

UNIVERSITE DE BLIDA 1
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département de biotechnologie végétale

MEMOIRE DE MAGISTER

En Sciences Agronomiques

Option : Amélioration des productions végétales

**IMPACT D'UN BIOFERTILISANT LIQUIDE SUR LA CROISSANCE, LA
PRODUCTION ET LA QUALITE DE LA TOMATE**

Par

NAIMI Abdelilah Yacine

Devant le jury composé de :

A. GUENDOUZ	Professeur	Université de Blida1	Présidente
S.A. SNOUSSI	Professeur	Université de Blida 1	Rapporteur
F.BOUNACEUR	Maître de conférence (A)	Université de Tiaret	Examineur
A.TELAIDJI	Maître assistant (A)	Université de Blida 1	Examinatrice

Blida, Juin 2014

RESUME

Les biofertilisants visent essentiellement la fertilité des sols et ils cherchent à assurer une bonne croissance et un bon développement de la plante en protégeant l'environnement et les ressources naturelles. Aussi les fertilisants biologiques cherchent à substituer les engrais chimiques de synthèse.

A travers notre essai sur l'impact d'un biofertilisant liquide sur la croissance, la production et la qualité de la tomate, il a été testé 9 traitements résultants de l'interaction de trois doses différentes d'un biofertilisant (40%,80% et 100%) avec trois modes d'application (foliaire, racinaire et leur combinaison), comparés à un témoin.

Les résultats obtenus indiquent que le meilleur traitement est celui de l'interaction de la dose complète (100%) avec le mode d'application racinaire au niveau tous les paramètres: biométriques, physiologiques, technologiques et de production.

Mots clés : fertilisation, Biofertilisant liquide, algues marines, tomate, Marmande.

ABSTRACT

The main goals of the biofertilizers are the soil fertility, a perfect plant growth and a good progress with the protection of environment and the natural resources. Also these organic fertilizers try to substitute the industrial fertilizers.

We made a trial about the effect of a biofertilizer on the growth, the yield and the quality of tomato.

We tested 9 treatments resulting from the interaction of three different amounts of biofertilizer (40%, 80% et 100%) and three ways of application (the leaf spray, the root spray and their combination), compared with a check.

The results obtained in our trial indicate that the best treatment is that of the interaction of the full proportions (100%) with the root application in all parameters: biometric, physiological, and technological and of production.

Key words: fertilization, liquid biofertilizer, seaweeds, Marmande tomato

ملخص

إن الهدف الأساسي من استعمال الأسمدة العضوية هو تحسين خصوبة التربة وتحقيق نمو جيد للنبات مع الحفاظ على البيئة والموارد الطبيعية. وجاءت هذه الدراسة كمحاولة لتعويض الأسمدة المركبة صناعياً بالأسمدة الحيوية، حيث أجرينا تجربة لمعرفة مدى تأثير سماد عضوي سائل على النمو والإنتاج ونوعية الطماطم (البندورة).

قمنا بتجريب 3 مقادير (40%، 80% و100%) باستخدام ثلاثة طرق مختلفة (تسميد عن طريق الأوراق وتسميد عن طريق الجذور والمزج بينهما) مع المقارنة مع شاهد (دون أي تسميد).

دلّت النتائج المتحصّل عليها على أنّ أفضل وسيلة للتسميد العضوي تكمن في استعمال المقدار الكامل (100%) عن طريق التسميد الجذري، كما لوحظ هذا على جميع المقاييس البيومترية والفيزيولوجية والتكنولوجية والإنتاجية.

الكلمات المفتاحية: تسميد- سماد عضوي سائل- علق بحري طماطم مارموند

REMERCIEMENTS

Grâces à dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la santé pour terminer mes études et préparer ce mémoire.

Tous mes remerciements vont d'abord à Mr le Professeur, SNOUSSI S.A pour avoir accepté de diriger ce travail, qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa patience et ses encouragements.

Je tiens à remercier également Pr A. GUENDOZ qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Mr BOUNACEUR F et Mme TELAIDJI A ; qui ont bien voulu faire partie de mon jury.

Je remercie toute l'équipe de laboratoire de biotechnologie végétale et tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

Mes très chers parents

Mes frères et sœurs

Tous mes amis

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	1
RESUME	2
REMERCIEMENTS	5
DEDICACES	6
TABLE DES MATIERES	7
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES	14
LISTE DES TABLEAUX	15
INTRODUCTION	17

CHAPITRE 1 : Généralités sur la tomate

1.1 .Origine et historique de la tomate	18
1.2 .Particularités botaniques et morphologiques	18
1.2.1. Aspect de la plante.....	19
1.2.2.Caractéristiques génétiques	19
1.2.3.Feuilles	19
1.2.4.Tige	19
1.2.5 .Système racinaire	19
1.2.6. Fleur	19
1.2.7. Fruit	20
1.2.8. Graine.....	20
1.3 .Valeur alimentaire et énergétique de la tomate.....	20
1.4. Type de variétés cultivées	21
1.5 .Importance économique.....	22
1.5.1. Importance de la tomate dans le monde	22
1.5.2. Importance de la tomate en Algérie.....	23
1.6 Exigences de la tomate	23
1.6.1. Exigences climatiques.....	24
1.6.2. Exigences édaphiques,.....	24

1.6.3. Exigences hydriques.....	24
1.6.4. Exigences nutritionnelles	25
1.7. Les techniques culturales de la tomate.....	25
1.7.1. Place dans la rotation	25
1.7.2. Travail du sol.....	26
1.7.3. Semis.....	26
1.7.4. Plantation.....	26
1.7.5. Travaux d'entretiens.....	26
1.7.5.1. Paillage plastique	26
1.7.5.2. Tuteurage.....	27
1.7.5.3. Taille.....	27
1.7.5.4. Effeuilage.....	27
1.7.5.5. Ebourgeonnage.....	27
1.7.5.6. Binage.....	27
1.7.5.7. Buttage	27
1.7.5.8. Traitements phytosanitaires contre les maladies et les Ravageurs.....	28
1.8. Récolte	30

CHAPITRE 2 : Nutrition minérale de la plante

2.1. Nutrition de la plante	31
2.2. Différents éléments nutritifs.....	31
2.2.1. Eléments majeurs.....	31
2.2.1.1 Azote.....	31
2.2.1.2. Phosphore.....	33
2.2.1.3. Potassium	34

2.2.1.4. Calcium	35
2.2.1.5. Magnésium	36
2.2.1.6. Soufre	37
2.2.2. Eléments mineurs.....	37
2.2.2.1. Fer.....	37
2.2.2.2.Zinc.....	38
2.2.2.3.Cuivre.....	38
2.2.2.4.Manganèse.....	39
2.2.2.5. Bore.....	39
2.2.2.6.Chlore.....	40
2.2.2.7.Nickel.....	40
2.1.2.8.Molybdène	40

Chapitre 3 : Les biofertilisants

3.1. Définition de biofertilisant.....	42
3.2. Effets néfastes des engrais chimiques de synthèse sur la biologie des sols et l'environnement.....	42
3.3. Avantages des biofertilisants	43
3.4. Inconvénients des biofertilisants.....	44
3.5. Intérêts des fertilisants à base d'algue marine en Agriculture.....	44

Chapitre 4 :Matériel et Méthodes

4.1. Objectif de l'expérimentation.....	46
4.2. Matériel végétal utilisé.....	46
4.3. Conditions expérimentales.....	47

4.3.1 Lieu de l'expérience.....	47
4.3.2. Température de la serre.....	48
4.4 .Pré germination et repiquage.....	48
4.4.1 .Pré germination.....	48
4.4.2. Repiquage	49
4.4.3. Containers et substrat utilisés.....	50
4.4.3.1. Containers.....	50
4.4.3.2. Substrat utilisé, provenance et désinfection.....	50
4.4.3.2.1. Désinfection du substrat par voie thermique (Méthode Bergerac).....	51
4.4.3.2.2. Analyse du substrat	51
4.5. Le biofertilisant	52
4.5.1. Composition d'ALGASMAR.....	53
4.5.2. Périodes d'applications.....	53
4.6. Dispositif expérimental	54
4.6.1. Traitements appliqués.....	55
4.6.2. Conduite de la culture.....	56
4.6.2.1. Irrigation.....	56
4.6.2.2. Traitements phytosanitaires utilisés.....	56
4.6.2.3. Palissage	
4.6.2.4.Ebourgeonnage	56
4.6.2.5.Étêtage.....	57
4.6.2.6. Binage.....	57
4.7. Paramètres étudiés	57
4.7.1. Paramètres de croissance.....	57
4.7.1.1. Vitesse de croissance (cm / jour).....	57

4.7.1.2. Hauteur finale des plantes (cm).....	57
4.7.1.3. Nombre des feuilles	57
4.7.1.4. Diamètre final des tiges (cm).....	58
4.7.1.5. Distance collet-bouquet 1 (cm)	58
4.7.1.6. Distance bouquet 1-bouquet 2 (cm).....	58
4.7.1.7. Biomasse fraîche produite (g).....	58
4.7.1.8. Biomasse sèche produite (g).....	58
4.7.1.9. taux de matière sèche%.....	58
4.7.2. Paramètres de production.....	59
4.7.2.1. Nombre des fleurs par plant.....	59
4.7.2.2. Nombre de fruits récoltés par plant.....	59
4.7.2.3. Poids moyen de fruits par plant (g).....	59
4.7.2.4. Calibre des fruits (mm).....	59
4.7.2.5. Production moyenne par plant (Kg).....	60
4.7.3. Dosage d'un paramètre physiologique :la chlorophylle.....	61
4.7.4. Dosage des paramètres technologiques.....	61
4.7.4.1. Dosage de la vitamine «C».....	61
4.7.4.2. Détermination de l'extrait sec.....	62
4.7.4.3. Détermination de l'acidité titrable.....	63
4.7.4.4. Dosage des sucres totaux.....	63
4.8. Analyse statistique utilisée.....	63

Chapitre 5:Résultats et discussion

5. 1.Paramètres de croissance.....	64
5.1.1. Evolution la vitesse de croissance (cm / jour).....	64
5.1.2. Hauteur finale des plantes(cm).....	65
5.1.3. Nombre des feuilles	66
5.1.4. Diamètre des tiges (cm).....	67
5.1.5. Distance collet-bouquet1 (cm).....	67
5.1.6.Distance. bouquet1-bouquet 2 (cm).....	68
5.1.7. Biomasse fraîche produite (g).....	69
5.1.8. Biomasse sèche produite (g).....	70
5.1.9. Taux de la matière sèche(%).....	71
5.2. Paramètres de production.....	72
5.2.1. Nombre des fleurs par plant.....	73
5.2.2. Nombre de fruits récoltés par plant.....	73
5.2.3. Poids moyen d'un fruit par plant (g).....	74
5.2.4. Calibre des fruits (mm).....	75
5.2.5. Production moyenne par plant (g).....	75
5.3. Dosage de paramètre physiologique (la chlorophylle)[$\mu\text{g/g}$ MF].....	76
5.3.1. Dosage de la chlorophylle (a) [$\mu\text{g/g}$ MF].....	76
5.3.2. Dosage de la chlorophylle (b) [$\mu\text{g/g}$ MF].....	76
5.3.3. Dosage de la chlorophylle (c) [$\mu\text{g/g}$ MF].....	77
5.4. Les paramètres technologiques	78
5.4.1. Taux de vitamines « C » %.....	79
5.4.2. Détermination de l'extrait sec (%).....	79
5.4.3. Détermination de l'acidité titrable [g d'acide citrique/100g de jus].....	;80

5.4.4. Taux des surestotaux dans les fruits (%)

Discussion générale.....	81
Conclusion et perspectives.....	84
Références bibliographiques.....	86

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

LA LISTE DES FIGURES:

Figure N°1 : aspect de fruit de la variété Marmande.....	44
Figure N°2 : Lieu de l'expérimentation (laboratoire de la biotechnologie des productions végétales).....	45
Figure N°3 :Graines de tomate mises en germination à l'intérieur de l'étuve.....	47
Figure N°4 :Aspect générale des graines de tomate après germination.....	47
Figure N°5 : Plantules de tomate au moment de la transplantation	48
Figure N°6 :Stérilisation du sol par la méthode de Bergerac.....	49
Figure N°7 : présentation du BiofertilisantALGASMAR.....	50
Figure N°9 : Schéma du dispositif expérimental.....	53
Figure N°10 : les différents calibres de la tomate.....	58
Figure N°11 : aspect général d'un refractomètre et la manière de lectures.....	61
Figure N°12 :Vitesse de croissance des plants (cm/j).....	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°1: Les quelques variétés de la tomate.....	19
Tableau N° 2: La production mondiale de tomate en 2012.....	02
Tableau N°3: Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012....	21
Tableau°4 : Températures moyennes optimales au développement de la tomate...	21
Tableau N°5 : les quantités globales des engrais(en Kg/ ha) pour un rendement moyende75t/ha.....	23
Tableau N°6: Principales maladies cryptogamiques et virales de la tomate et leurs luttés biologiques.....	26
Tableau N°7: Principaux ravageurs de la tomate et leurs luttés biologiques.....	28
Tableau N°8: moyennes des températures par décade enregistrées sous serre ...	46
TableauN°9: principaux résultats de l'analyse du substrat	50
Tableau N°10. : Les différents traitements phytosanitaires	54
TableauN°11: Hauteurs finales moyennes des plants (cm).....	63
TableauN°12: Le nombre des feuilles	64
TableauN°13: Lediamètre final des tiges en (cm)	65
TableauN°14: La hauteur collet-bouquet en (cm)	65
TableauN°15: La hauteur entre les bouquets en (cm)	66
TableauN°16: Les poids frais (totaux, tiges, feuilles).....	67
TableauN°17: Les poids secs (totaux, tiges, feuilles).....	68
TableauN°18 : Le taux de matière sèche (%).....	69
TableauN°19 : Le nombre des fleurs par plant.....	70
TableauN°20 : Le nombre de fruits récoltés par plan.....	71

Tableau N°21 : Poids moyen d'un fruit par plant (g)	71
Tableau N°22 : la répartition des calibres en %.....	72
Tableau N°23 : Production moyenne par plant (kg).....	73
Tableau N° 24 :Quantité de chlorophylle (a).....	74
Tableau N° 25 :Quantité de chlorophylle (b).....	74
Tableau N° 26 :Quantité de chlorophylle (c).....	75
Tableau N° 27 : Le taux de vitamines « C ».....	76
Tableau N° 28 : Extrait sec (%).....	77
Tableau N° 29 : L'acidité titrable [g d'acide citrique/100g de jus]	77
Tableau N° 30 :Taux des sucres dans les fruits (%).....	78

INTRODUCTION

Pour assurer une bonne nutrition de la plante et atteindre de forts rendements des cultures, l'homme s'est orienté vers l'utilisation des engrais chimiques de synthèse qui procurent les différents éléments nécessaires pour la croissance et le développement de la plante.

Depuis, les agriculteurs n'ont cessé de battre de nouveaux records de productivité, ils ont mécanisé et spécialisé leurs exploitations en consommant de plus en plus de carburant et de produits chimiques, ayant pour objectif : l'autosuffisance alimentaire.

Mais malgré tous les avantages procurés par la fertilisation chimique, cette dernière présente aussi des effets néfastes inattendus sur l'environnement, la santé humaine et animale et sur la plante elle-même.

C'est pour cette raison que pas mal de gens commencent à prendre conscience et s'intéressent beaucoup plus à leur santé et l'environnement, en cherchant à substituer ces alliés chimiques par d'autres fertilisants naturels qui collaborent avec la nature pour épargner ses ressources. Ces nouveaux produits sont regroupés sous le terme de biofertilisants, c'est pourquoi de nombreuses matières naturelles font l'objet d'investigations sur leurs propriétés fertilisantes.

C'est dans ce contexte que notre travail consiste à expérimenter un biofertilisant (Algasmar), constitué à base d'algues marines qui ont été déjà utilisées comme engrais ou amendements.

Ce biofertilisant a été testé sur la tomate maraichère (Marmande) afin d'identifier la dose ainsi que le mode d'application le plus performant sur les paramètres physiologiques, biométriques et biotechnologiques.

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LA TOMATE

1.1. Origine et historique de la tomate :

Selon [1], le mot tomate est dérivé de l'aztèque « tomatl » Longtemps cultivée dans un but ornemental. La tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill), famille des solanacées, représente un des légumes-fruits des plus populaires et des plus recherchés. Cette espèce, que l'on appelait autrefois « pomme de Pérou » est originaire de l'Amérique du Sud [2].

D'après [3], pendant des siècles, le fruit de la tomate a été considéré avec suspicion par les européens. Ce n'est qu'au début du 19^{ème} qu'il a été accepté comme aliment. Elle fut introduite en Afrique du nord par les espagnols, d'abord au Maroc puis en Algérie, en 1905 dans la région d'Oran; ensuite le centre du pays [4].

1.2. Particularités botaniques et morphologiques :

La tomate cultivée (*Lycopersicon esculentum*, Mill) est une plante herbacée annuelle, généralement autogame,[5] ; botaniquement, elle appartient à :

- Embranchement : phanérogames
- S / E : spermaphytes
- Ordre : polemoniales
- Famille : solanacées
- Genre : *Lycopersicon*

D'après [6], le genre *Lycopersicon* comprend 8 espèces, 3 sont restés dans les limites de leurs zones d'origine. Une seule, *Lycopersicon esculentum*, a été introduite dans d'autres régions. Il faut noter que le recours à des espèces sauvage a été fréquent pour rechercher des gènes de résistance aux pathogènes [7].

1.2.1. Aspect de la plante :

La tomate est une plante annuelle, herbacée, poilue, aux feuilles odorantes, dont le port est arbustif, buissonnant ou retombant suivant les variétés. Elle peut mesurer de 40 cm à plus de 2m de haut [8].

1.2.2. Caractéristiques génétiques :

Selon [9], la tomate cultivée est une espèce diploïde avec $2n = 24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants dont certains sont très importants pour la sélection.

1.2.3. Feuilles :

[10] rapportent que les feuilles sont composées pennées, de 5 à 7 folioles et sont alternées sur la tige.

1.2.4. Tige :

La tige est herbacée, presque ligneuse. La tige principale peut atteindre une longueur de 200 à 300 centimètres selon la variété et les conditions de culture. [11]

1.2.5. Système racinaire :

Le système racinaire de la tomate est bien développé, pivotant avec de nombreuses racines secondaires [4].

D'après [6], les racines de la tomate sont très actives sur les 30 à 40 centimètres. En sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à un mètre.

1.2.6. Fleur :

Selon [12], la formation de fleur chez la tomate aura lieu après environ 13 feuilles sous l'influence des conditions du milieu telles que la température et la lumière. [13] précise que les fleurs sont bisexuées, entre 1,5 et 2 cm de diamètre. En général il y a 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, qui sont jaunes et courbées. Il y a 6 étamines et les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité allongée. En général, la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu. Les abeilles et les bourdons sont les principaux pollinisateurs.

