



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat
FACULTE : SCIENCES
DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : ATTIA Kamal

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : AMELIORATION DES PLANTES

Thème

**Optimisation d'une fertilisation organique
pour la production de plants maraîchers cas
de la tomate (*Solanum lycopersicum* L)**

Jury de soutenance :

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
MAKOUDI Mourad	MAA	Président
ROUGHY Tahar	MAA	Examineur
HOUYOU Zohra	Professeure	Promotrice

Promotion Septembre 2025




Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu ALLAH le tout Puissant de nous avoir donné le courage et la santé pour achever ce travail.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au professeure **HOUYOU Zohra**, mon encadrante, pour son accompagnement tout au long de ce travail. Sa patience, ses conseils avisés, ses remarques constructives et son engagement constant ont été d'une aide précieuse et m'ont permis d'achever ce mémoire dans les meilleures conditions. Je la remercie sincèrement pour la confiance qu'elle m'a accordée, pour sa disponibilité et pour la qualité de son encadrement scientifique .*

*Je tiens également à remercier **Mr ROUGHI Tahar** et **Mr MAKOUDI Mourad**, pour avoir accepté d'examiner mon travail de projet de fin d'études, toutes leurs remarques et directives afin d'améliorer ce document sont les bien venues et seront prises en considération.*

Enfin mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation depuis l'école primaire.





Dédicaces

À mes chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leur soutien et leurs sacrifices.

À ma famille,

Pour leur présence bienveillante et leurs encouragements constants.

À mes chers amis,

Pour leur amitié sincère, leur aide et leur patience tout au long de ce parcours.



Résumé :

Résumé

L'agriculture biologique est un modèle émergent qui vise à réduire les risques alimentaires liés à l'utilisation de composés chimiques dans la production des cultures. Dans ce cadre, cette étude a été menée sur la culture de la tomate, afin d'étudier l'impact de différentes doses d'engrais organiques sur la croissance des semis de la tomate. L'expérience a été réalisée sous serre au département des sciences agronomique de l'Université Ammar Thelidji à Laghouat, où des semis de tomate de la variété "Heinz" ont été cultivés pendant 60 jours en utilisant deux types d'engrais organiques (fumier de vache et fumier de chèvre) à trois doses différentes (0, 2,5 et 5 g/kg de sol).

Durant la période de l'expérience, des mesures biométriques ont été effectuées sur les plantes cultivées, comprenant : la hauteur des tiges, la longueur des racines, la vitesse de croissance, et le taux moyen relatif de développement. À la fin de l'expérience, les feuilles fraîches ont été analysées pour déterminer leur teneur en sucres totaux, en proline et en chlorophylle totale. Les résultats de l'analyse statistique (ANOVA), ont montré que les différences dans les indicateurs physiologiques au cours des 30 premiers jours n'étaient pas significatives. Cependant, après 60 jours de culture, le traitement avec le fumier de vache à la dose D2 a donné la meilleure hauteur de tige 15,86 cm, tandis que la racine la plus longue 9,45 cm a été enregistrée pour le témoin non fertilisé.

La vitesse de croissance quotidienne la plus élevée 0,239 cm/jour a été enregistrée avec la dose D2 fumier de vache. L'indice de vigueur le plus élevé a été atteint avec la dose D2 pour les deux types de fumier. Les valeurs de proline variaient entre 0,00069 et 0,000957 mmol/g de matière fraîche, les sucres totaux entre 0,44 et 0,75 µg/100 mg, et la chlorophylle totale entre 54,26 et 66,68 mg/g.

L'expérience a conclu que la dose moyenne D2 d'engrais organique fumier de vache était la plus appropriée en termes de croissance, de développement et de vigueur des semis de tomate, ce qui renforce l'utilisation de cet engrais organique comme solution durable pour améliorer la production agricole maraichère de la tomate.

Mots clés : tomate, engrais organiques, croissance des semis, fumier de vache, fumier de chèvre, sucres totaux, chlorophylle, proline, agriculture durable, fertilité organique.

المخلص :

تُعد الزراعة العضوية نموذجًا حديثًا يهدف إلى تقليل المخاطر الغذائية المرتبطة باستخدام المركبات الكيميائية في إنتاج المحاصيل. في هذا السياق، تم تنفيذ هذه الدراسة على نبات الطماطم، بهدف دراسة تأثير جرعات مختلفة من الأسمدة العضوية على نمو الشتلات. تمت التجربة داخل بيت بلاستيكي تابع لقسم العلوم الزراعية بجامعة عمار تليجي بالأغواط، حيث تم زراعة شتلات من صنف الطماطم "Heinz" لمدة 60 يومًا باستخدام نوعين من الأسمدة العضوية (روث الأبقار وروث الماعز) بثلاث جرعات مختلفة (0، 2.5، و 5 غ/كغم من التربة)

خلال فترة التجربة، تم إجراء قياسات بيومترية على النباتات المزروعة، شملت: ارتفاع السيقان، طول الجذور، سرعة النمو، والمعدل النسبي المتوسط للتطور. في نهاية التجربة، تم تحليل الأوراق الطازجة لتحديد محتواها من السكريات الكلية، البرولين، والكلوروفيل الكلي. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي (ANOVA) أن الفروقات في المؤشرات الفسيولوجية خلال الثلاثين يومًا الأولى لم تكن معنوية. ومع ذلك، بعد 60 يومًا من الزراعة، سجلت معاملة روث الأبقار بجرعة D2 أفضل ارتفاع للساق (15.86 سم)، في حين تم تسجيل أطول جذر (9.45 سم) عند الشاهد غير المخصب.

سُجلت أعلى سرعة نمو يومية (0.239 سم/يوم) مع جرعة D2FV. أما أعلى مؤشر حيوية فقد تحقق عند الجرعة D2 لكلا السمادين. تراوحت قيم البرولين بين 0.00069 و 0.000957 مليمول/غ من المادة الطازجة، والسكريات الكلية بين 0.44 و 0.75 ميكروغرام/100 ملغ، والكلوروفيل الكلي بين 54.26 و 66.68 ملغ/غ.

خلصت التجربة إلى أن الجرعة المتوسطة (D2) من الأسمدة العضوية كانت الأنسب من حيث نمو وتطور وحيوية شتلات الطماطم، مما يعزز استخدام الأسمدة العضوية كحل مستدام لتحسين الإنتاج الزراعي.

الكلمات المفتاحية: الطماطم، الأسمدة العضوية، نمو الشتلات، روث الأبقار، روث الماعز، السكريات الكلية، الكلوروفيل، البرولين، الزراعة المستدامة، الخصوية العضوية.

Summary

Summary :

Organic farming is an emerging model aimed at reducing food risks associated with the use of chemical compounds in crop production. In this context, this study was conducted on tomato plants to investigate the effect of different doses of organic fertilizers on seedling growth. The experiment was carried out in a greenhouse at the Department of Agricultural Sciences, Ammar Thelidji University in Laghouat, where seedlings of the "Heinz" tomato variety were cultivated for 60 days using two types of organic fertilizers (cow manure and goat manure) at three different doses (0, 2.5, and 5 g/kg of soil).

During the experimental period, biometric measurements were taken on the cultivated plants, including: stem height, root length, growth rate, and the average relative growth rate. At the end of the experiment, fresh leaves were analyzed to determine their content of total sugars, proline, and total chlorophyll. The statistical analysis results (ANOVA) showed that the differences in physiological indicators during the first 30 days were not significant. However, after 60 days of cultivation, the cow manure treatment at dose D2 achieved the best stem height (15.86 cm), while the longest root (9.45 cm) was recorded for the unfertilized control.

