

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB – BLIDA 1**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE ET AGRO ECOLOGIE**



**Mémoire de Fin d'Etudes**

**En vue de l'Obtention du diplôme de Master**

**Filière : Agronomie**

**Option : Phytopharmacie et protection des végétaux**

*Thème*

**Evaluation des mécanismes de nutrition d'une culture sous l'effet  
des biofertilisants**

**Réalisé par : Alili Imen et Medjeber Farida**

**Devant les membres de jury :**

Mme KHADDAR .R	MCA	USD-Blida1	Présidente
Mme CHAICHI .W	MCA	USD-Blida1	Promotrice
Mme AMARA .N	MCA	USD-Blida1	Examinatrice

**Année Universitaire 2021 \_\_2022**

## **Résumé :**

Ce travail a été basé sur l'évaluation des mécanismes de nutrition d'une culture sous l'effet de deux biofertilisants différents (phytohormone et à base d'algue).

Les biofertilisants sont considérés comme des engrais alternatifs qui contribuent le développement et croissance des cultures.

Nous avons choisis deux bioproduits différents : le phytohormone et à base d'algue avec différentes doses appliquées utilisé par une pulvérisation foliaire . Ils ont comparés avec un témoin négatif pulvérisé par l'eau seulement et un témoin positif provoqué par un stress hydrique .Le suivi est journalier dans le quel on a tenté à tester l'efficacité des bioproduits utilisés sur les paramètres suivants : la longueur des tiges , le développement de la surface foliaire , la croissance du système racinaire et la biomasse sèches de notre culture .

Les résultats ont indiqué l'efficacité de différentes doses de notre biofertilisants concernant la vitesse de croissance de la partie aérienne et la partie souterraine.

**Les mots clé :** biofertilisants , phytohormone, , stress hydrique ,croissance

**Abstract:**

This work was based on the evaluation of the nutrition mechanisms of a crop under the effect of two different biofertilizers (phytohormone and based on algae).

Biofertilizers are considered as alternative fertilizers that contribute to the development and growth of crops .

Two different bioproducts were chosen; the phytohormones and based on algae with different doses applied by foliar spraying. They were compared with a negative control sprayed with water only and a positive control provoked by water stress. The monitoring is a daily in which we tried to test the effectiveness of the bioproducts used on the following parameters: stems, leaf area development, root system growth and dry biomass of our crop.

The results indicated the effectiveness of different doses of our biofertilizers in appalling the growth rate of the aerial part and the underground part.

**Key words:** biofertilizers, phytohormone, water stress, growth.

## الملخص

اعتمد هذا العمل على تقييم آليات التغذية لمحصول تحت تأثير اثنين من الأسمدة الحيوية المختلفة

تعتبر الأسمدة الحيوية من الأسمدة البديلة التي تساهم في تنمية المحاصيل ونموها، وكذلك لزيادة محصول وجودة ثمار في ظروف شبه خاضعة للرقابة

تم اختبار منتجين حيويين مختلفين ؛ يحتوي المنتج الحيوي الأول على الهرمونات النباتية وتم استخدامه على ثلاث جرعات مختلفة

أما المنتج الحيوي الثاني على أساس الطحالب فقد تم استخدامه على ثلاث جرعات. تم استخدامها عن طريق الرش الورقي. تمت مقارنتها بمجموعة من الطماطم التي استخدمت ك شاهد حيث كان يتم رشها بالماء فقط

ومجموعة أخرى من طماطم استخدمت ك شاهد أيضا حيث كان يتم رشها كل 13 يوم بالماء فقط .

كانت تتم مراقبتها يوميا . حاولنا فيها اختبار فعالية المنتجات الحيوية المستخدمة على المعايير التالية: السيقان، وتنمية مساحة الأوراق، والجذر نمو النظام والكتلة الحيوية الجافة لمحصولنا

أشارت النتائج إلى فعالية الجرعات المختلفة من الأسمدة الحيوية لدينا في معدل النمو المروع للجزء الجوي والجزء تحت الأرض.

**الكلمات المفتاحية:** الأسمدة الحيوية ، الهرمونات النباتية ، ، الإجهاد المائي ، النمو

## Remerciement :

Avant tout, merci DIEU de m'avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir, de me donné la santé, la patience et la volonté pour commencer et continuer à réaliser ce modeste travail.

Je tiens également à remercier Madame **CHAICHI WISSEM**, notre promotrice qui a accepté de diriger ce travail, on la remercie pour la pleine disponibilité, ces orientations, les pertinents conseils et pour les efforts qu'elle a fournie durant la réalisation de ce mémoire, de part de son enseignement rigoureux et méthodologique.

Madame **KHEDDAR. R .MCA** à USDB1, qui nous a fait l'honneur d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Madame **AMARA.N. MCA** à USDB1 d'avoir accepté d'examine ce travail,

Enfin, voici venu le moment de remercier toutes les personnes qui de près ou de loin ont joué un rôle ou participé à l'idée de ce mémoire, à son déroulement et à son aboutissement.

## Dédicaces

Je dédie ce travail

À ma Mère

« Tu m’as donné la vie, la tendance et le courage pour réussir.

Tout ce que je peux t’offrir ne pourra exprimer l’amour et la

Reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t’offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l’affection dont tu m’as toujours entourée. »

À mon Père

« L’épaule solide, l’œil attentif compréhensif et la personne la plus

Digne de mon estime et de mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que Dieu te

Préserve et te procure santé et longue vie. »

À mes chères sœurs, Fatima et Ikram.

À mes chers frères, Ali, Abd el Karim, Zaki, et Karim.

A mes filles, Hiba et Alaa

A mes chéries, Chahinez, Halla, et Hayat pour leurs encouragements permanents et leur soutien tout au long de mon parcours universitaires,

Je vous aime.

**Farida**

**Dédicace :**

Je dédie ce modeste travail

A ma chère maman,

Qui ma soutenu et encouragé durant ces années d'études

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon cher papa,

Pour son amour et son dévouement.

A mes très chers frères,

Islem, Hamza et Oussama

A ma famille, mes proches et a tous ceux qui me donnent de l'amour et la  
vivacité

Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout

Réussite

**Imen**

## Liste des abréviations :

**BS** : Biomasse sèche

**BF** : Biomasse fraîche

**CL** : Croissance en Longueur

**D1** : Dose 1 de phytohormone

**D2** : Dose 2 de phytohormone

**D3** : Dose 3 de phytohormone

**DA** : Dose A d'a base d'algue

**DB** : Dose B d'a base d'algue

**ETP** : L'évapotranspiration thermique potentielle

**H** : hauteur

**PA** : Partie Aérienne

**PS** : Partie Souterraine

**RP** : Racine Pivotante

**RS** : Racine Secondaire

**SF** : Surface Foliaire

**T-** : Témoin négative

**T +** : Témoin positive

## Liste des figures et des tableaux

Figure 1 : Cycle de développement de la tomate (Labeled et Bentamra, 2018) .....	4
Figure2 : Illustration des deux types de croissances de la tomate (Athertonet H, 1986).....	5
Figure3 : Réponses à l'échelle de la plante entière. A partir de (Chaves et al. 2003). .....	10
Figure 4 : Les éléments essentiels indispensables à la croissance des plantes (Osman etMilthorpe., 1971) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 5 : Structure schématique d'un chloroplaste présentant les différentscompartiments(Buchanan, 2000). .....	15
Figure 6 : lieu de l'expérimentation (Google Earth) .....	20
Figure 7: Dispositif expérimental (originale, 2022 ).....	21
Figure 8: Schéma représentatif du dispositif expérimental. ....	22
Figure 9: Présentation du piège a phéromone utilisée (originale, 2022) .....	23
Figure 10: biofertilisants phytohormones utilisée.....	23
Figure 11: biofertilisants a base d'algue utilisée .....	24
Figure 12: les différentes doses de biofertilisants phytohormones utilisent (originale 2022) .....	25
Figure 13 : les différentes doses de biofertilisants a base d'algue utilisent (originale 2022) 25	25
Figure 14: Repiquage les Plantules de tomate dans les pots (Originale, 2022) .....	26
Figure 15:Mesure de la hauteur des plants.....	26
Figure 16:mesure de la longueur des racines (origine 2022). ....	26
Figure 17: Mesure de surface foliaire (origine 2022) .....	27
Figure 18:Mesure du poids frais .....	28
Figure 19:Mesure du Poids Sec en (g). ....	28
Figure 20:Individus capturés de Tuta absoluta par le piège à phéromone (Original, 2022). .	30
Figure 21:Effet de différentes doses des traitements sur la mesure de croissance de tige ...	32
Figure 22 :projection de la croissance des plants de tomate sous l'effet des différentes doses de phytohormones et base e d'algue.....	33
Figure 23:Projection de la surface foliaire des plants de tomate sous l'effet de différentes doses des bioproduits. ....	34
Figure 24:Effet de différentes doses des traitements sur la mesure de croissance de la surface foliaire .....	35

Figure 25:Projection l'effet de l'efficacité des bioproduit sur la croissance de la partie aérienne et le développement de la partie souterenne. ....	36
Figure 26:Effet de l'efficacité des bioproduit sur la croissance de la partie aérienne et le développement de la partie souterenne. ....	37
Figure 27 :La teneur en eau de la culture de Tomate.....	38
Figure 28:La longueur racinaire de la tomate traité et non traité ( originale ,2022) .....	41
Figure 29:Effet de biofertilisant (a base d'algue) sur la partie aérienne. (Originale, 2022) ..	43

## Liste des tableaux

No table of figures entries found.

# TABLE DES MATIERES

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Abréviation

Liste des figures et des tableaux

**INTRODUCTION :** 1

**PARTIE 1 : bibliographique** 3

**CHAPITRE I : généralités sur la tomate** 3

1. Origine et Historique :..... 2
2. Classification botanique et cycle biologique du plant de la tomate :..... 2
3. Identifications des variétés des tomates : ..... 4
4. Exigences nutritionnelles de la tomate :..... 5
5. Maladies et parasites e la tomate : ..... 6
6. Le stress hydrique : ..... 7
7. Les différentes stratégies face au déficit hydrique :..... 8
8. Réponses aux stress hydrique : ..... 9

**CHPITRE II : les mécanisemes de la nutrition** 11

1. Généralités : ..... 11
2. Nutrition hydrique : ..... 11
3. Nutrition minérale : ..... 12
4. Nutrition carboné : ..... 13

**CHAPITRE III : les biofertilisants** 16

1. Définition :..... 16
2. Les types des biofertilisants : ..... 17

**PARTIE 2 : expérimentale** 20

**CHAPITRE 1 : matérielles et méthodes.** 20

1. Objectif :..... 20
2. Lieu expérimental : ..... 20
3. Les Substrats:..... 20

4. Le repiquage	21
5. Méthode d'étude :.....	22
6. Dispositif expérimentale : .....	22
7. Piège a phéromones : .....	23
8. Préparation des traitements : .....	23
9. Les paramètres étudiés .....	26
<b>CHAPITRE 02 : résultats et discussion</b>	<b>30</b>
1. Cas du taux d'infestation du ravageur T. absoluta : .....	30
2. Suivi de l'état physiologique de la plante .....	30
<b>CHAPITRE 3 : discussion</b>	<b>39</b>
1. Evaluation de l'effet des bioproduits utilisés : .....	39
2. L'effet sur la longueur des tiges :.....	39
3. L'effet sur surface foliaire :.....	40
4. L'effet sur Biomasse sèche : .....	40
5. L'effet sur le système racinaire :.....	41
6. Variation des paramètres morphologiques de la partie aérienne sous l'effet de biofertilisants : .....	42
<b>Conclusion :</b>	<b>44</b>
<b>Références bibliographiques :</b>	<b>46</b>

## INTRODUCTION :

L'intensification des cultures maraîchères semble être une nécessité à cause de la demande toujours croissante. Cette intensification nécessite l'étude avec la plus grande attention de tous les facteurs de production. A la première place des légumes produits dans le monde, la tomate représente des enjeux économiques considérables tant au niveau de la commercialisation de ses fruits que des fournitures et des équipements (Papadopoulos, 1991).

La tomate (*Solanum Lycopersicon*), est originaire Amérique du Sud, lorsque les Conquistadores sont arrivés, elle a été distribuée en Californie, en Corée, en Allemagne, au Mexique et en Floride (Renuka et Sadashiva, 2016).

La tomate cerise (*Solanum lycopersicum* ) est une tomate de table populaire, aux petits fruits d'une couleur rouge vif ressemblant à une cerise et ayant un excellent goût (Charlo et al., 2007). Elle offre un grand potentiel en raison de ses caractéristiques précieuses en termes de diversité génétique pour la sélection du matériel parental et de sa large portée géographique (Branca Et Leonardi, 1992).

L'étude porte sur le test de deux biofertilisants sur la culture de tomate cerise (*Solanum lycopersicum* ) avec différents dose et une application foliaire pour déterminé lequel des bioproduits est le plus favorable sur les paramètres de la croissance des tiges , la surface foliaire et aussi la biomasse sèche de la culture du tomate et système racinaire .

Le but principal de cette expérimentation est d'évaluer l'effet et modes d'applications des différents biofertilisants liquides (biofertilisants à base d'algue et biofertilisants phytohormones) comme stimulateur de défense naturelle de la plante en mesurant les paramètres de croissance, développement et l'état phytosanitaire de tomate.(*Solanum lycopersicum*)

Pour cela nous avons émis quelques hypothèses auxquelles nous allons essayer de répondre et qui se résument dans :

Quelle sont les effets des biofertilisants a bas d'algue et phytohormones ?

Quelle est l'influence de ces biofertilisants sur la croissance foliaire et la longueur des tiges dans le temps ?

A quelle dose les biofertilisants choisis favorisent la croissance de la culture. (*Solanum lycopersicum*)?

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA TOMATE

### 1. Origine et Historique :

La tomate est originaire des Andes. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. Ensuite elle s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient (Shankaret al, 2005). Elle a d'abord été cultivée et améliorée par les indiens du Mexique, sous le nom aztèque « tomatl », avant d'être ramenée en Europe par les conquistadores. Neuf espèces sauvages peuvent être observées en Amérique du Sud, seulement deux comestibles, la « tomate groseille » (*Solanum pimpinellifolium*) et la « tomate cerise » (*Solanum lycopersicum* var *cesariforme*) qui est l'ancêtre de nos tomates actuelles (Camille, 2009). En 1905, la tomate est introduite en Algérie par les espagnols dans la région Ouest « Oran » (Rey et Costes, 1965).

### 2. Classification botanique et cycle biologique du plant de la tomate :

La tomate est une plante herbacée annuelle à port buissonnant appartenant à la famille des Solanacées. Elle est classée selon des critères différents liés à l'aspect botanique, génétique et le type de croissance (Gallais et Bannerot, 1992).

Selon Dupont et Guignard (2012), la tomate appartient à la classification suivante :

Règne : Plantae

Sous règne : Trachenobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : *Lycopersicum*

Espèce : *Lycopersicon esculentum*

Liste des synonymes de *Solanum lycopersicum* :

*Solanum lycopersicum* (L. 1753).

*Lycopersicon esculentum* (Mill. 1768).

*Lycopersicon pomumamoris* (Moench 1794).