1.2.7. Fruit :

Selon [14], le fruit de la tomate est une baie gorgée de réserves hydratées. Les travaux de [4] notent que la forme du fruit est variable selon les variétés.

1.2.8. Graine :

Les graines sont réparties dans les loges [15]. Selon [6], les graines sont petites, plates, rondes, de couleur jaunâtre à grisâtre, souvent poilues. Dans un fruit on peut trouver 80 à 350 graines selon les variétés. Le poids de 1000 graines est approximativement de 2,5 à 3,5 g [13].

Les graines ne présentent pas de dormance. La germination est épigée (la graine est soulevée hors du sol par accroissement rapide de la tigelle). Dans de bonnes conditions (25°C), le stade cotylédons étalés est atteint en une douzaine de jours [16].

1.3. Valeur alimentaire et énergétique de la tomate :

D'après [17], la valeur alimentaire de la tomate est placée parmi les légumes les plus appropriés. Sa richesse en vitamines, en sels minéraux et en sucres lui ont donné la place comme une nourriture excellente, surtout pour les enfants. Selon [15], les différents composants de la tomate sont :

- Eau : 93.4-95.2%
- Protides : 0.9-1.1%
- Lipides : Trace-0.3%
- Glucides : 2.8-4.7%
- Fibre : 0.5-1.5%
- Minéraux : 0.6 %
- Vitamines : 19-54 mg/100g

Le concentré de la tomate peut protéger la peau du vieillissement. Manger quotidiennement 5 cuillères à table de concentré de tomate avec de l'huile d'olive aide à protéger la peau des coups de soleil et donc aussi du vieillissement cutané. C'est le résultat d'une étude britannique présentée lors de la dernière assemblée de la British Society for Investigative Dermatology. Cette propriété de la tomate est

due au lycopène, un antioxydant présent en très grande quantité dans la tomate[18].[19]note que le lycopène a un effet bénéfique pour le cœur et le cancer de la prostate.

Comme pour tout fruit et légume, son faible contenu calorique et ses nombreux micronutriments participent à une alimentation équilibrée qui prévient l'obésité. Sa composition originale en antioxydants laisse à penser qu'elle pourrait également avoir des propriétés protectrices contre les maladies cardio-vasculaires et peut-être contre certains cancers. [20]

1.4. Types de variétés cultivées sont :

Tableau n°1: Quelques variétés de la tomate.

Variété	Aspect	Poids	Port	Précocité	Utilisation culinaire
Alamo	Fruit de 12 cm de long, rouge, charnue	120g	Indéterminé	mi-précoce	Crue ou cuite
Ananas	Gros fruit à chaire jaune orangée	250 -500g	Indéterminé	Tardive	Salade
Agora	Petit fruit, rond, lisse en grappe	60g	Indéterminé	mi-précoce	Crue ou cuite
Marmande	Multi loge, aplati	130-140 g	Indéterminé	Précoce	Cuite ou Cuite
Saint-Pierre	Multi loge ronde, aplati, Lisse	140-160g	Indéterminé	Tardive	Salade
Narit F1 hybride	Multi loge, Très lisse, ronde	140-160g	Indéterminé	Précoce	Crue ou Cuite

Source : [8]

1.5. Importance économique :

1.5.1. Importance de la tomate dans le monde :

La tomate est cultivée dans plusieurs pays et à travers le monde entier. Le tableau n°2 donne la production en tonne des 20 premiers pays producteurs de tomate.

Tableau n° 2: Production mondiale de tomate en 2012.

Pays	Production	Pays	Production (T)
1-Chine	48576853	11- Mexique	2435790
2- Inde	16826000	12-Russie	2200590
3- USA	12624700	13-Ukraine	2111600
4- Turquie	11003400	14-Nigéria	1504670
5- Egypte	8105260	15-Tunisie	1284000
6- Iran	6824300	16-Portugal	1245360
7-Italie	5950220	17-Maroc	1236170
8 Brésil	4416650	18- Grèce	1169900
9-Espagne	3821490	19- Syrie	1154990
10-Ouzbékistan	2585000	20- Iraq	1059540

Source : [21]

1.5.2. Importance de la tomate en Algérie :

La tomate occupe une place remarquable dans l'économie agricole algérienne. C'est une culture très répandue, des milliers d'hectares y sont consacrés chaque année. C'est un légume de base pour la population algérienne. Elle prend le deuxième rang en cultures maraîchères après la pomme de terre. Le tableau suivant montre l'évolution de la superficie, de la production et du rendement de la tomate fraîche en Algérie durant les dix dernières années

Tableau n°3: Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.

Années	Superficies Ha	Productions Qx	Rendements Qx/Ha
2003	18650	4569330	245.0
2004	19432	5121950	263.6
2005	21089	5137795	243.6
2006	20436	5489336	268.6
2007	20079	5673134	282.5
2008	19655	5592491	284.5
2009	20789	6410343	308.4
2010	21358	7182353	336.3
2011	20575	7716055	375.0
2012	21542	7969630	370.0

Source : [21]

1.6. Exigences de la tomate :

1.6.1. Exigences climatiques : les exigences climatiques de la tomate sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°4 : Températures moyennes optimales au développement de la tomate.

Stade de développement	Température de l'air (°C)		Température de sol (°C)
	jour	nuit	
Germination	18-20	18-20	25
Croissance	18-20	15	15-20
Floraison	22-25	13-17	15-20
Fructification	25	18	20-25

En phase de grossissement de fruit, l'optimum de la température ambiante est de 25° C le jour et 15° C la nuit [23]. Selon [24], les gelées sont parmi les conditions défavorables pour la tomate. Même les fortes températures ne sont pas recommandées, car les grains de pollen sont tués si les températures diurnes dépassent 35°C [25]. Selon les travaux de [6], la pollinisation est favorisée par une forte intensité lumineuse pendant la floraison. Aussi, [26] note que si les températures dépassent 37°, il y'aura une déformation des fruits. Les défauts de coloration qui apparaissent sur certaines parties du fruit sont dus à l'exposition du fruit aux fortes températures. On observe au-delà de 30°C un jaunissement (inhibition de la synthèse du lycopène) et au-delà de 40°C un blanchissement (inhibition de la synthèse du carotène) qui sont dus aux effets de la température sur les phases successives de synthèse des pigments [15].

Une hygrométrie de 75% est jugée comme optimale car elle permet d'avoir des fruits de bon calibre et sans défaut de coloration [27].

Les travaux de [28] rapportent que ce facteur climatique influe beaucoup sur le développement des maladies cryptogamiques.

1.6.2. Exigences édaphiques :

La tomate exige des sols profonds, bien drainés et riches en matière organique [29]. Aussi d'après [30], la tomate s'adapte à une large gamme de sols. Toutefois, les sols limono-sableux ou limoneux profonds, non asphyxiants et pH compris entre 6,0 et 7,0 exprimeront les meilleures potentialités de récolte.

1.6.3. Exigences hydriques :

La plante consomme de l'eau pour constituer sa matière végétale, qui contient 90 à 95% d'eau et 5 à 10% de matière sèche [31]. Selon le même auteur, les besoins annuels de la tomate d'eau varient entre 7000 et 8000 m³ /ha/an, soit 15 à 20 fois plus que le poids d'eau dans la matière fraîche. Les besoins sont surtout importants à partir de la floraison du 2^{ème} bouquet [6]. Il a été constaté par [32] que les plus hauts rendements sont obtenus avec un régime hydrique de 3 irrigations/semaine contre une seule irrigation/semaine. Les travaux de [33], ont porté sur l'effet de stress hydrique et celui de l'arrêt de l'irrigation deux mois avant la récolte sur le rendement et la qualité morphologique de la tomate. La production a été fortement réduite par le

stress hydrique et par l'arrêt des irrigations en phase de grossissement des fruits. Lorsque le facteur limitant est l'eau, il est inutile de fertiliser copieusement; les engrais ne seront pas valorisés.

1.6.4. Exigences nutritionnelles :

Les quantités globales des engrais (en Kg/ ha) pour un rendement moyen de 75t/ha sont les suivantes :

Tableau n°5 : les quantités globales des engrais (en Kg/ ha) pour un rendement moyen de 75t/ha

N	P2O2	K2O	MgO
80-130	70	200-300	60-80

Source :[30]

Les apports d'azote et de potasse sont souvent fractionnés selon les modalités d'irrigation et les éventuels apports de fumure organique [30].

Aussi, il a été noté par [34] que l'azote apporté à une dose optimale, améliore la couleur du fruit.

Par ailleurs, les travaux de [35] ont trouvé que les meilleurs rendements et qualités ont été obtenus avec les doses suivantes des éléments minéraux NPK: 100 kg N/ha + 100 kg/ha P + 150 kg/ha K.

Trop d'azote en début de culture pourrait entraîner un déséquilibre végétatif [36]

Aussi, durant les périodes hivernales froides et par temps couvert, qu'il faudrait surveiller l'alimentation en potassium pour éviter les fruits creux et les problèmes de fermeté [37].

Pour assurer la meilleure efficacité possible d'un engrais, il convient de l'appliquer au moment précis où la plante en a besoin et peut l'utiliser[38].

1.7. Les techniques culturales de la tomate:

1.7.1. Place dans la rotation :

D'après [39], dans des bonnes terres recevant normalement du fumier, la tomate vient en tête de rotation, alors qu'au niveau des terres pauvres en humus, il est conseillé de la cultiver après la luzerne ou autre prairies.

1.7.2. Travail du sol :

Les travaux de [40] ont montré que le rendement augmente avec la profondeur du travail du sol. Les différentes étapes à réaliser sont :

- Effectuer un labour de 25 à 30 cm de profondeur au cours duquel sera enfouie la fumure organique et minérale de fond.
- Pratique des façons superficielles à l'aide d'un cover-crop ou une charrue à dents et ce afin de mieux émietter le sol
- Nivelier le sol en surface à l'aide d'une herse
- Confectionner des billons

1.7.3. Semis :

On peut produire de jeunes plants dans une serre chauffée à 18°C [41]. Aussi

[17] précise que le semis s'effectue en rayons de 10 à 15 cm de distance entre eux et sous une profondeur de 2 à 3 cm pour ce qui concerne le semis en planche. Si le semis est en pot 1 à 2 graines dans Chaque pot.

1.7.4. Plantation :

Il est recommandé de procéder à la plantation par temps couvert et humide ou en fin de journée [42]. La distance de plantation est de 1m à 1.30 m x 0.25m à 0.30 m pour les cultures de plein champ, et varie de 0.8m x 0.3m à 0.35m pour les cultures sous abris. [43]

1.7.5. Travaux d'entretiens :

La tomate est une plante qui demande beaucoup d'entretiens qui sont repartis en diverses opérations :

1.7.5.1. Paillage plastique :

Selon [44], le paillage peut limiter le développement des mauvaises herbes, en plus il diminue l'évapotranspiration et protège les fruits basaux contre les pourritures.

.7.5.2.Tuteurage :

Les légumes qui croissent en hauteur ont besoin d'appuis sur lesquels s'accrocher et de tuteurs. La tige principale est fixée au piquet avec un nœud en forme de huit [45]. Sous serre, les plantes sont palissées sur ficelle et tous les bourgeons sont supprimés [46].

1.7.5.3. Taille :

Selon [47], sans intervention, la tomate se ramifie exagérément et ne produit que de petits fruits nombreux et tardifs. Par contre la taille assure une fructification régulière.

1.7.5.4.Effeillage :

A partir du début de maturation des fruits de la première inflorescence, on peut procéder à un effeuillage partiel afin de maintenir un bon équilibre végétation/fructification [48]. Aussi, il est recommandé de faire un retrait de 3 feuilles en moyenne pour dégager les bouquets afin de faciliter la coloration des fruits et économiser l'alimentation ,3 à 4 passages réalisés en fonction de l'évolution des plantes et du comportement de la variété [49]. Un effeuillage au ras de la tige, sans laisser de fragments de pétioles, diminue fortement le taux d'infection des plaies [50].

1.7.5.5. Ebourgeonnage :

Le développement végétatif de la tomate étant rapide, il est indispensable de suivre de très près l'opération d'ébourgeonnage qui consiste à supprimer les bourgeons qui se développent à l'aisselle des feuilles [51].

1.7.5.6. Binage :

Cette opération s'effectue durant le premier mois après la reprise des plants [52].

1.7.5.7. Buttage :

C'est une opération qui consiste à relever la terre au niveau de collet. Effectuer un ou plusieurs passages avant la le début floraison, afin de favoriser l'émission de nouvelles racines[52].

1.7.5.8. Traitements phytosanitaires contre les maladies et les ravageurs:

Que se soit potagère ou industrielle, la tomate peut être parasitée et atteintes par plusieurs maladies et ravageurs qui peuvent influencer sur sa croissance et sur son rendement. Il existe des solutions chimiques et biologiques pour lutter contre ces différentes attaques et les mesures préventives restent le meilleur moyen.

Les tableaux ci-dessous présentent certaines maladies et ravageurs et leurs luttes préventives et biologiques

Tableau n°6:Principales maladies cryptogamiques et virales de la tomate et leurs luttes biologiques

Maladies	Mesures préventives	Lutte biologique
<p>Les maladies cryptogamiques</p> <p>Mildiou de la tomate <i>Phytophthora infestans</i></p>	<p>-Eviter de planter dans une parcelle trop humide ou mal drainée.</p> <p>- Eliminer les déchets des plantes précédentes.</p> <p>-Eviter de planter trop serré.</p>	<p>-Traiter avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> * la bouille de bordelaise. *la poudre de roche. *le purin d'ortie.
<p>Oïdium <i>Leveillulataurica</i></p>	<p>-Choisir des variétés moins sensibles.</p> <p>-Appliquer dès la plantation du poudrage de soufre sur le paillage plastique au pied des plantes</p> <p>-Eviter les excès d'azote.</p>	<p>-Utiliser de poudre de roche.</p> <p>-Traiter avec de cuivre.</p> <p>-Utiliser de soufre mouillable.</p> <p>-Traiter avec produits à base de pyrèthre.</p>
<p>Fusariose <i>Fusarium oxysporum</i></p>	<p>-Eviter d'irriguer avec une eau riche en chlorure de sodium ou de</p>	<p>-Pas de traitement efficace</p> <p>-Le développement de la</p>

<p>Les maladies virales</p> <p>Mosaïque de la tomate <i>Tabacomosaic virus</i></p> <p>Filiformisme Mosaïque et nécrose de tomate <i>Cucumber mosaic virus</i></p>	<p>magnésium.</p> <p>-La fusariose de la tomate est favorisée par une nutrition calcique insuffisante des plantes en sol sableux.</p> <p>-Eliminer le maximum plantes malades et les résidus de culture.</p> <p>-Eviter les amendements excessifs en phosphore et en magnésium.</p> <p>- Eviter de planter la tomate près de champ de tabac.</p> <p>- utiliser des semences saines</p> <p>- Ne pas planter latomate près de champ de concombre</p>	<p>Fusariose est ralenti par des apports de chaux dans les sols ou il y'a une insuffisance calcique.-</p> <p>Traiter les racines avec de l'eau à 48-49C pendant 30 secondes avant la transplantation.</p> <p>pas de luttecontre les virus,la lutte se faitcontre l'agent vecteur (puceron).</p>
--	--	---

Source : [25],[53],[54],[55] et [57]

Tableau n°7:Principaux ravageurs de la tomate et leurs luttes biologiques :

Ravageurs	Mesures préventives	Lutte biologique
Pucerons	<ul style="list-style-type: none"> -Eviter l'excès de la fertilisation azotée -Eloigner les fourmis -Application régulières de poudrage de soufre. 	<ul style="list-style-type: none"> -Traitements foliaires avec poudres de roches, extraits d'algues, purin d'ortie, infusion de quassia ou de savon noir. -Traitements avec préparation à base de Pyrèthre ou Roténone. -Faire des lâchers de prédateurs et de parasites.
Acariens	<ul style="list-style-type: none"> -Fertiliser plutôt avec du compost. -Limiter les excès d'azote. -Choisir des variétés peu sensibles. -Maintenir une humidité relative de l'air élevée par des aspersion. -Désinfecter avec du soufre avant toute culture. 	<ul style="list-style-type: none"> -Traiter avec de poudrage de soufre.

Source : [53] et 56]

1.8. Récolte :

Les fruits sont prélevés sur le pied au fur et à mesure qu'ils mûrissent [58]. Les premières récoltes interviennent entre 60 et 90 jours après le repiquage en et peuvent s'étaler sur 1 à 2 mois selon les variétés. Il faut récolter lorsque le ¼ du fruit est rouge ou vire au rouge. Il est recommandé de récolter 2 fois/semaine pendant environ 2 mois [59]. En ce qui concerne les variétés industrielles, selon [60], la récolte aura lieu lorsque les fruits deviennent mûrs (rouges). La récolte est mécanique à l'aide d'une machine équipée de disques de fauchage, d'une trieuse électronique des fruits et d'une table de triage manuel [61].

CHAPITRE 2

NUTRITION MINERALE DE LA PLANTE

2.1. Nutrition de la plante :

Selon [62], les connaissances théoriques sur la nutrition des plantes ont eu de grandes applications. D'abord chez les agriculteurs qui maîtrisent les apports d'engrais sur leur plantes évitent de ce fait les surdosages, néfastes pour l'environnement et économiquement, ils sont désastreux. Les professionnels de la culture in vitro peuvent aussi utiliser ses connaissances pour élaborer leurs milieux de culture. Grâce à la connaissance des exigences de la nutrition minérale du végétal, il est possible de mener des cultures sans sol, simplement en nourrissant la plante avec une solution nutritive, contenant une proportion adéquate des éléments essentiels. [63]

2.2. Différents éléments nutritifs :

2.2.1. Eléments majeurs :

2.2.1.1. Azote :

L'azote est l'élément constitutif des plantes le plus important après le carbone. [64]. D'après [65], c'est un macroélément et un constituant des acides nucléiques.

Aussi, selon [66] la plupart des plantes absorbent l'azote contenu dans le sol sous forme d'ions inorganiques qui se transforment en nitrates (NO_3^-), et dans quelques cas rares en azote ammoniacal (NH_4^+). Une fois dans la plante, le (NO_3^-) est réduit en (NH_4^+) avant d'être incorporé dans les acides aminés, les protéines ou des composés azotés organiques tels que certaines hormones [67].

La nutrition mixte ($\text{NO}_3^- \text{NH}_4^+$) permet généralement une production de matière sèche plus élevées (de 10 à 20%) donc une meilleure croissance, qu'avec l'un ou l'autre des deux ions apportés séparément [69].

Les travaux de [70] signalent que les ions NH_4^+ retenus par les colloïdes sont peu entraînés par les pluies. Par contre, les ions NO_3^- non fixés risquent d'être

lessivés, donc ils doivent être administrés au moment de leur utilisation de façon fractionnée.

Les nitrates ont la propriété de faciliter la germination des semences. Leur emploi est d'ailleurs recommandé dans certains tests de germination définis par l'ISTA (International Seed Testing Association = Association internationale d'essai de semences) [71].