The highest daily growth rate (0.239 cm/day) was recorded with D2FV dose. The highest vigor index was achieved at dose D2 for both types of manure. Proline values ranged between 0.00069 and 0.000957 mmol/g of fresh weight, total sugars between 0.44 and 0.75 $\mu\text{g}/100$ mg, and total chlorophyll between 54.26 and 66.68 mg/g.

The experiment concluded that the moderate dose (D2) of organic fertilizers was the most suitable in terms of growth, development, and vigour index of tomato seedlings, reinforcing the use of organic fertilizers as a sustainable solution for improving agricultural production.

Keywords: tomato, organic fertilizers, seedling growth, cow manure, goat manure, total sugars, chlorophyll, proline, sustainable agriculture, organic fertility.

Sommaire

Sommaire

Titres	Pages
Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviation	
Introduction	
Chapitre I : Généralités sur la tomate	
I.1. Origine de la tomate	01
I.2. Classification botanique de la tomate	01
I.3. Cycle végétatif de la tomate	01
I.3.1. Phase de germination	02
I.3.2. Phase de croissance	03
I.3.3. Phase de floraison	04
I.3.4. Phase de fructification et maturation	05
I.4. Les exigences de la tomate	06
I.4.1. Exigences climatiques	06
I.4.2. Exigences édaphiques	07
I.4.3. Exigences en eau	07
I.4.4. Exigences nutritionnelles	07
I.5. Importance économique de la culture de tomate	07
I.5.1. Production mondiale	07
I.5.2. Production de la tomate en Algérie	08
I.5.3. Rentabilité agricole	08
I.5.4. Industrie de transformation	08
I.5.5. Consommation et sécurité alimentaire	08
I.5.6. Importance économique et rôle dans l'alimentation	09
I.5.7. Exigences de culture et développement durable	09
I.5.8. Perspective future	09

Sommaire

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II. Objectifs et description de l'expérimentation	11
II.1. Objectifs	11
II.2. Lieu de l'expérience	11
II.3. Conditions expérimentales	11
II.4. Le Substrat (terre)	12
II.5. Les fumures organiques utilisées	12
II.6. Caractéristiques de la terre et des fumures organiques utilisés	12
II.7. Les Conteneurs	13
II.8. Le Matériel végétal	13
II.9. Préparation du substrat terre	14
II.10. Doses d'amendements utilisés	14
II. Conduite de l'expérience et notations des mesures	16
II.11. La pré-germination	16
II.12. Le repiquage et la levée	17
II.13. L'arrosage	17
II.14. Les Paramètres mesurés sur les plants	17
II.15. Analyses statistiques des données	21

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Paramètre de développement des plants de tomate	23
III.1.1. Hauteur de tige à 30 jours	23
III.1.2. Hauteur de tige à 45 jours	23
III.1.3. Hauteur de tige à 60 jours	24
III.2. Vitesses de croissance	25
III.2.1. Vitesse de croissance des tiges	25
III.2.2. Vitesse de croissance des racines	26
III.3. Taux relatifs moyens de développement des plants	27
III.4. Indice de vigueur des plants	29
III.5. Paramètres physiologiques et biochimiques	29
III.5.1. Paramètre chimique	29
III.5.1.1. Sucres totaux totale dans les feuilles des plants	29
III.5.2. Paramètres physiologique	30
III.5.2.1. Chlorophylle totale dans les feuilles des plants	30
III.5.2.2. Proline totale dans les feuilles des plants	31
III.5.2.3 Analyse en composante principale	32
Discussion	34
Conclusion	37
Perspectives	37
Liste des références bibliographiques	39

Liste des figures

Liste des figures		Page
Figure N° 01 : Cycle végétatif de la tomate		02
Figure N° 02 : Phase de germination de la tomate		03
Figure N° 03 : Phase de croissance de la tomate		03
Figure N° 04 : Phase de floraison de la tomate		04
Figure N° 05 : Phase de fructification et maturation de la tomate		06
Figure N° 06 : Représentation des températures journalières mesurées durant l'expérimentation.		11
Figure N° 07 : Le dispositif expérimental.		16
Figure N° 08 : Graines germées de <i>Heinz</i> .		16
Figure N° 09 : Dosage des sucres totaux.		19
Figure N° 10 : Dosage de la chlorophylle.		20
Figure N° 11 : Dosage de la proline.		21
Figure N° 12 : Représentation de la hauteur des tiges des plants de la tomate <i>Heinz</i> à 30 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		23
Figure N° 13 : Représentation de la hauteur des tiges des plants de la tomate <i>Heinz</i> à 45 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		24
Figure N° 14 : Représentation de la hauteur des tiges des plants de la tomate <i>Heinz</i> à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		25
Figure N° 15 : Représentation de la vitesse de croissance des tiges, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		26
Figure N° 16 : Représentation de la vitesse de croissance des racines, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		27
Figure N° 17 : Représentation de TRMD des plants de la tomate <i>Heinz</i> à 30 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		27
Figure N° 18 : Représentation de TRMD des plants de la tomate <i>Heinz</i> à 45 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		28
Figure N° 19 : Représentation de TRMD des plants de la tomate <i>Heinz</i> à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		28
Figure N° 20 : Représentation d'indice de vigueur des plants, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		29
Figure N° 21 : Représentation de teneur de sucres totaux dans les plants de la tomate <i>Heinz</i> à 60 jours de culture, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.		30

Liste des figures

- Figure N° 22** : Représentation de teneur de chlorophylle dans les plants de la tomate Heinz à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre. **31**
- Figure N° 23** : Représentation de teneur de proline dans les plants de la tomate Heinz à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre. **32**
- Figure N° 24** : Analyse en composante principale. **33**

Liste des tableaux

Liste des tableaux

	Page
Tableau N° 01 : Caractéristiques physico-chimiques des amendements organiques et de la terre utilisés pour le déroulement de l'essai	13
Tableau N° 02 : Caractéristiques de la variété utilisée.	14

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation :

- **ANOVA** : Analyse de la variance
- **D1FV** : Dose 1 de fumier de vache
- **D2FV** : Dose 2 de fumier de vache
- **D3FV** : Dose 3 de fumier de vache
- **D1FC** : Dose 1 de fumier de chèvre
- **D2FC** : Dose 2 de fumier de chèvre
- **D3FC** : Dose 3 de fumier de chèvre
- **g/kg** : Grammes par kilogramme
- **g/m²** : Grammes par mètre carré
- **µg** : Microgrammes
- **mg/g** : Milligrammes par gramme
- **mg/kg** : Milligrammes par kilogramme
- **m²** : Mètre carré
- **°C** : Degré Celsius
- **P** : Phosphore
- **N** : Azote
- **K** : Potassium
- **TRMD** : Taux relatif moyen de développement
- **IV** : Indice de vigueur
- **TDS** : Total des sucres (Total Sugar)
- **TNC** : Teneur en chlorophylle (Total Chlorophyll)
- **TNP** : Teneur en proline (Total Proline)
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- **ppm** : Partie par million

Introduction

Introduction

Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicon* L.), compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde (**Hilmi et al, 2005**). Selon le Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (**FAO, 2020**), elle occupe la première place dans la production maraîchère après la pomme de terre et est cultivée dans plus de 170 pays. C'est une source importante de vitamines, sa consommation contribue à un régime sain et équilibré. Les fruits de la tomate, sont riches en minéraux, en vitamines, en acides aminés essentiels, en sucres ainsi qu'en fibres alimentaires. La tomate contient beaucoup de vitamines B et C, de fer et de phosphore (**Chaux et Foury, 1994**).