*Lycopersicon lycopersicum* (H.Karsten 1882)

## **2.2. Cycle biologique de la tomate :**

Chez la tomate, la durée du cycle végétatif complet de la graine varie selon: les variétés l'époque et les conditions de culture. Il s'étend généralement de 3,5 à 6 mois, du semis jusqu'à la dernière récolte Le cycle de la tomate comprend cinq phases (Gallais et Banneros, 1992). qui sont :

### **2.2.1. Phase de germination :**

C'est le passage de la graine de la vie ralentie à la vie active qui se traduit par la sortie des racines radicales et l'émergence de l'hypocotyle en surface. Les réserves sont hydrolysées et fournissent à l'embryon les métabolites nécessaires à ses synthèses et ses divisions cellulaires. La germination effectue au bout de 6 à 8 jours après le semis à une température ambiante entre 18 et 24°C (Carles, 1997).

### **2.2.2. Phase de croissance :**

Selon Laumonier, (1979) la croissance déroule en deux phases dans deux milieux différents : à la pépinière et en plein champs ou sous serre.

- En pépinière: la durée de la croissance de la levée jusqu'au stade 6 feuilles, où la plante assure la formation de racines fonctionnelles qui vont assurer l'alimentation à la plante en eau et éléments nutritifs. A la partie aérienne, la tige s'allonge et forme des feuilles.
- En plein champ ou serre: A partir du stade six feuilles la plante est transférée de la pépinière pour être repiquée en plein champ et continuer ainsi sa croissance. La tige augmente et le nombre de feuilles va Progresser (Laumonier, 1979)

### **2.2.3. Phase de floraison et la pollinisation :**

Selon Rey et Costaes, (1965). La floraison correspond à l'apparition et le développement des ébauches florales qui se traduit par la transformation du méristème apical en passant de l'état végétatif à l'état reproducteur. L'apex s'aplatit, s'élargit et les protubérances formées sont des ébauches des pièces florales. Celle-ci se transforment par la suite en boutons floraux et

s'épanouissent en fleurs. Ces transformations dépendent de plusieurs facteurs: notamment la photopériode, la température et les éléments nutritifs. En conditions favorables, 6 à 7 semaines après le semis apparaissent les bouquets floraux groupés en inflorescences, durant cette phase les températures nocturnes et diurnes doivent être 13°C et 23°C. La pollinisation nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui provoque la vibration des anthères, libérant ainsi le pollen pour la pollinisation (Chaux et Foury, 1994).

### 2.2.4. Phase de fécondation, de nouaison et de fructification :

D'après Rey et Costesen 1965, le temps écoulé entre la pollinisation et la fécondation est 2 à 3 jours. Une bonne nouaison se produit à une température nocturne comprise entre 13°C et 15°C. Les nuits chaudes inférieures à 22 °C sont défavorables à la nouaison.

### 2.2.5. Phase de développement et de maturation des fruits :

La maturation de fruit se caractérise par le grossissement du fruit, changement de couleur, du vert ou rouge. La lumière intense permet la synthèse active des hydrates de carbone transportés rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour nécessaire. (Rey et Costes, 1965).

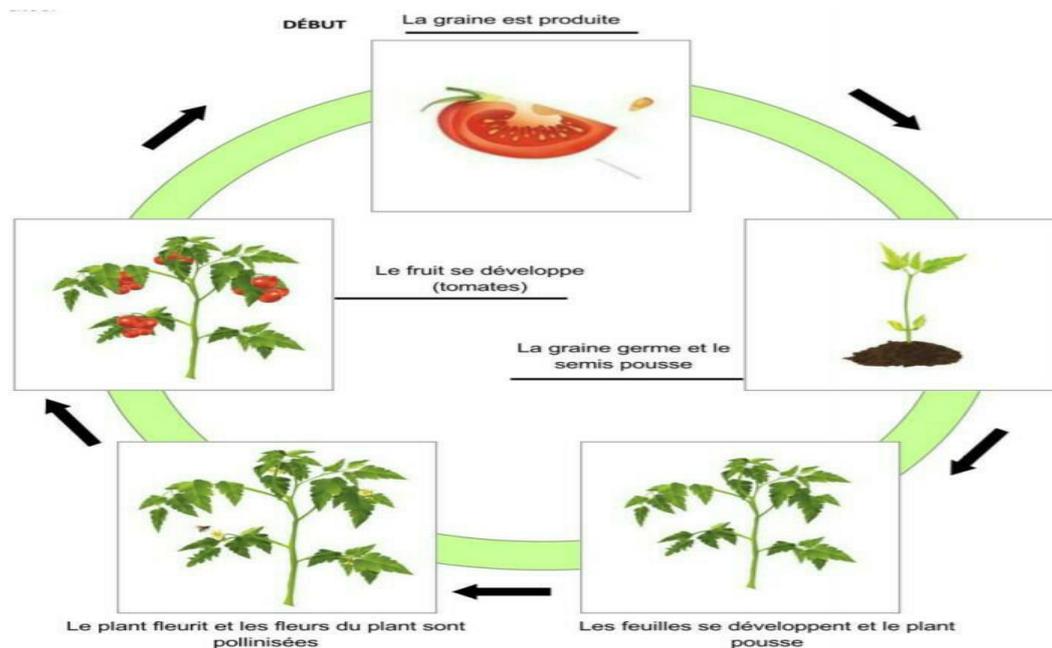


Figure 1 : Cycle de développement de la tomate (Labeled et Bentamra 2018).

### 3. Identifications des variétés des tomates :

Les variétés de tomate sont nombreuses. Leur identification se fonde principalement par :

- ✓ Le type de croissance de la plante (croissance déterminée ou indéterminée)
- ✓ Le type de fruit (forme, couleur, calibre, capacité de conservation, absence ou présence de collet vert, teneur en matière fraîche ....etc)
- ✓ Qualité génétique (variété fixée ou hybride)
- ✓ Résistance aux maladies et aux parasites (Anonyme, 1992)

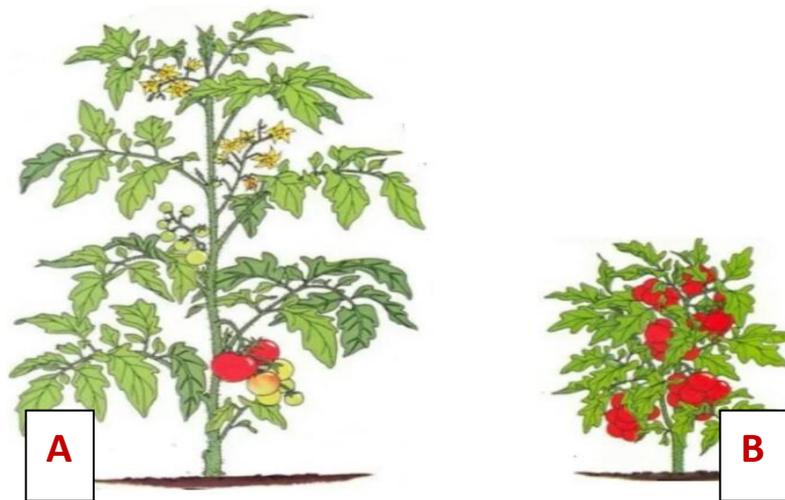
### 3.1. Les variétés de la tomate peuvent représenter deux types de croissances :

#### 3.1.1. Les variétés à croissance déterminées :

Elles sont caractérisées par un nombre déterminé de bouquets de fleurs par tige ; elles sont cultivées sans tuteur et ne nécessitent pas d'ébourgeonnage ; elles sont réservées pour l'industrialisation (Anonyme, 1992)

#### 3.1.2. Les variétés à croissance indéterminée :

Ces variétés présentent une tige principale, poussent avec régularité en formant un bouquet floral toutes les trois fois feuillées généralement. Il en résulte que la production des fruits est prolongée. On peut l'arrêter par pincement du bourgeon terminal à la hauteur désirée (Laumonier, 1979).



**Figure 2:** Illustration des deux types de croissances de la tomate (Atherton H, 1986).

(A) indéterminée, (B) déterminée

## 4. Exigences nutritionnelles de la tomate :

### 4.1. Les exigences hydriques :

D'après Bentvelsen(1980), les besoins de tomate en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m<sup>3</sup> /ha.

## 4 .2. Les éléments fertilisants :

Une production d'une tonne de tomate requiert environ 2.2 à 2.7 Kg d'Azote, 0.7 à 0.9 Kg de phosphore, 3 à 3.3 Kg de potasse et 0.5 à 1 Kg de magnésium (Naika et *al*, 2005).

## 5. Maladies et parasites e la tomate :

Les cultures de tomates peuvent être affectées par diverses attaques de ravageurs (insectes, acariens, nématodes.etc.)et des maladies cryptogamiques , bactériennes ou virales , par la concurrence de mauvaises herbes et par des accidents de végétation ou des agressions abiotique , dont l'importance varie selon le type de culture et les conditions climatiques ,Ravageurs et maladies de la tomates sont souvent commun a d'autre espèce de Solanacées cultivées , comme l'aubergine ou le tabac ( ITCMI , 1994 )

**Tableau 1** : Maladies et parasites des tomates

Désignation des maladies	Traitement et mesures a adopter	Produit et doses utilisé
Botrytis. Cinerea :  Efflorescence grisâtre sur parties aériennes  Tache circulaires sur fruits	Pulvérisation	Benomyl : 60 gr / l. 300gr/ha
Mildiou de la tomate	Pulvérisation préventive sur les jeunes plants et cultures	Manebe : 2kg/ ha
Maladie a virus  Mosaïque de la tomate et du tabac , mosaïque de pomme de terre	Luttés soignée contre les pucerons ;  Ne pas cultiver les tomates au abord de pomme de terre, concombre et tabac	BROMOPKOSI.51 a 21 / ha
Parasites et insectes	Pulvérisation	

Nématodes	Désinfestation du sol, il existe des variétés résistantes	Dazomet : (500 a 600 kg / ha)
Pucerons : Déformation des feuilles	Pulvérisation	Methomyl : 700 g/ ha

Source : **ITCMI (1994)**

## 6. Le stress hydrique :

### 6.1. Définition :

Selon Hopkins en 2003, on appelle un stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype).

### 6.2. Types de stress :

#### 6.2.1. Stress hydrique :

Pour Pindarden 2000, il y a un stress chez la plante quand l'état hydrique perturbe le métabolisme. Cela sous-entend qu'il y a des répercussions directes plus ou moins rapides sur la croissance des organes et leur développement. La première manifestation du stress hydriques chez une plante est le flétrissement mais des recherches ont montré qu'on ne peut se baser sur le flétrissement du feuillage pour détecter le stress, car les fonctions métaboliques sont affectées chez une plante stressée avant que le stress ne soit visible. Il faut avoir recours à des mesures au niveau de la plante, du sol ou à des estimations (PINDARD, 2000).

#### 6.2.2. Stress osmotique :

Le stress osmotique est une circonstance défavorable, qui dérange ou est susceptible de perturber le fonctionnement physiologique normal de la plante, qui affecte la croissance immédiatement et est causée par le sel à l'extérieur des racines (Munns, 2005 ; Munns et Tester, 2008).

#### 6.2.3. Stress salin :

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> (Hopkins, 2003). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle

alors de milieu "physiologiquement sec». La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées.

## 7 .Les différentes stratégies face au déficit hydrique :

Différentes stratégies sont mises en œuvre par les plantes. Nous distinguerons la stratégie dite d'évitement et la stratégie de tolérance. La première consiste à éviter la déshydratation en maintenant le potentiel hydrique des tissus de la plante le plus haut possible. La seconde stratégie implique une tolérance à des potentiels hydriques plus bas. Par la première stratégie, les plantes peuvent décaler et/ ou raccourcir leur cycle végétatif dans le temps. Ce type de réponse est appelé **l'esquive** (Amigueset *al.* 2006).

**L'évitement**, stratégie conservatrice, suppose à la fois de minimiser les pertes en eau et d'optimiser l'absorption de l'eau (Tardieu, 2003). Les pertes en eau sont minimisées par la fermeture des stomates et/ ou la réduction de la surface foliaire transpirante par l'arrêt de la croissance ou le jaunissement de feuilles. Cette stratégie signifie que les plantes peuvent partiellement compenser les plus faibles gains en carbone dus à une photosynthèse ralentie en investissant moins dans le développement de nouveaux organes foliaires (Chaveset *al.* ,2003). L'absorption de l'eau est optimisée par une plus grande allocation vers le développement du système racinaire (Jackson et *al.*,2000). Il y a une contradiction entre l'accumulation de biomasse et l'évitement par la transpiration. L'amélioration variétale peut optimiser les termes de cette contradiction, en augmentant par exemple l'efficacité d'utilisation de l'eau ou en augmentant le maintien de la croissance racinaire ou foliaire en condition de déficit hydrique (Tardieu et Tuberosa, 2010).

La stratégie de tolérance consiste à maintenir les fonctions physiologiques importantes de la plante (croissance, transpiration, photosynthèse) malgré le déficit hydrique (Tardieu, 2003a, 2005b;Amigues *et al.*, 2006). Outre le maintien de la croissance foliaire et des organes reproducteurs, le retard de la sénescence foliaire peut également permettre la translocation des réserves vers les organes reproducteurs grâce au maintien de la capacité photosynthétique. Cette réponse globale de la plante permet le rendement maximal mais accroît également le risque de perte totale de rendement. Cela est favorable en conditions de déficit hydrique modéré mais peut s'avérer non adapté et contre-productif dans le cas de déficits hydriques sévères (Amigueset *al.*, 2006). La tolérance au déficit hydrique peut donc

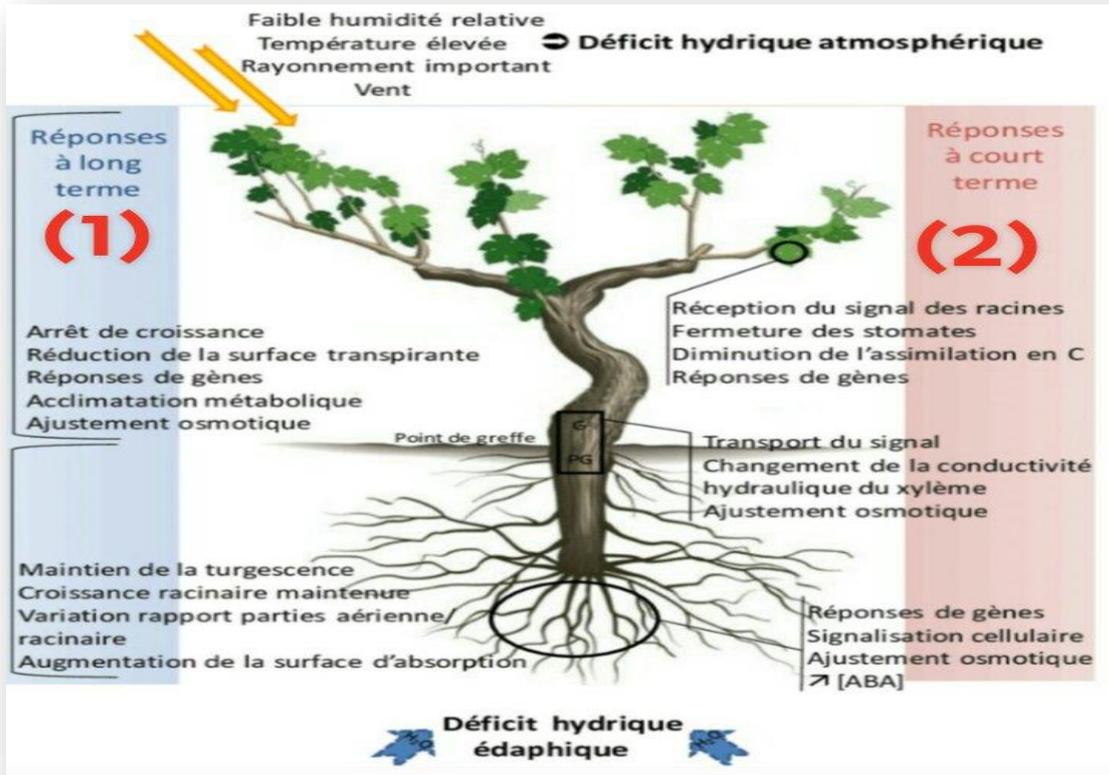
être considérée comme la capacité d'un génotype à produire un rendement acceptable en conditions de déficit hydrique (Tardieu et Tuberosa 2010).