Aussi, d'après [72], l'action essentielle de l'azote concerne la partie aérienne des végétaux, à savoir la tige et les feuilles.

L'azote est un facteur essentiel de la production végétale. Il occupe une place centrale dans tous les processus biologiques et joue un rôle déterminant au niveau du rendement [73]. La plupart des symptômes d'une carence en azote, se manifestent par une lente réduction de la croissance ainsi que par une chlorose générale des feuilles [66]. Aussi les travaux de [72] notent que le manque de cet élément se manifeste par un feuillage pâle et un brunissement de certaines feuilles du bas, en plus les plantes sont lentes à se développer.

Cependant, les excès d'azote ne sont pas sans conséquences néfastes sur le végétal et sur l'environnement. L'azote stimule la croissance végétative au détriment des organes de reproduction. En cas d'excès d'azote, les céréales sont sujettes à la verse [75].

Selon [73], l'azote en excès peut entraîner des retards de maturité et s'avérer responsables de la fragilité des fruits à la récolte, d'une moindre aptitude à la conservation et transport. La surfertilisation azotée est parfois impliquée dans la baisse de la valeur organoleptique.

Le même auteur évoque que les fortes doses d'azote sensibilisent les cultures aux parasites tels que les pucerons et aux maladies cryptogamiques et physiologiques.

Il a été démontré par les travaux de [76] que la fécondité de l'araignée rouge (*Panonychus ulmi*) qui est un phytophage augmente avec la teneur en azote des tissus foliaires de sa plante hôte.

Aussi, d'après [77] si les apports d'azote augmentent, le taux des sucres et la vitamine C diminue.

2.2.1.2. Phosphore :

Selon [66], le phosphore est disponible dans la solution du sol surtout sous la forme d'un triacide (H_3PO_4). Dans la plante, le phosphore se trouve surtout sous la forme de phosphoesters, comprenant les glucides phosphorylés qui jouent un rôle extrêmement important dans la photosynthèse. Les travaux de [78] et [79] notent que cet élément sous la forme d'ATP, d'ADP et P_i , joue également un rôle central dans le métabolisme énergétique des cellules.

Aussi, d'après [80], le phosphore intervient dans des différentes étapes de cycles de Calvin pour la photosynthèse, en plus il constitue l'enzyme ribulosebiphosphate-carboxylase qui est nécessaire à l'initiation de ce cycle.

En plus, selon [81], ce macro élément est un activateur de plusieurs autres enzymes. Il a été noté par [82] que cet élément essentiel est un composant de la membrane cellulaire et les acides nucléiques.

Aussi, il assure le bon développement des racines et favorise la résistance aux maladies, ainsi que la fécondation. Il favorise en effet la formation des graines et des fleurs [72]. Il a été également noté selon [83] que cet élément est un constituant des phospholipides de la membrane plasmique. Le phosphore permet d'augmenter le poids de mille grains des céréales et joue un rôle dans la précocité de maturation des fruits [84].

La manifestation la plus caractéristique d'une carence en phosphore est une intense coloration verte des feuilles. Dans des cas extrêmes, les feuilles subissent des malformations et présentent des taches nécrotiques. Les tiges sont généralement raccourcies et plus minces, de plus la production de fruits ou de semences est fortement réduite [66].

Selon le même auteur, un excès de phosphore a des effets inverses de ceux de l'azote, en ce sens qu'il stimule préférentiellement la croissance des racines comparée à celle des tiges feuillées, diminuant ainsi le rapport tiges feuillées / racine. Des engrais à forte teneur en phosphore, comme la farine d'os, sont appliqués lors de la transplantation d'espèces pérennes afin de favoriser la mise en place d'un système racinaire vigoureux.

2.2.1.3. Potassium :

D'après [85], le potassium est absorbé sous forme d'ion K^+ . Selon [82], il intervient dans la régulation des stomates et le maintien de la turgescence cellulaire. En plus, il assure l'équilibre acido-basique de la cellule. Il accompagne ainsi les anions dans leur accumulation et leur migration, notamment les ions NO_3^- . Jusqu'à leur lieu de réduction (racine ou feuille) [86].

L'ion potassium exerce un rôle d'activation de nombreuses enzymes en particulier celles impliquées dans la photosynthèse et la respiration. Cet élément est intéressant pour aider les plantes à lutter contre les maladies. Il favorise la croissance des racines, des bulbes, des tubercules [72].

Les travaux de [87] évoquent que le potassium a un effet sur la coloration et la qualité gustative des fruits (effet favorable sur l'accumulation des acides organiques). Aussi d'après [88], le potassium favorise les économies d'eau au niveau de la plante, il accélère le transfert des glucides vers les fruits et les racines et intervient dans le transport des nitrates. Le taux de la vitamine C augmente avec la fertilisation potassique. Aussi, il est à noter que la présence du potassium est importante pour la concentration en vitamines, en minéraux, la texture, la fermeté et la résistance aux altérations dues au transport [77].

Les expériences de [89] rapportent que le potassium augmente la résistance à la déshydratation et facilite le transfert des substances minérales et organiques dans l'arbre et dans le fruit chez le pommier.

Les carences en K se manifestent par plusieurs symptômes, sur pomme de terre, les folioles se courbent vers le dessous avec une coloration vert bleue autour des nervures, puis brune au bord des feuilles. Sur vigne on remarque une coloration violacée des feuilles [75].

Selon [66], chez le maïs et d'autres céréales, Les tiges sont raccourcis et moins rigides et leur sensibilité aux champignons responsables de la pourriture des racines est accrue ; Il en résulte que les plantes carencées en potassium versent facilement. La synthèse de l'amidon et les protéines sont également affectées par des carences en potassium [66].

Les apports massifs de potassium ainsi que des teneurs du sol en potassium trop élevées peuvent induire des carences en magnésium et en calcium [75].

2.2.1.4. Calcium :

Les travaux de [66] rapportent que le calcium est absorbé sous la forme du cation bivalent (Ca^{2+}). Il est abondant dans la plupart des sols et rarement insuffisant dans les conditions naturelles. Le même auteur évoque que le calcium joue un rôle important dans le fuseau mitotique lors de la division cellulaire. Il est également nécessaire à la fois au maintien de l'intégrité physique et au fonctionnement normal des membranes. Plus récemment, il a été considéré comme messager secondaire dans certaines réponses hormonales ainsi que dans certaines réponses aux facteurs de l'environnement. Il est impliqué dans la phosphorylation des protéines. Le Ca^{2+} pourrait être un facteur important dans la régulation des activités de nombreuses enzymes. Il sert même comme détoxifiant en réagissant avec les composants toxiques et en maintenant l'équilibre entre anions et cations dans la vacuole. Comme le calcium fait partie de la paroi cellulaire et la maintient en agissant comme un ciment, il est l'un des facteurs les plus influents sur la fermeté et la conservation des fruits [90].

Le calcium joue un rôle important à l'extérieur des cellules. Il crée des liens entre les parois des cellules. Il maintient donc la structure entre les cellules en les cimentant les unes aux autres [91].

Il contrôle l'ouverture de certains canaux ioniques transmembranaires ; il joue de ce fait un rôle important dans la régulation du potentiel osmotique. Il active certaines enzymes telles que les ATPases qui hydrolysent l'ATP [86].

Selon [92], il joue un rôle dans la régulation de la transpiration par la fermeture des stomates.

Il peut cristalliser dans les vacuoles de certaines cellules en formant des sels de calcium avec des acides organiques (ex : cristaux d'oxalate de calcium). Il a donc un rôle antitoxique en soustrayant l'acide oxalique du cytoplasme [93]. Le calcium favorise la nutrition minérale des plantes via la remontée du pH. Il stimule l'activité biologique et règle les équilibres ioniques avec les cellules [94].

Comme il joue un rôle dans les cellules en division, les symptômes de carence calcique se manifestent dans les régions méristématiques, là où les cellules sont

en division. La carence en calcium se traduit par une faible croissance des racines et les symptômes de carence apparaissent dans feuilles les plus jeunes [66].

D'après [95], le calcium est antagoniste au fer, un excès calcique conduit à une chlorose ferrique, car le fer est moins assimilé. Le même auteur évoque que cet excès provoque également une carence en d'autres éléments tel que : le bore, le cuivre, le manganèse et le zinc.

2.2.1.5. Magnésium :

Comme le calcium, le magnésium est également abordé sous la forme d'un cation bivalent (Mg^{2+}). D'une façon générale, le sol contient moins de magnésium que de calcium, cependant les besoins des plantes sont relativement importants [66]. Dans la plante le magnésium exerce plusieurs fonctions importantes. Il facilite le métabolisme du phosphore (transformation de sels minéraux phosphatés en combinaisons organiques), il renforce la turgescence des cellules végétales et il participe aux phénomènes de fécondation [96].

Selon [97], les ions Mg^{2+} jouent un grand rôle dans la photosynthèse. Aussi d'après [98], le magnésium est un constituant de la chlorophylle. Même si tous les autres éléments sont présents en abondance, une plante qui manque de magnésium ne pourra pas produire de chlorophylle et ne pourra donc pas croître [99].

Le symptôme le plus prononcé et qui apparaît en premier lors d'une carence en magnésium est une chlorose due à la destruction de la chlorophylle dans les régions de la feuille situées entre les nervures. [66]

L'excès en magnésium se traduit par des brûlures marginales sur les vieilles feuilles qui deviennent vert foncé [95].

2.2.1.6. Soufre :

Les plantes prélèvent par leurs racines l'essentiel du soufre de la solution du sol sous la forme de sulfate (SO_4^{2-}) [100].

Le soufre a un rôle catalytique dans la synthèse de la chlorophylle et dans le transport des ions hydrogènes. [101].

Le soufre entre dans la composition de deux acides aminés soufrés : la cystéine et la méthionine [102]. Selon les mêmes auteurs, la carence en cet élément est l'un des plus sévères, un des symptômes est la disparition de la chlorophylle ce qui conduit à une chlorose.

Les travaux de [103] notent qu'un ralentissement de la croissance est provoqué par le manque de soufre.

L'excès du soufre se traduit selon [95] et [104] par :

- Pouvant provoquer l'acidification des sols.
- Accumulation excessive de sels pouvant provoquer l'acidification des sols.
- Perturbation de l'assimilation du molybdène.

2.2.2. Eléments mineurs :

2.2.2.1. Fer :

De tous les micro éléments, le fer est celui dont les plantes ont le besoin le plus important. Le fer peut être absorbé sous la forme de l'ion ferrique (Fe^{3+}) ou ferreux (Fe^{2+}) bien que ce dernier qui est plus soluble, soit trouvé plus fréquemment. [66]

Selon [88], le fer est indispensable pour plusieurs activités métaboliques comme la photosynthèse, la réduction des nitrates et la respiration

D'après [66], cet élément fait partie du groupement catalytique de nombreuses enzymes qui catalysent des réactions d'oxydo – réduction. En plus [82] évoque que le fer intervient dans la synthèse de la chlorophylle.

Parmi les symptômes de carence on distingue la chlorose ferrique qui est une carence due à une mauvaise assimilation du fer par la plante. Les feuilles deviennent jaunâtres, les nervures restent vertes. En cas de forte carence, on observe un dessèchement des feuilles et un arrêt de la croissance. Sans fer, la formation de la chlorophylle s'arrête [105]. Aussi, les travaux de [75] notent que la déficience en fer peut être induite lorsque le pH du sol est élevé, dans des situations de mauvaise aération, ou quand on a un niveau élevé de manganèse et du calcaire.

Une dose excessive de fer entraîne généralement une carence en manganèse.

2.2.2.2.Zinc :

Le zinc est absorbé sous forme des cations bivalents Zn^{2+} . C'est un activateur de nombreuses enzymes tel que l'alcool déshydrogénase (ADH) qui catalyse la réduction d'acétaldéhyde en éthanol[66].En plus, le zinc est l'activateur de l'enzyme anhydrase carbonique, enzyme essentielle pour l'utilisation de l'acide carbonique. De même, il contrôle la synthèse de l'acide indolacétique qui est un régulateur de croissance très important pour la plante [75].

Selon [66] les carences se manifestent par :

- La diminution de la concentration en auxine
- Entre nœuds raccourcis
- Des petites feuilles

Selon le même auteur, des excès en zinc inhibent la croissance des racines.

Le Zn étant antagoniste du Mn, son excès inhibe les enzymes ayant le Mn comme cofacteur[106].

2.2.2.3.Cuivre :

Dans les sols bien aérés, le cuivre est généralement disponible pour la plante sous la forme de l'ion bivalent Cu^{2+} [66].Les travaux de [82]soulignent que cet élément intervient dans le transfert d'électron au niveau des réactions énergétiques des cellules. En plus [96]note que le cuivre joue surtout un rôle de catalyseur en favorisant la formation de la chlorophylle, l'apparition de substances de croissance et la synthèse d'acide aminé telles que la tyrosine.

Selon [66], les carences se caractérisent par :

- Une croissance réduite
- Une déformation des jeunes feuilles
- En particulier chez les citronniers ou les orangers, une chute des jeunes feuilles connue sous le terme de mort estivales.
- Une coloration bleu vert du feuillage [106].

Le cuivre est antagoniste de l'azote et de la potasse, de fortes fumures azotées ou potassiques sur terre peu pourvue en cet élément peuvent induire des carences très nettes en cet élément [96].

Des teneurs excessives en Cu dans les sols inhibent la croissance des racines et diminuent le rendement des récoltes. Le feuillage présente une chlorose proche de celle observée lors d'une carence en fer. Le cuivre en excès endommage la membrane plasmique[106].

2.2.2.4.Manganèse :

D'après [107],le manganèse est absorbé sous la forme de Mn^{2+} .Les travaux de[75]rapportent que cet oligo élément est reconnu comme important activateur d'enzyme d'oxydoréduction, de décarboxylation et de transfert des radicaux libre. De plus il est impliqué dans la régulation de l'absorption de l'eau par la plante. Il peut même confère aux plante la résistance contre certaines maladies.

Toujours selon la même source, la déficience en manganèse affecte la formation des chloroplastes, l'intensité de la photosynthèse et l'activité de nitrate réductase.

La carence apparaît en période chaude et sèches dans les sols acides et légers, mais aussi dans des sols calcaires à pH élevé [108].

Selon[96],un excès de manganèse peu déclencher une carence en cuivre.

2.2.2.5.Bore :

D'après[107], les plantes absorbent le bore sous forme de BO_3 . Selon[75],il joue un rôle dans :

- La migration et l'utilisation des glucides
- La formation des ribosomes et la synthèse des protéines
- l'absorption du potassium, du phosphore et du magnésium.

Selon [108], cet oligo élément joue un rôle aussi dans la fécondation, les carences en bore provoquent des perturbations de la germination du tube pollinique et entraînent des problèmes de coulures chez la vigne.

Egalement, [66] mentionne que le bore contribue dans la division et l'élongation cellulaire et son manque inhibe ces mécanismes aux niveaux des racines principales et secondaires ce qui leur confère une apparence buissonnante.

Les symptômes de la carence se manifestent dans les points de végétation et les organes reproducteurs. Les feuilles du milieu et du bas de la plante deviennent légèrement chlorosées et fragiles. Bien que l'effet le plus caractéristique de la carence en bore soit la nécrose du sommet de la tige [66].

[106]rapporte qu'un excès en bore peut inhiber la floraison induisant des chutes de rendement

2.2.2.6.Chlore :

Selon [107],le chlore est absorbé sous forme d'ion Cl^- . Ce dernier est très répandu dans la nature et très soluble .Il est donc rarement en quantité insuffisante. Comme le manganèse, le chlore est indispensable dans les réactions photosynthétiques productrices d'oxygène. Cl^- est un anion très mobile qui remplit deux fonctions principales ; il est à la fois un ion qui maintient la neutralité électrique à travers les membranes et il est l'un des principaux solutés osmotiquement actifs dans la vacuole. L'ion chlorure semble également nécessaire à la division cellulaire dans les feuilles et les pousses feuillées. [66]

Il est important dans les réactions photosynthétiques dans la plante et il est utilisé dans les régulations du potentiel de turgescence des cellules [75].

Les travaux de [66] rapportent que les plantes carencées en chlore présentent une croissance réduite, le flétrissement des extrémités des feuilles ainsi qu'une chlorose généralisée.

Les excès en chlore induisent une moindre quantité de sucre [95].

2.2.2.7.Nickel :

Le nickel est absorbé par la plante sous la forme cationique bivalente Ni^{2+} . C'est un composant de l'enzyme uréase qui transforme l'urée en ammonium dans les tissus des plantes. Par conséquent le nickel est très important dans tous les métabolismes azotés[75].

Une carence en nickel provoquait une diminution de la vigueur des plantules, de la chlorose et des lésions nécrotiques sur les feuilles[66].

Le nickel est toxique à faible concentration (dès 40 ppm). Les symptômes de son excès (chlorose entre nervures et à la marge des feuilles, avec points nécrotiques) sont comparables à ceux de la carence en Mn [106].

2.1.2.8.Molybdène :

D'après[107], les plantes l'absorbent sous forme de MoO_4^{2-} . Les travaux de [75] notent que le molybdène est un constituant de l'enzyme impliquée dans la fixation de l'azote gazeux chez les légumineuses.

Sa faible disponibilité peut entraver la fixation optimale de l'azote par les bactéries symbiotiques des légumineuses [108].

La biodisponibilité du molybdène dans le sol dépend du pH. Le molybdène est ainsi moins disponible à bas pH ou à des taux élevés de sulfates [109].

CHAPITRE 3

LES BIOFERTILISANTS

3.1. Définition de biofertilisant :

Selon [110], un biofertilisant est un produit biologique à base de matière organique ou à base de micro organisme tels que des bactéries, des champignons ou des algues. Ce genre de produits aide la plante à se développer et résister aux différents stress abiotiques ou biologiques.

3.2. Effets néfastes des engrais chimiques de synthèse sur la biologie des sols et l'environnement :

- La population microbienne peut être bouleversée par les engrais ammoniacaux, car [96]rapporte que ces derniers entraînent une prolifération des bactéries nitrifiantes aux détriments d'autre micro organismes.
- De point de vu écologique, selon les travaux de[104], [111] et [112], les nitrates et le phosphore entraînés par ruissellement peuvent causer l'eutrophisation qui est l'accumulation des algues dans les milieux aquatiques au détriment d'autres espèces. Depuis plusieurs decenies, la région de Bretagne (France) est de plus en plus affectée par des proliférations d'algues vertes du genre *Ulva*. L'impact se fait sentir sur le tourisme et les professions de la mer. Ce sont les flux de nitrates et de phosphore déversés qui conditionnent l'empleur des marées vertes[113].
- L'accroissement de la fertilisation azotée favorise les emissions vers l'atmosphère de gaz nuisibles : émission de NH_3 par volatisation de la forme ammoniacale et emission de NO_2 par dénitrification des engrais azotés[114].
- IL faut noter aussi que la synthèse des engrais par l'industrie est gourmande en énergie fossile. Une tonne de pétrole environ est nécessaire pour la fabrication d'une tonne d'engrais azotes[96].
- Aussi sur le plan sanitaire, selon [115], les nitrates se combinent avec certaines amines pour former les nitrosamines qui sont d'après [116]cancérigène pour l'Homme. Même l'eau potable peut être contaminée, l'eau de boisson doit contenir moins de 50 mg de nitrate par litre [117].