En Algérie, la tomate occupe aussi une place privilégiée dans le secteur maraîcher (**Ferrero, 2009**), elle représente 7,62% de la production maraîchère nationale. Malgré les dispositions prises et les techniques utilisées, le rendement reste toujours faible avec une superficie de 20789 ha et une production de 6 410 343 quintaux, et ce rendement ne satisfait pas les besoins de consommation (**Chougar, 2010**).

L'une des causes de ce faible rendement est la pauvreté des sols en matière organique et en phosphore qui sont principalement des contraintes liées à l'intensification de la production (**Lompo et al., 2009**). De plus, l'utilisation d'engrais minéraux non adaptés à la culture maraîchère conduit à des apports déséquilibrés et à long terme, à une accumulation de certains métaux lourds dans les terres agricoles (**Kiba, 2012**). En effet, de nombreuses études ont montré les effets négatifs des engrais minéraux à long terme sur la fertilité du sol à travers notamment leur effet acidifiant sur le sol, aussi bien sur les risques de toxicité dont peuvent être origine les fruits cultivés dans de telles conditions (**Sedogo, 1993 ; Bado el al, 1997 ; Bonzi, 2002**).

Face à cette situation, la culture maraîchère doit s'orienter vers des systèmes de cultures plus durables et plus productifs. L'approche gestion intégrée de la fertilité des sols se présente alors comme une solution à cette baisse de fertilité des sols. Elle permet selon Bationo el al. (2012), une durabilité des systèmes de production et peut garantir une meilleure compétitivité des produits. Cette approche peut s'effectuer à travers l'utilisation des fertilisants organiques. En effet, plusieurs travaux ont montré l'effet bénéfique de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, et conséquemment sur les rendements de cultures (**Kitabala el al. 2016**). En effet, plusieurs travaux ont montré l'effet bénéfique de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, et conséquemment sur les rendements de cultures maraîchères (**Kitabala el al. 2016**).

La présente étude s'inscrit dans cette optique, l'utilisation donc d'engrais organiques d'origines animales (Fumier de vache et Fumier de cheval), pourrait influencer la production de plants maraichers de tomate. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons entrepris un travail expérimental, en apportant trois différentes doses 2,5 ; 5 et 10 (g/kg), de deux types des fumiers (vache et cheval), pour cultiver des plants de tomate de la variété *Heinz*. Notre objectif est de déterminer, le type de fumier et la dose qui permettent d'obtenir des plants de tomate vigoureux.

Introduction

Le document de ce mémoire est structuré en trois chapitres :

Un premier chapitre englobe une synthèse bibliographique qui présente des généralités sur les trois cultures maraichères, un deuxième chapitre expose le matériel et les méthodes utilisés pour atteindre notre objectif et dans un troisième chapitre nous présentons les résultats et discussion. Nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

Chapitre I
Généralités sur la tomate

I.1. Origine de la tomate

La tomate est originaire d'Amérique du Sud, plus précisément des régions andines correspondant aux territoires actuels du Pérou, de l'Équateur et du nord du Chili. Les civilisations précolombiennes, notamment les Aztèques au Mexique, cultivaient déjà la tomate bien avant l'arrivée des Européens sur le continent (**Peralta & Spooner, 2007**). Elle a été introduite en Europe au XVI^e siècle, d'abord comme plante ornementale, avant de se diffuser progressivement comme légume de consommation au fil des siècles.

En France, la tomate n'a été acceptée comme aliment qu'à partir du XVIII^e siècle. Sa popularité croissante est due à ses nombreuses utilisations culinaires et à la diversification variétale qui a accompagné son expansion mondiale. Aujourd'hui, la tomate est l'un des légumes les plus cultivés et consommés dans le monde.

I.2. Classification botanique de la tomate

La tomate appartient à la famille des Solanacées, qui comprend aussi des plantes comme la pomme de terre, le piment, l'aubergine et le tabac. Voici sa classification botanique détaillée :

- **Règne** : Plantae
- **Division** : Magnoliophyta
- **Classe** : Magnoliopsida
- **Ordre** : Solanales
- **Famille** : Solanaceae
- **Genre** : Solanum
- **Espèce** : *Solanum lycopersicum* L.

Le genre *Solanum* contient plus de 1 500 espèces, mais seule *Solanum lycopersicum* est cultivée pour ses fruits comestibles. Cette espèce est très polymorphe, avec une grande variabilité génétique entre les variétés locales et commerciales (**Rick, 1990**).

I.3. Cycle végétatif de la tomate

Le cycle végétatif de la tomate, comme pour toute plante annuelle, se compose de plusieurs phases distinctes qui marquent son développement de la germination jusqu'à la maturation des fruits. Comprendre ces étapes est essentiel pour optimiser la culture de la tomate, car chacune d'entre elles répond à des exigences environnementales et nutritionnelles précises. Le cycle peut être divisé en quatre grandes phases : la germination, la croissance végétative, la floraison, puis la fructification et maturation.

Ce cycle peut durer de 90 à 140 jours en fonction de la variété, des conditions climatiques et des pratiques culturales (**Heuvelink, 2005**). Chaque étape conditionne la réussite de la culture et la qualité des fruits produits. Nous allons explorer en détail chaque phase.

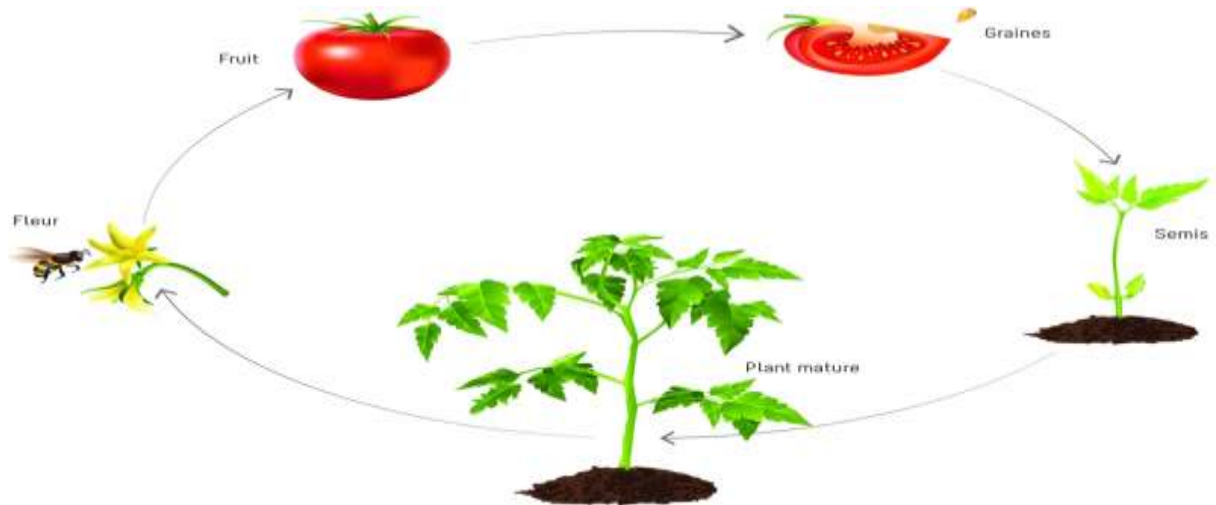


Figure N° 01 : Cycle végétatif de la tomate

I.3.1. Phase de germination

La germination constitue la première phase du développement de la tomate. Elle commence dès que la graine est mise en contact avec l'eau, l'oxygène et une température adéquate (généralement entre 20 et 30°C). C'est à ce moment que le métabolisme de la graine s'active, déclenchant l'imbibition, c'est-à-dire l'absorption d'eau par la graine. Cette étape est primordiale, car elle réveille les enzymes responsables de la dégradation des réserves de la graine en nutriments utilisables.