Selon une approche écologique, la résistance à la sécheresse est définie comme la survie : les plantes xérophytes survivent par des stratégies d'économie de la consommation d'eau en conditions très limitantes (Amigues *et al*, 2006). Malgré cette classification, ces stratégies ne sont pas mises en œuvre de manière exclusive ; les plantes combinent toute une gamme de réponses pour faire face aux conditions limitantes en eau (Chaves *et al*, 2003).

Chacune de ces stratégies vis-à-vis du déficit hydrique peut être considérée comme positive, négative ou sans effet sur le rendement en fonction du scénario d'application de la contrainte (Tardieu et Tuberosa ,2010).

## **8. Réponses aux stress hydrique :**

Différents mécanismes de réponse à la perception d'un déficit hydrique ont été mis en évidence (Figure 4). Ces réponses sont complexes et impliquent de nombreuses fonctions physiologiques (Hsiao, 1973). Certains caractères impliqués dans l'adaptation au déficit hydrique déterminent le développement de la plante ou son architecture tels que la phénologie, la date d'arrêt de croissance, le développement de la surface foliaire, la taille et la profondeur du système racinaire, les caractéristiques du xylème et la mise en réserve. Ces caractères peuvent être constitutifs ou induits à plus ou moins long terme par l'application d'un déficit hydrique (Passioura ,2006). Les réponses au déficit hydrique dépendent de l'échelle du temps et de l'objet d'étude : un tissu, un organe, une plante entière (Maseda et Fernandez, 2006). Les réponses au déficit hydrique appliqué sont fonction du stade de développement des plantes qui subissent cette contrainte, de la durée du déficit et de son intensité (Bray, 2004). Les réponses au déficit hydrique présentées par la suite ne concerneront que celles ayant lieu à l'échelle de la plante entière ou de l'organe. Les réponses du système aérien seront considérées dans un premier temps, puis celles du système racinaire seront discutées. Enfin, la signalisation, hormonale ou hydraulique, entre ces deux compartiments sera présentée. Une synthèse sur le modèle d'une plante greffée sera proposée.



**Figure 3:** Réponses à l'échelle de la plante entière. A partir de (Chaves et al. 2003).

(1) , les réponses à long terme ou réponses suite à une acclimatation , (2) ; les réponses à court terme. 'G' représente le greffon, et 'PG' le porte-greffe.

## CHPITRE II : LES MECANISEMES DE la NUTRIRION

### 1. Généralités :

La plante absorbe continuellement l'eau à partir du sol. Cette eau absorbée par l'appareil racinaire migre vers la partie aérienne. Ce courant d'eau est une condition essentielle de l'activité du végétative .Il faut facilite en particulier la pénétration, puis le transport des sels minéraux dans les vaisseaux (Binet et Brunel 1967)

Le sol est un compartiment complexe, un carrefour multifonctionnel (Gobatet *al.*, 1998). Le sol sert de réserve eau, en matière organique et en éléments minéraux pour alimenter la plante. Aussi, il est l'endroit où les organismes décomposeurs prennent en charge la dégradation de toutes les matières organiques produites dans l'écosystème (Robert, 1996). Le sol représente un réservoir de matières organiques et minérales, il sert de support mécanique et nutritif aux êtres vivants (Gobatetal ., 1998)

Selon Heller en 1969, remarque que l'absorption minérale est un phénomène qui se déroule par deux processus, l'un traduisant un transport passif basé sur les mécanismes physique : passage passif avec l'eau, diffusion, échange et adsorption ; et l'autre traduisant un transport actif, s'expliquant par des théories métaboliques : transporteurs, espace libre.

Selon Letard et ses collaborateurs en 1995, la tenure en eau et en matière sèche chez la tomate est respectivement à l'ordre de 90% et de 10%.

### 2. Nutrition hydrique :

La plante absorbe continuellement de l'eau dans le sol ou dans la solution nutritive, cette eau va migrer de l'appareil racinaire vers l'appareil aérien, où elle est évaporée presque totalement sous forme de vapeur par la transpiration. La faible quantité d'eau qui reste (1.5%) est utilisée dans la plante pour son activité au cours de sa période végétative. (Labreche, 1999).Selon Morard en 1995, l'eau est premier facteur limitant des plantes, elle permet :

- le maintien des structures chimiques et biochimique.
- le maintien de la rigidité de la plante.
- le transport des éléments minéraux des substances élaborées
- la régulation thermique grâce à l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Rey et Costes en 1965, notent que le déficit hydrique aux phases critiques (floraison et fructification) gêne la croissance et diminue le rendement même si les signes de dessèchement ne sont pas apparents.

### 3. Nutrition minérale :

Les plantes cultivées tirent la plus grande partie de leur alimentation du sol. La fertilité du sol se divise en plusieurs compartiments qui diffèrent tant par la quantité d'éléments qui s'y retrouvent, que par la forme sous laquelle ils s'y retrouvent et par la vitesse avec laquelle ces éléments sont fournis à la plante (Marshner, 1996)

#### 3.1. Diversité des nutriments chez les plantes :

Les éléments requis pour assurer la croissance et le développement de la plante sont considérés comme essentiels. Epstein (1972) signale deux critères expliquant le caractère essentiel à savoir : l'élément faisant parti d'un constituant ou d'un métabolite essentiel. Parmi les nombreux éléments que l'on peut retrouver dans la composition des tissus végétaux, dix-neuf (19) seulement se sont révélés indispensables à la croissance, au développement et à la reproduction des plantes .

Osman et Milthorpe (1971), informent que les éléments essentiels sont répartis en deux groupes, le premier groupe qui porte le carbone, l'hydrogène et l'oxygène qui proviennent de l'air et de l'eau du sol. Le deuxième groupe contient les 16 autres éléments que la plante trouvent sous forme minérale dans le sol sont appelés éléments fertilisants (**Figure 5**).

		<b>O</b>	oxygène	42 à 44%	} <b>3 éléments de l'air et du sol</b>
		<b>C</b>	carbone	40 à 45%	
		<b>H</b>	hydrogène	6 à 7%	
<b>6 éléments majeurs</b>	{	<b>N</b>	azote	1 à 3%	} <b>16 minéraux essentiels = ELEMENTS FERTILISANTS</b>
		<b>P</b>	phosphore	0,1 à 0,5%	
		<b>K</b>	potassium	0,1 à 3%	
		<b>S</b>	soufre	0 à 0,1%	
		<b>Ca</b>	calcium	0,5 à 3,5%	
		<b>Mg</b>	magnésium	1,5 à 3,5%	
<b>10 oligo-éléments</b>	{	<b>Fe</b>	fer	0,1 à 1,5%	
		<b>Zn</b>	zinc	0,1 à 0,5%	
		<b>Cu</b>	cuivre	0,1 à 0,5%	
		<b>B</b>	bore	0,01 à 0,1%	
		<b>Mn</b>	manganèse	0,01 à 0,1%	
		<b>Si</b>	silicium	0,01 à 0,1%	
		<b>Mo</b>	molybdène	0,01 à 0,1%	
		<b>Na</b>	sodium	0,01 à 0,1%	
		<b>Co</b>	cobalt	0,01 à 0,1%	
		<b>Cl</b>	chlore	0,01 à 0,1%	

**Figure 4 :** Les éléments essentiels indispensables à la croissance des plantes (Osman et Milthorpe., 1971)

Selon Mengel et Kirkby en 1978 ; marquent que les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous une forme assimilable. Parmi les éléments minéraux essentiels, les macroéléments ; leurs apports en grande quantité est nécessaire. Ces derniers sont l'azote (**N**), le phosphore (**P**), le potassium (**K**). Cependant, Le soufre (**S**), le calcium(**Ca**) et le magnésium (**Mg**) sont considérés comme des éléments secondaires ou micro-éléments dont leurs apports est tolérable en petite quantité. Des éléments mineurs, dits oligo-éléments, sont nécessaires en quantité moindre : le fer, le zinc, le cuivre, le bore, le manganèse, le silicium, le molybdène, le sodium, le cobalt et le chlore (Hall *et al.* , 2000).

### 3.2. Besoins des plantes en éléments minéraux :

Les végétaux ont besoin pour croître et se développer de s'alimenter en divers éléments et composés chimiques. (Chaussat *et al.*, 1974). Elle puise dans le sol les éléments minéraux et l'eau, nécessaires à sa croissance. Les principaux éléments nutritifs dont elle a besoin pour sa croissance sont l'azote, le phosphore et la potasse, désignés respectivement par leurs symboles

chimiques : N,P,K. La plante puise également des éléments indispensables en plus petites quantités (calcium, magnésium, soufre) et des oligo-éléments en très petites quantités (fer, manganèse, zinc, cuivre, bore, molybdène). Les besoins de la plante dépendent globalement de l'activité métabolique, en particulier la photosynthèse qui permet la production de la matière organique . Une photosynthèse active, augmente tous les besoins et plus particulièrement en NPK, mais elle dépend aussi de l'utilisation des produits photosynthétiques, autrement dit le stade de développement ( Abga, 2013; Benton et Jones, 2012).

## 4. Nutrition carboné :

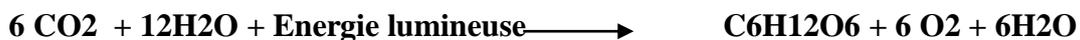
### 4.1. Définition de la photosynthèse :

La nutrition carboné ou la photosynthèse est le phénomène pivot du monde appelée aussi assimilation chlorophyllienne, est la fonction par laquelle les plantes vertes exposées à la lumière, synthétisent leurs substances organiques et particulièrement leurs glucides à partir du gaz carbonique de l'air (ou dissous dans l'eau) et de l'eau absorbée par les racines. Autrement dit, la photosynthèse est le processus biochimique qui permet aux plants vertes, grâce à la présence de la chlorophylle de :

- Capter l'énergie lumineuse.

- Transformer le carbone atmosphérique minéral ; CO<sub>2</sub> en carbone organique.
- Restituer de l'oxygène à l'atmosphère.

Sachant que la matière vivante est composée principalement de C,H,O,N atomes combinés en molécules organiques, la photosynthèse est le mécanisme qui permet d'incorporer dans ces molécules, la carbone C et l'oxygène O tous deux du CO<sub>2</sub>, l'hydrogène H venant de l'eau H<sub>2</sub>O. Quand à l'oxygène O<sub>2</sub> venant de la « cassure » de l'eau, il retourne à l'atmosphère, ce *phénomène* se résume généralement par l'équation suivante (Soltner et *al*, 2001)



## 4.2. Les phase de la photosynthèse :

La photosynthèse se divise en deux phases, appelées la phase claire et la phase sombre.

### 4.2.1. La phase claire :

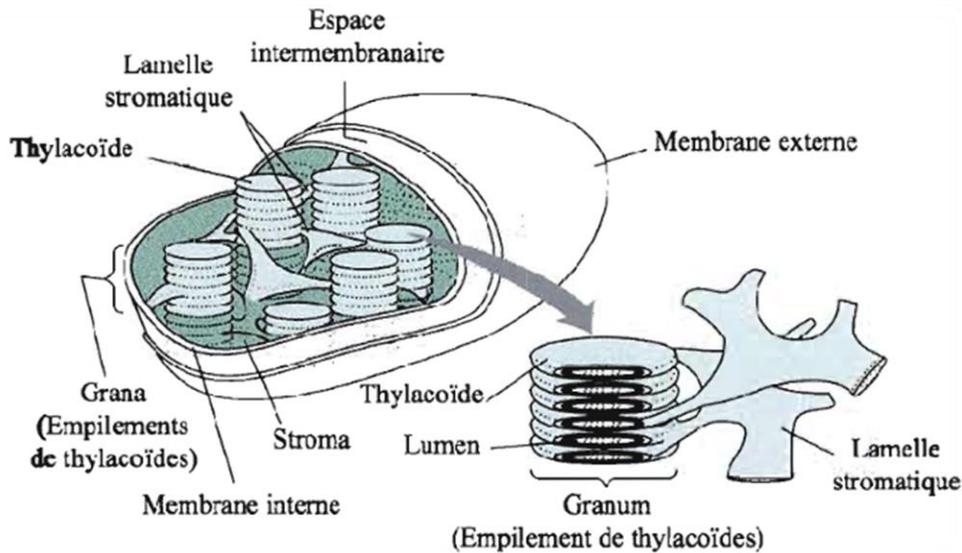
Correspond à l'ensemble des réactions photochimiques permettant la conversion de la lumière en énergie chimique. Ces réactions photochimiques sont caractérisées par un transport d'électrons et par l'établissement d'un gradient de protons vers l'intérieur du thylacoïdes, ce qui permet ultimement la synthèse d'adénosine triphosphate(ATP) et de nicotinamide adénine dinucléotide phosphate (NADPH).

### 4.2.2. La phase sombre :

Appelée ainsi, du fait qu'elle est indépendante de la lumière et est caractérisée par un ensemble de réaction biochimique appelé le Cycle de Calvin. Dans cette phase, l'ATP et le NADPH sont utilisés pour la transformation du CO<sub>2</sub> en glucides (Blankenship,

## 4.3. Site de la photosynthèse :

La photosynthèse a lieu dans un organite spécialisé appelé chloroplaste dont la structure et les fonctions sont largement documentées et connues (Figure 8) (Mustardy et Garab, 2003 ; Shimoniet *al* ., 2005). Cet organite est défini par une bicouche lipidique qui forme lamembrane du chloroplaste. Elle permet de séparer le stroma (milieu intra chloroplastique) et le cytoplasme cellulaire. Un ensemble de transport actif permet de véhiculer te dioxygène, le dioxyde de carbone, des ions (Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> et H<sup>+</sup>), des glucides ainsi que l'ensemble des enzymes participant aux processus photosynthétiques.



**Figure5** : Structure schématique d'un chloroplaste présentant les différents compartiments (Buchanan, 2000).

L'intérieur du chloroplaste contient des systèmes membranaires, ressemblant à des vésicules, appelés les thylacoïdes qui peuvent s'empiler et former des Granum. Les thylacoïdes non empilée forme les lamelles du stroma reliant ainsi plusieurs granas. Le thylacoïdes est composé d'une membrane (bicouche lipidique) séparant le stroma du lumen. Cette membrane porte l'ensemble des structures pigment-protéines responsables de l'absorption de la lumière, du transport d'électron et de protons permettant la phase lumineuse de la photosynthèse (Mustardy et Garab, 2003 ; Dekker et Boekema, 2005).