- Egalement les sels de cuivre, sont connus pour avoir un effet dépressif durable sur la faune du sol[118].

3.3. Avantages des biofertilisants :

- Les biofertilisants sont moins chers et plus écologiques que les fertilisants chimiques [119].
- Quand ils sont appliqués sur un sol, les biofertilisants augmentent la disponibilité des nutriments et améliorent le rendement de 10 à 15 % sans nuire le sol et l'environnement.
- Ils solubilisent l'insoluble forme des phosphates tels que les phosphates d'aluminium sous forme soluble[120].
- Il existe des biofertilisants qui sont à la fois fertilisants et amendements pour le sol, car ils ont un rôle de maintenir ou corriger le pH du sol en plus ils contribuent à améliorer les qualités physiques du sol [121].Les amendements organiques, d'origine végétale, entretiennent ou reconstituent l'humus, donc le stock de matière organique du sol[122].
- Décomposition lente de la matière organique dans le sol.
- Assimilation progressive par les plantes et les microorganismes, action longue[123].
- Ils stimulent l'activité des êtres vivants du sol auxquels ils servent de nourriture[124].
- Certains produits peuvent contenir des micro organismes fixateurs d'azote[125].
- Les travaux de [126]ont obtenu des résultats intéressants en essayant l'effet d'un biofertilisant à base d'une bactérie fixatrice d'azote sur les nématodes de bananier. Le nombre de ces pathogènes est réduit et les racines sont plus saines après l'application du produit.
- Il existe des bio engrais qui augmentent le nombre des micro organismes bénéfiques au sol et accélèrent le processus de la minéralisation de la matière organique[127].
- L'utilisation des biofertilisants peut conduire à des produits saines sans résidus d'engrais [128].

- Les travaux de [129] ont montré que l'utilisation des biofertilisants a amélioré le rendement des arachides considérablement.
- Certains produits sont à la fois biofertilisants et biostimulants qui peuvent aider la plante à tolérer les stressés [130]. Sachant que ces biostimulants induisent les réactions de défense de la plante qui est efficace contre un large spectre d'agresseurs [131].
- Les extraits des plantes naturels sont utilisés dans les petites fermes de nombreux pays africains pour lutter contre les insectes ravageurs des grains, en raison des conditions économiques ne permettant pas l'utilisation de pesticides classiques [132].
- Certains biofertilisants contiennent et des bactéries qui peuvent rendre la plante tolérante à la sécheresse [133].
- Il existe un biofertilisants à base de fumier de vers qui présente beaucoup d'avantages tels que :
 - ✓ Il se compose d'agrégats grumeleux stables et d'éléments importants du complexe argilo humiques. La stabilité de ces agrégats garantit une meilleure aération et un meilleur drainage du sol.
 - ✓ Il présente constamment une action neutre et améliore ainsi la capacité au sol à réagir contre les pluies acides [134].
 - ✓ Il contient des particules de silice disponibles pour les plantes, avec lesquelles elles renforcent leur épiderme et repoussent ainsi les insectes nuisibles. Cela en fait un bon insecticide préventif.
 - ✓ Il contient des mucosités antibactériennes qui peuvent guérir les plantes malades.
 - ✓ Il stimule la croissance des racines et permet des rendements plus élevés et de meilleure qualité.

3.4. Inconvénients des biofertilisants :

- Selon [135], leur taux en éléments nutritifs est faible. Il faut un volume important pour assurer une bonne nutrition de la plante.
- D'après le même auteur, à long terme, l'utilisation intensive de ce type de fertilisation peut causer l'accumulation des métaux lourds qui peuvent affecter

la croissance des plantes, les organismes du sol, la qualité des eaux et la santé humaine et animale.

- Coût parfois élevé
- Difficultés à corriger certains éléments [136].
- Pour ce qui concerne les biofertilisants foliaires, l'effet sur les rendements n'est pas toujours garantis. Dans certains cas, ils peuvent augmenter la qualité des rendements, mais ils ne remplacent pas la fertilisation de base [137].

3.5. Intérêts des fertilisants à base d'algue marine en Agriculture :

Puisque le produit qu'on a utilisé dans notre expérimentation est à base d'algue marine, il est nécessaire de dévoiler certains effets bénéfiques de ce type de biofertilisant.

- Ces extraits sont connus depuis longtemps et sont utilisés comme engrais pour leur richesse en minéraux et en molécules biologiques naturelles. La fraction minérale peut représenter jusqu'à 36 % de la masse sèche. La diversité des éléments représentés est énorme : calcium, sodium, magnésium, potassium, phosphore, iode, fer, zinc, magnésium,

Les résultats obtenus par application d'extraits d'algues marines sur les mildious du poivron (*Phytophthora capsici*) et de la vigne (*Plasmopara viticola*) traduisent bien l'intérêt des SDN (stimulateurs de défense naturelle) comme produits de substitution aux produits de synthèse. La résistance acquise est proportionnelle à la concentration de l'extrait et qu'elle augmente fortement jusqu'à 70% après deux applications, l'infection est fortement ralentie jusqu'à 57% [138].

-Selon les travaux de [139], les algues marines contiennent des hormones qui peuvent être utilisées pour la germination, la croissance et augmentent le rendement et la résistance de plusieurs plantes.

-Les algues marines représentent une alternative aux fertilisants chimiques conventionnels. Des extraits liquides obtenus d'algues marines ont donné des résultats intéressants par pulvérisation foliaire sur certaines cultures [140].

CHAPITRE 4

MATERIEL ET METHODES

4.1. Objectif de l'expérimentation:

L'objectif de notre travail est de comparer au niveau de 09 traitements l'influence d'un biofertilisant à base d'algue marine sur la croissance, la production et la qualité de la tomate potagère (variété : Marmande) cultivée sous serre, et ce durant tout le cycle végétatif de la plante. Le but de notre travail est de déterminer la meilleure interaction dose d'application avec le mode d'application à savoir (application racinaire, foliaire ou la combinaison racinaire foliaire)

4.2. Matériel végétal utilisé :

L'espèce utilisée durant notre l'expérimentation est la tomate (*Solanum lycopersicum*), variété Marmande. La semence est originaire de France. Elle a été récoltée en 2009 avec une pureté spécifique de 99%.

Cette variété est une:

- Variété fixée et précoce.
- fruits côtelés, légèrement aplatis de couleur rougeâtre.



Figure N°1 : aspect du fruit de la variété Marmande

4.3. Conditions expérimentales :

4.3.1. Lieu de l'expérience :

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale du département d'agronomie de Blida située dans la plaine de la Mitidja, dans une serre en polycarbonate dont l'orientation est nord-sud et 382.5 m² de superficie. L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre. Le chauffage de la serre en période froide est réalisé à l'aide de radiateurs à eau chaude.



Figure N°2: Lieu de l'expérimentation (laboratoire de la biotechnologie des productions végétales).(Personnelle, 2012)

4.3.2. La température :

La température à l'intérieur de la serre a été contrôlée par un thermomètre positionné au centre de la serre. Des relevés de températures à (09h ; 12h ; 16h) ont été réalisés et présentés dans le tableau **N°8**

Tableau N°8: moyennes des températures par décade enregistrées sous serre en °C

Périodes	Températures en C°		
	09h	12h	16h
17-12-12 au 26-12-12	11,9	26,1	24,1
27-12-12 au 05-01-13	9,5	20,1	20,9
06-01-13 au 15-01-13	8,7	20,8	22,2
16-01-13 au 25-01-13	10,8	17,2	18,7
26-01-13 au 04-02-13	9,2	22,5	22,9
05-02-13 au 14-02-13	8	17,8	22,5
15-02-13 au 24-02-13	10,1	22,3	24
25-02-13 au 06-03-13	6,62	19,7	19
07-03-13 au 16-03-13	14	25,7	24,3
17-03-13 au 26-03-13	16,8	24,5	24,4
27-03-13 au 05-04-13	19,4	27,2	26,2
06-04-13 au 15-04-13	17,9	29	26,6
16-04-13 au 25-04-13	20,5	29,8	27,2

D'une manière générale, nous pouvons dire que les températures pendant le cycle végétatif répondaient aux besoins des plantes, mis à part durant les périodes froides où on avait enregistré quelques chutes de température sans dommage remarquable.

4.4 .Pré germination et repiquage:

4.4.1 .Pré germination:

Les graines sont déposées le 13.11.2012 dans des boîtes de Pétri contenant de papier filtre stérile imbibé d'eau distillée. Ensuite, elles sont placées dans une étuve à 25C° pendant une semaine. De l'eau distillée est ajoutée périodiquement afin d'éviter le dessèchement du papier filtre.

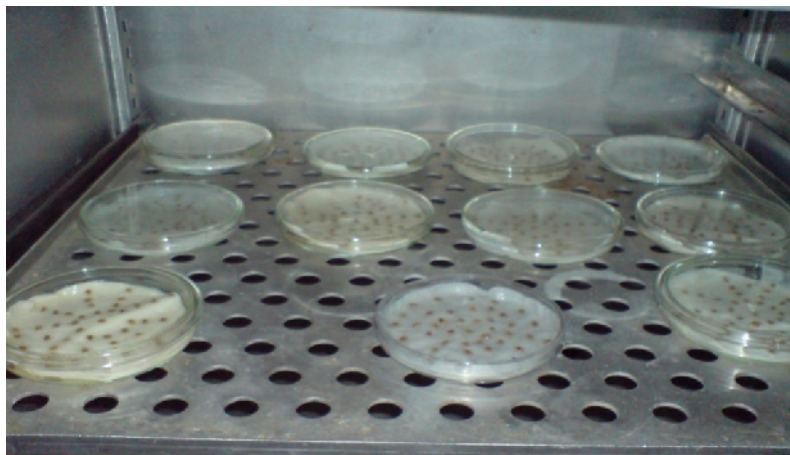
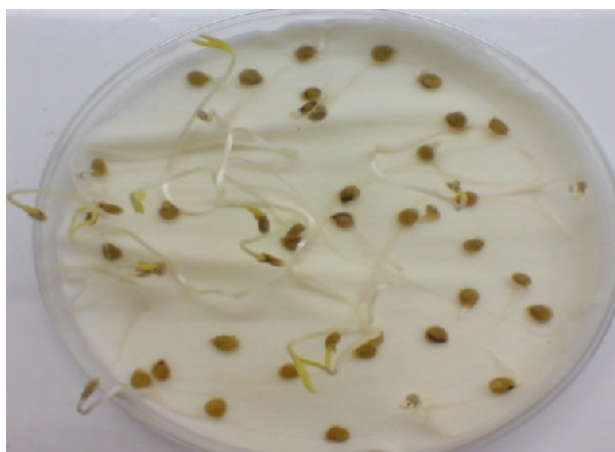


Figure N°3:Graines de tomate mises en germination à l'intérieur de l'étuve réglée à 25C° (Personnelle, 2012)



FigureN°4: Aspect général des graines de tomate après germination (Personnelle, 2012)

4.4.2. Le repiquage :

Après la germination des graines, un repiquage des jeunes germes de tomate dans des alvéoles a été réalisé le 22-11-2012 soit 9 jours après semis. Le repiquage en place définitive a été réalisé le 20-12-2012 soit 37 jours après semis.



FigureN°5 : Plantules de tomate au moment de la transplantation (Personnelle,2012)

4.4.3. Containers et substrat :

4.4.3.1. Containers :

Les containers utilisés sont des pots en polyéthylène de capacité 3500ml présentant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de l'eau excédentaire

4.4.3.2. Substrat utilisé, provenance et désinfection :

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est un mélange ; (2/3) de terre (terre de la station expérimentale du département d'agronomie) + (1/3) de la tourbe. A la base de chaque pot on a mis du gravier concassé de carrière 3-8 mm de diamètre pour assurer un meilleur drainage.

Avant la désinfection du substrat on a tamisé la terre à l'aide d'un tamis de mailles moyennes afin d'éliminer les grosses particules terreuses.

4.4.3.2.1. Désinfection du substrat par voie thermique méthode Bergerac :

La désinfection a pour but de détruire les organismes nuisibles aux cultures. Lorsque la désinfection est faite dans les bonnes conditions, elle permet de détruire la plupart des organismes néfastes tels que (insectes, nématodes, champignons, bactéries, virus qui sont peu résistants à des températures de 80 à 90⁰c. Au- delà de ces températures le sol se trouverait stérilisé, ce qui doit être évité.



Figure N°6: Stérilisation du sol par la méthode de Bergerac. (Personnelle, 2012)

4.4.3.2.2 Analyse du substrat :

Les analyses du substrat ont été réalisées au laboratoire Central de l'institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne (I.T.A.F.V) de Boufarik.

Les résultats de l'analyse sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau N°9: Résultats de l'analyse du sol:

échantillon	M1 0-20 cm	M2 0-40 cm
pH	6.33	6.66
CE	1.45	0.64
Calcaire total %	1.90	2.85
Potassium échangeable	1.38	1.51
Phosphore assimilable (P ₂ O ₅ ppm)	81.69	48.67
Matière organique (MO= C % *1.72)	1.72%	
Azote total (N ‰)	3.8	

D'après les résultats de l'analyse et selon [39], notre substrat est : légèrement acide, salin, non calcaire, très riche en azote, riche en matière organique, riche en potassium assimilable et en phosphore assimilable.

4.5. Le biofertilisant :

ALGASMAR est un biofertilisant « bioactivateur » d'origine végétale à base d'algues marines et d'acides aminés provenant du gluten du maïs. Il peut être appliqué soit par voie racinaire ou foliaire. Ce biofertilisant active la croissance et favorise les processus de floraison, de fécondation, et de grossissement des fruits. Il améliore le calibre des fruits quand il est appliqué à la fin du période de différenciation. Il avance la maturité du fruit quand il s'applique à la fin du développement de celui-ci. Il accélère le rétablissement des cultures qui supportent des situations difficiles comme les gelées, déficiences hydriques, effets phytotoxiques des pesticides, excès de récolte...).



Figure N°7: présentation du Biofertilisant ALGASMAR (Personnelle, 2012)

4.5.1. Composition d'ALGASMAR : C'est un mélange d'extrait d'algues, enzymes collagène et urée. Sa composition est la suivante :

- Acides aminés libre 10 %.
- Matière végétal totale 10%.
- Azote total 11.5%.
- Azote ammoniacale 0.01 %.
- Azote nitrique 0.06 %.
- Azote urique 7.13 %.
- Azote protéique 1.5 %.
- Azote organique 1.5 %.
- Azote humique 1.3 %.

4.5.2. Les périodes d'application : L'ALGASMAR a été appliqué selon les stades phénologiques suivants:

- Première application : stade végétatif (4/5 feuilles) correspondant à 2 jours après transplantation.
- Deuxième application : phase début floraison comprise entre 42 jours et 50 jours après la transplantation.
- Troisième application : phase plein floraison comprise entre 53 jours et 64 jours après la transplantation.
- Quatrième application : phase début nouaison comprise entre 66 jours et 73 jours après la transplantation.
- Cinquième application : phase pleine nouaison comprise entre 78 jours et 83 jours après la transplantation.
- Sixième application : phase grossissement des fruits à savoir 98 jours après la transplantation.

4.6. Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental adopté est une randomisation totale de dix traitements et sept répétitions dont l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoires de (01) à (10). On a donc en total 70 observations.



FigureN°8: Vue générale du dispositif expérimental (Personnelle, 2012)

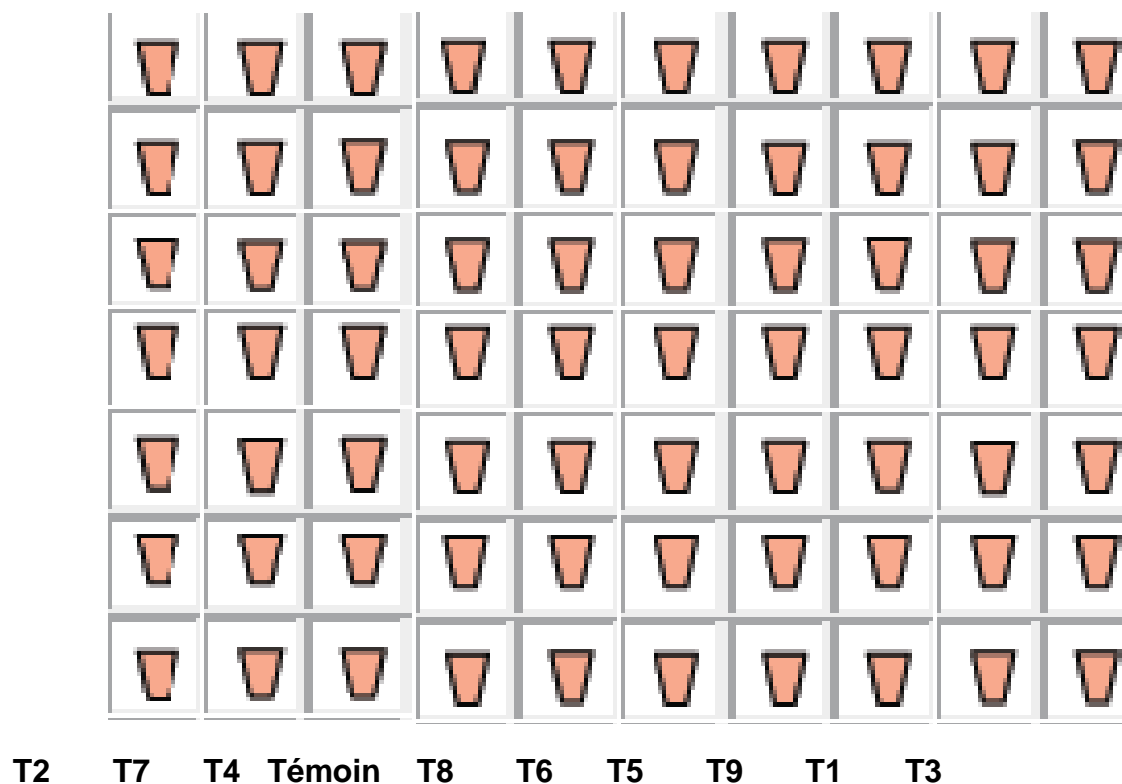


Figure N°9 : Schéma du dispositif expérimental

4.6.1. Les traitements appliqués :

Le nombre de doses testées est de trois à savoir:

- concentration 1 = 1.2 ml/l soit 40%
- concentration 2 = 2.4 ml/l soit 80%
- concentration 3 = 3 ml/l soit 100 %

Les traitements utilisés sont:

- **Témoin:** sans traitement
- **T1** : traitement foliaire à 40%
- **T2** : traitement foliaire à 80%
- **T3** : traitement foliaire à 100%
- **T4** : traitement racinaire à 40%
- **T5** : traitement racinaire à 80%
- **T6** : traitement racinaire à 100%
- **T7** : traitement foliaire et racinaire à 40%

- **T8** : traitement foliaire et racinaire à 80%
- **T9** : traitement foliaire et racinaire à 100%

On a pulvérisé les différents traitements à l'aide des pulvérisateurs individualisés de 1000ml chacun.