Dans les 2 à 5 jours suivant le semis (en conditions optimales), on observe la sortie de la radicule, suivie de l'émergence de la tigelle et des cotylédons. La qualité des graines, leur état sanitaire et les conditions du sol (humidité, température, aération) influencent fortement cette étape.

Des techniques modernes, telles que la pré-germination ou le trempage dans des solutions nutritives, peuvent améliorer significativement les taux de germination, notamment en agriculture sous serre ou en production intensive.



Figure N° 02 : Phase de germination de la tomate

.I.3.2. Phase de croissance

La croissance végétative débute après la germination et se caractérise par le développement rapide de l'appareil végétatif : formation de nouvelles feuilles, allongement de la tige, et développement du système racinaire. Cette phase est cruciale car elle détermine la vigueur de la plante et sa capacité future à produire des fleurs et des fruits.

Les besoins nutritionnels de la plante augmentent à ce stade. Un apport équilibré en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) est essentiel pour favoriser la photosynthèse, renforcer les tissus végétaux et soutenir la croissance racinaire. L'eau joue également un rôle fondamental, mais les excès peuvent provoquer des maladies racinaires.

Dans les systèmes de culture en serre, les producteurs utilisent souvent des systèmes hydroponiques pour contrôler précisément les apports en nutriments et optimiser la croissance. Le stress hydrique ou thermique pendant cette phase peut entraîner des retards de développement et une réduction du rendement global (Adams et al., 2001).

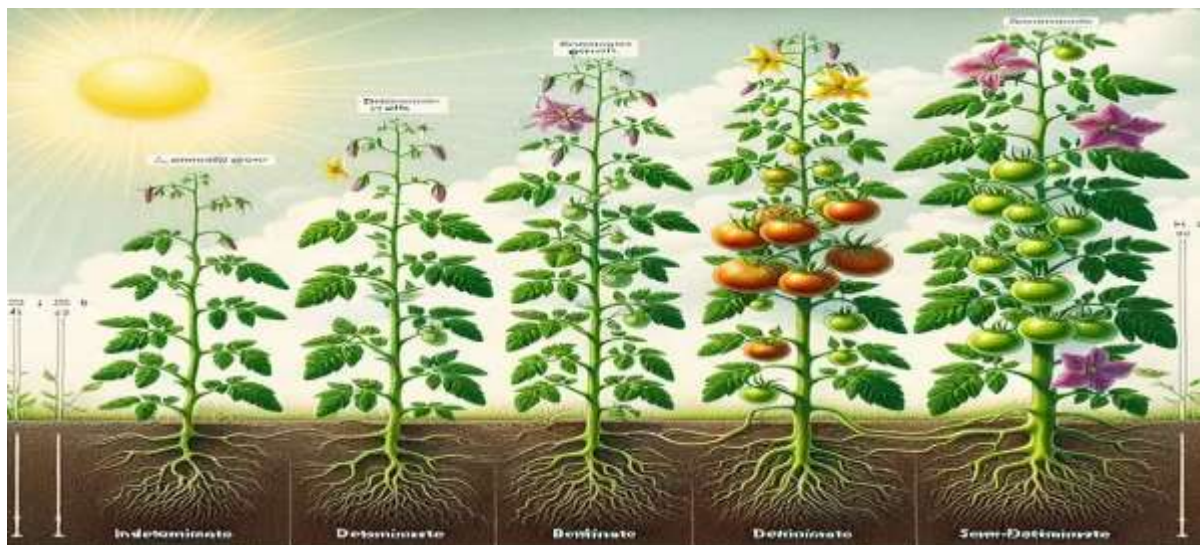


Figure N° 03 : Phase de croissance de la tomate

I.3.3. Phase de floraison

La floraison représente une phase clé dans le développement de la tomate, marquant le passage de la croissance végétative à la reproduction. Elle survient généralement entre 30 et 45 jours après le semis, selon la variété et les conditions de culture. À ce stade, la plante commence à produire des inflorescences au niveau des entre-nœuds, souvent en alternance avec les feuilles.

Les fleurs de tomate sont généralement hermaphrodites, c'est-à-dire qu'elles possèdent à la fois des organes mâles (étamines) et femelles (pistil), ce qui permet une autopolinisation. Toutefois, la pollinisation peut être favorisée par le vent, les vibrations mécaniques ou les insectes, en particulier les bourdons (*Bombus spp.*), utilisés en serre pour assurer une fécondation efficace.

Cette phase est extrêmement sensible aux conditions environnementales. Des températures trop basses (< 15°C) ou trop élevées (> 30°C) peuvent inhiber la formation ou la viabilité du pollen, entraînant des fleurs avortées ou des fruits mal formés (Peet et al., 1998). De plus, un stress hydrique ou une carence en nutriments (notamment en bore et calcium) peut altérer la floraison.

Des techniques comme la taille (élagage des tiges secondaires) et la régulation thermique et lumineuse permettent d'améliorer le nombre et la qualité des fleurs, assurant ainsi une bonne fructification.



Figure N° 04 : Phase de floraison de la tomate

I.3.4. Phase de fructification et maturation

La phase de fructification commence après la fécondation des fleurs. Le développement du fruit passe par plusieurs stades, à commencer par la nouaison (formation du fruit à partir de l’ovaire fécondé), suivie de la croissance du fruit et enfin sa maturation. Chez la tomate, le fruit est une baie charnue, riche en eau et en composés nutritifs, notamment le lycopène, un antioxydant puissant.

Le développement du fruit est influencé par de nombreux facteurs : génétiques (variété), environnementaux (température, lumière, humidité) et agronomiques (fertilisation, irrigation, taille). Une attention particulière doit être portée à l’apport en potassium, car ce nutriment joue un rôle fondamental dans la qualité des fruits (forme, couleur, goût, conservation).

La maturation s’accompagne de changements biochimiques importants : accumulation de sucres, transformation des acides, synthèse de pigments (notamment le passage du vert au rouge dû au lycopène), et ramollissement des tissus. En conditions naturelles, la maturation peut prendre entre 20 et 35 jours après la nouaison.

Les fruits sont généralement récoltés à différents stades selon leur usage : à maturité physiologique pour l’exportation (fruit encore ferme), ou à maturité complète pour la consommation locale ou la transformation. Une mauvaise gestion de cette phase peut entraîner des pertes économiques importantes, dues à des fruits fissurés, mal colorés ou sujets aux maladies post-récolte.



Figure N° 05 : Phase de fructification et maturation de la tomate

I.4. Les exigences de la tomate

La tomate est une plante exigeante qui nécessite des conditions précises pour exprimer tout son potentiel de croissance et de production. Ces exigences concernent plusieurs aspects : climatiques, édaphiques (liés au sol), hydriques et nutritionnels. Une gestion rigoureuse de ces facteurs permet d'assurer une production stable, qualitative et quantitative.