## CHAPITRE III : LES BIOFERTILISANTS

### 1. Définition :

Dans la littérature scientifique, le mot biostimulants a d'abord été défini par Kauffman (2007) comme étant « des substances, autres que les engrais, qui favorisent la croissance des plantes lorsqu'ils sont appliqués en faibles quantités ». Ceux-ci se divisent généralement en deux classes : les biostimulants microbiens et les biostimulants non microbiens. Le mot biostimulants a été de plus en plus utilisé au cours des années suivantes, la gamme de substances et les modes d'action allant sans cesse en s'élargissant (Calvo *et al*, (2014) .

Ainsi, un biostimulants est une substance ou un microorganisme appliqué sur les plantes ou dans le sol dans le but d'améliorer la disponibilité des éléments nutritifs aux cultures, l'efficacité d'utilisation des nutriments par les plantes, la tolérance des plantes aux stress abiotiques et biotiques ainsi que les caractéristiques de qualité des cultures, et ce, indépendamment de leur teneur en éléments nutritifs. Les biostimulants stimulent le métabolisme primaire et les mécanismes de défense des plantes, ayant pour effet d'augmenter leur croissance, leur efficacité nutritionnelle et leur tolérance aux stress . Les biostimulants fonctionnent donc selon des mécanismes différents de ceux des fertilisants inorganiques, quelle que soit la présence d'éléments nutritifs dans les produits. Les biostimulants diffèrent également des produits phytosanitaires, car ils agissent uniquement sur la vigueur de la plante et n'ont pas d'action directe contre les ravageurs ou les maladies (Calvo *et al*, 2014 ).

Les biostimulants peuvent également se définir comme des substances provenant de sources naturelles ou biologiques et pouvant (Calvo *et al*, 2014) :

- Améliorer la croissance et le développement des plantes lorsqu'ils sont appliqués en petites quantités.
- Aider à améliorer l'efficacité d'utilisation des nutriments des plantes, telles que l'amélioration de l'absorption ou la réduction des pertes d'éléments nutritifs dans l'environnement.
- Agir comme des amendements du sol pour aider à améliorer la structure, la fonctionnalité ou la performance du sol et ainsi améliorer la réponse des plantes.

## 2. Les types des biofertilisants :

Certaines grandes catégories de biostimulants sont largement reconnues par les scientifiques, les régulateurs et les parties prenantes (Calvo *et al.*, 2014 ), couvrant à la fois les substances et les microorganismes. Ainsi Kauffman et ses collaborateurs en 2007, ont classé les biostimulants organiques en trois groupes : les extraits d'algues, les substances humiques et les produits contenant des acides aminés. Selon Tarantino *et ses collaborateurs* en 2015 il ya de produits dérivés d'extraits végétaux ou d'algues, de champignons, de bactéries ou d'hydrolysats d'animaux, qui se composent d'oligosaccharides, de vitamines, de substances humiques (p. ex. des mélanges d'acides humiques et fulviques), de micro-éléments et d'hydrolysats de protéines qui sont considérés comme des biofertilisants . Récemment, du Jardin (2015) a regroupé les biostimulants en sept catégories : 1) acides humiques et fulviques, 2) hydrolysats de protéines et autres composés contenant de l'azote, 3) extraits d'algues et plantes, 4) chitosane et autres biopolymères, 5) composés inorganiques, 6) champignons bénéfiques et 7) bactéries bénéfiques (Calvo *et al.*, 2014).

### 2.1. Acides humiques :

Les substances humiques sont considérées comme les molécules organiques naturelles les plus abondantes sur terre (Calvo *et al.* . 2014). Ceux-ci sont des constituants naturels de la matière organique du sol, résultant de la décomposition des résidus végétaux, animaux et microbiens, mais aussi de l'activité métabolique des microbes du sol utilisant ces substrats 24 Constitués de deux groupes, les acides humiques et les acides fulviques sont des collections de composés hétérogènes, classés à l'origine en fonction de leur poids moléculaire et de leur solubilité dans les humines. Toute tentative d'utilisation de substances humiques pour favoriser la croissance des plantes et le rendement des cultures doit optimiser ces interactions pour atteindre les résultats escomptés (du Jardin 2015).

Dans le milieu de culture, les substances humiques joueraient un rôle clé dans diverses fonctions du sol et des plantes telles que le contrôle de la disponibilité des nutriments, les échanges de carbone et d'oxygène entre le sol et l'atmosphère, et la transformation et le transport de produits chimiques toxiques. La promotion du développement du système racinaire est l'effet initial le plus fréquemment rapporté des acides humiques sur la croissance des plantes. La promotion de la croissance des pousses par les acides humiques a également été signalée avec plusieurs espèces et ainsi que l'absorption des éléments nutritifs, la tomate (Adaniet *al.* 1998)

## 2.2. Extraits d'algues et de plantes :

Les algues marines sont utilisées depuis des millénaires, soit directement, soit après le compostage comme amendement du sol pour améliorer la fertilité du sol et la productivité des cultures (Khan *et al*, 2009), mais les effets biostimulants n'ont été enregistrés que récemment. Cela incite à l'utilisation commerciale d'extraits d'algues et de composés purifiés, qui comprennent les polysaccharides les minarines, les alginates et les carraghénanes et leurs produits de décomposition ( Calvo 2014). Les extraits agissent comme biostimulants en améliorant la germination et l'établissement des graines, améliorant la croissance des plantes, le rendement, la nouaison et la production de fruits, augmentant la résistance aux stress biotiques et abiotiques et améliorant la durée de conservation après la récolte (Khan *et al* ., 2009 ).

## 2.3. Extraits d'hormones végétales (phytohormones) :

Les hormones végétales, encore appelées phytohormones, sont des substances organiques naturelles qui influencent l'ensemble des processus physiologiques de croissance, de différenciation et de développement des plantes et leur confèrent leur capacité d'adaptation aux variations de conditions de l'environnement, (François *et al*, 2021) .phytohormones comme l'acide abscissique, l'acide jasmonique, l'éthylène ou encore l'acide salicylique sont plus souvent classées comme phytohormones de stress au regard de leurs actions dans les réponses aux contraintes biotiques ou abiotiques. Ces hormones peuvent néanmoins être impliquées dans le contrôle d'étapes essentielles de développement comme la maturation des fruits pour l'éthylène ou le développement du pollen pour le jasmonate (François *et al*, 2021).

## 2.4. Composés inorganiques :

Les cinq principaux éléments bénéfiques sont Al, Co, Na, Se et Si, présents dans les sols et dans les plantes sous forme de différents sels inorganiques et sous forme insoluble comme la silice amorphe chez les graminacées. De nombreux effets d'éléments bénéfiques sont rapportés par la littérature scientifique, qui favorise la croissance des plantes, la qualité des produits végétaux et la tolérance au stress abiotique. Cela comprend la rigidification de la paroi cellulaire, l'osmorégulation, la transpiration réduite par les dépôts cristallins, la régulation thermique via la réflexion des rayonnements, l'activité enzymatique par les cofacteurs, la nutrition des plantes via les interactions avec d'autres éléments pendant l'absorption et la mobilité, la protection antioxydante, les interactions avec les symbiotes, la réponse aux pathogènes et aux herbivores, la protection contre la toxicité des métaux lourds, la synthèse et la signalisation des hormones végétales ( du Jardin, 2015).

## 2.5. Champignons bénéfiques :

Les champignons mycorrhiziens sont un groupe hétérogène qui établissent des symbioses avec plus de 90 % de toutes les espèces végétales. Parmi les différentes formes d'interactions physiques et de groupes impliqués, les Arbuscule-Forming Mycorrhiza (AMF) sont un type d'endomycorhize répandu (Behie et Bidochka 2014 ; du Jardin 2015). Néanmoins, d'autres endophytes fongiques, comme *Trichoderma* spp. (Ascomycota) et Sebaciales (Basidiomycota), distincts des espèces mycorrhiziennes, sont capables de vivre au moins une partie de leur cycle de vie loin de la plante, de coloniser les racines et, comme montré récemment, de transférer des nutriments à leurs hôtes, en utilisant des mécanismes mal compris (Behie et Bidochka 2014 ; du Jardin 2015)

## 2.6. Bactéries bénéfiques :

Les bactéries interagissent avec les plantes de toutes les manières possibles (Ahmad *et al.*, 2008) : (a) comme pour les champignons, il existe un continuum entre mutualisme et parasitisme ; (b) des niches bactériennes s'étendent du sol à l'intérieur des cellules, avec des emplacements intermédiaires appelés rhizosphère et rhizoplan ; (c) les associations peuvent être transitoires ou permanentes, certaines bactéries étant même transmises verticalement via la graine ; (d) les fonctions influençant la vie végétale, l'apport de nutriments, l'augmentation de l'efficacité d'utilisation des nutriments, l'induction de la résistance aux maladies, l'amélioration de la tolérance au stress abiotique, la modulation de la morphogenèse par les régulateurs de croissance des plantes. (Calvo *et al.*, 2014).

Les algues contiennent toutes du sélénium, du zinc, du cuivre qui renforcent les défenses immunitaires. Elles sont aussi une source naturelle et importante de fibres avec une teneur moyenne de 35 à 40 % du poids sec et dont plus de la moitié sont solubles. (Lahaye et Kaeffer, 1997).

# Partie 2 : Expérimentale

## CHAPITRE 1 : MATERIELLES ET METHODES.

### 1. Objectif :

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet / modes d'applications des différents biofertilisants liquides (biofertilisants à base d'algue et biofertilisants phytohormones) comme stimulateur de croissance naturelle de la plante en mesurant les paramètres de croissance, développement et l'état phytosanitaire de Tomate. (*Solanum Lycopersicon*)

### 2. Lieu expérimental :

L'expérimentation a été réalisée durant la période étalée entre 09/03/2022 et le 25 /05/2022 au niveau d'une serre expérimentale située dans le département des Biotechnologies et Agro-Ecologie (Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'université de Blida 1 ; sous des conditions semi-contrôlées, d'exposition Nord-Sud .l'éclairage est celui du jour, la température varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre, l'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées .



**Figure 6:** lieu de l'expérimentation (Google Earth)

### 3. Les Substrats:

Dans notre expérimentation nous avons utilisé un seul Substrat ; C'est une tourbe noire d'origine Allemande, produit par la société EUFLOR, elle est utilisée pour la production des jeunes plants maraichères et plantes ornementales .

La tourbe noire 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 de la plante .Elle contribue également à la formation d'un complexe argilo-humique. Le tableau suivant montre les caractéristiques de cette tourbe.

## Partie 2 : Expérimentale

**Tableau 2:**caractéristiques de la tourbe noire utilisée

Caractéristiques	Proportion
PH	4,5 - 6,5
Taux de matière Organique	85 -95%
Conductivité électrique	468 Ms/Cm
Mousse de la tourbe blanc 0-8 Mm	40%
Mousse de la tourbe Noire 0-8 Mm	80%
Capacité de saturation en eau	627g /100g
Densité	305 Kg/ m <sup>3</sup>
Taux d'humidité	40 – 65 %
Taux de carbone /Azote C/N	1 :37

#### 4. Repiquage :

Le repiquage de tomate (*Solanum Lycopersicon*) dans les pots a eu lieu 09/03/2022, Les jeunes plants ont été transplantés au stade 5-6 feuilles dans des pots en plastique ; Ces derniers ont été arrosés avec l'eau du robinet pour favoriser la reprise des jeunes plantules



**Figure07 :** Repiquage les Plantules de tomate dans les pots (Originale, 2022)

## Partie 2 : Expérimentale

### 5. Méthode d'étude :

L'expérimentation a été menée sur des plantules de tomate type cerise (*Solanum Lycopersicum*). Elle se caractérise par des feuilles de petite taille et des fruits rappelant la forme d'une cerise, à la taille et au poids réduits, qui se présentent en petites grappes florales très ramifiées portant nombreux fruits. L'expérimentation a été réalisée dans une serre en polycarbonate sous des conditions semi-contrôlées.

Le repiquage a été effectué le 09/03/2022. Les plantules sont placées dans des pots en plastique de couleur blanche, deux biofertilisants liquides sont utilisés comme stimulateurs de défense naturelle de la plante : phytohormones (03 doses appliquées) et à base d'algues (02 doses appliquées).

### 6. Dispositif expérimental :

Au cours de notre expérimentation, nous avons étudié 07 blocs avec deux traitements appliqués par différentes doses dans le but de tester leur efficacité en comparant avec des témoins (01 témoin positif et 01 témoin négatif).

- Chaque bloc est représenté par 04 répétitions. (Voici la Figure)



**Figure 08:** Dispositif expérimental (originale, 2022)

## Partie 2 : Expérimentale

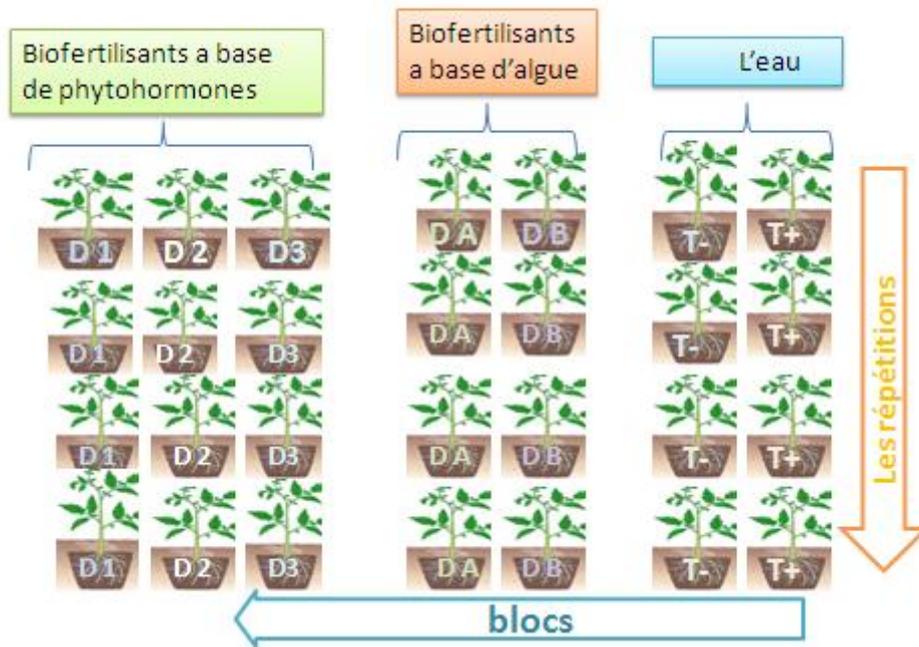


Figure 09 : Schéma représentatif du dispositif expérimental.

### 7. Piège à phéromones :

Vu que la tomate, est sensible aux maladies, nous avons utilisé un piège à phéromones pour capté les ravageurs et le protégé



Figure 10 : Présentation du piège a phéromone utilisée (originale, 2022)

### 8. Préparation des traitements :

Durant notre expérimentation nous avons utilisé deux bioproduits (a base d'algue marines et phytohormones)

## 8.1. Le biofertilisants phytohormones

Ce bioproduct est à base d'un mélange d'oligo-éléments .Silicium sous forme d'acide orth-silicique.

### 8.1.1. La composition :

- Oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ) 2%.
- Molybdène (MO) soluble dans l'eau 0.03%
- Zinc (Zn) soluble dans l'eau

### 8.1.2. 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 11** : biofertilisants phytohormones utilisée(original 2022)

## 8.2. Le biofertilisants à base d'algue :

C'est un bio stimulant qui favorise la division cellulaire, La formation des tissus et des organes de la plante, induit la formation des bourgeons, stimule l'initiation des feuille.la croissance et le développement des racines en augmentant la production et en améliorant la qualité de la récolte.

