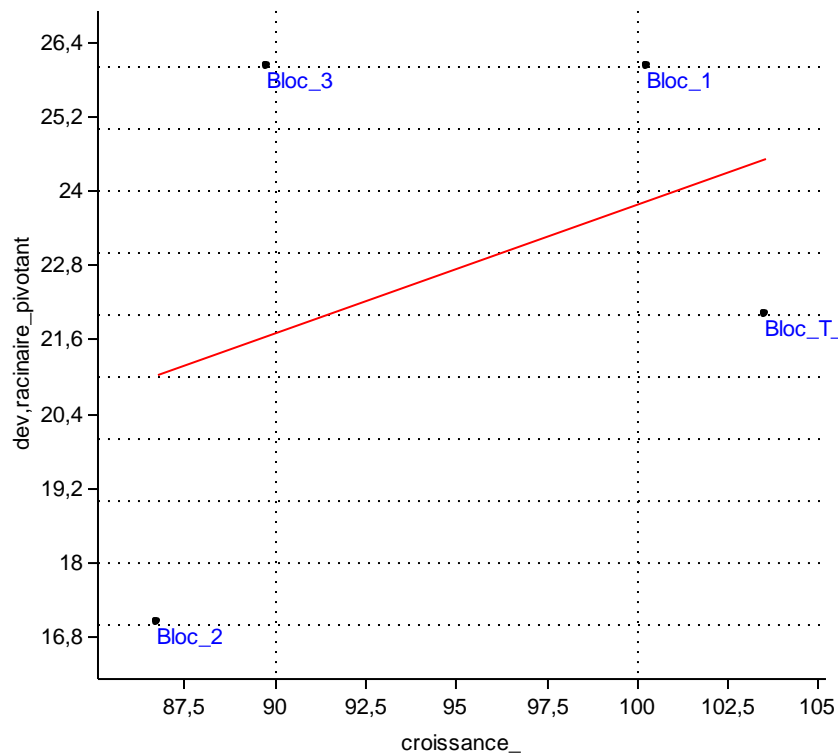


Figure N°29 : Effet de la croissance sur le développement racinaire pivotant sous l'effet des différents blocs selon la courbe polynomiale.

II.5. Evaluation temporelle de l'effet des différentes doses d'application de bioproduit sur la biomasse sèche :

Le graphe de la figure n° 30 présente l'évaluation de la biomasse sèche sur les quatre blocs au dernier jour de la méthodologie (23/05/2022). La comparaison montre une différence entre les quatre blocs avec des faibles valeurs au biomasse sèche. Cette dernière marque une moindre valeur dans le bloc T qui est de (86,47%), par rapport au bloc BS 2 qui est présenté par une biomasse sèche de(86,91%) ; ce qui a été confirmé par la corrélation où on a remarquer une probabilité hautement significatif qui est de ($p= 1,64 \times 10^{-4}$; $p<1\%$). Aussi le bloc qui concerne le BS 5 est représenté par une biomasse sèche de (87,92%) et la corrélation de ce bloc avec le bloc T est hautement significatif de ($p= 1,55 \times 10^{-5}$; $p<1\%$). Puis, la comparaison entre le bloc T et le bloc BS 10 qui présente la plus forte valeur dans cette période de suivi qui est de (87,98%) ; qui a été confirmé par la corrélation où on a remarquer une probabilité hautement significatif ($p=3,84 \times 10^{-4}$; $p<1\%$). Ce qui concerne la biomasse sèche entre le bloc BS 2 et BS 5, on remarque que la corrélation est positive de ($p= 2,80 \times 10^{-4}$; $p<1\%$). Ensuite, la comparaison entre BS 2 et BS 10 montre une forte corrélation ($p= 1,05 \times 10^{-3}$; $p<1\%$). Et la corrélation entre BS 5 et BS 10 est également positive ($p= 2,45 \times 10^{-4}$; $p<1\%$).