I.4.1. Exigences climatiques

La tomate est une plante de climat chaud, bien qu'elle puisse s'adapter à des conditions tempérées. Elle se développe idéalement à des températures diurnes comprises entre 21 et 27°C, et nocturnes entre 15 et 18°C. Une température inférieure à 10°C ou supérieure à 35°C ralentit le métabolisme de la plante et compromet la floraison, la nouaison et la qualité des fruits (**Jones, 2008**).

Elle a besoin d'une forte luminosité (au moins 8 à 10 heures de lumière par jour), car la photosynthèse est directement liée à l'intensité lumineuse. En culture sous serre, un bon éclairage artificiel peut compenser les déficits de lumière naturelle en hiver.

I.4.2. Exigences édaphiques

La tomate préfère les sols légers à moyennement lourds, bien drainés, riches en matière organique, et d'un pH compris entre 6 et 6,8. Les sols trop argileux retiennent l'eau, favorisant les maladies racinaires, tandis que les sols trop sablonneux manquent de rétention d'eau et de nutriments.

Une analyse du sol avant plantation est fortement recommandée pour ajuster la fertilisation de base et corriger d'éventuelles carences (notamment en calcium, bore, magnésium).

I.4.3. Exigences en eau

L'irrigation est un facteur critique pour la tomate, surtout en période de floraison et de grossissement des fruits. Un déficit hydrique à ces stades peut entraîner la chute des fleurs, des fruits creux ou mal formés, ou encore des maladies physiologiques comme la nécrose apicale. L'irrigation goutte-à-goutte est la méthode la plus efficace pour assurer un apport constant et modéré en eau.

I.4.4. Exigences nutritionnelles

La tomate a des besoins élevés en azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca) et oligoéléments (fer, bore, magnésium). Chaque élément joue un rôle spécifique :

- L'azote stimule la croissance végétative,
- Le phosphore favorise la floraison et la nouaison,
- Le potassium améliore la qualité et la conservation des fruits,
- Le calcium prévient les maladies comme la pourriture apicale.

I.5. Importance économique de la culture de tomate

La culture de la tomate revêt une importance économique majeure à l'échelle mondiale, nationale et locale. Elle est l'un des légumes les plus cultivés et commercialisés, que ce soit en production de plein champ, sous abri ou en serre chauffée. Sa forte demande, sa rentabilité et sa diversité d'usages en font une culture stratégique pour de nombreux agriculteurs et filières agroalimentaires.

I.5.1. Production mondiale

Selon les données de la FAO (2023), la tomate figure parmi les trois premières cultures maraîchères dans le monde avec plus de 180 millions de tonnes produites annuellement. Les principaux pays producteurs sont la Chine, l'Inde, les États-Unis, la Turquie et l'Égypte. En Afrique du Nord, l'Algérie, le Maroc et la Tunisie développent fortement cette culture, notamment pour l'exportation.

I.5.2. Production de la tomate en Algérie

La tomate constitue l'un des produits agricoles les plus importants en Algérie, tant sur le plan économique que social. En 2020, la superficie cultivée en tomates a atteint environ 38 000 hectares, avec une production estimée à plus de 3,6 millions de tonnes, ce qui place la tomate parmi les principales cultures maraîchères du pays (**Boudjellal, 2020**). Elle représente ainsi une part significative de la production maraîchère nationale, avec des superficies cultivées en constante évolution, notamment dans les wilayas comme El Oued, Mostaganem, Skikda et Tipaza (**Boudjellal, 2020**). Cette culture génère des milliers d'emplois directs et indirects, de la production jusqu'à la transformation industrielle, en particulier dans la production de concentré de tomate, un produit très consommé localement. Environ 500 000 tonnes de tomates sont utilisées chaque année pour la transformation en Algérie (**Zeroual, 2018**). En période de forte production, la tomate peut contribuer à la stabilité des prix sur le marché local, réduisant ainsi la dépendance vis-à-vis des importations de produits transformés, qui ont diminué de 20% au cours des cinq dernières années grâce à une meilleure productivité (**Chérif, 2019**). L'exportation de certaines quantités vers des marchés africains ou européens commence aussi à émerger, bien que marginalement, et représente environ 5% de la production totale (**Benamar, 2021**). Ainsi, le développement durable de la culture de la tomate pourrait jouer un rôle majeur dans la sécurité alimentaire, la création de richesses, et la diversification de l'économie algérienne hors hydrocarbures (**Boudjellal, 2020**)

I.5.3. Rentabilité agricole

La tomate est une culture à cycle relativement court avec un retour sur investissement rapide. En production sous serre, un hectare de tomate peut générer des revenus significatifs grâce à la maîtrise des conditions de culture et à l'optimisation des rendements, qui peuvent dépasser 100 tonnes/ha dans les meilleures conditions (**Gomez, 2019**).

I.5.4. Industrie de transformation

Une part importante de la production est destinée à la transformation industrielle : concentré de tomate, jus, sauces, conserves, etc. Ce secteur génère des milliers d'emplois directs et indirects. Il représente un levier pour le développement rural et l'exportation, notamment dans les pays du bassin méditerranéen (**Cherrad, 2016**).

I.5.5. Consommation et sécurité alimentaire

La tomate constitue une source importante de vitamines (C, B6, A), de minéraux et d'antioxydants (notamment le lycopène). Elle participe à la diversification alimentaire et à la

lutte contre les maladies nutritionnelles. De plus, son accessibilité en fait un légume de base pour de nombreuses familles à revenu moyen (ANSES, Ciquel, 2020).

I.5.6. Importance économique et rôle dans l'alimentation

La tomate, avec ses multiples variétés et son potentiel de transformation (jus, concentré, sauce), occupe une place de choix dans le secteur des légumes et des fruits à échelle mondiale. De plus, elle est une source importante de vitamines et d'antioxydants, contribuant ainsi à la santé publique. L'importance économique de la tomate est renforcée par son rôle dans les économies agricoles et son potentiel d'exportation pour de nombreux pays producteurs (Romdhane et al., 2023).

I.5.7. Exigences de culture et développement durable

Les exigences de culture de la tomate nécessitent une gestion rigoureuse des facteurs environnementaux. La tomate, plante exigeante en chaleur et en lumière, nécessite un climat bien contrôlé et des sols adaptés. Ces besoins doivent être pris en compte dans un contexte d'agriculture durable, où les pratiques culturales doivent minimiser l'impact environnemental tout en maximisant les rendements (Jones et al., 2014) .

I.5.8. Perspective future

À l'avenir, la recherche sur l'amélioration génétique de la plante et le développement de techniques agricoles plus efficaces (comme les systèmes d'irrigation intelligents, l'agriculture de précision, etc.) permettront d'améliorer sa résistance aux maladies, son rendement et leur adaptation aux changements climatiques. Cela contribuera à garantir une production stable et à répondre à une demande croissante dans un contexte de population mondiale en augmentation.

Chapitre II
Matériel & Méthodes

II. Objectifs et description de l'expérimentation

II.1. Objectifs

Notre essai a pour but de tester la réponse des plants de tomate à deux différents types d'amendements organiques respectivement du fumier de vache et du fumier de chèvre. Les deux amendements organiques ont été apportés à doses variables.

II.2. Lieu de l'expérience

Notre expérimentation s'est déroulée sous serre, au département des sciences agronomiques de l'université de Laghouat.