- C'est un puissant stimulant qui aide les cultures à surmonter les conditions de stress et améliorer le rendement des récoltes



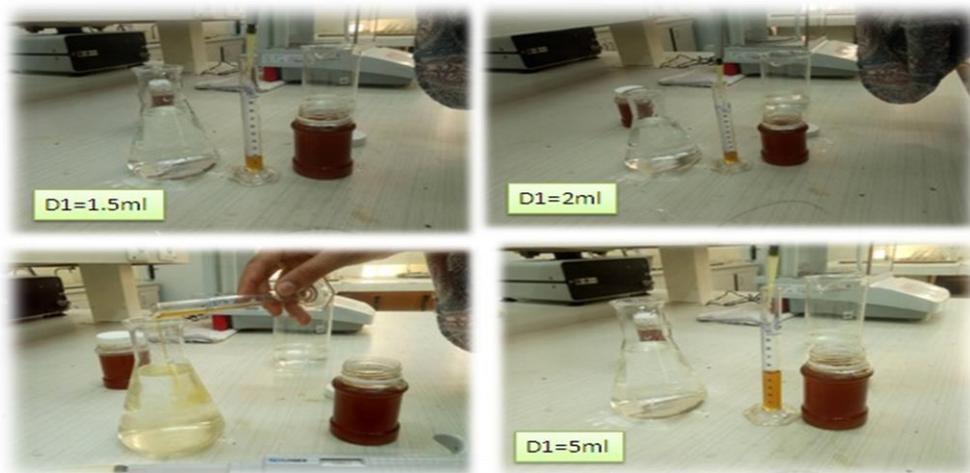
**Figure 12:** biofertilisants a base d'algue utilisée (originale 2022)

### 8.3. Dilution des traitements

Nous avons prélevé les solutions des traitements à l'aide d'une pipette graduée, et diluée dans un bicher, les prélèvements des produits versé dans une bouteille de 5L d'eau et on a agité jusqu'à l'obtention d'une solution homogène .

- **Bioproduit a base de phytohormone :**

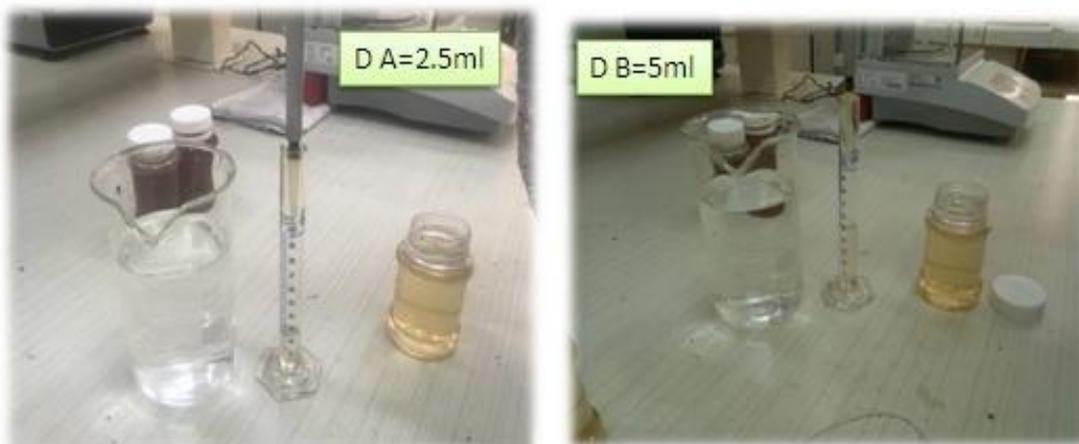
On a utilisé trois doses différentes (1.5 ml et 2ml et 5ml), chaque dose est diluer en 5L d'eau



**Figure 13 :** différentes doses de biofertilisants phytohormones utilisent (originale 2022)

- **Bioproduit a base d'algue :**

On a utilisées deux doses déférentes (2.5ml et 5ml) , chaque dose est diluer en 5L d'eau



**Figure 14 :** différentes doses de biofertilisants a base d'algue utilisent (originale 2022)

**9.les paramètres étudiés :**

**9.1 Hauteur des tiges et racines :**

- **Les tiges :** Cette opération consiste à mesurer journalière (de 09/03/2022 jusqu'à 17/05/2022), la hauteur des plantules en centimètre à partir du collet jusqu'à l'apex à l'aide d'un règle graduée



**Figure15 :** Mesure de la hauteur des plants (originale ,2022)

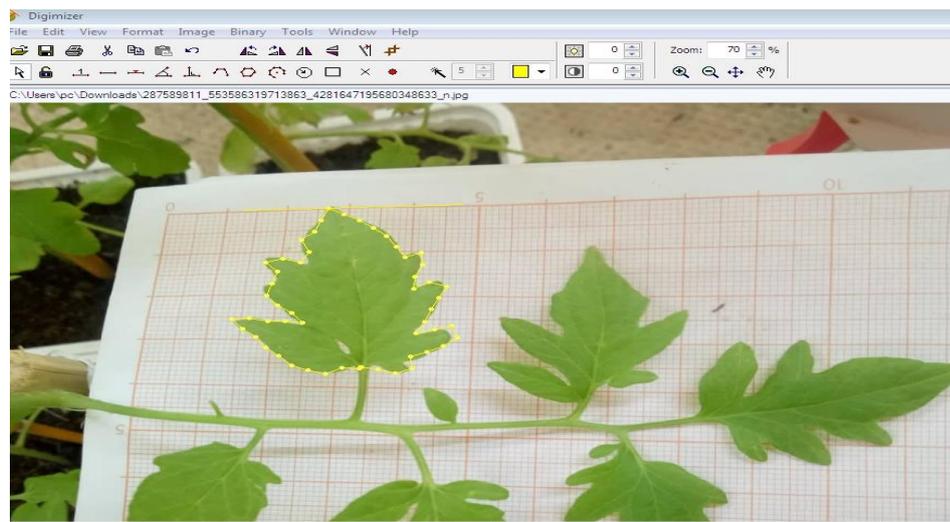
**Les racines :** A l'aide d'un papier millimètre, nous avons mesuré la longueur des racines principales après lavé soigneusement de ces derniers du substrat. **Figure 22:** mesure de la longueur des racines (origine ,2022).



**Figure 16:** mesure de la longueur des racines (origine ,2022).

**9.2. La surface foliaire :**

La surface foliaire a été mesurée à l'aide d'un logiciel Digimizer . Une feuille par plante a été prise, et ce à raison de quatre répétitions pour chaque bloc.



**Figure 17:** Mesure de surface foliaire (origine ,2022)

**9.3. Poids frais (g) :**

Nous avons pesé la partie aérienne et la partie souterraine à l'aide d'une balance à précision.



**Figure 18:** Mesure du poids frais (originale ,2022)

**9.4. Poids Sec (g) :**

Le poids sec a été mesuré après le dessèchement des poids frais des tiges et des feuilles et des racines de chaque bloc , à l'aide d'une balance de précision (PCE-BS 6000) en gramme. Les pesés ont portés chaque jour jusqu'à stabilité du poids.



**Figure 19:** Mesure du Poids Sec en (g).(originale, 2022)

**9.5. La teneur en eau % :**

Nous avons calculé la teneur en eau des plantules selon l'équation suivant :

$$\text{La teneur en eau \%} = \frac{(\text{MF}-\text{MS})}{\text{MF}} * 100$$

**9.6. Analyses statistiques des résultats :**

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.

**9.7.1 Analyses multi variées (PAST vers. 1.37)**

Dans le cas de variables quantitatives, les relations multi variées sont étudiées à l'aide d'une analyse en composantes principales (A.C.P.). Ainsi, nous avons analysé globalement les variables (paramètres morphologique,).

A partir des coordonnées des variables et des facteurs pris sur les trois premiers axes de l'analyse en composantes principales, une classification ascendante hiérarchique est réalisée dans le but de détecter les groupes corrélés à partir des mesures de similarité calculées à travers des distances euclidiennes entre les Coordonnées des variables quantitatives étudiées.

**9.7.2. Modélisation (PAST vers. 1.37)**

La corrélation entre les mesures quantitatives a été étudiée via l'analyse des coefficients de corrélation (la significativité a été considérée lorsque  $p < 0,05$ ). Pour les variables quantitatives, les moyennes, les écart-types et les coefficients de variation ont été calculés pour tous les caractères mesurés

**9.7.3. test 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 réalisé par le logiciel PAST, version (Hammer et al, 2001).

**9.7.4. boîtes à moustache :**

Boite 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.

### CHAPITRE 02 : résultats et discussion :

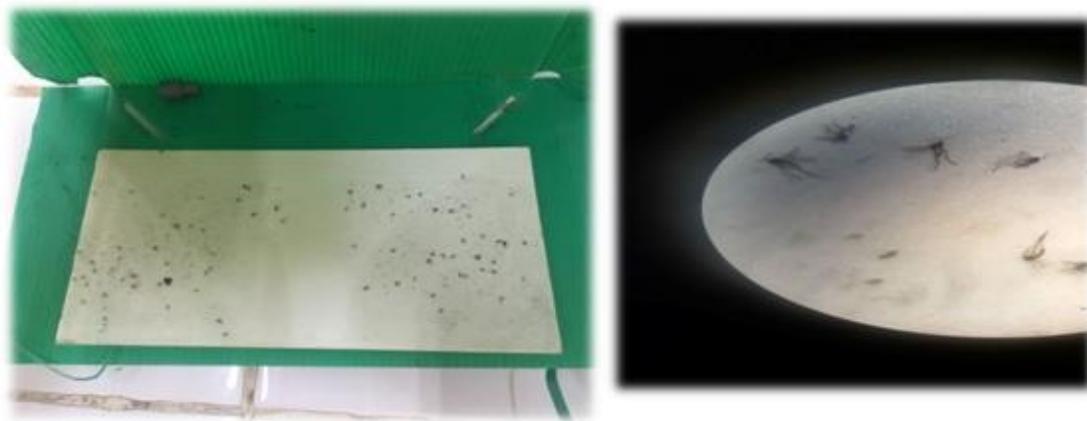
À travers cette étude, nous avons tenté de mettre en évidence l'efficacité des biofertilisants sur la croissance (la longueur des tiges) et sur le développement foliaire (surface de feuilles) et racinaire de tomate (*Solanum Lycopersicon*)

Les résultats relatifs à l'effet des biofertilisants (à base d'algue et phytohormones) sur les paramètres morphologiques de la tomate *Solanum lycopersicum*.

#### 1. Cas du taux d'infestation du ravageur *Tuta. 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 et à mesure du suivi du développement de la culture (*Solanum Lycopersicum*), 70 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 différents biofertilisants



**Figure 20** : Individus capturés de *Tuta absoluta* par le piège à phéromone (Original, 2022).

#### 2. Suivi de l'état physiologique de la plante

La croissance verticale est une mesure utile pour vérifier le développement des plantes durant une période donnée. Aussi, durant les jours, les plantes développent un nombre considérable de feuille. 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 (*Solanum Lycopersicon*)

### **2.1. Evaluation temporelle de l'effet des différentes doses d'application de bioproduit sur la croissance des tiges :**

Le graphe de la figure (21) représente des boîtes à moustaches qui montrent l'application des différentes doses des bioproduits à l'effet de différents blocs, sur la mesure de la croissance en longueur des plants de tomate durant la période du suivi (09/03/2022 jusqu'à 17/05/2022). Sachant qu'on a induit une période de stress hydrique de 26/04/2022 jusque 08/05/2022 Les résultats de l'analyse de corrélation expriment une différence hautement significative pour les 07 blocs.

La comparaison par paire établie par corrélation fait ressortir la présence d'une différence hautement significative ( $p= 2.91*10^{-20}$  ,  $p\leq 1$  %) entre le témoin négative et témoin positive

Aussi y'a une différence très hautement significative entre le bloc de dose B et le bloc de dose A ( $p=6.90*10^{84}$   $p\leq 1$  %)) et entre le bloc de D3 et le bloc de D2 avec une corrélation de

( $P=3.13*10^{-23}$ ,  $p\leq 1\%$ )

La suit de comparaison par corrélation entre le bloc de D2 et le bloc de D1, nous avons remarque qu'il y'a une différence hautement significative avec ( $p=6.759*10^{-19}$ ,  $p\leq 1\%$ )

Ensuite, la comparaison entre le bloc de D3 et le bloc de D1 indique une différence hautement significative de ( $P=2.89*10^{-19}$ ,  $p\leq 1\%$ ), La corrélation désigne la présence d'une différence hautement significative ( $p= 4.74 \times 10^{-18}$  ;  $p\leq 1\%$ ) entre le bloc de D3 et le bloc de DA. aussi entre le bloc de D3 et le bloc de DB.

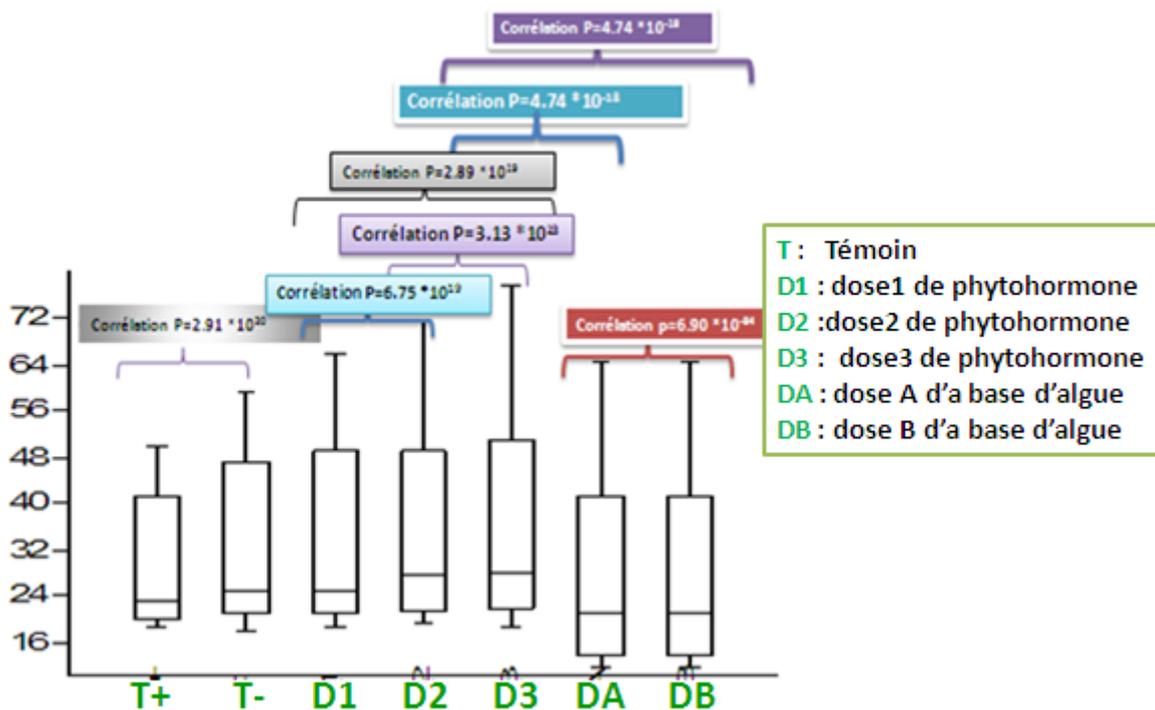


Figure 21: Effet de différentes doses des traitements sur la mesure de croissance de tige

## 2.2. Modulation de l'effet des différentes doses de bioproduit sur la croissance des tiges de la culture :

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).