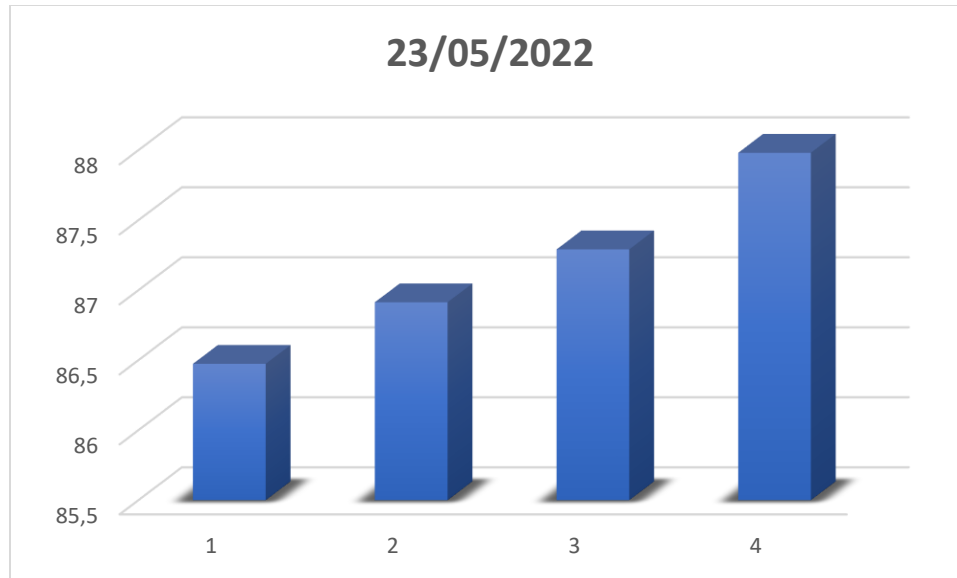


Figure N°30 : La biomasse sèche de la culture de tomate.

II.6. Influence de différentes doses de bioproduit sur les niveaux de croissance de la surface foliaire :

Les données de moyenne de la surface foliaire de tomate (*Solanum lycopersicum*) ont été soumises à un ACP (Analyses en composantes principales effectuée avec PAST version 1.91 (Hammer *et al.*, 2001) dans la (Figure n°31).

Une vision globale de projection spatiale des facteurs de différents doses de bioproduit à base d'un mélange d'oligo-éléments. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique nous permis de distinguer une différence d'efficacité entre les différentes applications.

L'analyse en Composantes Principales (ACP) montre que l'effet de différentes doses appliquées sont comparable par les deux axes, l'axe 1 est de 79.93%, et l'axe 2 est de 12,03%.

L'analyse multivariée est acceptable du fait que les deux axes présentent un pourcentage de contribution de 91,96%.

En revanche, la projection des variables montre que la tendance des vecteurs de différents blocs confirme l'efficacité du traitement utilisé sur la surface foliaire de tomate, l'efficacité de BS 5 et BS 10 au tous les dates d'application 09/03/2022 jusqu'à 14/04/2022 au stade de croissance de la plante, sauf les deux dates : 14/03/2022 l'effet de BS 2 où la plante est dans le stade pousse et le 10/4/2022 on remarque que l'effet de bloc T apparait à la fin de l'expérimentation (stade juvénile).

L'analyse en composantes principales (ACP) montrent que BS 5 et BS 10 ont plus d'effet sur la croissance de la surface foliaire durant toute la période de suivi.