II.3. Conditions expérimentales

Durant toute l'expérience, les températures journalières diurnes mesurées en degré celsius (°C), sont enregistrées à mi-journée, à savoir (12 h). Nous constatons (Figure N° 5), que la température durant notre travail expérimental fluctue entre un minimum de 5,15 (°C) enregistré le 02/02/ 2025 et un maximum aux alentours de 17(°C) observé le 17/03/2025, en fin d'expérimentation. Nous remarquons que ces valeurs ont été relativement favorable pour la croissance et le développement des plants du Tomate. Selon Lafrance (2007) et Delamarre et al (2014), les températures optimales de la germination et de croissance des plants maraichers sont estimées de 10 à 25C.

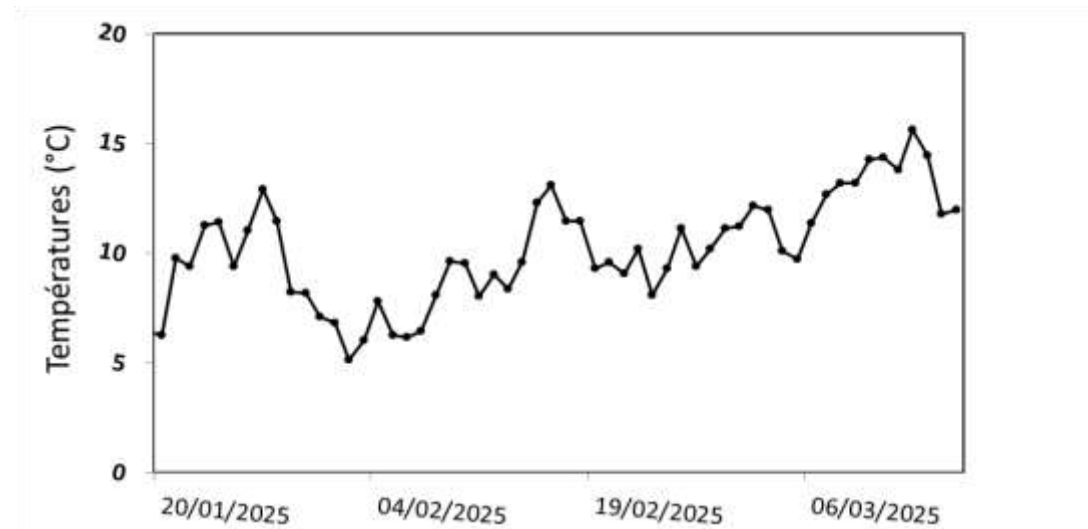


Figure N° 06 : Représentation des températures journalières mesurées durant l'expérimentation.

II.4. Le Substrat (terre)

Le substrat utilisé dans notre travail expérimental, est un mélange de terres qui ont été collectées dans des zones agricoles (Tadjmout et Dhaya Gheblia) situées dans la wilaya de Laghouat.

II.5. Les fumures organiques utilisées

Lors de ce travail, nous avons utilisé deux types de fertilisants organiques à savoir :

Le fumier de vache bien décomposé de plus de 48 mois ;

Le fumier de chèvre sec et bien décomposé de plus de 40 mois.

Les deux fumiers, nous ont été fournis par des éleveurs de la région de Laghouat.

II.6. Caractéristiques de la terre et des fumures organiques utilisés

L'analyse granulométrie a montrée (tableau N°01) que le terre utilisée contient une importante fraction de sables (98,75%) et très peu argile plus limons (1,24%). La terre utilisée de nature calcaire avec une teneur assez élevée de (16,32%).

Le tableau N° 01 montre aussi que la terre présente le pH le plus élevée 8,1 ; le fumier de chèvre a le pH le plus faible 7,75. Le fumier de vache présente la conductivité électrique la plus élevée 5,75 (ms/cm) avec une teneur en sodium relativement élevée aussi 0,22 (mg /kg). La teneur en potassium K la plus élevée 1,32 (g/kg) est observée dans le fumier de chèvre et est sous forme de traces seulement enregistré dans la terre non améliorée. L'analyse du composant azote montre que le fumier de vache contient une importante concentration 0,39 (g/kg), la matière organique est la plus présente dans le fumier de chèvre.

Tableau N° 01 : Caractéristiques physico-chimiques des amendements organiques et de la terre utilisés pour le déroulement de l'essai

Paramètre	Terre non améliorée	Fumier de chèvre	Fumier de vache
Sables (%)	(98.75±1.68)	/	/
Limons+ Argile (%)	(1.24±0.12)	/	/
CaCO ₃ (%)	(16.32±3.08)	/	/
pH	(8.14±0.10)	(7,85±0.23)	(7.93±0.02)
CE (ms/cm)	(0.28±0.01)	(5,29±0.05)	(5.75±0.02)
Na (mg/kg)	(0.03±0.005)	(0.13±0.0005)	(0.22±0.00)
K (g/kg)	(traces ±0.000)	(0.32±0.07)	(1.11±0.009)
C _{organique} (g/kg)	(1.83±0.30)	(34,12±0.51)	(39,5 ±8.31)
N (g/kg)	(0.06±0.0003)	(4,18±0.03)	(0,39±0.008)

Source : (Benmaiza, 2022)

II.7. Les Conteneurs

Les conteneurs utilisées sont des pots en plastique caractérisés par : Hauteur 12 cm, diamètre 14 cm, couleur marron, une capacité de 1,5 kg, ils sont munis d'orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation des eaux en excès.

II.8. Le Matériel végétal

La variété de tomate utilisée dans notre expérimentation (*Heinz*), a été ramenée du commerce, elle est très cultivée en Algérie, connue comme variété très adaptée aux conditions du pays. Ses principales caractéristiques sont résumées dans le tableau N° 2

Tableau N° 02 : Caractéristiques de la variété utilisée.

Nom de la variété	Heinz
Type d'utilisation	Transformation industrielle (ketchup, sauce, concentré)
Forme du fruit	Ronde à légèrement aplatie
Poids moyen du fruit	100 à 150 g
Hauteur moyenne du fruit	4 à 5 cm
Couleur à maturité	Rouge vif
Texture de la chair	Chair ferme et épaisse, peu de graines
Cycle de culture	Précoce à semi-précoce
Rendement	Élevé (forte productivité par hectare)
Maturation	Uniforme, adaptée à la récolte mécanique
Adaptation climatique	Climat chaud ou tempéré
Résistance aux maladies	Bonne résistance au Verticillium et au Fusarium
Avantage principal	Haute teneur en matière sèche, bonne tenue à la transformation

Source : (Guinot, 2014) et (Hamado, 2020)

II.9. Préparation du substrat terre

Nous avons procédé à un mélange et un tamisage des terres collectées, afin d'éliminer les résidus indésirables et aussi pour une bonne homogénéité des particules granulométriques.

II.10. Doses d'amendements utilisées

Selon Lafrance (2007), l'apport de 30 à 50 tonnes/ha d'amendements organiques est favorable pour la croissance des cultures maraichères avec la condition que ces matières organiques

soient bien décomposées. Laumonier (1979), note que les cultures maraichères supportent mal les fumures organiques abondantes, et qu'il convient donc de leur réserver des terres ayant reçu un apport d'amendements organiques précédents leurs mise en terre.