4.6.2. Conduite de la culture :

4.6.2.1. Irrigation:

L'irrigation s'est faite pendant tous le cycle de la plante. Les doses et les fréquences varient selon le stade végétatif et la température de la serre.

4.6.2.2. Les traitements phytosanitaires :

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs pour écarter toutes attaques cryptogamiques ou d'insectes nuisibles contre les plantes selon le modèle présenté dans le tableau **N°10**.

Tableau N°10. : Les différents traitements phytosanitaires :

Produit	Matière active	Désignation	Dose	fréquence du traitement
Duresban	Chorpyriphoséthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3 g /l	1fois/semaine
Medomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g /l	1fois/semaine

4.6.2.3. Palissage:

Vu que la variété de tomate utilisée dans notre expérimentation est une variété à croissance indéterminée donc, à un moment donné on remarqué que les plantes avaient tendance à se recourber, ce qui nous a permis de placer des tuteurs à la Ficelle, permettant aussi de maintenir les plantes dressées.

4.6.2.4.Ebourgeonnage :

Cette opération consiste à supprimer les bourgeons axillaires se développant à l'aisselle des feuilles.

L'ébourgeonnage a été effectué régulièrement sur la tomate au cours de sa croissance et son développement végétatif. Ainsi la tomate a été conduite sur un seul bras.

4.6.2.5. Etêtage :

Cette opération consiste à faire éliminer l'apex (le bourgeon terminal) au dessus de 2^{ème} bouquet florale en laissant deux feuilles au dessus du 2^{ème} bouquet floral.

4.6.2.6. Binage :

Afin d'éliminer les mauvaises herbes et aérer le substrat, on a effectué plusieurs binages.

4 .7. Paramètres étudiés

4 .7.1.Paramètres de croissance:

4 .7.1.1.Vitesse de croissance(cm / jour) :

Le principe consiste à diviser la hauteur des plants de chaque traitement par le nombre de jours, correspondant à chaque mesure. Ce paramètre est exprimé en cm / jour.

4 .7.1.2.Hauteur finale des plantes (cm) :

Les hauteurs sont mesurées périodiquement tous les 10 jours en centimètre (cm) du collet jusqu'à l'apex. Les valeurs des hauteurs finales sont mesurées au moment de chaque coupe à l'aide d'une règle graduée.

4 .7.1.3.Nombre des feuilles :

Le principe consiste à faire un comptage des feuilles au niveau de chaque coupe et ce par plante et par traitement.

4.7.1.4. Diamètre final des tiges (cm) :

Le principe consiste à mesurer le diamètre des tiges à chaque coupe à l'aide d'un pied à coulisse et ce au niveau de tous les plants de chaque traitement.

4.7.1.5. Distance du collet-bouquet 1(cm) :

La distance du collet au bouquet est mesurée le jour de la coupe finale à l'aide d'une règle graduée au moment de chaque traitement et par chacune des plantes.

4.7.1.6. Distance bouquet 1- bouquet 2 (cm) :

La distance entre les 2 bouquets est mesurée le jour de la coupe finale à l'aide d'une règle graduée au moment de chaque traitement et par chacune des plantes.

4.7.1.7. Biomasse fraîche produite (g):

Le paramètre consiste à peser les différents organes de la plante en gramme, à l'aide d'une balance de précision. Les pesées ont porté sur:

- Poids frais total : (tiges + feuilles) en g.
- Poids frais des tiges en g.
- Poids frais des feuilles en g.

4.7.1.8. Biomasse sèche produite (g) :

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais des tiges, des feuilles, des racines et des fruits, de chaque traitement et pour chacun des plants et ce dans une étuve à 75°C jusqu'à la stabilité du poids sec:

- Poids sec total : (tiges + feuilles) en g.
- Poids sec des tiges en g.
- Poids sec des feuilles en g.

4.7.1.9. Le taux de matière sèche (%) :

Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%] du poids frais et qui est calculé comme suit:

$$\% \text{ MS} = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100 = \text{taux de matière sèche}$$

- Taux de matière sèche total (feuilles+tiges).

- Taux de matière sèche des tiges en [%].
- Taux de matière sèche des feuilles en [%].

4.7.2. Paramètres de production :

4.7.2.1. Nombre des fleurs par plant :

Ce comptage est réalisé tous les trois jours au niveau de chaque plant de chaque traitement et ce jusqu'à la fin de la phase floraison.

4.7.2.2. Nombre de fruits récoltés par plant :

Pendant chaque cueillette les fruits récoltés sont comptés séparément au niveau de chaque plant et par chacun des traitements.

4.7.2.3. Poids moyen d'un fruit par plant (g) :

Le poids moyen d'un fruit correspond au rapport à la production globale du rendement global produit par plant sur le nombre total de fruits récoltés.

4.7.2.4. Calibre des fruits (mm):

Au cours de chaque cueillette, les fruits récoltés ont été calibrés selon les classes suivantes :

1^{ère} classe : Les fruits ayant un calibre inférieur à 47 mm

2^{ème} classe : Fruits ayant un calibre compris entre 47 et 57 mm

3^{ème} classe : Fruits ayant un calibre compris entre 57 et 67 mm

4^{ème} classe : Fruits ayant un calibre compris entre 67 et 77mm

5^{ème} classe : Fruits ayant un calibre supérieur à 77 mm.



Figure N°10 : les différents calibres de la tomate (Personnelle, 2013)

4.7.2.5. Production moyenne par plant (Kg) :

La production moyenne par plant correspond au poids de tous les fruits de chaque plante et pour chacun des traitements.

4.7.3. Dosage du paramètre physiologique : Dosage de la chlorophylle :

Les chlorophylles A et B et C sont dosées sur les feuilles médianes de la tomate, en utilisant 3 répétitions pour chaque traitement. L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisé selon la méthode de [141]. La méthode d'extraction consiste à une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration. Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière). Après 48h plus tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à trois longueurs d'ondes : (470,645 et 663 nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules :

- $\text{Chl A } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W).$
- $\text{Chl B } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W).$
- $\text{Chl C } (\mu\text{g/g MF}) = 1000 \text{ DO}_{(470)} - [1.82 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b}] / 100$

V : volume solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon

4.7.4. Dosage des paramètres technologiques :

4.7.4.1. Dosage de la vitamine «C» :

La teneur en vitamine « C » dans les fruits de tomate est calculée selon la méthode de [142] comme suit :

Une quantité de 10g de fruits frais est réduite en pâte mise en présence de 50ml d'acide chlorhydrique (HCl 2%) puis laisser en repos pendant 10 minutes. Faire filtrer le mélange dans un bicher de 100 ml.

La détermination de la vitamine « c » est passée par deux étapes :

1^{ère} Etape :

- Prélever 10ml d'extrais filtrée et mettre dans un erlenmayer, ajouter 30ml d'eau distillé, on ajoute aussi 1ml de solution d'iodure de potassium (KI 1%) en fin on additionne 2ml de solution d'amidon 5%.
- La solution préparée est titrée à l'iodate de potassium (KIO₃ N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu
- Enregistrer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage

2^{ème} Etape :

On réalise un témoin dans les mêmes conditions. Les 10 ml d'extrais sont remplacées par une quantité égale d'acide chlorhydrique 2%

Les calcules :

$$X = \frac{N.V_1 - 0.88}{G.V_2} \times 100 \text{ ou}$$

X : mg d'acide ascorbique /g de produit a l'analyse

N : nombre d'iodate de potassium résultant de la différence entre le 1^{er} titrage et le titrage témoin

V₁ : volume total d'extrait obtenu pour analyse

V₂ : volume initial d'extrait soumis à l'analyse

G : quantité de produit analysé

4.7.4.2. Détermination de l'extrais sec :

On opérant cette dessiccation (à 70°C) jusqu'à la stabilité du poids sec. On obtient des produits en apparence secs.

Ramener la valeur obtenue à celle du produit totalement desséché, ce qui revient à la réduire de $1/10^{\text{ème}}$ de la valeur.

paramètres	La valeur
Capsule vide (tare)	
Tare + échantillon frais	
Tare + échantillon sec	
Extrais sec primaire	
$1/10^{\text{ème}}$	
Extrais sec secondaire	
Poids sec en % du poids	

4.7.4.3. Détermination de l'acidité titrable :

Mode d'opérateur :

- Moudre de la tomate
- Prendre 5 à 30g de jus
- Ajouter 100ml d'eau distillé bouillante
- Filtrer et compléter à 200ml
- Centrifuger la solution finale obtenue

Dosage

- Prélever 100ml du surnagent
- Ajouter 3 à 4 gouttes de phénolphtaléine
- Titrer à la soude (NaOH) N/10

Selon[140], l'acide citrique est le principal acide organique des fruits de tomate, cet acide et d'autres acides organiques sont responsables de l'acidité des fruits de cette espèce légumière et ils jouent un rôle important dans la qualité gustative de la tomate.

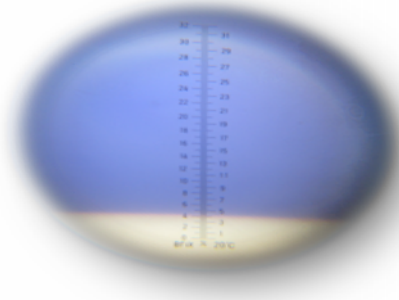
L'acidité est réalisée par un titrage du l'hydroxyde de sodium 0.1N en présence d'un indicateur coloré phénolphtaléine jusqu'à l'apparition de la couleur rose. L'acidité est calculée par l'expression suivante :

$$\text{Acidité titrable \%} = \text{Volume de 1N (ml) de NaOH} \times 0.064$$

Avec 0,064 qui est le facteur de la conversion de l'acide citrique.

4.7.4.4. Dosage des sucres :

La détermination de ce paramètre est réalisée à l'aide d'un réfractomètre. Le principe de cette opération est basé sur la mise d'une gouttelette de jus de tomate dans le réfractomètre puis passer à la lecture directe.



FigureN°11 : aspect général d'un refractomètre et la manière de lectures

4.8. Analyse statistique:

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié. Les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls qui est basée sur la plus petite valeur significative. La méthode statistique est réalisée par le logiciel STAT ITCF version 13.31. On considère que les résultats sont significatifs quand $P < 0,05$.

CHAPITRE 5: RESULTATS ET DISCUSSION

5. 1.Paramètres de croissance:

5.1.1. Evolution de la vitesse de croissance(cm / jour) :

L'évolution de la croissance des plantes a été prise tous les 8 jours à compter du jour du repiquage jusqu'à l'étêtage des plantes à savoir 90 jours après la transplantation des plantules de tomate.

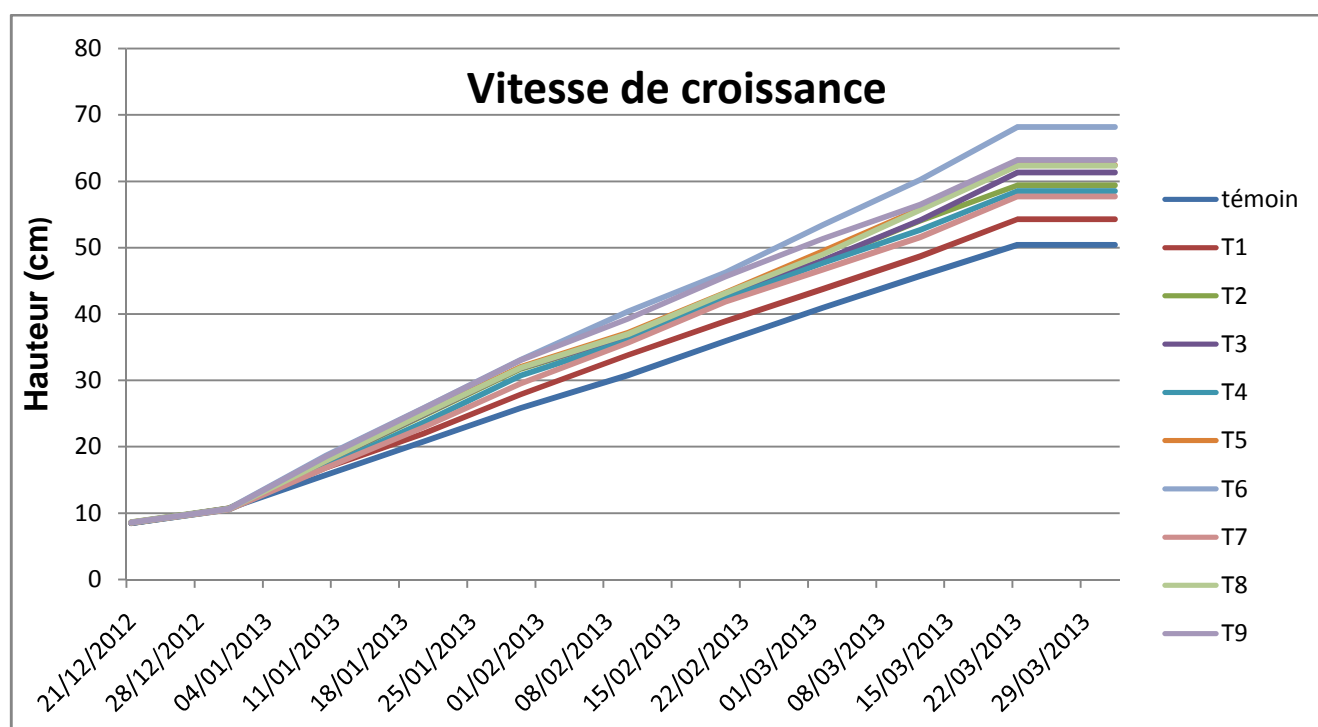


Figure N°12 :Vitesse de croissance des plantes (cm/j)

La figure ci-dessus nous indique que l'évolution de la vitesse de croissance des plantes au niveau de tous les traitements passe par une phase stationnaire, à savoir du 21 décembre 2012 et ce jusqu'au 31 décembre 2012. Cette phase peut être expliquée par la période d'adaptation des plants au changement du milieu de culture. Ensuite on remarque clairement une augmentation des vitesses de croissance au niveau de tous les traitements jusqu'au 22 mars 2013 ce qui correspond au jour du l'étêtage se traduisant ainsi par l'arrêt de la vitesse de croissance des plantes.

Les illustrations révèlent que les meilleurs résultats sont observés au niveau de la dose de 100 % avec le mode d'application racinaire. Autrement dit la meilleure vitesse de croissance est enregistrée chez les plantes du traitement T6, tandis que les plus faibles résultats sont issus au niveau du T1 (foliaire 40%) et le témoin.

Nos résultats sont conformes à ceux des travaux de [143] qui ont montré que l'évolution de croissance augmente d'une manière significative chez les plantes traitées par les extraits d'algues par rapport aux plantes non traitées.

Ceci peut être expliqué par l'effet de l'azote où son absorption est stimulée par ces extraits d'algues [128]. Il faut noter aussi que cet élément majeur joue un grand rôle dans la croissance des plantes. [66]

5.1.2. Hauteur finale des plantes (cm) :

Les hauteurs finales des plantes ont été mesurées au moment de la coupe finale (du collet jusqu'à l'extrémité des plants). Le tableau ci-dessous représente les hauteurs finales moyennes en (cm).

Tableau N°11: Hauteurs finales moyennes des plants (cm) :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
50.4	54.29	59.37	61.30	58.51	62.44	68.17	57.71	62.33	63.21
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.16	0.23	0.17	0.08	0.07	0.10	0.52	0.18	0.16	0.13
l	h	e	d	g	c	a	f	c	b

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Les résultats obtenus montrent qu'il y a une augmentation de la hauteur des plantes au niveau de tous les traitements par rapport au témoin.

Le test de NEWMAN et KEULS, indique la présence de plusieurs groupes homogènes et le meilleur résultat (groupe a) a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 68.17cm. A l'inverse les plus petites hauteurs sont celles du témoin (50.4cm) et du traitement T1 (54.29cm). Ces résultats montrent que l'interaction dose- mode d'application agit efficacement sur la hauteur des plantes de tomate

[144] a trouvé aussi que le meilleur résultat est celui de la dose 100% avec le mode d'application racinaire.

On peut expliquer ceci par la présence des substances de croissances telles que les gibbérellines aux niveaux des extraits d'algues, car cette phytohormone a un effet sur l'élongation des tiges par stimulation de la division et de l'élongation des cellules ce qui provoque une excitation de la croissance. [145]

Aussi, les travaux de [72] indiquent que l'excitation de la plante par les extraits d'algues permet l'absorption de l'azote ce qui influe sur la croissance des tiges et les autres parties aériennes de la plante.

5.1.3. Nombre de feuilles :

Le nombre des feuilles a été mesuré au moment de la coupe finale. Le tableau ci-dessous représente le nombre final des feuilles par plante et par traitement.

Tableau N°12: nombre de feuilles par plante :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
10.14	11.00	11.57	13.27	11.43	13.29	14.86	11.29	12.43	13.71
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.38	0.58	0.53	0.46	0.51	0.49	0.38	0.48	0.52	0.76
e	d	d	b	d	b	a	d	c	b

L'analyse de la variance montre que l'effet traitement exerce une action très hautement significative ($P < 0,001$) sur le paramètre mesuré. Le test de NEWMAN et KEULS fait ressortir 5 groupes homogènes dont le plus grand nombre des feuilles a été enregistré par le traitement T6 avec une valeur de 14.86 feuilles. En revanche les nombres de feuilles les plus faibles se retrouvent au niveau des traitements T1 (11.00 feuilles) et le témoin (10.14 feuilles).

Ce résultat confirme les travaux de [140] qui ont montré que les extraits d'algues augmentent le nombre des feuilles chez la plante, en raison des cytokinines qui favorisent la formation des feuilles et retardent leur sénescence. On trouve ces phytohormones dans les tissus où les divisions cellulaires sont fréquentes comme les graines, les fruits et les feuilles [145].

5.1.4. Diamètre des tiges (cm) :

Le diamètre des tiges a été mesuré au moment de la coupe finale. Le tableau ci-dessous représente le diamètre final des tiges par plante et par traitement.

Tableau N°13: Diamètre final des tiges en (cm) :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1.08	1.15	1.23	1.36	1.24	1.28	1.50	1.22	1.26	1.46
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
g	f	e	c	e	d	a	e	d	b

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($P < 0,001$). Le test de NEWMAN et KEULS au seuil ($\alpha = 5\%$) indique qu'il existe 7 groupes homogènes dont le plus important diamètre a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 1.50 cm. Par contre, les plus faibles diamètres ont été observés au niveau des plantes des traitements T1 (1.15 cm) et le témoin (1.08 cm).