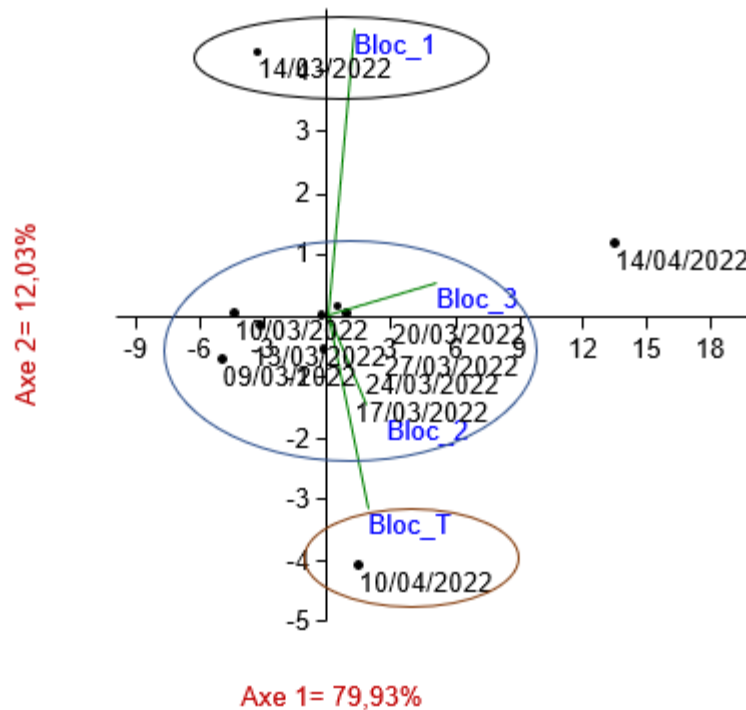
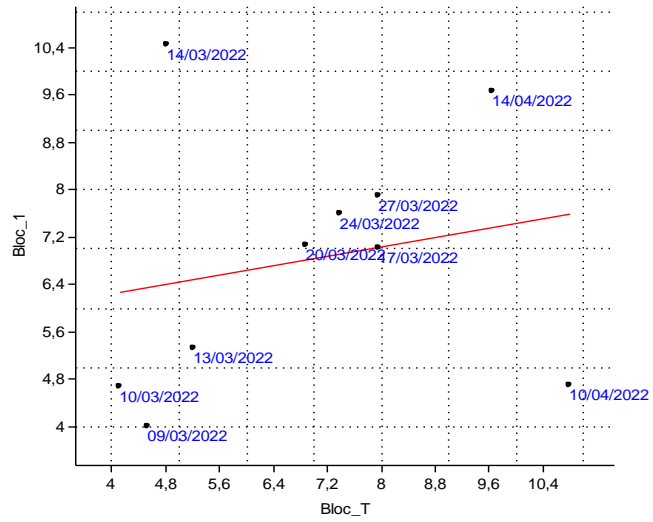
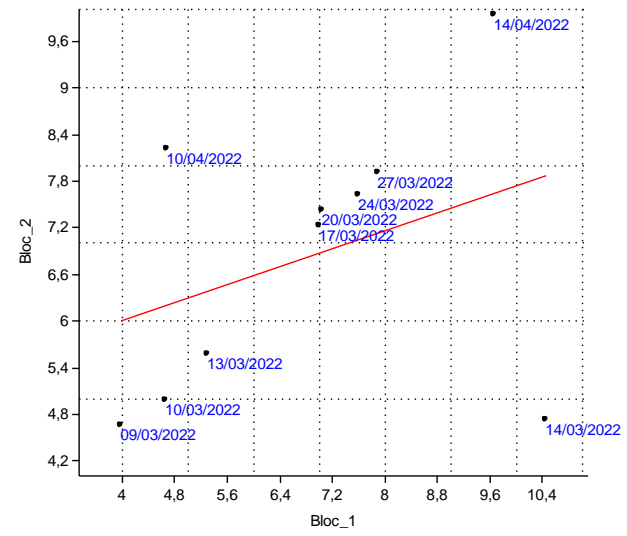


Figure N°31 : Projection de la surface foliaire des plants de tomate sous l'effet de différentes doses de bioproduit.