II.10.1. Description des différentes doses de fertilisation

Pour la fertilisation, nous avons opté pour 3 doses (Traitements) comme suit :

- Le traitement noté (T) : qui représente le substrat terre non fertilisée, ou témoin.
- Le traitement (D1) : qui représente la terre à laquelle est apportée du fumier avec une quantité de 2,5 (g/kg). Et selon le type de fumier ajouté, les notations sont les suivantes : D1 FV pour la terre fertilisée 2,5 (g/kg) au fumier de vache et D1 FC pour la terre fertilisée avec 2,5 (g/kg) au fumier de chèvre.
- Le traitement noté (D2) : qui représente la terre à laquelle est apportée du fumier avec une quantité de 5 (g/kg). Et selon le type d'amendement ajouté, les notations sont les suivantes : D2 FV pour la terre fertilisée 5 (g/kg) au fumier de vache et D2 FC pour la terre fertilisée à 5 (g/kg) au fumier de chèvre.
- Le traitement noté (D3) : qui représente la terre à laquelle est apportée du fumier avec une quantité de 10 (g/kg). Et selon le type de fumier ajouté, les notations sont les suivantes : D3 FV pour la terre fertilisée 10 (g/kg) au fumier de vache et D3 FC pour la terre fertilisée avec 10 (g/kg) au fumier de chèvre.

Les apports de amendements organiques ont été effectués après avoir déterminé la densité (Unité de masse/unité de volume) du substrat terre non fertilisée.

II.10.2 Dispositif expérimental

Le protocole expérimental adopté au cours de notre expérience est une randomisation complète avec trois facteurs à différents niveaux :

- ✓ Facteur 1 est la variété avec 1 niveau (*Heinz*) ;
- ✓ Facteur 2 est le type d'amendement avec 3 niveaux (terre non fertilisée, fumier de chèvre et fumier de vache) ;
- ✓ Facteur 3 est la dose du fumier avec 4 niveaux ou traitements (T, D1, D2 et D3).

Le plan totalement randomisé (PTR) est réalisé avec trois répétitions pour chaque dose utilisée et à raison de 10 plants par contenant. L'avantage majeur du PTR est la simplicité des calculs et de l'analyse de la variance (ANOVA), notamment lorsque le nombre de répétitions n'est pas uniforme pour tous les traitements (Fieberg et al. 2020).



Figure N° 07 : Le dispositif expérimental.

II. Conduite de l'expérience et notations des mesures

II.11. La pré-germination

La pré-germination des graines de la tomate a été réalisée le 28/12/2024 dans des boîtes de pétri sur un papier absorbant humidifié avec de l'eau distillée. Les boîtes de pétri, sont placées en étuve à une température de 25 ± 1 (°C) jusqu'à l'apparition des racicules (**Figure08**).



Figure N° 08: Graines germées de *Heinz*.

II.12. Le repiquage et la levée

Le taux de germination des semences des deux variétés est de 100%. Les graines germées, sont repiquées dans les conteneurs, le 20/01/2025 au stade cotylédons étalés, à une profondeur de 2 à 3mm environ, à raison de dix graines germées par pot.

II.13. L'arrosage

Les jeunes plants sont ensuite régulièrement arrosés à l'eau de robinet, avec une dose similaire pour chaque plant et une fréquence de 2 à 3 fois par semaine.

II.14. Les Paramètres mesurés sur les plants

Nous avons effectué des mesures biométriques (de croissance et développement) des plants ainsi que des paramètres biochimiques et physiologiques, afin d'évaluer le comportement de (*Heinz*) vis-à-vis des amendements organiques considérés et leurs doses respectives.

Au cours de notre travail nous considérons plants, une plantule à un bon stade physiologique, au feuillage bien développé et brillant, à la tige non étiolée et au système racinaire remplissant bien la motte (**Delamarre, 2014**).

II.14.1. Mesure des paramètres de croissance des plants

Selon *Delamarre et al* (2014), la durée d'élevage de plants maraichers (du semis à la plantation) varie selon l'espèce et la variété ; elle est de 35 à 55 jours, notamment en fonction des possibilités de leurs écartements.

II.14.1.1. Hauteur des tiges des plants (cm)

Ce paramètre est mesuré en centimètre (cm) à l'aide d'une règle graduée, du collet jusqu'à l'apex. L'opération est réalisée à 30 jours, à 45 jours et à 60 jours, après le repiquage en pots des graines germées.

II.14.1.2. Longueur des racines des plants (cm)

Après 60 jours du repiquage des graines germées, la partie souterraine des plants est aussi mesurée en centimètre à l'aide d'une règle graduée.

II.14.1.3. Vitesse de croissance des tiges et des racines des plants

Ce paramètre est mesuré à la fin du travail expérimental. Le principe consiste à diviser la hauteur des tiges (cm) des plants ou la longueur de la racine des plants (cm) par le nombre de jours considérés (60 jours), la vitesse de croissance est alors exprimée en (cm/jours).

II.14.1.4. Indice de vigueur des plants

C'est un indicateur très important mesuré à la fin de l'expérimentation, qui permet de voir pour quel traitement le plant de tomate est le plus vigoureux (Radford, 1967). L'indice de vigueur (IV) est calculé par la relation suivante :

$$IV = (\text{Hauteur tige} + \text{Longueur racine}) \times \text{Taux de germination}$$

II.14.1. 5. Taux relatif moyen de développement des plants (T R M D)

Le taux relatif moyen de développement des plants, est un des outils utiles dans l'analyse quantitative de la croissance des plantes et leurs implications physiologiques (Radford, 1967). Il est déterminé par utilisation de l'équation suivante :

$$T R M D = [\text{Ln}(h_1) - \text{Ln}(h_2)] / (t_1 - t_2)$$

Où : Ln est le logarithme népérien, h_1 et h_2 sont les hauteurs des plants respectivement aux temps t_1 et t_2 .

Ce paramètre est mesuré à 30 jours, 45 jours et à 60 jours de l'expérimentation.

II.14.2. Mesure des paramètres biochimiques et physiologiques des plants

Ces paramètres sont mesurés au 60^{ème} jour à la fin du travail expérimental.

II.14.2.1. Dosage des sucres totaux (mg/g MF) :

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et *al.*, (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 5ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres et on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait. C'est la solution à analyser. Au moment du dosage on les place les tubes au bain-Marie pendant 30mn à 70°C pour faire évaporer l'alcool.

Dans des tubes à essais propres, on met 1ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée) ; on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% sous haute tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 640 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon des sucres solubles (exprimés en glucose, saccharose, fructose).