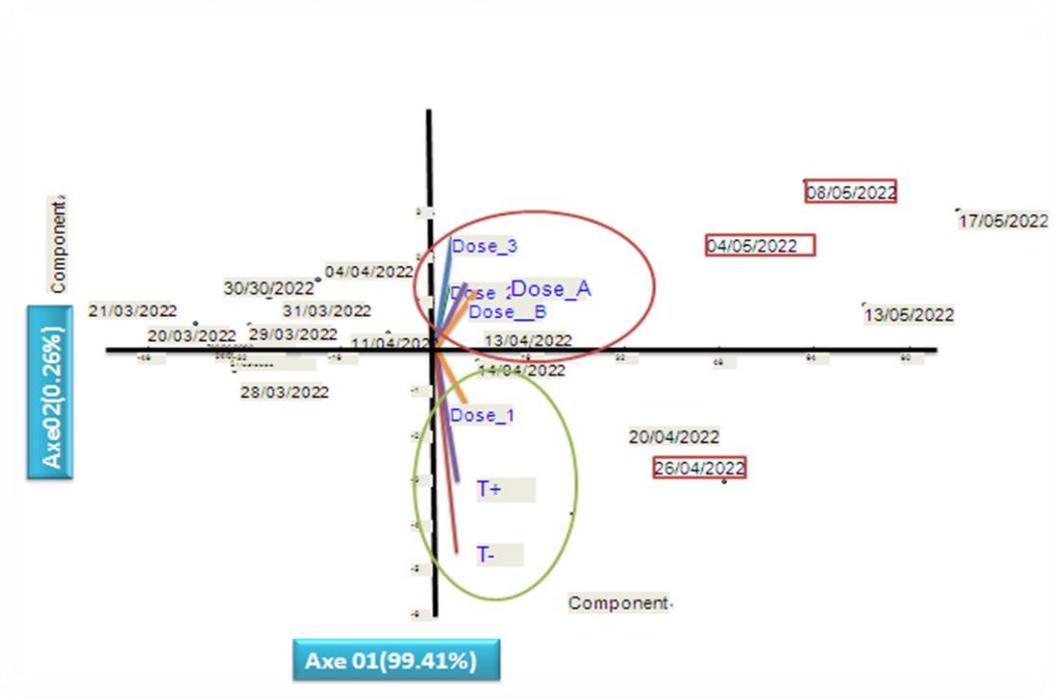
Une vision globale de spatiale des facteurs de différentes doses de deux bioproduit ; à base d'Algue et a base de phytohormone, Nous permis de distinguer une différence d'efficacité entre les différentes applications. De bioproduits en comparant avec les déférant témoins (T- et T+).

L'analyse en Composantes Principales (ACP) montre que les différentes doses appliquées sont comparables par les deux axes, l'axe 1 est de 99,41% et l'axe 2 est de 0,26%.

L'analyse multi variée est acceptable de faite que les deux axes présentent un pourcentage de contribution de 99,68 %.

En revanche, la projection des variables montre que la tendance des vecteurs de différents blocs confirme l'efficacité de D3 et D2 sur la mesure de croissance de la partie aérienne (tige) surtout durant et après la période de stress hydrique (de 26/06/2022 à 08/05/2022).

Aussi pour les deux blocs d'base d'algue (DA et DB), ils ont une efficacité importante sur la croissance des tiges par a pour au les blocs des témoins T- et T+ qui ont même efficacité avec le bloc de D1. Au milieu d'application du traitement.



**Figure 22:** projection de la croissance des plants de tomate sous l'effet des différentes doses de phytohormones et base e d'algue

### 2.3. 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 a un ACP (Analyses en composantes principales effectuée avec PAST version 1.91 (Hammer *et al*, 2001).

Une vision globale de projection spatiale des facteurs de différente dose de bioproduit d'oligo-éléments.

Nous permis de distinguer une différence d'efficacité entre les différentes applications.

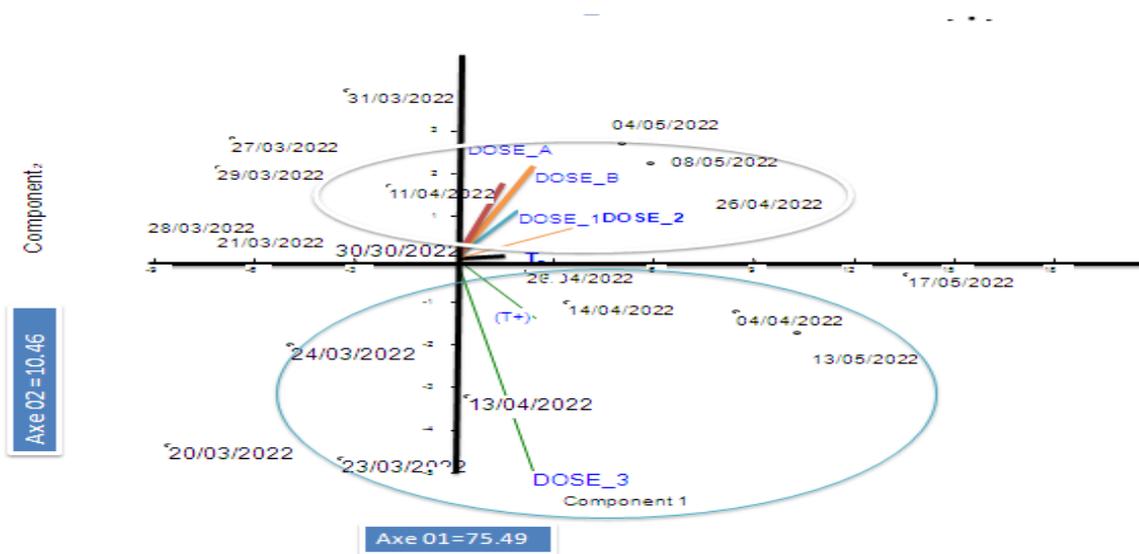
L'analyse en Composantes Principales(ACP) montre que l'effet de différentes doses appliquées est comparable par les deux axes, l'axe 1 est de 75.49%, et l'axe 2 est de 10.46%.

L'analyse multi variée est acceptable du fait que les deux axes présentent un pourcentage de contribution de 85.95%.

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 (*Solanum Lycopersicon*), cette analyse a pu démontrer l'efficacité des différents bioproduit (DB et DA) suite au stress hydrique provoqué (de 26/04/2022 jusqu'à 08/05/2022).

On remarque que D3 a un effet plus important sur la surface foliaire

Les résultats de l'ACP montrent également le biofertilisants à base d'algue (DB) à plus d'effet sur la croissance de la surface foliaire durant toute la période de suivi



**Figure 23 :** Projection de la surface foliaire des plants de tomate sous l'effet de différentes doses des bioproduits.

### 2.4. Evaluation temporelle de l'effet des différentes doses d'application de bioproduit sur la croissance de la surface foliaire :

Le graphe de la figure (24) représente des boîtes à moustaches qui montrent l'application des différentes doses des bioproduits à l'effet de différents blocs, sur la mesure de la surface foliaire des plants de tomate durant la période du suivi (09/03/2022 jusqu'à 17/05/2022). Sachant qu'on a induit une période de stress hydrique de 26/04/2022 jusque 08/05/2022 Les résultats de l'analyse de corrélation expriment une différence significative pour les 07 blocs.

La comparaison par paire établie par corrélation fait ressortir la présence d'une différence significative ( $p=5.81 \cdot 10^{-4}$ ,  $p \leq 1 \%$ ) entre le témoin négative et témoin positive

Aussi y'a une différence significative entre le bloc de dose 1 et le bloc de témoin- ( $p=9.80 \cdot 10^{-4}$   $p \leq 1\%$ ) et entre le bloc de D1 et le bloc de D2 avec une corrélation de ( $P=1.5 \cdot 10^{-4}$ ,  $p \leq 1\%$ )

La suit de comparaison par corrélation entre le bloc de D3 et le bloc de DB, on 'à remarque qu'il y'a une différence significative avec ( $p=1.2 \cdot 10^{-3}$ ,  $p \leq 1\%$ ) Ensuite, la comparaison entre le bloc de DA et le bloc de DB indique une différence hautement significative de ( $P=4.76 \cdot 10^{-5}$ ,  $p \leq 1\%$ ), La corrélation désigne la présence d'une différence significative ( $p=7.79 \times 10^{-7}$ ;  $p \leq 1\%$ ) entre le bloc de DB et le bloc de D1.

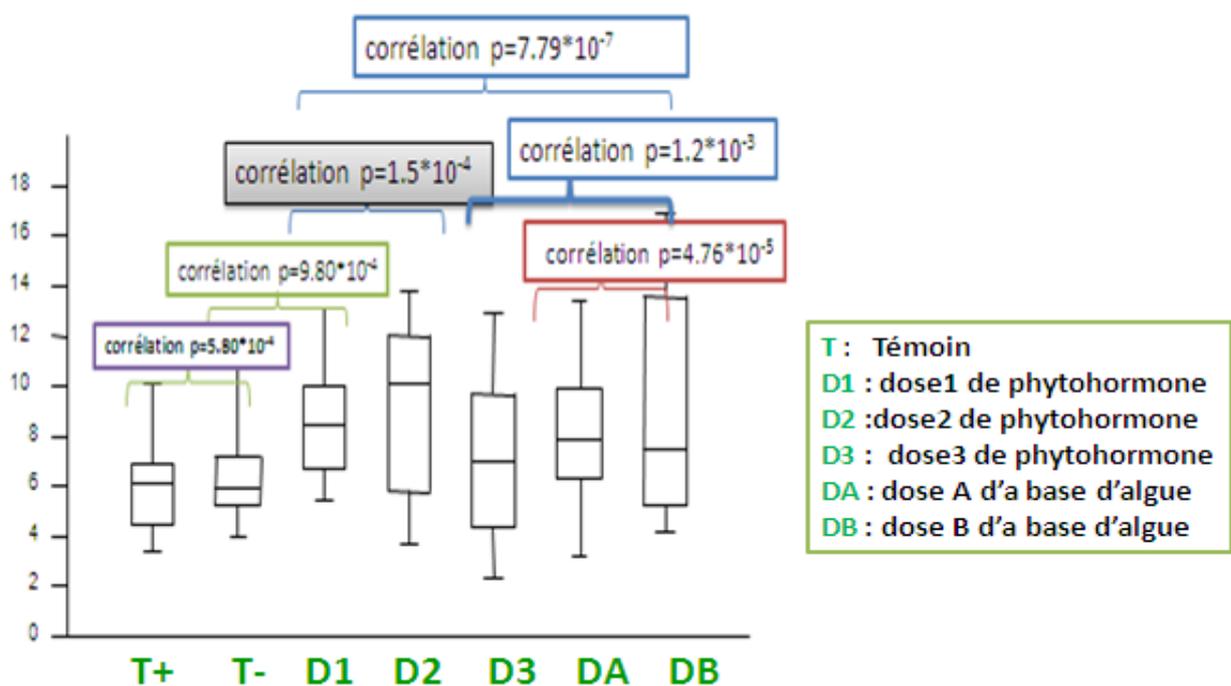


Figure 24 : Effet de différentes doses des traitements sur la mesure de croissance de la surface foliaire

**2.5. Influence de différentes doses de bioproduit sur les niveaux de croissance des tiges et 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).

Une vision globale de projection spatiale des facteurs de différente dose de bioproduit d'oligo-éléments.

Nous permis de distinguer une différence d'efficacité entre les différentes applications.

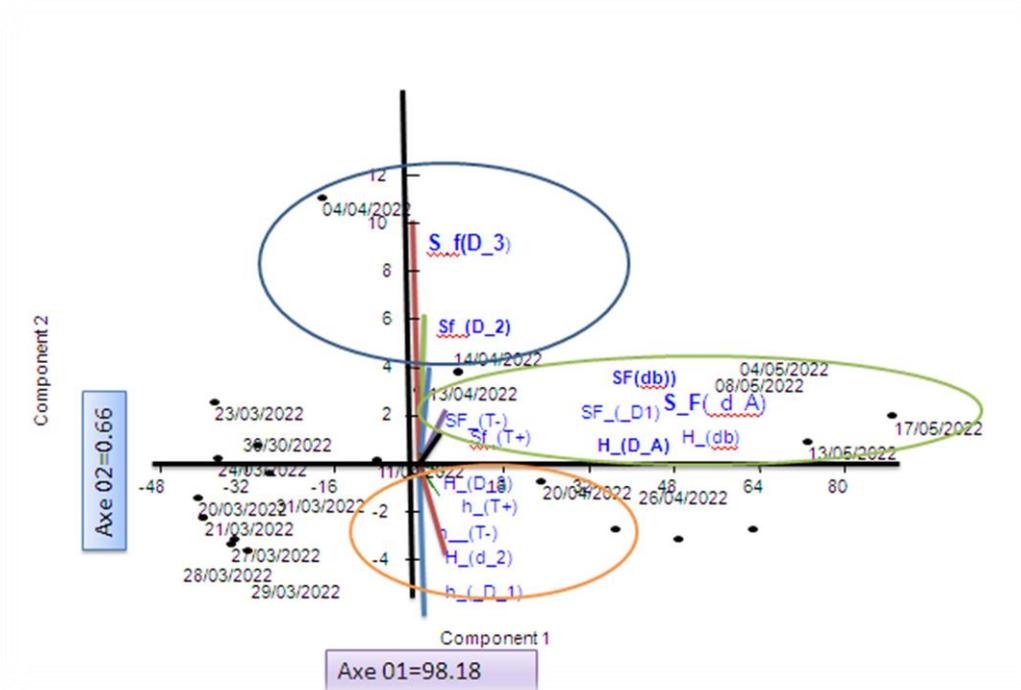
L'analyse en Composantes Principales (ACP) montre que l'effet de différentes doses appliquées est comparable par les deux axes, l'axe 1 est de 98.18%, et l'axe 2 est de 0.66%.

L'analyse multi variée est acceptable du fait que les deux axes présentent un pourcentage de contribution de 98.84%.

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 Dose B et Dose A dans la plus part des jours d'application surtout durant la période de stress hydrique (de 26/04/2022 jusqu'à 08/05/2022)

Ainsi que confirme l'efficacité de Dose3 et Dose2 sur la mesure de croissance de la partie aérienne (tige)

Les résultats de L'ACP montrent également le biofertilisants a base d'algue (Dose B) a plus d'effet sur la croissance de la surface foliaire et l'effet de phytohormones (Dose3) sur la croissance des tiges durant toute la période de suivi.