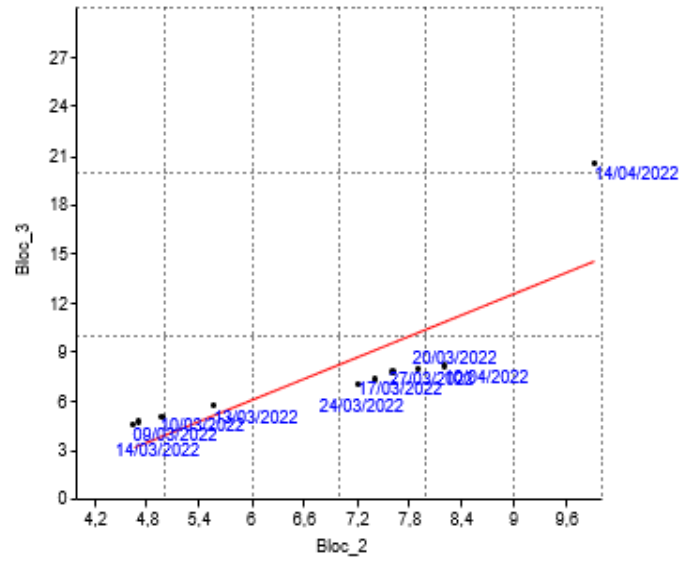
- ✚ La courbe polynomiale (**A**) présente une valeur de coefficient de régression très faible ($R > 0,20$) pour la surface foliaire de BS 2 et Bloc T. Ce coefficient de régression nous indiquant qu'il y'a pas de corrélation entre les niveaux de croissance de la surface foliaire des deux blocs (**Figure n°32**).
- ✚ La courbe polynomiale (**B**) relative au BS 2 et BS 5 présente une valeur de coefficient de régression très faible ($R > 0,35$) indiquant qu'il y'a pas de corrélation entre les niveaux de croissance de la surface foliaire des deux blocs (**Figure n°32**).
- ✚ Par contre, sur les niveaux de croissance de la surface foliaire de BS 5 et BS 10 la situation de la courbe polynomiale (**C**) est différente. Le coefficient de régression montre une valeur forte ($R > 0,82$), nous indiquant l'existence d'une relation entre les niveaux de croissance de la surface foliaire chez BS 5 et BS 10 (**Figure n°32**).
- ✚ Les courbes polynomiales montrent que la dose de BS 5 a plus d'effet par rapport aux autres dose



A



B



C

Figure N° 32 : Taux de croissance de la surface foliaire des plantes de tomates selon la courbe polynomiale.

II.7. Discussion Générale :

Ces dernières années, les pratiques agricoles mettent l'accent sur la durabilité des différentes composantes de l'environnement en limitant l'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides. Les amendements biologiques au sol offrent des alternatives prometteuses pour minimiser les effets délétères des engrais chimiques (**BASHAN, 1998**). Les biofertilisants et les biostimulants, sont des préparations liquides fermentées qui nourrissent le sol et les plantes. Elles sont composées d'éléments nutritifs, de bactéries et champignons entre autres. En fonction des ingrédients, elles peuvent également avoir un rôle de stimulation des défenses naturelles des plantes (ou stimulateur de croissance) ainsi qu'un rôle de lutte contre les maladies et les ravageurs (**Silva et al., 2003**). Cette hypothèse confirme nos résultats.

Cependant, De nombreux agriculteurs sont engagés dans une démarche d'agriculture respectueuse de l'environnement. Pour mener à bien leurs cultures, des solutions alternatives sont mises à leur disposition, parmi lesquelles les biofertilisants. Les biofertilisants peuvent également être appelés « biostimulants », « stimulateurs de croissance et/ou développement », « activateurs de sol » ou encore « phytostimulants » (**Faessel et al., 2015**).