Les travaux de [128] confirment que les extraits d'algues exercent une action positive sur l'augmentation du diamètre des plantes.

On peut expliquer ceci par la stimulation des plantes par les extraits d'algues à absorber les éléments essentiels tels que l'azote qui se retrouve au niveau du substrat (sol+tourbe), ce qui entraîne une accélération de la croissance aboutissant ainsi à la formation des tiges plus rigides et plus développées.

5.1.5. Distance collet-bouquet 1 (cm) :

La distance du collet au premier bouquet est mesurée le jour de la coupe finale. Le tableau ci-dessous représente le paramètre mesuré par plante et par traitement.

Tableau N°14: Hauteur collet-bouquet 1 en (cm) :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
20.27	23.37	26.14	28.29	25.60	29.64	31.41	27.54	29.71	31.17
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.22	0.15	0.13	0.11	0.12	0.18	0.11	0.13	0.17	0.11
i	h	f	d	g	c	a	e	c	b

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau 14 montre que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 31.41cm, tandis que les plus faibles résultats sont le T1 (23.37cm) et le témoin (20.27cm)

Cela est peut être expliqué par l'impact des gibbérellines, car selon [145], cette hormone végétale influe sur l'élongation des tiges par l'excitation de la division cellulaire.

5.1.6. Distance entre bouquet 1 et bouquet 2 (cm):

La distance entre les bouquets est indiquée dans le tableau ci-dessous

Tableau N°15: Distance entre le bouquet 1 et bouquet 2 (cm) :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
14.20	15.83	17.57	18.34	16.81	19.27	21.19	16.34	17.84	19.64
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.16	0.11	0.13	0.15	0.12	0.14	0.13	0.13	0.11	0.15
j	i	e	d	g	c	a	h	e	b

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous révèle que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 21.19 cm. Par contre, les plus faibles valeurs sont celles de T1 (15.83 cm) et le témoin (14.20 cm)

On peut expliquer ça par l'action des gibbérellines qui interviennent principalement dans l'allongement des entre-nœuds en stimulant l'élongation cellulaire mais aussi la multiplication cellulaire. Elles peuvent agir en synergie avec l'auxine.[66]

5.1.7. Biomasse fraîche produite (g):

Les poids frais ont été mesurés après la coupe finale, le tableau ci-dessous représente le paramètre mesuré par plante et par traitement.

Tableau N°16: Poids frais (totaux, tiges, feuilles)

	Témoïn	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Poids frais totaux	154.13 ± 1.14 j	181.56 ± 1.09 i	203.86 ± 0.84 h	231.04 ± 0.74 e	210.77 ± 0.23 g	243.89 ± 1.56 d	301.19 ± 0.33 a	218.94 ± 0.49 f	263.83 ± 0.36 c	285.60 ± 0.14 b
Poids frais des tiges	25.61 ± 0.16 j	41.03 ± 0.60 i	45.23 ± 0.28 g	50.04 ± 0.18 d	42.99 ± 0.16 h	50.37 ± 0.11 c	53.57 ± 0.14 a	48.44 ± 0.13 f	49.29 ± 0.13 e	51.56 ± 0.14 b
Poids frais des feuilles	128.26 ± 0.93 j	140.68 ± 0.80 i	158.69 ± 0.85 h	181.00 ± 0.79 e	167.79 ± 0.34 g	192.87 ± 0.61 d	247.61 ± 0.32 a	170.51 ± 0.54 f	214.61 ± 0.50 c	234.01 ± 0.61 b

L'analyse de la variance nous révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus dévoile le meilleur résultat qui est le T6 avec les valeurs de 301.19 g pour le poids frais total, 53.57g pour les tiges et 247.61 g pour les feuilles. En revanche les plus faibles sont ceux de T1 (181.56 g pour le poids frais total, 41.03g pour les tiges et 140.68g pour les feuilles) et le témoin (154.13g pour le poids frais total, 25.61g pour les tiges et 128.26g pour les feuilles).

Les travaux de [144] renforcent notre travail, où il a abouti aux meilleurs résultats avec le même produit et la même concentration avec la même application (la concentration 100% avec le mode d'application racinaire)

Selon [143], les traitements avec l'extrait d'algues augmentent considérablement la partie racinaire et la partie aérienne, cette accumulation de biomasse dans la plante est due à la stimulation du système racinaire ce qui permet une hydratation adéquate et une bonne croissance.

5.1.8. Biomasse sèche produite (g) :

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais des tiges, des feuilles et des fruits, de chaque traitement et chaque plante dans une étuve à 75°C jusqu'à la stabilité du poids sec, le tableau ci-dessous représente le paramètre mesuré par plante et par traitement.

Tableau N°17: Poids secs (totaux, tiges, feuilles)

	Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Poids secs totaux	17.25 ± 0.02 j	21.83 ± 0.03 i	25.16 ± 0.03 h	28.64 ± 0.11 d	27.53 ± 0.02 e	32.88 ± 0.02 c	43.99 ± 0.03 a	26.98 ± 0.02 g	27.28 ± 0.03 f	39.92 ± 0.02 b
Poids secs des tiges	2.59 ± 0.02 j	4.92 ± 0.02 i	5.44 ± 0.04 g	6.16 ± 0.01 e	5.39 ± 0.03 h	6.63 ± 0.02 c	8.17 ± 0.02 a	6.01 ± 0.01 f	6.51 ± 0.02 d	7.47 ± 0.03 b
Poids secs des feuilles	14.66 ± 0.04 j	16.90 ± 0.02 i	19.72 ± 0.02 h	22.52 ± 0.01 e	21.15 ± 0.02 f	26.25 ± 0.05 d	35.83 ± 0.03 a	20.98 ± 0.01 g	28.77 ± 0.02 c	32.83 ± 0.01 b

L'analyse de la variance nous montre des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous dévoile le meilleur résultat qui est le T6 avec les valeurs de 43.99g pour le poids sec total, 8.17g pour les tiges et 35.83 g pour les feuilles. Par contre les plus faibles sont ceux de T1 (21.83g pour le poids sec total, 4.92g pour les tiges et 16.90g pour les feuilles) et le témoin (17.25g pour le poids sec total, 2.59g pour les tiges et 14.66g pour les feuilles)

Les extraits d'algues marines améliorent la prise nutritive par les racines, ayant pour résultat des systèmes racinaires importants, entraînant de ce fait la croissance de la plante et l'augmentation de la vigueur générale.[136]

5.1.9. Taux de la matière sèche (%):

Le taux de la matière sèche est calculé à partir du rapport (poids sec/poids frais) ×100 et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

bleau N°18 : Taux de matière sèche (%) :

	Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Taux de matière sèche totale	11.25 ± 0.03 i	12.01 ± 0.03 h	12.30 ± 0.05 g	12.45 ± 0.02 f	13.06 ± 0.02 e	13.52 ± 0.03 c	14.60 ± 0.02 a	12.32 ± 0.06 g	13.34 ± 0.03 d	13.97 ± 0.01 b
Taux de matière sèche des tiges	10.25 ± 0.01 c	11.84 ± 0.02 b	12.06 ± 0.02 b	12.35 ± 0.06 b	12.42 ± 0.11 b	13.24 ± 0.07 ab	15.23 ± 0.16 a	12.21 ± 0.03 b	13.16 ± 0.13 ab	14.96 ± 0.02 a
Taux de matière sèche des feuilles	11.56 ± 0.01 j	12.05 ± 0.02 i	12.43 ± 0.02 g	12.50 ± 0.13 f	12.57 ± 0.01 e	13.65 ± 0.11 c	14.53 ± 0.02 a	12.33 ± 0.12 h	13.36 ± 0.03 d	13.74 ± 0.01 b

L'analyse de la variance nous montre des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous indique le meilleur résultat qui est le T6 avec les valeurs de 14.60% pour la matière sèche totale, 15.23% pour les tiges et 14.53% pour les feuilles. En revanche les plus faibles sont ceux de T1 (12.01% pour la matière sèche totale, 11.84% pour les tiges et 12.05% pour les feuilles) et le témoin (11.25% pour la matière sèche totale, 10.25% pour les tiges et 11.56% pour les feuilles).

Les extraits d'algues fournissent l'azote sous forme de nitrates (NO_3^-) et ammoniacal (NH_4^+) et la nutrition mixte ($\text{NO}_3^- \text{NH}_4^+$) permet généralement une production de

matière sèche plus élevées (de 10 à 20%), donc une meilleure croissance, qu'avec l'un ou l'autre des deux ions apportés séparément. [69]

5.2. Paramètres de production :

5.2.1. Nombre des fleurs par plant :

Les résultats relatifs au nombre de fleurs par plant sont exprimés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°19 : Nombre des fleurs par plant

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
10.29	11.86	13.29	14.43	15.14	16.14	19.14	13.00	13.86	17.57
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.49	0.38	0.95	0.53	0.69	0.90	0.69	0.58	0.67	0.98
h	g	f	d	d	c	a	f	e	b

L'analyse de la variance nous révèle une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus montre que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 19.14 fleurs et les plus faibles sont ceux de T1 avec une valeur de 11.86 fleurs et le témoin avec une valeur de 10.29 fleurs.

[143] confirme dans ces travaux que les extraits d'algues augmentent le nombre des fleurs chez les plantes.

On peut expliquer ça par l'influence des gibbérellines qui ont un effet sur la floraison et d'après [145], ces hormones stimulent la floraison chez les plantes de jours long comme la tomate, ce qui peut conduire à une mise à fleur précoce et abondante.

5.2.2. Nombre de fruits récoltés par plant :

Les résultats relatifs au nombre de fruits récoltés par plant et par traitement sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°20 : Nombre de fruits récoltés par plant

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
6.57	9.57	11.14	12.43	13.43	15.00	17.86	12.14	12.86	15.86
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.53	0.79	0.69	0.51	0.49	0.82	0.68	0.70	0.65	0.69
h	g	f	e	d	c	a	e	d	b

L'analyse de la variance indique une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous révèle que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 17.86 fruits. Par contre les plus faibles ont été observés au niveau des plantes des traitements T1 avec une valeur de 9.57 fruits et le témoin avec une valeur de 6.57 fruits.

Nos résultats sont confirmés par les travaux [146] qui a montré que le nombre de fruits a augmenté considérablement dans les plants traité par les extraits d'algues qui diminuent l'avortement et augmentent le nombre des fruits.

Cette augmentation est probablement liée à l'effet des cytokinines qu'on les trouve principalement dans les tissus où les divisions cellulaires sont fréquentes, comme les graines, les fruits et les feuilles. [145]

D'après le tableau ci-dessus on remarque que la dose de notre traitement et son mode d'application affecte le calibre des fruits et le taux des différentes classes varie d'un traitement à un autre, sachant que le plus important taux de la première classe ($\varnothing > 77\text{mm}$) se retrouve au niveau de T6 avec une valeur de 23.49% tandis que les plus faibles pourcentages de cette classe sont chez le témoin (2.17%) et le T1 (3.86%)

Des observations similaires ont été notées par [140] qui a prouvé l'effet des extraits d'algues sur le calibre des fruits

On peut expliquer ça par l'augmentation de l'extrait sec dans le fruit ce qui conduit à des calibres importants des fruits.

5.2.5. Production moyenne par plant (kg) :

La production moyenne par plant est représentée dans le tableau ci-dessous

Tableau N°23 : Production moyenne par plant (kg) :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
0.59	0.87	1.17	1.42	1.41	2.24	3.52	1.33	1.76	2.06
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.01	0.02	0.01	0.04	0.06	0.08	0.08	0.06	0.07	0.06
h	g	f	d	d	b	a	e	c	B

L'analyse de la variance nous montre une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous révèle que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 3.52 kg tandis que les plus faibles sont ceux de T1 (0.87kg) et le témoin (0.59kg)

La production augmente avec le nombre des fruits et leurs calibres. Si ces deux paramètres diminuent, on aura une chute du rendement.

5.3. Dosage de paramètre physiologique (la chlorophylle) [$\mu\text{g/g MF}$] :

5.3.1. Dosage de la chlorophylle (a) [$\mu\text{g/g MF}$] :

La quantité de la chlorophylle (a) est représentée dans le tableau ci-dessous

Tableau N° 24 : Quantité de chlorophylle (a)[$\mu\text{g/g MF}$] :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
0.72	0.94	1.06	1.22	1.05	1.15	1.48	0.98	1.13	1.32
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.05	0.01
h	g	e	c	e	d	a	f	d	b

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous montre que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 1.48 [$\mu\text{g/g MF}$] tandis que les plus faibles sont ceux de T1 (0.94 [$\mu\text{g/g MF}$]) et le témoin (0.72 [$\mu\text{g/g MF}$]).

5.3.2. Dosage de la chlorophylle (b) [$\mu\text{g/g MF}$] :

La quantité de la chlorophylle (b) est représentée dans le tableau ci-dessous

Tableau N° 25 : Quantité de chlorophylle (b)[$\mu\text{g/g MF}$] :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
0.38	0.50	0.60	0.71	0.53	0.65	1.22	0.55	0.62	0.81
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01
h	g	e	c	g	d	a	f	e	b

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus dévoile le meilleur résultat qui a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 1.22 [$\mu\text{g/g MF}$] par contre les plus faibles sont ceux de T1 (0.50 [$\mu\text{g/g MF}$]) et le témoin (0.38 [$\mu\text{g/g MF}$]).

5.3.3. Dosage de la chlorophylle (c) [$\mu\text{g/g MF}$] :

La quantité de la chlorophylle (c) est représentée dans le tableau ci-dessous

Tableau N° 26 : Quantité de chlorophylle (c)[$\mu\text{g/g MF}$] :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
4.34	5.27	5.35	6.44	5.83	6.42	7.72	5.67	6.13	6.63
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.02	0.02	0.02	0.15	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
h	g	g	c	e	c	a	f	d	b

L'analyse de la variance indique une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous révèle que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur 7.72 [$\mu\text{g/g MF}$] alors que les plus faibles sont le T1 (5.27 [$\mu\text{g/g MF}$]) et le Témoin 4.34 [$\mu\text{g/g MF}$]

Ces résultats sont en accord avec ceux [143] de qui a démontré que l'application racinaire du biofertilisant à base d'extrait d'algues marines est plus efficace en comparaison avec l'application foliaire et les deux modes en même temps (racinaire et foliaire) sur les chlorophylles.

L'abondance en chlorophylle a, b et c seraient probablement la conséquence de l'action de la bêtaïne au niveau des algues qui a la propriété de diminuer la dégradation de la chlorophylle en plus les cytokinines activent la production de la chlorophylle [135].

5.4. Les paramètres technologiques :

5.4.1. Taux de vitamines « C »% :

Le taux de vitamines « C » est représenté dans le tableau ci-dessous

Tableau N° 27 : Le taux de vitamines « C »

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
14.26	15.81	16.14	16.83	17.15	19.19	20.63	16.92	18.68	19.28
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.04	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	0.14	0.06	0.11	0.06
h	g	f	e	d	b	a	e	c	b

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. D'après le tableau précédent on remarque que le meilleur résultat est celui de T6 avec une valeur de 20.63% et les plus faibles sont ceux de T1 (15.81%) et le témoin (14.26%).

Les travaux de [146] évoquent que les extraits d'algues marines ont un effet direct sur la quantité de vitamine C dans la plante.

Les résultats obtenus peuvent être justifiées par un déclenchement de l'activité enzymatique par ces extraits d'algues qui dégrade l'amidon en sucre et en vitamine en quantité très importante.

En plus, selon les travaux de [87], le potassium a un effet sur la qualité gustative des fruits, l'absorption de ce macro élément est peut être stimulé par notre biofertilisant. Il est à noter que la présence du potassium est importante pour la concentration en vitamines, en minéraux, la texture, la fermeté et la résistance aux altérations dues au transport [77].

5.4.2. Détermination de l'extrait sec (%):

Les résultats de l'extrait sec de tomate sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N° 28 : Extrait sec des fruits (%) :

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
4.08	4.53	4.89	5.03	5.18	5.45	6.83	5.02	5.23	5.76
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.04	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.06
h	g	f	e	d	c	a	e	d	b

L'analyse de la variance indique une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus nous montre que le meilleur résultat a été enregistré au niveau du traitement T6 avec une valeur de 6.83%. En revanche les plus faibles sont ceux de l'application foliaire de la faible dose T1 (4.53%) et le témoin (4.08%)

Ces résultats confirment les travaux de [146] qui a prouvé l'influence des extraits d'algues marines sur l'extrait sec des fruits.

On peut expliquer ça par l'effet de l'azote, car selon [69] cet élément influe sur la teneur des fruits en extrait sec.

5.4.3. Détermination de l'acidité titrable [g d'acide citrique/100g de jus] :

Les résultats de l'acidité titrable sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N° 29: L'acidité titrable [g d'acide citrique/100g de jus]

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1.22	1.15	1.09	1.05	0.84	0.78	0.66	1.10	1.04	0.98
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03
a	b	c	d	f	g	h	c	d	e

L'analyse de la variance dévoile une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Le tableau ci-dessus

nous révèle que la plus importante acidité est au niveau du témoin (1.22 g d'acide citrique/100g de jus) suivie de T1 avec une valeur de 1.15g d'acide citrique/100g de jus. Tandis que le plus faible résultat a été remarqué chez le T6 (0.66 g d'acide citrique/100g de jus)

Ces résultats peuvent être expliqués par la transformation des sucres dans les plantes traitées donc leurs taux augmentent avec le mode et la concentration du produit, ce qui diminue l'acidité en produisant des fruits plus riches en glucides

5.4.4. Taux des sures dans les fruits (%) :

Les résultats de taux des sures dans les fruits sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N° 30 : Taux des sures dans les fruits (%)

Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
3.53	3.87	4.40	4.73	5.33	5.60	6.07	4.87	5.54	5.73
±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
0.13	0.12	0.20	0.12	0.23	0.20	0.23	0.17	0.21	0.22
e	e	d	d	b	b	a	c	b	ab

L'analyse de la variance nous montre une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. D'après le tableau précédent on remarque que le meilleur résultat est celui de T6 avec une valeur de 6.07%, par contre les plus faibles résultats sont ceux de T1(3.87%) et le témoin (3.53%)

Les travaux de [136] ont prouvé que les algues marines influent sur le taux des sucres dans le fruit

Il faut noter que les algues ont un effet sur les phytohormones tel que l'éthylène qui joue un grand rôle dans la maturation des fruits [144], ce qui stimule l'activité enzymatique qui dégrade les sucres complexes en glucides simples qui influent sur la qualité organoleptique du fruit. Aussi, le potassium accélère le transfert des glucides vers les fruits.

En plus, les biofertilisants amplifient la disponibilité des sucres totaux et permettent à la plante de mieux gérer son capitale énergétique [147].

DISCUSSION GENERALE

A travers cette expérimentation, nous avons mis en évidence l'effet d'un biofertilisant liquide à base d'algue marine sur la croissance, la production et la qualité de la tomate (variété Marmande) cultivée sous serre. Il a été testé trois modes d'application (foliaire, racinaire et la combinaison de ces deux modes) en corollaire avec trois concentrations à savoir 40%, 80% et 100%.