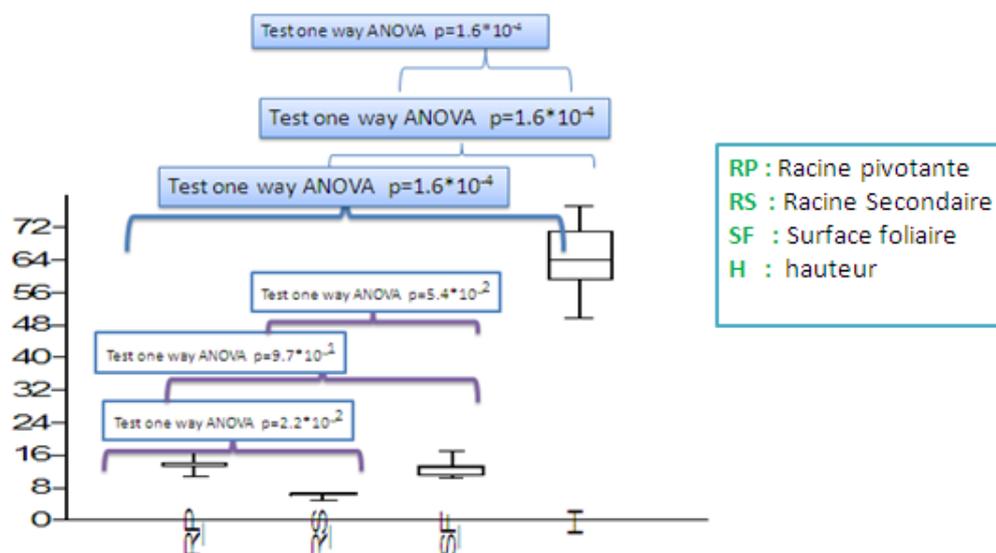
**Figure 25:** Projection l'effet de l'efficacité des bioproduit sur la croissance de la partie aérienne et le développement de la partie souterraine.

**2.6. Evaluation de l'effet des différentes doses d'application de bioproduit sur la croissance de la surface foliaire et tige :**

L'analyse de variance par le test one-way ANOVA présente une différence significative qui est représenté dans la figure (26).A travers le test de one-way ANOVA ( $P=5.048*10^{-18}$ ;  $P<1\%$ ) la comparaison entre le développement racinaire pivotante (RP) et développement racinaire secondaire (RS) présente une différence significative ( $p=2.2*10^{-2}$   $P< 1\%$ )

Ensuite, la comparaison entre développement racinaire pivotant(RP) et la croissance des tiges(H) désigne une différence significative de ( $p=1.6*10^{-4}$  ;  $p< 1\%$ ) selon le test one way ANOVA. Enfin, cette analyse fait ressortir a une différence significative entre la croissance(H) et le développement racinaire secondaire(RS) de ( $p=1.6*10^{-4}$  ;  $p< 1\%$ ).

Ainsi que la comparaison entre la surface foliaire et développement racinaire pivotant(RP) et entre la surface foliaire (SF) et développement racinaire secondaire ; montre que il y'a une différence significative ( $p=9.7*10^{-1}$  ;  $p< 1\%$ ) ;( $p=5.4*10^{-2}$   $p< 1\%$ )



**Figure 26:** Effet de l'efficacité des bioproduit sur la croissance de la partie aérienne et le développement de la partie souterenne.

## 2.7. Influence de différentes doses de bioproduit sur le poids de la culture

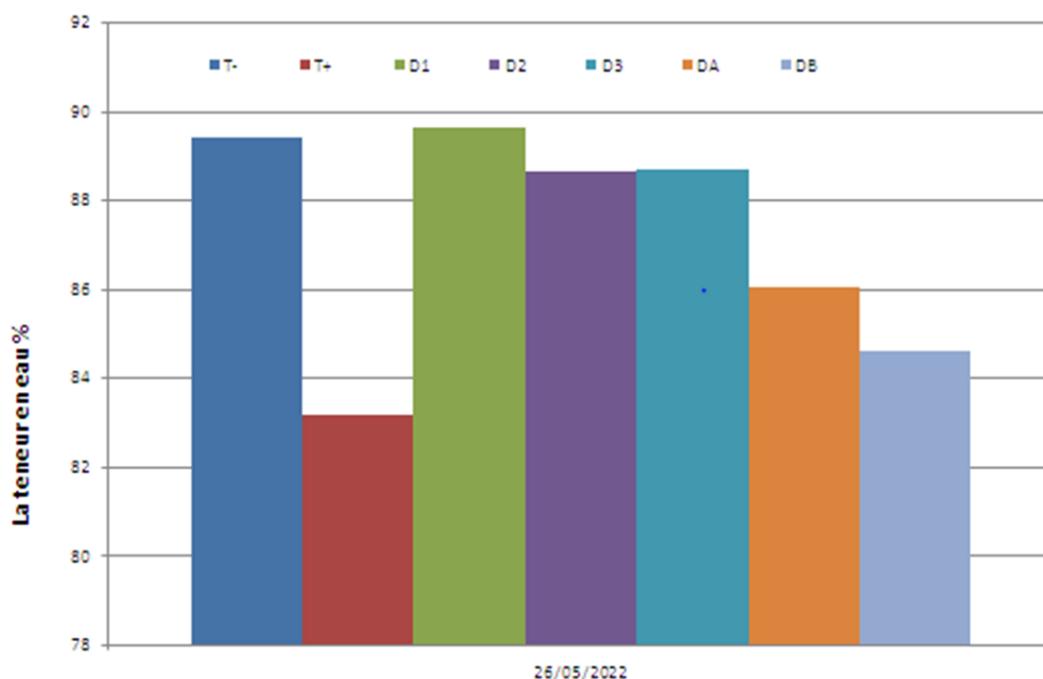
Le graphe de la figure ci dessous présente l'évaluation de la teneur en eau sur les sept blocs qui correspondent l'observation au dernier jours du séchage (l'état de stabilisation du poids) (26/05/2022), On a observé que :

Le bloc témoin négatif et le bloc D1 ont une grande quantité de l'eau avec un pourcentage de 89%, par contre les deux blocs d'abaissement d'algues (DA et DB) ont une faible quantité de l'eau (86% et 85%)

en comparant avec le bloc témoin négatif avec le bloc témoin positif, on remarque que le témoin positif a une faible quantité de l'eau (83%) par rapport au témoin négatif.

Pour les deux blocs de phytohormones ( bloc D2 et bloc D3 ) ont un pourcentage de (88.5%) de l'eau par rapport au bloc de témoin négatif et bloc de D1

D'après le graphe de la teneur en eau on peut déduire que lorsque la quantité de l'eau est faible le poids sec de la culture est élevé et vice versa, donc le biofertilisant à base d'algues a un effet acceptable sur le poids de la culture tomate cerise (*Solanum Lycopersicon*)



**Figure 27 :** La quantité de l'eau dans la culture de Tomate

**CHAPITRE 3 : DISCUSSION****1. Evaluation de l'effet des bioproduits utilisés :**

Les biofertilisants peuvent également être appelés « phytostimulants », « stimulateurs de croissance et/ou développement », 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 l'absorption des nutriments, l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, et la qualité des cultures (Faessel *et al.*, 2016).

Cette approche inclut une large gamme de biofertilisant, l'étude présente porte principalement sur les biofertilisants composés d'algues marines et de phytohormone. Nous avons tenté de tester l'efficacité de ces derniers afin de comparer les résultats obtenus. Nous avons tenté de discuter notre choix et le rôle important des biofertilisants dans la stimulation de la production par des études relativement proches. Effets de traitement sur les paramètres morphologiques de la tomate :

**2. L'effet sur la longueur des tiges :**

D'après nos résultats, et suite à la comparaison par l'analyse multi variée, l'effet des traitements à base de phytohormone et à base d'algues sur les paramètres de croissance (longueur des tiges, surface foliaire et poids) présente une différence hautement significative entre les différentes doses appliquées. Cependant, la dose D3 affiche une longueur de la partie aérienne la plus importante par rapport aux autres doses D2, DA et DB, nous avons remarqué que leur efficacité a été bien marquée durant et après le stress hydrique provoqué ; ce qui explique une réponse physiologique des plantes traitées face à un déficit en eau en comparant avec le témoin positif qui a été stressé et le témoin négatif qui n'a pas été provoqué par un stress.

D'après Chaves *et al.* (2002), La réduction de la croissance fait partie des premières réponses phénotypiques observées sur le moyen/ long terme, suite à l'apparition d'un déficit hydrique. Chez le lupin, un déficit hydrique entraîne la diminution de la surface foliaire et de la biomasse accumulée dans les tiges, et la stabilité de la biomasse allouée aux fruits (Rodrigues *et al.* 2008). Chez le maïs, un déficit hydrique édaphique ou une demande évaporative importante réduit la vitesse d'élongation des feuilles et des tiges (Tardieu *et al.* 2000) ; Nos résultats ont répondu justement à cette explication par une tolérance des plantes traitées face au stress hydrique, les extraits d'algues et les hormones végétales (cytokinines) ont un effet positif sur la croissance et le développement des plantes (racines, tiges, feuilles).

et/ou fleurs). Cet effet est principalement dû aux hormones exogènes (auxines, gibbérellines) présentes dans les extraits (Faessel *et al*, 2016).

### 3 .L'effet sur surface foliaire :

D'après notre comparaison entre les différentes doses, nos résultats présentent une différence significative entre la surface des feuilles de tomate, L'efficacité de DA et DB est plus importante par rapport aux autres doses surtout durant le stress hydrique ce qui explique ; que les extraits d'algues ont un effet positif d'améliorer la tolérance aux stress abiotiques provoquant des dérèglements osmotiques comme la sécheresse ou la salinité et le déficit en eau . C'est une conséquence de la stimulation des mécanismes antioxydants et de la présence d'osmo-régulateurs, comme la glycine bêtaïne, dans les extraits (Khan *et al*, 2009). Pour D1 et D2 ont un effet positif sur la surface foliaire. Selon Larbaoui Et Lecheheb, 2020, les résultats ont montrés que la surface foliaire du blé présente des fluctuations relativement rapprochées, présentant une meilleure élancement pour la partie aérienne avec les concentrations en lombricomposte respectives de 6 ml/l, 4.75 et 4.5ml/l.

### 4. L'effet sur Biomasse sèche :

Les résultats de la biomasse sèche aérienne et souterraine montrent que la dose DA 86% est plus efficace vu que la teneur en eau dans la plante a été faible, la DB 84,20% aussi par rapport aux autres doses. Par contre D1 et D2 et D3 89,90% , 88,40% , 88, 20 % ont eu une bonne teneur en eau par rapport aux autres doses et en comparant avec le témoin négatif (88,70 %) . D'après nos résultats on remarque que le biofertilisant à base d'algue a été plus efficace sur la biomasse sèche de la plante en comparant au biofertilisant à base de phytohormones quoiqu'il était provoqué par un déficit hydrique mais le bioproduit à base d'algue a prouvé son efficacité durant et après le stress . Selon les travaux de AKKACHE qui a trouvé que le biofertilisant à base de vermicompost fermenté et le vermicompost à base de 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.

Les stomates jouent un rôle central dans la régulation de l'équilibre des pertes en eau par la transpiration et le gain en carbone permettant l'accumulation de biomasse (Buckley 2005). Les stomates se ferment et s'ouvrent à partir des variations de turgescence des cellules de garde. Ces variations peuvent être très rapides permettant ainsi une acclimatation rapide à des changements de conditions environnementales également rapides (Damour *et al*. 2010).

Cette capacité à répondre rapidement est essentielle pour les plantes qui doivent optimiser l'absorption de CO<sub>2</sub> et les pertes en eau dans des conditions environnementales en fluctuations permanentes (Buckley 2008). En modulant le flux d'eau conduit par la transpiration au sein du continuum sol-plante-atmosphère, les stomates déterminent la vitesse de la diminution de la teneur en eau dans le sol. La conductance stomatique diminue lors de l'application d'un déficit hydrique qu'il soit édaphique ou atmosphérique (Nilson & Assmann 2007).

### 5. L'effet sur le système racinaire :

Nos résultats montrent qu'il y a une efficacité de bioproduit à base d'algues (DA, DB) sur la partie racinaire en comparant avec les blocs appliqués par D1, D2, D3 et les témoins ce qui explique que les DA et DB ont stimulé l'enracinement de la plante et booster sa croissance.



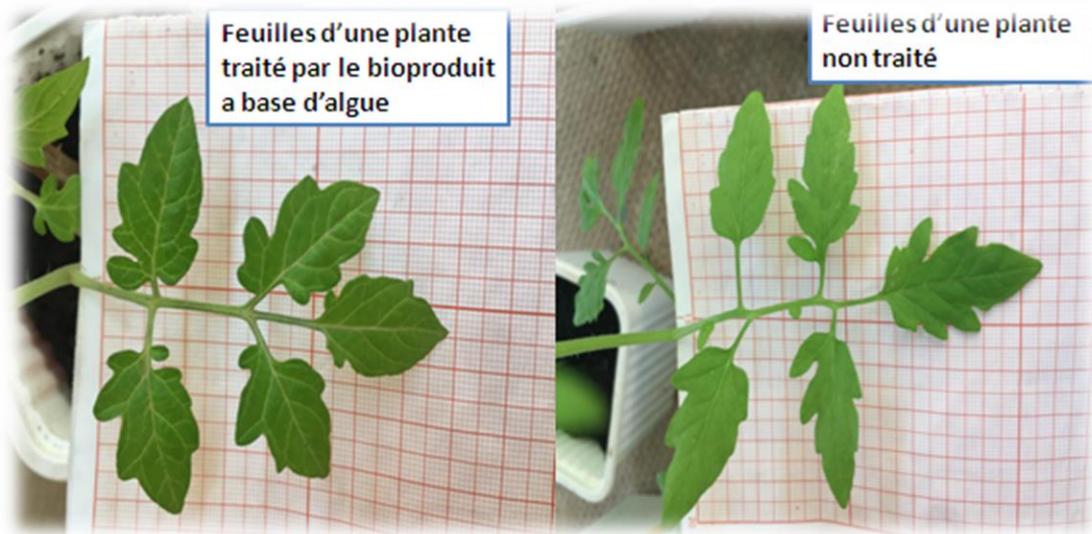
**Figure 28 :** La longueur racinaire de la tomate traité et non traité ( originale ,2022)

- Les extraits d'algues permettent d'améliorer l'assimilation des éléments nutritifs. En particulier, ils permettent à la plante de mieux tolérer des carences nutritives en azote en favorisant l'expression et/ou l'activité de la nitrate réductase grâce à certains composés (mannitol) (Durand et al, 2003) ; (Phytoma, 2005). L'expression de phosphatases racinaires impliquées dans l'absorption du phosphate peut aussi être stimulée par certains extraits d'algues (Klarzynskiet al, 2006).

- Certains composés présents dans les extraits d'algues (polysaccharides ; colloïdes ; acides aminés ; mannitol) peuvent aussi agir comme chélatants des nutriments minéraux présents dans les sols (Khan *et al*, 2009); (Calvo *et al*, 2014).
- Enfin, les extraits d'algues agissent sur les caractéristiques physiques et biologiques des sols grâce à leur richesse en polyuronides, tels que les alginates et les fucoïdanes, qui maintiennent dans les sols une humidité et une aération nécessaires à la mise en place du système racinaire et favorisant la croissance de bactéries bénéfiques à la croissance des plantes (Khan *et al*, 2009).