Dans cette optique, nous avons tenté de tester un bioproduit à différentes doses, ayant pour objectif la substitution au maximum des produits chimiques. Nous avons tenté de discuter notre choix et le rôle important des biofertilisants dans la stimulation de la production par des études relativement proche. Effets de traitement sur les paramètres morphologiques de la tomate : D'après nos résultats, on note que suite à la comparaison par l'analyse multivariée, l'effet du traitement à base d'un mélange d'oligo-élément. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique sur les paramètres de croissance (longueur des tiges, surface foliaire, biomasse) présente des différences significatives entre les différentes doses appliquées : La comparaison entre les différentes doses présentent les plants traités ont une hauteur plus élevée, Cependant, la dose BS2 affiche une longueur de la partie aérienne et souterraine la plus importante (80%) par rapport aux autres doses. Nos résultats rejoignent ceux de LAKHDARI en (2019), qui ont trouvé que l'efficacité d'un biostimulant à base de *Trichoderma spp* sur le développement du maïs (la longueur) est positif et ont révélé que la levée des plants traités par ce produit est plus importante que celle des témoins. Par ailleurs, la comparaison entre les différentes doses présente différents significatifs entre la surface des feuilles de tomate, les plantes traités présentent des valeurs très importantes car des chiffres 20,46cm² pour BS 10 par contre 10,77cm² pour le témoin. Selon LARBAOUI et LECHEHEB, 2020, les résultats ont montrés que la surface foliaire du blé présente des fluctuations relativement rapprochées, pressentant une meilleure élongation pour la partie aérienne avec les concentrations en lombricomposte respective de 6 ml/l, 4.75 et 4.5ml/l. Cependant, les résultats de la biomasse sèche aérienne et souterraine montrent que la dose BS10 est un effet remarquable (79,03%) par rapport aux autres doses (Bloc T : 51,72%, BS 2 : 73,72%). Aussi les travaux de AKKACHE qui a trouvé que le biofertilisant à base de vermicompost fermenté et le vermicompost à base déchet ménager et le jus de vermicompost ont un effet important sur la biomasse sèche. De nombreux résultats de

recherche démontrent clairement les effets positifs de l'utilisation des biofertilisants sur la biomasse sèche des cultures.

A partir des résultats obtenus sur la fluctuation des biofertilisants sur les paramètres de croissance. Les plantes présentent une hauteur élevée. Cependant, les différentes doses de bioproduit à base d'un mélange d'oligo-élément. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique affiche une longueur importante de la partie aérienne et la partie souterraine. Aussi par rapport à la biomasse sèche qui est remarquable dans les plantes traitées. Ce qui signifie que notre bioproduit offre la possibilité d'augmenter la croissance de la plante.

Conclusion

Notre expérimentation a été réalisée dans le but de déterminer l'impact de trois différentes doses d'un bioproduit à base d'un mélange d'oligo-élément. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique sur les paramètres de croissances et les traits morpho-physiologiques (La surface foliaire, la biomasse) et l'état phytosanitaire de la tomate (*Solanum Lycopersicum*) type cerise cultivée en pot sous serre en polycarbonate.

Les résultats montrent que l'apport des trois doses de bioproduit (2ml ;5ml et 10ml) ont un effet satisfaisant sur les paramètres de croissance et les traits morpho-physiologique. Sachant que la première dose (2ml) a un effet important sur la croissance des tiges, la deuxième dose (5ml) a un effet sur la croissance de la surface foliaire et la troisième dose (10ml) a un effet sur la biomasse sèche de la partie aérienne et la partie souterraine de la plante de tomate à savoir une application foliaire quotidienne durant le cycle de développement de la plante.

Le même résultat constate que les plantes traitées par ce bioproduit ne présentent aucune infestation par *T. absoluta*.