La fertilisation joue un rôle important dans la croissance et le développement de la plante. Elle fournit les différents éléments nécessaires pour la nutrition végétale. Pour approvisionner ces nutriments, il existe deux voies d'absorption : la voie racinaire et la voie foliaire. [71]

Selon les résultats obtenus au niveau des paramètres étudiés (paramètres de croissance, de production et de qualité), il a été observé des résultats significatifs qui varient selon la concentration et le mode d'application. Il est rappelé ce qui suit en matière de modes d'application pour les différents traitements :

- Pour les applications foliaires : $T1 < T2 < T3$
- Pour les applications racinaires : $T4 < T5 < T6$
- Pour les applications combinées (foliaires et racinaires) : $T7 < T8 < T9$

Il a été remarqué que quelque soit la concentration testée (40%, 80% ou bien 100%), les résultats obtenus oscillent d'un mode à l'autre, sachant que les meilleures valeurs ont été enregistrées dans les applications racinaires, tandis que les plus faibles sont celles des voies foliaires. Les deux modes combinés (foliaire et racinaires) ont présenté des résultats intermédiaires.

Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que les feuilles peuvent absorber des engrais, mais moins efficacement que les racines [148]. Le processus par lequel la pénétration des fertilisants dans les parties foliaires peut avoir lieu est une série complexe d'événements interdépendants. Un nombre élevé de facteurs peut limiter son efficacité : formes chimiques des fertilisants, température, humidité, etc. [149]

Des résultats similaires aux travaux de [84] ont montré que contrairement aux racines, les feuilles ne sont pas réellement adaptées pour absorber les fertilisants. Pour entrer à l'intérieur de la feuille, les éléments nutritifs doivent passer à travers la cuticule, la barrière cireuse naturelle qui recouvre les surfaces foliaires. Ils peuvent aussi profiter des minuscules portes qui sont les stomates mais seulement à condition que ceux-ci soient ouverts (leur ouverture varie selon les conditions ambiantes).

Les engrais foliaires doivent être appliqués le matin, le soir ou par temps nuageux, lorsqu'il ne vente pas et que les températures ne sont pas trop élevées. L'eau appliquée doit sécher le plus lentement possible pour que l'engrais ait le temps de passer à travers la cuticule. De plus, le jour par temps ensoleillé, les stomates sont habituellement fermés pour permettre à la feuille de se protéger contre la déshydratation (pertes d'eau).[150]

Le traitement qu'on a utilisé est à base d'algue marine qui apportent non seulement les principaux sels minéraux existant dans les engrais de synthèse, mais aussi des matières organiques dont le rôle apparaît maintenant tout à fait fondamental sur leur pouvoir d'absorption. Aussi les extraits d'algues marines stimulent la plante à absorber les différents éléments minéraux. En outre, il est bien connu que les algues concentrent dans leurs tissus les oligo-éléments normalement contenus en quantité excessivement faible dans l'eau de mer.[151]

En plus, plusieurs phytohormones ont été identifiées dans des produits obtenus d'algues marines, ces substances organiques naturelles qui, en faible concentration exercent un effet important sur des processus physiologiques.[120]

Les principales observations ont montré que quelque soit la concentration du biofertilisant, le mode d'application racinaire a donné les résultats les plus importants comparés à ceux d'application combinée et le mode foliaire respectivement ce qui se résume comme suit :

- Pour la concentration de 40 % $T_4 > T_7 > T_1$
- Pour la concentration de 80% $T_5 > T_8 > T_2$
- Pour la concentration de 100% $T_6 > T_9 > T_3$

Il a été remarqué pour l'ensemble des paramètres de croissance, que les traitements T6 et T9 manifestent les meilleures performances. A l'inverse les plus faibles valeurs sont celles de T1 (foliaire 40%) et le témoin (sans traitement). L'absorption par voie racinaire a permis une croissance plus vigoureuse et plus intense par rapport à la voie foliaire. Les extraits d'algues marines ont stimulé la plante à absorber les différents éléments minéraux et ont accentué l'impact des différentes hormones de croissance ce qui a abouti aux meilleurs résultats.

Les mêmes observations ont été faites sur le dosage de la chlorophylle (a,b,c), où on remarque que le témoin et le T1 présentent toujours les plus faibles résultats. Les algues contiennent ces trois types de chlorophylle et la bétaine qui influe sur leurs teneurs. [140]. Ce pigment est un élément essentiel pour la photosynthèse qui permet à la plante de croître et se développer.

De point de vue rendement, le nombre de fleurs et de fruits, leur poids moyen ainsi que les plus grands calibres ont été identifiés au niveau du traitement T6 suivi du T9. A l'inverse, le traitement T1 et le témoin présentent les plus faibles paramètres de production. Les extraits d'algues ont stimulé les plantes à produire davantage en exprimant mieux leur potentiel productif et c'est par l'amélioration des paramètres de production, ce qui influe directement sur le rendement.

Enfin, pour ce qui est de la qualité l'effet traitement manifeste une action remarquable sur les paramètres technologiques. La composition chimique des fruits est remarquablement modifiée par les différents traitements. Les teneurs en sucres totaux, en vitamine C, ainsi que l'extrait sec sont significativement influencés par l'effet concentration et mode d'application. Les meilleures performances sont observées au niveau du traitement T6 et T9 respectivement. A l'inverse le T1 et le témoin ont donné les plus faibles paramètres mesurés.

En ce qui concerne l'acidité titrable, les fruits les plus acides sont ceux du témoin. Elle diminue avec la concentration et le mode d'application.

Il est indiqué selon [143] que ces extraits d'algues ont un effet sur la qualité organoleptique des fruits. Ils activent les différentes enzymes qui accélèrent la dégradation de l'amidon, par conséquent le taux des glucides augmente.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le but de notre travail est d'identifier l'intérêt d'un biofertilisant à base d'algues marines dans la substitution à l'application et l'usage des engrais chimiques de synthèse. Il a été testé l'influence d'un fertilisant biologique à différents organes (feuille, racine) sur la tomate (variété Marmande) cultivée sous serre.

A l'issue de cette expérimentation, il en ressort les grandes conclusions à savoir :

- L'effet concentration et mode d'application exercent une action remarquable sur les paramètres mesurés.
- Les traitements avec le mode d'application racinaire ont donné les meilleurs résultats quelque soit la concentration. Ils ont amélioré la vitesse de croissance, la vigueur des plantes, les hauteurs des plantes, leurs diamètres, le nombre de feuilles ainsi les différentes biomasses (fraîches et sèches) produite par plante.
- Le biofertilisant testé présente un impact sur le nombre de fleurs et de fruits. Aussi, il présente un effet remarquable sur le poids et le calibre des tomates. Il est à noter que ces paramètres de production auront une incidence directe sur l'aspect économique, puisque les quantités produites sont importantes d'où des gains considérables.
- Les teneurs en chlorophylles (a,b et c) ont été améliorées entraînant ainsi une amélioration de la biomasse fraîche produite.
- Le traitement ayant donné les meilleures performances est le mode racinaire accompagnée de la concentration de 100% de biofertilisant. Ceci peut être expliqué par le fait que les racines absorbent l'eau et les éléments minéraux solubles en grande quantité. Elles colonisent le sol en profondeur pour avoir

accès aux réserves du sol. La feuille ne peut pas remplacer la racine dans son rôle nutritif, mais elle constitue une voie complémentaire d'absorption, utile dans certains cas.

- Le biofertilisant testé est un anti stress qui peut être étudié sur les stress biotiques et abiotiques qui entravent le bon développement et la croissance d'une plante. Ceci pourrait constituer un domaine de recherche important dans le monde agricole.
- Il serait judicieux dans le futur de combiner le biofertilisant avec des engrais minéraux afin d'aboutir à des résultats probants.
- Il faut noter que la fertilisation n'est pas le seul facteur qui influe sur la croissance et la production d'une plante, il existe d'autres facteurs qui interviennent tels que :
 - Le choix du site adapté pour la culture de point de vue climatique et pédologique.
 - Utiliser des semences saines issus de bonnes variétés.
 - Respecter les doses et les fréquences des irrigations.
 - Pratiquer des travaux d'entretien avec respect des méthodes culturales telles que la rotation des cultures.
 - L'application des traitements phytosanitaires d'une manière raisonnable et non abusive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. Couplan F. Dictionnaire étymologique de botanique. Ed Delalchaux et Niestlé, 2006,220p.
2. Laumonnier R. Cultures légumières et maraîchères. Tome 3. Ed. J.B. Baillière et fils, Paris, 1979,119p.
3. Burnie G et al, Botanica .Ed Place des victoires, Paris, 2006,546p.
4. Kolev N. Les cultures maraîchères en Algérie. Tome 1, légumes fruits I.T.C.M.I. Staouali, 1976,150p.
5. Gallais A et Bennerot H. Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed INRA, Paris, 1993, 391p.
6. Chaux C. et Foury C. Production légumière. T3, Ed Technique et documentation. Lavoisier, Paris, 1994,150p.
7. Morot- Gaudry J et Briat J., La génomique en biologie végétale. Ed INRA, 2004, 327p
8. Jean-Marie P., La culture des tomates. Edition ARTE MIS, 2007,92p
9. Dominique B et al. Les maladies de la tomate : identifier, connaître, maîtriser. Ed Quae, 2009,690p.
10. Dupont F et Guignard J. Botanique et systématique moléculaire. Ed Elsevier Masson, 2007, 236p
11. Indrea D. et Aphidean R. Légumicultura. Inst. Agro. Euly. Napoca, 1988, 121p
12. Roland J et Roland F. Biologie végétale, organisation des plantes à fleurs. Ed Dunod, 2003,8p.
13. Naika S. et al. La culture de la tomate, production, transformation et commercialisation. Ed .Agromisa, 2005, 6p
14. Peycru J et al. Biologie tout en un .Ed Dunod, 2010,662p
15. Grasselly D. et al. Tomate pour un produit de qualité .Ed. Ctifl, 2000,363p
16. Tirilly Y et Bourgeois, C, Technologie des légumes .Ed Tec et Doc, Paris, 1999,112p

17. Jacob J. Cultures maraîchères spéciales. Les solanacées fruits, la tomate. Cours photocopiés, INA d'El-Harrach (Alger), 1978, 219p.
18. Rizwan, M. *et al.* Lycopene protects against biomarkers of photodamage in human skin. Résultats présentés lors de l'assemblée annuelle de la British Society for Investigative Dermatology en avril 2008. 45p
19. Edmond Roke, Unité Nutrition Humaine, Centre Clermont-Theix - Equation Nutrition n°99 - Juin 2010. 132p
20. G Chabriat, 2010 La tomate, les déficits du goût, REVUE INRA magazine N° 13, 15p
21. Madr., 2013: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.
22. Chaux C. Production légumière. Ed. J.B. Baillié et fils, Paris, 1972, 441p
23. Elattir H. La tomate, l'aubergine, le poivron et le gombo. Transfert de technologie en agriculture. Bultain mensuel d'information et de liaison n°100, 2003, 2p
24. Argouarc J. *et al.* Maraîchage biologique. Ed Educagri, 2008, 121p
25. Messiane C *et al.* Les maladies des plantes maraîchères. Ed INRA, Paris, 1991, 206p.
26. Zemzem M. La culture de la tomate. Direction des conseils agricoles, Koweit, 1994, 6p.
27. Chibane A., Tomate sous serre, transfert de technologie en agriculture. Ed P.N.T.T.A, Rabat. 1999, 14p.
28. Raily F. L'épidémiologie en pathologie végétale. Ed INRA, Paris, 1991, 30p
29. Courchinoux J, La culture de la tomate, Fiche technique Tomate, 2008, 3p
30. Péron J. Référence production légumière. Ed Synthèse agricole, 2006, 598p
31. Letard M, *et al.* Maitrise de l'irrigation fertilisante : tomate sous serre et abris en sol et hors sol, Ed. C.T.I.F.L., Paris, 1995. 220p
32. Deek M *et al.*, 1997. Effect of irrigation and N-fertilization (fertigation) scheduling on tomato in the Jordan Valley. *Journal-of-Agronomy-and-Crop-Science*. 1997, 209p.
33. May Gonzales J; Bieche BJ, Irrigation and nitrogen management as they affect fruit quality and yield of tomatoes. Fifth international symposium on the tomato, Sorrento, Italy, *Acta-Horticulturae*. 1994, No 37, 234p

34. Seliga, J et Shattuck-V, 1995. Crop rotation affects the yield and nitrogen fertilization response in processing tomatoes. *Scientia-Horticulturae*. No 64 166p
35. Vasil, K, The effect of NPK, Mg and B on the yield, morphological characteristics and quality characteristics of tomatoes. Proceedings of the first Balkan symposium on vegetables and potatoes, Belgrade, Yugoslavia, Volume 1. *Acta-Horticulturae*. 1997, No 462, pp183-186
36. Turcotte G .La fertilisation biologique des légumes de serre, journée d'information sur serres et grand tunnels, 2011, 7p
37. A.ït Houssa et al, Fertigation de la Tomate Hors Sol dans la Zone de Douiet au Maroc, regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa ; Rabat, Morocco, 2004, 12p
38. Fabrice et Valérie Le Bellec, Le verger tropical. Ed Orphie, 2007 25p
39. Soltner D., Les bases de la production végétales. Tome1, 22^e Ed. Collection science et technique agricole, Paris, 2000, 132p.
40. Sainju, -U. et al.. Soil nitrate-nitrogen under tomato following tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization. *J-environ-qual*. Madison : American Society Of Agronomy, v. 28 (6) 1999, 184p.
41. Big T., Le jardin potager. Ed Fernand Nathan et Cie, Paris, 1981, 149p.
42. I.T.C.M.I, Culture sous serres , Guide pratique. I.T.C.M.I, Staouéli, 2008, 19p
43. Jacob J et Janssan J., Cultures maraîchères générales. Cours photocopiés, INA d'El-Harrach (Alger), 1977, 37p.
44. Bonduel P et al, Larousse du jardin mois par mois . Ed Larousse, 2006, 329p
45. Mioulane P, Un jardin sur mon balcon. Ed Hachette, 2003, 109p
46. Verolet N, Tomate, sous grand tunnel froid. Fiche technique en agriculture biologique N°2, Rhône 2001, 4p
47. Zuang H, 1982 La fertilisation des cultures légumières. Ed. CTIFL, 1982, Paris, 365p.
48. Verolet N et al, Tomate, sous serre» Fiche technique N°3 en agriculture biologique, Rhône 2006, 8p
49. Paul Let al, La culture de tomate sous abri en Lot et Garonne. Chambre d'agriculture de Lot et Garonne, 2005, 5p

- 50 .BalestriM et *al*, La protection intégrée des cultures de tomate. Ed INRA, Paris, 2000, 2p
51. I.TC.M.I, Les cultures maraîchères en Algérie I.TC.M.I.Staouéli, 1977, pp : 11-35
52. I.TC.M.I, 1995 Le culture de la tomate I.TC.M.I.Staouéli, 1995,9p
53. Blancard D., Maladies de la tomate, observer, identifier et lutter .Ed.INRA, Paris, 1988,180p.
- 54.Le Clech B.et Hachler B., Agriculture biologique, éthique, pratiques et résultat. Ed ENITA, Bordeaux, 2003, 300p
- 55.Aubert C. Le jardin potager biologique, Ed.Laballery, Paris, 2005, 132p
- 56.Doumandji S, et *al*, La lutte biologique contre les déprédateurs des cultures. Ed Opu, 1993,45p.
5. Marchaux Get *al*, virus des solanacées : du génome viral à la protection des cultures. Edition Quae, 2008,896p.
- 58.Mioulane P., Le jardin de légumes. Ed Compagne international du livre, Paris, 1982,67p.
59. Dhaliwal M. Handbook of Vegetable Crops.Kalyani Publishers, Ludhiana, India, 2008p.389.
60. Skiredj A etElattir La culture de tomate industrielle, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, 2012,221p
61. Mazoyer, M et *al*, Larousse Agricole, Ed Larousse, 2002, 623p
- 62.Laberche, J., Biologie végétale, Ed Dunod, Paris, 2004, 173p
- 63.Mayer, S et *al*. Botanique, biologie et physiologie végétale, Ed Maloine, Paris, 2004, 146 p
64. Lévêque,C et Mounolou,J, Biodiversité, dynamique biologique econservation ,Ed Dunod, Paris, 2008, 132p
65. Moussard, C. Biologie moléculaire,biochimiedes communications,cellulaires, Ed De Boeck,Bruxelles,2008,4p
- 66.. Hopkins, W, Physiologie végétale Ed De Boeck, 2003, 465p
- 67.Gobat, J et *al*, Le sol vivant, Presses polytechniques universitaires romandes, 2003,91p

68. Giraud, N et *al*, Biologie, licence, tout le cours en fiches, EdDunod, Paris, 2010, 264 p.
69. Gaudry, J, Assimilation de l'azote chez les plantes, aspects physiologique, biochimique et moléculaire, Ed INRA, Paris, 1997, 385p
- 70.Lafon, J et *al*, Biologie des plantes cultivés, tome1, organisation, physiologie des plantes cultivés. Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1996,156p.
71. Come,D et Corbineau,F, Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules , Ed Tec et Lavoisier. Paris, 2006,125p
72. Gedda, A., Le potager bio Ed Eyrolles, 2007,105 p
- 74.Lacroix, C, Azote, Culture légumières et fraisier, Environnement et qualité, Ed Ctifl 1999,205p
- 75.El allaoui A. La fertilisation minérale des cultures, les éléments majeurs Bulletin mensuel d'information et de liaison, Revue : Transfert de technologie en agriculture, institut agronomique et vétérinaire Hassan 2, Rabat, 2007, 24p
- 76.Dajoz, R, La biodiversité, l'avenir de la planète et de l'homme. Ed ellipses, 2008,171p
77. Bockman, O, et al, Agriculture et fertilisation. Ed Norsk Hydro, 1990, 171p
- 78.Roland, J et Callen,J. Biologie cellulaire. Ed Dunod, 2006,70p
79. Angelier, E. Les sciences de la complexité des vivants. Ed Tec et Doc Lavoisier, 2008,22p
- 80.Bolsover, S, et *al* Biologie cellulaire et moléculaire. Ed Dunod,Paris, 2006,343p
- 81.Laberche, J., Biologie végétale.Ed Dunod, 3eme édition,Paris, 2010, 176p
- 82.Wiedenhoeft, A., Plant nutrition. Ed Chelsea House, New York, 2006, 22p
83. Favro C et Nicolle F, Biologie cellulaire. Ed Hachette, 2011,24 p
84. Schwartz C et *al*, Guide de la fertilisation raisonnée .Ed France Agricole, 2005, 389
- 85.Laberche J., Biologie végétale. Ed Dunod, 3ème édition, Paris, 2010, 176p
- 86.R, Heller et *all*, Physiologie végétale.Ed Dunod,1998, pp 108-170