### **6. Valorisation de l'expression de la partie aérienne sous l'effet de biofertilisants :**

Les algues brunes sont largement utilisées en production biologique puisqu'elles sont riches en polysaccharides complexes, acides gras, vitamines, phytohormones (cytokinine) et nutriments minéraux. Plusieurs études ont démontré sous conditions de stress ou de culture conventionnelle que les algues stimulent la croissance, induit la colonisation des racines par des champignons bénéfiques, accroissent l'absorption des nutriments dont K, Mg, Ca, Mn, Zn, Fe et Cu, la teneur en chlorophylle des feuilles ; nos résultats morphologique (prouve cette stimulation). Notre produit à base d'algue utilisé a influencé sur la productivité et la qualité de notre culture. Plusieurs espèces d'algues influencent également la régulation des gènes impliqués notamment dans l'absorption des nutriments, mais aussi au niveau de la régulation de nombreux gènes impliqués dans la résistance aux stress biotiques et abiotiques, dont les stress hydriques, via une réduction de la conductance stomatique (Cook *et al*, 2018 ; Shukla *et al*, 2019). Toutefois, dans cette étude, nous avons plutôt observé un effet positif des algues, pour prouver l'effet stimulateur de croissance que peut avoir un biofertilisant à base d'algue qui affirme l'effet booster sur la partie aérienne et souterraine qui a été basé sur notre observation ; on a observé que ya une déférence morphologique entre les blocs traités par DA et DB et le bloc Témoin ( pas traité ) ce qui explique que le bioproduit à base d'algue permet à la plante d'avoir un bon teneur en chlorophylle des feuilles, des nervures bien marqués et des tiges bien dure ainsi que son effet sur la partie souterraine.



**Figure 29:** Effet de biofertilisant (a base d'algue) sur la partie aérienne. (Originale, 2022)

- D'après notre résultats nous marquons que le bioproduit a base d'algue a un efficacité important sur la croissance de la partie aérienne et souterraine .

## Conclusion :

Le choix raisonné de la culture et du dispositif expérimental adéquat, nous ont permis d'atteindre l'objectif de notre étude et de répondre à nos hypothèses, notamment tester l'effet des biofertilisants liquides (biofertilisants à base d'algue et biofertilisants phytohormones) comme stimulateur de défense naturelle de la plante en mesurant les paramètres de croissance, développement et l'état phytosanitaire de Tomate. (*Solanum Lycopersicon*)

Les méthodes d'analyses statistiques adoptées, ont donné des résultats significatifs.

Les résultats montrent que l'apport des trois doses de bioproduit à base de phytohormones (1,5ml ; 2ml et 5ml) ont un effet satisfaisant sur les paramètres de croissance et les traits morphologique ; Sachant que la troisième dose (D3=5ml) a un effet important sur la croissance des tiges, la première et la deuxième dose (D1= 1ml, D2= 2ml) ont un effet sur la surface foliaire. Ainsi que les deux doses de bioproduit à base d'algue (DA= 2,5ml, DB= 5ml) ont un effet très important sur la surface foliaire et le système racinaire. Durant le stress provoqué les résultats montrent que les DA et DB ont un effet très important sur les paramètres étudiés (longueur des tiges, surface foliaire) et aussi sur le poids 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. .

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

- De point de vue croissance, nous constatons que le bioproduit à base de phytohormone exerce un effet positif sur les paramètres mesurés. Des augmentations remarquables sont enregistrées chez les plantes de tomate sur la vitesse de croissance, hauteur des tiges.
- Concernant les traits morphologique, nous constatons que le bioproduit à base d'algue a un effet positif sur la surface foliaire, biomasse sèche (tige, feuille, racine).
- Par rapport à la provocation d'un stress hydrique à notre culture, nous constatons que le bioproduit a une efficacité aussi importante sur la tolérance des plantes au déficit en eau, il a permis aux plantes de résister contre ce dernier, le bioproduit à base de phytohormone a un effet moyen sur la résistance des plantes face à un stress hydrique
- Par ailleurs, les résultats des paramètres phytosanitaires montrent l'efficacité de bioproduit où on n'a pas marqué des infestations aux niveaux des feuilles.



# Références Bibliographiques

## Références bibliographique :

**Abga, P. T.** (2013). Détermination des options de fertilisation organo -minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina,

**Adani, F., Genevini, P., Zaccheo, P., et Zocchi, G.** (1998). The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *J. plant nutrition*, P 561-575.

**Ahmad, I, Pichtel, J., et Hayat, S.** (2008). Plant-bacteria interactions: strategies and techniques to promote plant growth p 111

**Amigues J-P, Debaeke P, Itier B, Lemaire G, Seguin B, Tardieu F, Thomas, A**(2006). Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport: INRA (France), p72.

**Anonyme,** (1992) . « Le guide » .Ed : Clause jardin, Paris,p 254

**Andre. L** (1986). " Les éléments en agriculture". Ed. Nouvelle Librairie, Paris, p 741.

**Atherton D .G. et Harris G.P.** (1986). Flowering in the tomato crop. A scientific basis for improvement. Ed. ATHERTON J.G and RUDICH J .London, New York. p167-200.

**Baghour, M** (2021) ; cours de croissance et développement des plantes , Université Mohammed 1<sup>ER</sup> Nador p59

**Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P., Prithiviraj, B.** (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic.* p39-48.

**Behie, S.W., Bidochka, M.J.** (2014). Nutrient transfer in plant-fungal symbioses. *Trends in Plant Sci.* p 734-740.

**Benton, J., et Jones, J.** (2012). *Plant nutrition and soil fertility manual* (2<sup>ème</sup>éd.). CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.

**Bentvelsen C.L.M.** (1980). Réponses des rendements à l'eau. Ed. Dunod. p235.

**Binet, P. et Brunel, J.P.,** "Biologie végétale", Tome I : "physiologie végétale", Doin, Paris, (1967), p238

# Références Bibliographiques

Blankenship, R. E. 2002. "Molecular mechanisms of Photosynthesis". Oxford: Blackwell Science Ltd., pp. 328

**Bokil, K.K., V.C. Mehta et D.S. Datar**, (1974). Other groups of algae, seaweed liquid fertilizer can be applied to various crop plants in order to enrich the nutrient content of the soil and intern to increase the growth and yield of cultivable plants.

**Branca, F. And C.H. Leonardi**. 1992. Qualité industrielle des variétés de tomates cerises à navarre. Hortofruticultura (España).Vol. 7. N° (8). p48- 52

**Brun, R. et Settembrino, A.**, "Le pilotage de la fertilisation des cultures hors sol", P.H.M, (1994), p8-15

**Bray EA**. (2004). Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Experimental Botany p 2331-2341

**Buchanan, B. B., W. Gruissem et R. L. Jones**. 2000. Biochemistry and molcular biology of plants. American Society of Plant Physiologists. Maryland: Rockville, p1367 .

**Buckley TN. 2005**. The control of stomata by water balance. New Phytologist p 275-292.

**Buckley TN. 2008**. The role of stomatal acclimation in modelling tree adaptation to high CO<sub>2</sub>. Journal Experimental of Botany p 1951-1961.

**Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J.W.,** (2014). Agricultural uses of plant biostimulant.

**Cahurel J. Y.**, (2008). Fertilisation De La Vigne Un Point Sur Les Préconisations. Les Oligo-Eléments. Fiche 6. 6P.

**Cahurel J. Y.**, (2008). Fertilisation De La Vigne Un Point Sur Les Préconisations. Les Oligo-Eléments. p 66

**Carles J**, (1997). La nutrition de la plante. Que sais-je? Presses universitaires de France, Paris, p128

**Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS**. (2003). Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

# Références Bibliographiques

**Charlo, H.C.O., R. Castoldi, L.A. Ito, C. Fernandes et L.T. Braz.** (2007). Production of cherry tomato under protected cultivation carried out with different types of pruning and spacing. *Acta Hort.*, 761: 323-326

**Chouard, P.**, “Les cultures sans sol”, Maison Rustique, Paris, (1952), 200p

**Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodrigues ML, Ricardo CPP, Osorio ML, Carvalho I, Faria T, Pinheiro C.** 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89(7): 907-916.

**Coic, Y. et Lesaint, C.**, “La nutrition minérale en eau des plantes en horticulture avancée ”, Document technique S.C.P.A, n° 23, Versailles, (1975), 21p.

**Coic, Y.**, (1984), “Les cultures sans sol”, *Science et vie*, hors série n° 146, Pp67-75

**Cook, J., Zhang, J., Norrie, J., Blal, B. et Cheng, Z.** (2018). Seaweed extract (Stella Maris®) activates innate immune responses in *Arabidopsis thaliana* and protects host against bacterial pathogens. *Marine drugs*, 16(7), 221.

**Craigie J.S.** (2011). Seaweed extracts stimuli in plant science and agriculture. *J Appl Phycol* 23(3), 371-393

**Crouch, I.J. and Van Staden J.**, (1993). Evidence for the presence of growth regulator in commercial seaweed product. *Plant Growth Regulators*, p 21-29.

**Damour G, Simonneau T, Cochard H, Urban L.** 2010. An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant Cell and Environment* p 1419-1438.

**Demoulin G., Leymergie C.**,(2009). Les algues, le trésor de la mer. Haute école de santé (heds), Filière Nutrition et diététique PP. 1-7

**Diehil, R.**, “Agriculture générale”, J.B. Baillière, Paris, (1975), p400.

**Duthil, J.**, “Eléments d’écologie et d’agronomie”, Tome III, J.B. Baillière, Paris, (1973), 265p.

**Durand N., Briand X. et Meyer C.**, 2003, « The effect of marine bioactive substances (NPRO) and exogenous cytokinins on nitrate reductase activity in *Arabidopsis thaliana* », *Physiologia Plantarum*, p119 vol (4).

# Références Bibliographiques

**Elalaoui A. C.**, 2007 a. Fertilisation Minérale des cultures. Les éléments fertilisant majeurs (Azote, Potassium, Phosphore). Transfert de technologie en agriculture. Sommaire N°155. 44P

**Faessel L, Tostivint C. 2016** .Les produits de stimulations en agriculture : Un état de connaissances PP . 7-39

**FAO.**, (2005). Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Utilisation des Intrants agricoles par les Organisations de Producteurs. 25P

**Fleurance J., Gueant J.L.**,( 1999.) Les algues : une nouvelle source de protéines. Bibliomer. Biofutur, n°191, p.32-36.

**François J, Loic L, Roger P** (2021). Biologie Végétal ; Croissance et développement Pp22-24

**Gallais.E.** (1992). « Amélioration des espèces végétales cultivés ». INRA.Paris.588.P

Gobat J-M., Aragno M. et Matthey w, 1998 - Le sol vivant. Lausanne: presse polytechniques et universitaires romandes. 519 p

**HALL G. J., HART C. A. & JONES C. A., 2000** - Plant as sources of cations antagonistic to glyphosate activity, Pest Manag. Sci.56 p 351- 358.

**HAMMER O., HARPER D. A. T. & RYAN P. D., 2001** - PAST: Paleontological statistical software package for education and data analysis. Palaeontologica Electronica, 4(1), 92 p.

**Heller, R.**, “Biologie végétale”, Tome II : “Nutrition et métabolisme”, Masson et CIE, Paris, (1969), 578p

**Heller, R.**, “Abrégé de physiologie végétale”, Tome I : “Nutrition”, Masson et CIE, Paris, (1977), 244p.

**Heller, R.**, “L'absorption minérale chez les végétaux”, Masson et CIE, Paris, (1974),151p.

**Heller, R.** ; Esnault, R. et Lance, C., “Physiologie végétale : 1-nutrition”, 6 ème Ed, Dunod, Paris, (1998), 323p

**Hopkin W.G.** (2003) .- Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles:476P

# Références Bibliographiques

**Hsiao TC.** (1973). Plant responses to water stress. Annual Review Plant Physiology (24): Pp519-570.

**Hurtado, A, Yunque, D, Tibubos, K, Critchley,** (2009). Use of Acadian marine plant extract powder from *Ascophyllum nodosum* in tissue culture of *Kappaphycus* varieties. J Appl Phycol 21: pp. 633-639

**Achabane E** ITCMI. (1994.): Guide pratique ; la culture de la tomate industrielle

**Jackson RB, Sperry JS, Dawson TE.**( 2000). Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. Trends in Plant Science 5(11): 482-488.

**Kali, A, G et Potasse S A.,** 2004. Les symptômes de carence en éléments Nutritifs . Edit Murtenstrasse 116, France. 33P.

**Kauffman, G..** (2007). Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. Crop Sci. 47(1), 261-267.

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

**Khan W. et al.,** 2009, « Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development », Journal of Plant Growth Regulation, 28(4).

**Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B.** (2009).

**Laumonier .R .** (1979).« Culture légumière ».Ed.J.B balliere , Paris PP 931.

**Lahaye M., Kaeffer B.,** (1997). Les fibres algales. Cahier Nutrition Diététique, 320p.

**Letard, M. ; Erard, P. et Jeannequin, B.,** “Maîtrise de l'irrigation fertilisante : tomate sous serre et abris en sol et hors sol”, C.T.I.F.L, Paris, (1995), 220p

**Labreche , J.C.,** “Biologie végétale”, Dunod, Paris, (1999), 240p.

**Lamrani Z.,** 2010. Nutrition minérale et azoté. Physiologie végétales, nutrition minérale. Ecole normal supérieure. 49P

# Références Bibliographiques

**Loue, A.**, “Les oligo-éléments en agriculture”, Agro-Nathan International, Paris, (1986), 339p.

**Maseda PH, Fernandez RJ.** (2006). Stay wet or else : three ways in wiche plants can adjust hydraulically to their environment. *Journal of Expérimental of Botany* 57(15): Pp 3963-3977.

**Mengel K., Kirkby E. A., 1978** - Principles of plant nutrition, Ed. Item. Potash Insit., Berne, pp: 398- 425 .en Chaichi W, (2018)

**Michaud, N. et Boudreau, M.E.**, (2001), “La culture hydroponique”, Agriculture Canada , Publication, Ottawa, 52P

**Morard, P.**, “Les cultures végétales en hors-sol”, Pub Agris, Paris, (1995), 301p.

**Morard Et Philippe.**, (1995) - Les cultures végétales hors sol. Publications Agricoles.340P.,en Chaichi W, (2018)

**Munns R.** (2005). Genes and salt tolerance bringing then together. *New Physiologist*, Pp 167, 654-663

**Munns R, Tester M,** (2008) .Mechanisms of salinity tolerance.*Annu Rev Plant* Pp59:651–81

Mustéirdy, L., et G. Garab. 2003. "Granum revisited. A three-dimensional modeJ where things fall into place". *Trends Plant Sei.*, vol. 8, p. 117-12

**Naika S., Lidt J., Goffau M., Hilmi M. & Dam B.** (2005). La culture de la tomate production, transformation et commercialisation- Ed. Fondation Agromisa et C.T.A., 105 p.

**Nelson W.R. and Van Staden J.,**( 1984). The effect of seaweed concentrates on wheat culms . *J. PLAN PHYSIOL.*, 1156: pp: 433-437.

**Nilson SE, Assmann SM.** 2007. The Control of transpiration. Insights from Arabidopsis. *Plant Physiology* 143(1): 19-27

**Norrie, J., Keathley., JP.,** (2006). Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to “Thompson seedless’ grape production. *Acta Hortic* 727 : pp. 243-247

# *Références Bibliographiques*

**Osman A. M. & Milthorpe F. L., (1971)-** Photosynthesis of wheat in relation to age, illuminance and nutrient supplies. Result, Photosynthetica. 11, Vol 5, pp: 61- 70.en **Chaichi W (2018)**

**Vilain, M.,** “La production végétale”, 2èmeEd, V. I : “Les composantes de la production”, J.B. Baillièrè, Paris, (1993), 438p.

Whitmarsh, J., et Govindjee. (1999). "The photosynthetic process". Dans Concept in Photobiology Photosynthesis and Photo morphogenesis. Editors, G. S. Singhal, G. Renger, S. K. Sopory, K.O. Irragang and Govindjee, p. II-51. New Delhi, India, Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academie Publishers.

**YASH P. K., (1998).** Reference Methods for Plant Analysis. Handbook. Soil and Plant Analysis Council, Inc. 286P



# *Références Bibliographiques*