L'ensemble des résultats a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- ✓ De point de vue croissance, nous constatons que le bioproduit à base d'un mélange d'oligo-élément. Silicium sous forme d'acide ortho-silicique exerce un effet positif sur les paramètres mesurés. Des augmentations remarquables sont enregistrées surtout chez les plantes de 1^{er} bloc (2ml), une meilleure élongation de la partie aérienne de la tomate.
- ✓ Concernant les traits morpho-physiologiques, on a enregistré que les plantes marquent des résultats importants sur la surface foliaire pour le 2^{ème} bloc (5ml) et le 3^{ème} bloc, biomasse sèche (tige, feuille, racine) pour le 3^{ème} bloc (10ml).
- ✓ Par ailleurs, les résultats des paramètres phytosanitaires montrent l'efficacité de bioproduit où on n'a pas marqué des infestations au niveaux des feuilles.

Ces résultats nous suggèrent le rôle intéressant des bioproduits, et que ce type de biofertilisant avec ces différentes doses peuvent être appliqués par les agriculteurs pour améliorer le rendement de leur culture et réduire l'utilisation abusif des engrais chimiques, ce qui très utile pour préserver la santé humaine et prévenir la pollution de l'environnement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

Akkache.I., 2017. Utilisation et suivi des traitements biologiques sur la dynamique des populations du carpocapse *cydia pomonella* L. du poirier dans la région d'Atattba. *biodiversité et développement durable* : 101p.

Albuzio A., Concheri G., Nardi S. & Dell'Agnola G., 1994- "Effect of humic fractions of different molecular size on the development of oat seedlings grown in varied nutritional conditions". In: SENESI N., MIANO T. M., 1994- Humic substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp: 199-204.

Atoub I,2013. « Etude de l'effet biologique racinaire sur le rendement et la qualité de la tomate cerise (*LYCOPERSICUM ESCULENTUM* L.) cultivée sous serre ». *Biotechnologie végétal*: 14p

Bashan Y., 1998 - Inoculants of plant growth promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechn. Adv.* 15 : 729-770.

Beauchamp C. J., 1993. « Mode d'action des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes et potentiel de leur utilisation comme agent de lutte biologique ». *Phytoprotection* 74 (1), pp: 19.

Bleeker P.M., Diergaarde P.J., Ament K., Guerra J., Weidner M., Schütz S., de Both M.T.J., Haring M.A. & Schuurink R.C. 2009. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. *Plant Physiology*, 151(2):925-935.

Benton J., et Jones J., 2012. "Plant nutrition and soil fertility manual (2e éd.)". CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.

Benhamou N., Rey P., 2012. « Stimulateurs des défenses naturelles des plantes :une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable ». *Phytoprotection*, 92, pp: 24-35.

Berthelot R., Daire X., Ponchet M., and Turner M., 2018. "Les stimulateurs de défense des plantes » - Panorama et solutions d'avenir. Editions acta, Paris, 80p.

Campolo O., Cherif A., Ricupero M., Siscaro G., Grissa-lebdi K., Russo A., Cucci, L. M., Pietro, P. Di, Satriano C., Desneux N., Biondi A., Zappalà L. & Palmeri V. 2017. Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, *Tuta absoluta*: chemical properties and biological activity. *Scientific Reports*, 7:1–10.

Chaux C.L., Foury C.L., 1994. « Culture légumière et maraichère. Tome 3 : légumineuses potagères, légumes fruit ». Tec et Doc. Lavoisier, Paris, 3P.

Cheniti.K, 2016. Cours de physiologie végétale. *Gestion de l'environnement* :1p.

Diehil R., 1975. "Agriculture générale", J.B. Baillière, Paris, 400p

Edwards C. A. & Flether K. E., 1988- Interaction between earthworms and microorganisms in organic matter breakdown. *Agric. Ecosyst. Environ.* 20, pp: 235- 249.

El Alaoui S. B., 2009 : “Référentiel pour la conduite technique de tomate”. P 15.

El fadl A., Chtaina N., 2010 : « Etude de base sur la culture de la tomate au Maroc. Programme Régional de lutte intégrée contre les organismes nuisibles (Integrated Pest Management) au Proche Orient (Projet GTFS/REM/070/ITA). FAO.ONSSA. p108.