87. Benmimoune, M., La gestion de la fertilisation potassique en arboriculture fruitière , Acquis et perspectives de la recherche, INA,Tunis, 2002, 124p
- 88 .Hennion, B, Le kiwi. Ed Ctifl, 2003, 177p.
- 89.Trillot,M et *al* ,Le pommier .Ed Ctifl,2002,163p
90. O'brien, J, L'importance des pulvérisations précoces de Calcium . Albion Plant Nutrition, Clearfield, USA,2004,169p
91. Lacroix, M, Nutrition en calcium, problème et prévention, Laboratoire de diagnostique en phytoprotection, Québec, 2011, 134p
- 93.Lafon, J et *al*, Biologie des plantes cultivés, tome1, organisation, physiologie des plantes cultivés, Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 1996, 167p
94. Baize,D, Petit lexique de pédologie .Ed INRA,Paris,2004,32p
95. Lerot,B , Les éléments minéraux .Ed Maison d'agriculture, 2006 15p.
96. Pousset, J, Engrais verts et fertilité des sols .EdAgridécisions, 2002, 326p
- 97.Jupin H, La photosynthèse. Ed Dunod, 1999,191p
98. Callen J., Biologie cellulaire. Ed Dunod (2^{ème} édition), 2005, 307p
99. Ricklefs, R et Miller,G, Ecologie Ed De boeckBruxelles,2005,186p
100. Davidian, J et *al*, Le soufre dans le sol et ces rôles dans la physiologie de la plante.Académie d'Agriculture de France, 2007,114p
- 101.Lassoudière, A, Le bananier et sa culture. Ed Quae, 2007,142p
- 102.Mayouf, A. et Reynaud, La botanique de A à Z. Ed Dunod, 2007, 279p
- 103.Louvieux,JetHanuise,L, Guides des symptômes de carences nutritives chez les plantes .Ed Carah,2011,162 p
104. Diakosavvas, D et *al* Agriculture, échange et environnement : le secteur des grandes cultures .Ed Ocde, 2005, 368p.
- 105.Dellias,M , Le fer et la chlorose ferrique, comment choisir le bon fer ? , chambre d'agriculture de Lot et Garrone, 2010,123p
- 106.Lepoivre, P, Phytopathologie.Ed De boeck, 2003, pp 31-34

107. Johnson, G et al Biologie. Ed De boek, 2007,782
108. Petit Jet Jobin P, La fertilisation organique des cultures ». Ed FABQ (Fédération d'agriculture biologique du Québec), 2005,16p
109. Calmon, P et Métivier,J, Molybdène et environnement ,Direction de l'environnement et de l'intervention-Service d'études du comportement des radionucléides dans les écosystèmes,2003, 6p
- 110.Sujanya S. and Chandra S. Effect of part replacement of chemical fertilizers with organic and bio-organic agents in ground nut, *Arachis hypogea* Journal of Algal Biomass Utilization.India 2011, 2 (4): 38– 41
111. Soing, Pet al, Fertilisation des vergers,environnement et qualité. Ed Ctifl 2004, 3p
- 112.Mitchell,R et Gu,J ,Environmental microbiology .Ed Wiley Blackwell, 2010,116p
- 113.Henin,S et al «Nitrates-Agriculture-Eau ».Ed INRA,1990,113p
- 114.Guérif, M et King A, Agriculture de precision. Ed Quae, 2007, 199p
- 115.Gaudry, J, Assimilation de l'azote chez les plantes, aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Ed INRA, Paris, 2007, pp 78- 385
- 116.Combris, P et al, Les fruits et légumes dans l'alimentation. Ed Quae, 2007,17p
117. Apfelbaum, M et al, Diététique et nutrition .Ed Elsevier Masson, 2009, 499 p
118. Bernard, J et al, Production végétales, pratiques agricoles et faune sauvage, Ed Acta (Association de coordination technique agricole), 2007,55p
- 119.Machi S et al, Biofertilizer Manual.Forum for Nuclear Cooperation in Asia ,Published byJapan Atomic Industrial Forum, 2006,3p
- 120.Muraleedharan,H, Booklet on biofertilizer (phosphobacteria). MurugrappaChettiarReaserch Center, 2010, India, 7p
121. Joussement, M Intérêt et limites de fertilisation organique en pépinière hors sol. Ed Astredhol, 2012,3p

122. Roussel O et al/ Evaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques, Etude et gestion des sols, Volume 8,2001, 81p
123. Glew H., The amino acid and mineral content of baobab (*Adansoniadigitata L.*). Journal of Food Composition and Analysis.7,1994,193p
124. Deblay S et Charonnat C. Fertilisation et amendement ,EdEducagri, 2006, 42 p
125. Chandra K et al, LIQUID BIOFERTILIZERS, REGIONAL CENTRE OF ORGANIC FARMING, 2005,INDIA, 3p
126. Anaya et al, Biofertilization of banana (*Musa spp. L.*) with free-living N₂ fixing bacteria and their effect on mycorrhization and the nematode *Radopholussimilis*. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development .Mexico, Vol. 3(1) pp. 1-6, 2011
127. Boraste A et al, Biofertilizers: A novel tool for agriculture International Journal of Microbiology Research, ISSN: 0975-5276, Volume 1, Issue 2, 2009, pp-23-31
128. Shehata et al, Interactive Effect of Mineral Nitrogen and Biofertilization on the Growth, Chemical Composition and Yield of Celeriac Plant ISSN 1450-216X Vol.47 No.2 (2010), pp.248-255
129. El Habbasha, S.F., A.A. Kandil, N.S Abu-Hegaza, A.K. Abd El Haleem, M.A Khalafallah and T.G. Behairy, 2005, 'Effect of phosphorus levels and some bio-fertilizers on dry matter, yield and yield attributes of groundnut'. Bull. Fac. Agric. Cairo Univ. 56: 237-252.
130. Schmidt R et al, Questions and answers about biostimulants, the department of crop and soil environmental science, Virginia Tech, Blacksburg, 2003, 91p
131. Blanchard Ket Limache H, Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). Ed ENSAR, 2005, 9p
132. Niber B, The ability of powders and slurries from ten plant species to protect stored grain from attack by *Prostephanustruncatus* (Horn) (Coleoptera :Bostrychidae) and *Sitophilusoryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). J. Stored Prod. Res. 30, 1994, pp: 297-301

133. Marulanda M, Barea JM, Azcón R, Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganism (AM fungi and bacteria) from dry environment. Mechanism related to bacterial effectiveness. *J. Plant Growth Regul.*, 2009, 124p
134. Belly A., Distribution of segment regeneration ability in the Annelida. *Oxford Journals Life Sciences : Integrative and Comparative Biology*, Volume 46, Issue 4, 2006 pp: 508–518.
135. Chen J, The combined use of chemical and organic fertilizer for crop growth and soil fertility, International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taiwan 2006, 2p
136. Trépanier M, Démystifions les engrais naturels Journée sur les méthodes biologiques en horticulture ornementale, Université Laval, 2009, 9p
137. Weill A et Duval j , Guide de gestion globale de la ferme maraichère biologique et diversifiée. Ed Equiterre, 2009, 4p
138. Lizzy Y., et al, La Défense des Végétaux, N°508, PHYTOMA, 2009, 30p
139. Moller, M., Smith, M.L. *J. Plant Physiol.*, 153: 658 – 663. Verkleij, F.N. A Review of Biological Agriculture and Horticulture, 2008: 309-324
140. Sasikumar K Effect of Seaweed Liquid Fertilizer of *Dictyota dichotoma* on growth and yield of *Abelmoschus esculantus* L. *European Journal of Experimental Biology*, 2011, pp223-227
141. Francis E et al, Cooper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiol.*, 24, 1999 pp.1-15.
142. B.A .Hela, A. Manaa, E. Zid, Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la séttaire (*Setaria verticillata* L.) ; *Compte rendus Biologies* 33, 2008, 170p
143. Crouch, I. J. and Van Staden, J., Effect of seaweed concentrate from *Ecklonia maxima* (osbeck) papenfuss on *Melodogyne incognita* infestation on tomato, *J. Appl. Phycol.*, 1993 pp 37-43.
144. Dali A et Senoussi A, Effet d'un biofertilisant liquide sur le développement et la croissance de deux variétés de tomate (Rio grand) industrielle et (Saint Pierre) maraichère cultivée sous serre. Mémoire d'ingénieur, département d'agronomie, université Saad Dahleb, Blida, 2013, 70p
145. Raven P et al, *Biologie végétale*. Ed De Boeck, 2005, 680p

146. Zodape S et al, Effect of liquid seaweedfertiliser on yeald and quality of okra(*Abelmoschusesculentus*), Journal of scientific research, 2008,115 p
147. Heller R., Abrégé de Physiologie végétale. Tome I. Nutrition. Ed Masson, Paris, 1977, 425p.
148. Robitaille R, Le point sur la fertilisation en production biologique de la tomate de serre, Bureau de renseignement agricole de La Sarre, 2010, 13p
149. Apagov F, Induction of growth increase and systemic resistance to *Exserohilum turcicum* in maize by foliar spray of phosphates. Journal of Phytopathology, 1994, 141(4): 337-346.
150. Leblanc M, Les règles de base pour l'utilisation des fertilisants foliaires en culture maraîchère, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec, 2010, 11p
151. Delepine H, Rôle des algues marines dans l'économie régionale de l'océan indien occidental, Rapports au Comité Scientifique pour la Recherche Antarctique Rapport N°16, 2007, 25p

ANNEXES

ANNEXE 01 : La vitesse de croissance (cm / jour) :

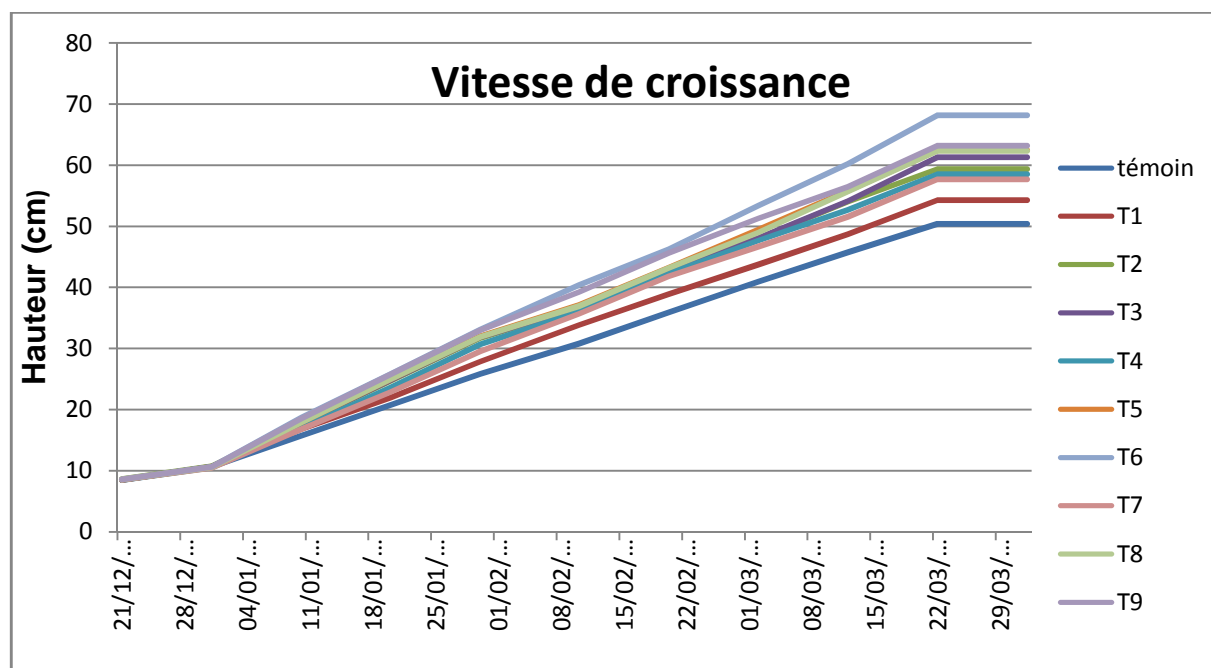


Figure N°12 :Vitesse de croissance des plants (cm/j)

ANNEXE 02 : La hauteur finale des plantes (cm) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	1562.91	69	22.65	3589.82	0.0000	0.22	0.4%
Var. facteur 1	1560.01	9	173.33				
Var. résiduelle 1	2.90	60	0.05				

ANNEXE 03 : Le nombre des feuilles :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	150.70	69	2.18	53.96	0.0000	0.53	4.3%
Var. facteur 1	134.13	9	14.90				
Var. résiduelle 1	16.57	60	0.28				

ANNEXE 04 : Diamètre finaldes tiges (mm) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	1.09	69	0.02	629.59	0.0000	0.01	1.1%
Var. facteur 1	1.07	9	0.12				
Var. résiduelle 1	0.01	60	0.00				

ANNEXE 05 :1.La hauteur collet-bouquet (cm) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	1013.17	69	14.68	5270.16	0.0000	0.15	0.5%
Var. facteur 1	1011.89	9	112.43				
Var. résiduelle 1	1.28	60	0.02				

ANNEXE 06 :2.La hauteur entre les bouquets (cm) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	258.06	69	3.74	1577.92	0.0000	0.13	0.8%
Var. facteur 1	256.98	9	28.55				
Var. résiduelle 1	1.09	60	0.02				

ANNEXE 07 :La biomasse fraîche produite (g) :

1. Poids frais total : (tiges + feuilles) en g :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	131451.03	69	1905.09	21774	0.0000	0.82	0.4%
Var. facteur 1	131410.80	9	14601.20				
Var. résiduelle1	40.23	60	0.67				

2. Poids frais des tiges en g :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	4133.96	69	59.91	7618.61	0.0000	0.25	0.5%
Var. facteur 1	4130.35	9	458.93				
Var. résiduelle 1	3.61	60	0.06				

3. Poids frais des feuilles en g :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	95490.09	69	1383.91	24324.44	0.0000	0.66	0.4%
Var. facteur 1	95463.92	9	10607.10				
Var. résiduelle 1	26.16	60	0.44				

ANNEXE 08 :La biomasse sèche produite (g) :

1. Poids sec total : (tiges + feuilles) en g :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	4007.50	69	58.08	253894.92	0.0000	0.04	0.1%
Var. facteur 1	4007.40	9	445.27				
Var. résiduelle 1	0.11	60	0.00				

2. Poids sec des tiges en g :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	152.87	69	2.22	61893.82	0.0000	0.02	0.2%
Var. facteur 1	152.86	9	16.98				
Var. résiduelle 1	0.02	60	0.00				

3. Poids sec des feuilles en g :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	2871.24	69	41.61	834077.12	0.0000	0.02	0.1%
Var. facteur 1	2871.21	9	319.02				
Var. résiduelle1	0.02	60	0.00				

ANNEXE 09 :

1. Taux de matière sèche total (feuilles+tiges) (%) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	63.38	69	0.92	13161.38	0.0000	0.02	0.2%
Var. facteur 1	63.34	9	7.04				
Var. résiduelle 1	0.03	9	0.00				

2. Taux de matière sèche des tiges (%) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	285.52	69	4.14	9.75	0.0000	1.39	10.6%
Var. facteur 1	169.58	9	18.84				
Var. résiduelle 1	115.94	9	1.93				

3. Taux de matière sèche des feuilles (%) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	52.15	69	0.76	18976.92	0.0000	0.02	0.1%
Var. facteur 1	52.13	9	5.79				
Var. résiduelle 1	0.02	60	0.00				

ANNEXE 10 : Nombre des fleurs par plant :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	471.44	69	6.83	96.14	0.0000	0.71	4.9%
Var. facteur 1	440.87	9	48.99				
Var. résiduelle 1	30.57	60	0.51				

ANNEXE 11 : Nombre de fruits récoltés par plant :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	675.09	69	9.78	159.14	0.0000	0.67	5.3%
Var. facteur 1	647.94	9	71.99				
Var. résiduelle 1	27.14	60	0.45				

ANNEXE 12 : Poids moyen d'un fruit par plant (g) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	70044.80	69	1015.44	6924.98	0.0000	1.06	0.8%
Var. facteur 1	69977.34	9	7775.27				
Var. résiduelle 1	67.37	60	1.12				

ANNEXE 13 : Production moyenne par plant (Kg) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	45.17	69	0.65	1596.89	0.0000	0.06	3.4%
Var. facteur 1	44.98	9	5.00				
Var. résiduelle 1	0.19	60	0.00				

ANNEXE 14 : Dosage de la chlorophylle :

1. La chlorophylle (a) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	1.14	29	0.04	390.84	0.0000	0.02	1.6%
Var. facteur 1	1.14	9	0.13				
Var. résiduelle 1	0.01	20	0.00				

2. La chlorophylle (b) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	1.14	29	0.05	513.62	0.0000	0.02	2.6%
Var. facteur 1	1.40	9	0.16				
Var. résiduelle 1	0.01	20	0.00				

3. La chlorophylle (c) :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	168.61	29	5.81	6502.43	0.0000	0.05	1.1%
Var. facteur 1	168.55	9	18.73				
Var. résiduelle 1	0.06	20	0.00				

ANNEXE 15 : Taux de vitamines « C » :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	101.12	29	3.49	1847.78	0.0000	0.08	0.4%
Var. facteur 1	101.00	9	11.22				
Var. résiduelle 1	0.12	20	0.01				

ANNEXE 16 : Détermination de l'extrait sec :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	7.84	29	0.27	462.12	0.0000	0.04	0.8%
Var. facteur 1	7.81	9	0.87				
Var. résiduelle 1	0.04	20	0.00				

ANNEXE 17:L'acidité titrable :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	0.89	29	0.03	195.29	0.0000	0.02	2.3%
Var. facteur 1	0.88	9	0.10				
Var. résiduelle 1	0.01	20	0.00				

ANNEXE 18:Taux des sures dans les fruits :

Source de variation	S.C.E	DDL	Carres moyens	Test F	PROBA	E.T	C.V
Var.totale	19.98	29	0.69	51.48	0.0000	0.20	4.1%
Var. facteur 1	19.15	9	2.13				
Var. résiduelle 1	0.03	20	0.04				

LISTE DES ABREVIATION

% : pourcent

°C : degré Celsius

cm : centimètre

Ctifl : Centre technique interprofessionnelle de fruits et de légumes

C.V : coefficient de variabilité

DDL : Degrés de liberté

ENITA : Ecole national d'ingénieurs des travaux agricoles

Ed: Edition

E.T:ecart-type

g : gramme

Ha : hectare

ITAFV : Institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne

ITCMI : Institut technique de la culture maraîchère et industrielle

INA : Institut national d'agronomie

INRA : Institut national de recherche agronomique

kg :kilogramme

MF : Matière fraîche

µg : microgramme

MS :Matière sèche

mm : millimètre

ml : millilitre

N : normalité

Opu : Office des publications universitaires

p : page

PROBA : Probabilité

PuF : Presse universitaire de France

Qx : Quintaux

T : Traitement