Faessel, L., Tostivint, C., et Schaller, N. 2015. Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes : état des lieux et perspectives. Rapport final d'une étude commanditée par le Centre d'Etude et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agronolimentaire et de la Forêt. 2015. 8 p.

Fruchart S.h., 2016- *Essais de l'efficacité de différents biofertilisants sur orge de printemps (Hordeum vulgare) et prairie naturelle*

Gadiri. H; 2012. “Stimulation de coefficient de transfert de chaleur à travers la paroi d'une serre”. *Physique énergétique: 3p*

Gérald, H., Christiane, S., et Environnement-Innovation, S. (2011). Avec le La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. 46.

Guenaoui Y. 2008. Nouveau ravageur de la tomate en Algérie: Première observation de *Tuta absoluta*, mineuse de la tomate invasive, dans la région de Mostaganem au printemps 2008. *Phytoma-La Santé des Végétaux*, 617 :18–19.

Han P., Zhang Y.N., Lu Z.Z., Wang S., Ma D.Y., Biondi A. & Desneux N. 2018. Are we ready for the invasion of *Tuta absoluta*? Unanswered key questions for elaborating an Integrated Pest Management package in Xinjiang, China. *Entomologia Generalis*, 38(2):113 – 125.

Hopkins W., 2003-*physiologie végétale*. Bruxelles: John Wiley et Sons, Inc, 1p

Jean-Marie P., 2007 :“La culture des tomates”. Edition ARTE MIS, 92P ; Journal of environmental quality par delphine bossy .futura-sciences publication initiale le 3 mai 2013

Kang M.J., Strap J.L. & Crawford D.L. 2010. Isolation and characterization of potent antifungal strains of the *Streptomyces violaceusniger* clade active against *Candida albicans*. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 37:35-41

Kant M.R., Ament K., Sabelis M.W., Haring M.A. & Schuurink R.C. 2004. Differential timing of spider mite-induced direct and indirect defenses in tomato plants. *Plant Physiology*, 135: 483–495.

Kennedy G.G. 2003. Tomato, pests, parasitoids, and predators: tritrophic interactions involving the geis *Lycopersicon*. *Annual Review of Entomology*, 48 : 51-72

Kezzim. Y., 2013. « Etude comparée de l'effet de différents stimulateurs des défenses naturelles (SDN) sur la santé végétale cas de la tomate (MARMANDE) ». *phytopharmacie appliquée*: 4-5, 36 p.

KOLEV. N., 1976 : « Les cultures maraîchères en Algérie ». Tome I: légumes fruits. I. T. C. M. I. Staouali, pp: 33-150.

Labeled et Bentamra ., 2018. « Etude technique du palissage des cultures protégées : Cas de la tomate ». *Amélioration production végétal* : 9-10p

Larbaoui. M et Lecheheb. I., 2020. Effet d'un biofertilisant sur la croissance d'une culture maraîchère. *Phytopharmacie et protection des végétaux* : 38p.

Laouedj. R., 2020. « Impact de la biofertilisation sur la production de tomate (*Solanum lycopersicum*) en phase pépinière ». *Biotechnologie végétal et amélioration des plantes*: 4, pp : 21,25.

Makulec G., 2002- The role of *Lumbricus rubellus Hoffm.* In determining biotic and abiotic properties of peat soils. *Pol J Ecol.* 50, pp: 301- 339.

Mard. 2018. Statistiques Agricoles : le maraîchage. Ministère de l'agriculture et du développement rural/Direction des systèmes d'information, des statistiques et de la prospective, 8 p.

Mohanty D., Adhikary S. P., and Chattopadhyay G. N., 2013. « seaweed liquid fertilizer (slf) and its role in agriculture productivity. International quarterly journal of environmental sciences ». The Ecoscan: Special issue, vol III, pp : 147-155.

Morard .P., 1995 : « Les cultures végétales en hors sol. Publication agricole ». Paris p31.

Morot-Gaudry., 2020 : La nutrition minérale des plantes, « Encyclopédie de l'ACADEMIE d'AGRICULTURE de FRANCE ». p 44.

Nollet L.M.L. & Rathore H.S. 2017. Green Pesticides Handbook: Essential Oils for Pest Control, 570 p.

Oliveira F.R.A. de, Oliveira F. de A. de, Guimarães I.P., Medeiros J.F. de, Oliveira M.K.T. de, Freitas A.V.L. de & Medeiros M.A. de. 2009. Emergency of seedlings of *Moringa oleifera* Lam irrigated with water of different levels of salinity. *Bioscience Journal*, 25(5): 66–74.

Oliveira C.M., de Andrade Júnior V.C., Maluf W.R., Neiva, I.P. & Maciel G.M. 2012. Resistance of Tomato strains to the Moth *Tuta absoluta* Imparted by Allelochemicals and Trichome Density.– *Ciência e Agrotecnologia*, 36(1): 45–52.

- Oriani M.A.G. & Vendramim J.D. 2010.** Influence of trichomes on attractiveness and ovipositional preference of *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B (Hemiptera, Aleyrodidae) on tomato genotypes. *Neotropical Entomology*, 39: 1002-1007.
- Ourchen D., 2019.** «Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) Dans la région de Biskra»
- Petit J. et Jobin P., 2005,** “La fertilisation organique des cultures”. FABQ, Québec, 49p.
- Polese J.M., 2007.** “La culture de la tomate”. Ed Artémis .95p
- Regnault-Roger C., Vincent C. & Arnason J.T. 2012.** Essential Oils in Insect Control: Low-Risk Products in a High-Stakes World. *Annual Review of Entomology*, 57(1):405-424.
- Saou. A., 2013.** « Impact d’une solution nutritive sur la croissance de deux variétés de concombre « LE MARKETER » et LE SUPERMARKETER » sous serre ». *biotechnologie végétal*: 8p
- Shankara N., Joep J., Marja G., Martin H., Barbara D., 2005.** “La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation”. Ed. Fondation Agromisa et CTA, Wageningen. 105 p.
- Silva, A.P., Rosa, E., and S.H. Haneklaus. (2003).** “Influence of foliar boron application on fruit set and yield of hazelnut”. *Journal of Plant Nutrition* 26(3): 561-569.
- Sinha R. K., Heat S., Valani D. & Chauhan K., 2009-** Vermiculture and sustainable agriculture. *Am-Euras J Agric and Environ Sci*, IDOSI Publication. 5, pp: 1- 55.
- Skiredj, A., 2006 :** “Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs”, *Fertigation-s: guide pour améliorer la production des cultures*, Rabat, pp : 1-9.
- Smeesters E., 1993 –** “Le compostage domestique "comment transformer vos déchets”
- Soltaner .D., 1988 :** “Les bases de la production végétale tome II. Le sol”. *COLL.SCI. Agri*, pp :373 -377.
- Stryeri L., 1999 –**“La photosynthèse”. *Médecine Science : Paris*, P 653
- Subhash, C., 2014.** “Terminology of soil fertility, fertilizer and organics”.
- Urbaneja A., Vercher R., Navarro V., Porcuna J.L. & Garcia-Mari´ F. 2007.** The tomato moth, *Tuta absoluta*. *Phytoma Espana*, 194:16– 24.
- Verolet J-F., Raffin R., Jagu L. & Berry D. 2001.** *Tomate sous grand tunnel froid*, Fiche technique en agriculture biologique, 9 p.
- Vilain. M., 1993.** “Production végétale” .2éme Ed, vol 1 : “Les composantes de la production”. 2éme édition. Ed. JB. Balliere. Paris. 428 p.

Whitmarsh J., Govindjee., 1999. “The photosynthetic process. Concept in Photobiology”
Photosynthesis and Photomorphogenesis.

Ziegler A., 2008. «L’hydroponie ou culture hydroponique maladies des plantes, agriculture et écologie». 16 P.