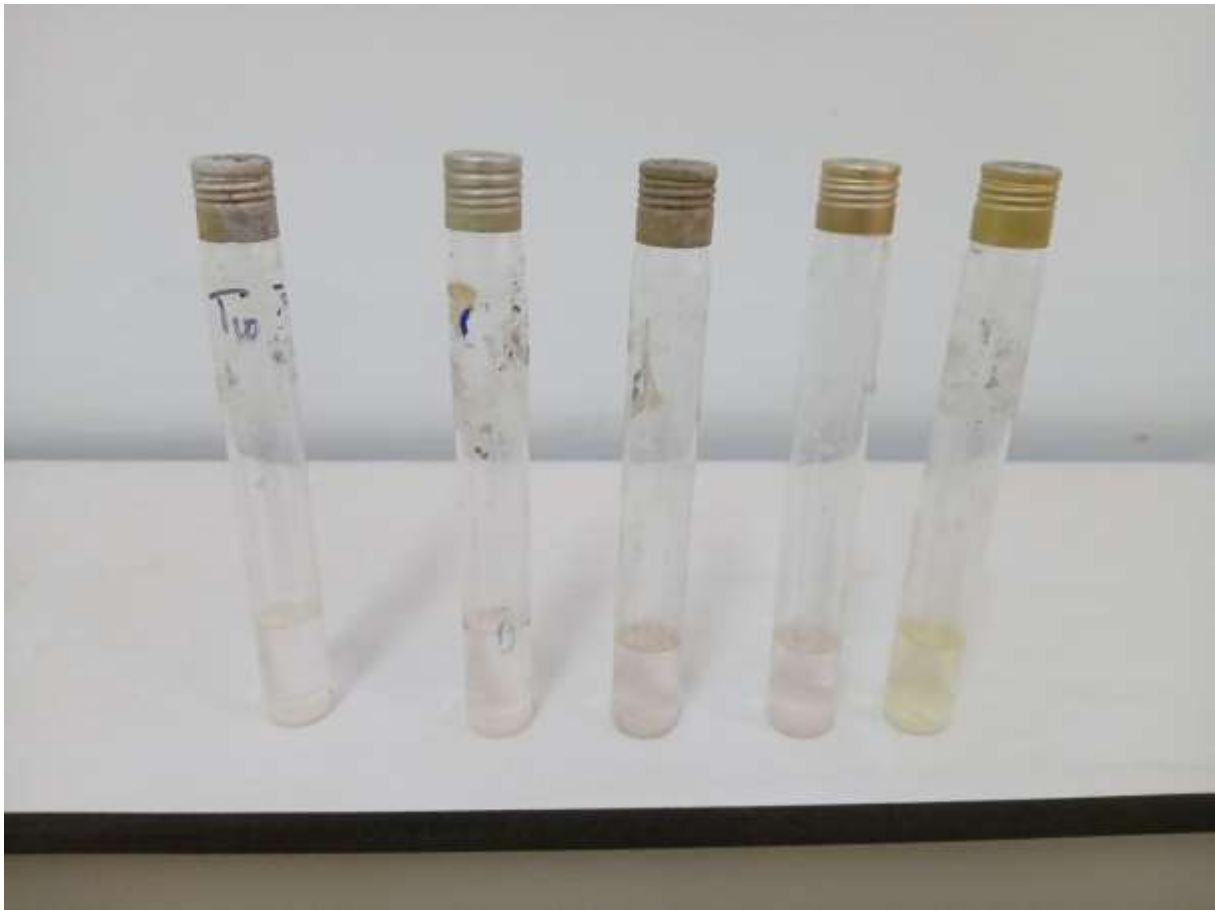


Figure N° 09 : Dosage des sucres totaux

II.14.2.2. Dosage de la chlorophylle (mg/g MF) :

Dans des tubes à essais, on ajoute sur 100 mg d'échantillon de feuilles fraîches des plants de tomate, coupées en petits fragments, 5ml d'acétone à 80% et on laisse macérer pendant 48 heures. Les concentrations de la chlorophylle totale sont déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre à des densités optiques respectives de 663 et 645 nm. L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 80 %. La concentration de la chlorophylle totale dans les feuilles fraîches est alors calculée à l'aide de formule suivante :

$$\text{La chlorophylle totale (mg/ g MF)} = 20,2 \text{ DO}(645) + 8,02 \text{ DO}(663)$$

DO : est la densité optique Spectre-photométrique.

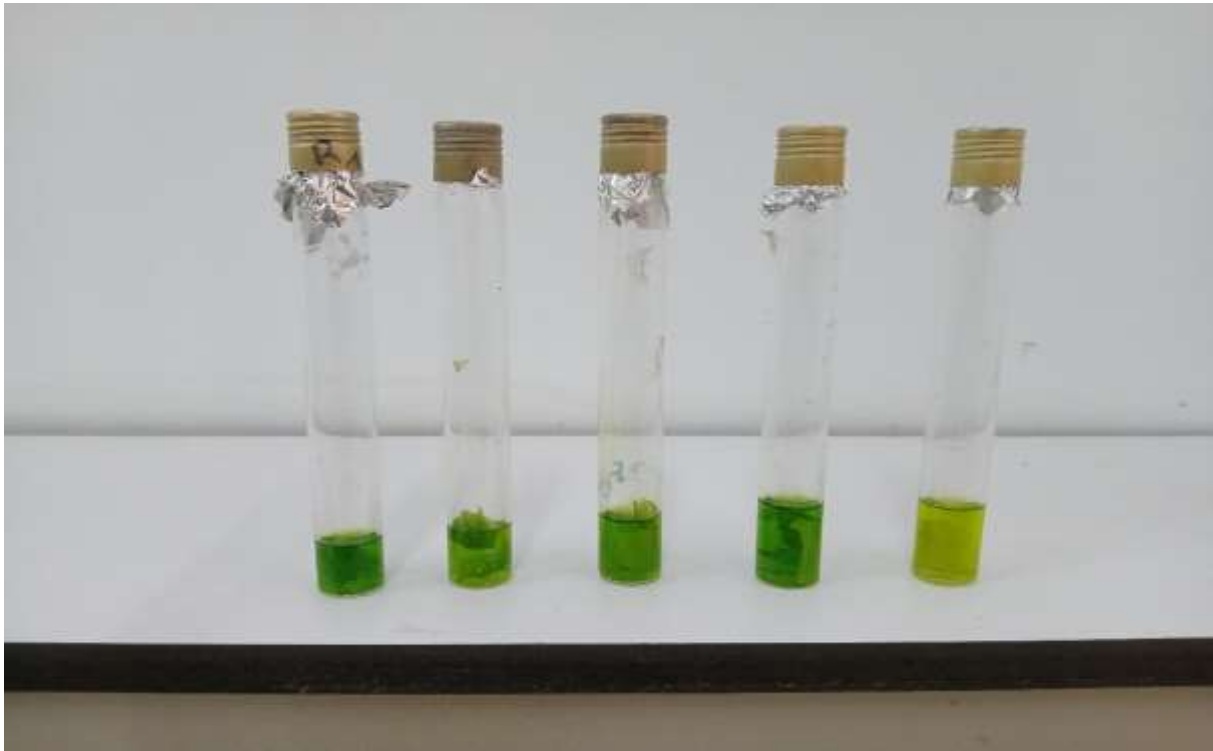


Figure N° 10 : Dosage de la chlorophylle

II.14.2.3. Dosage de la proline (mmol/g MF) :

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (El Jaafari, 1993). La méthode suivie est celle de Trolls et Lindsley, (1955), simplifiée et mise au point par Rasio et *al.*, (1987).

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60 mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut ajouter :

- 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) ;
- 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) ;
- 1 ml de mélange contenant :
 - 120 ml d'eau distillée ;
 - 300 ml d'acide acétique ;
 - 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 .d=1.7).

La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C, la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase

inférieure transparente sans proline). Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium Na_2SO_4 anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l'aide d'un spectrophotomètre (type 20D) sur une longueur d'onde de 528nm. Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une courbe étalon préalablement établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes.



Figure N° 11 : Dosage de la proline

II.15. Analyses statistiques des données

Les Paramètres mesurés sur les plants ainsi que ceux mesurés sur les substrats utilisés : terre non fertilisée, terre fertilisée et fumiers ont subi des analyses statistiques réalisées à l'aide des Logiciels Minitab 17et XLStat 2016.

Chapitre III
Résultats et Discussion

III.1. Paramètres de développement des plants de tomate

III.1.1. Hauteur de tige à 30 jours :

La figure N° 09, présente les hauteurs des tiges de *Solanum lycopersicum* à 30 jours de culture. Nous observons la hauteur moyenne la plus élevée 6,12cm avec D3FV. La plus faible hauteur moyenne 1,17 cm pour les plants fertilisés avec le témoin. Des valeurs intermédiaires sont observées avec les autres dose de fumiers. L'ANOVA révélé qu'il existe une différence significative ($P < 0,001$) et la formation de 5 groupes statistiques.

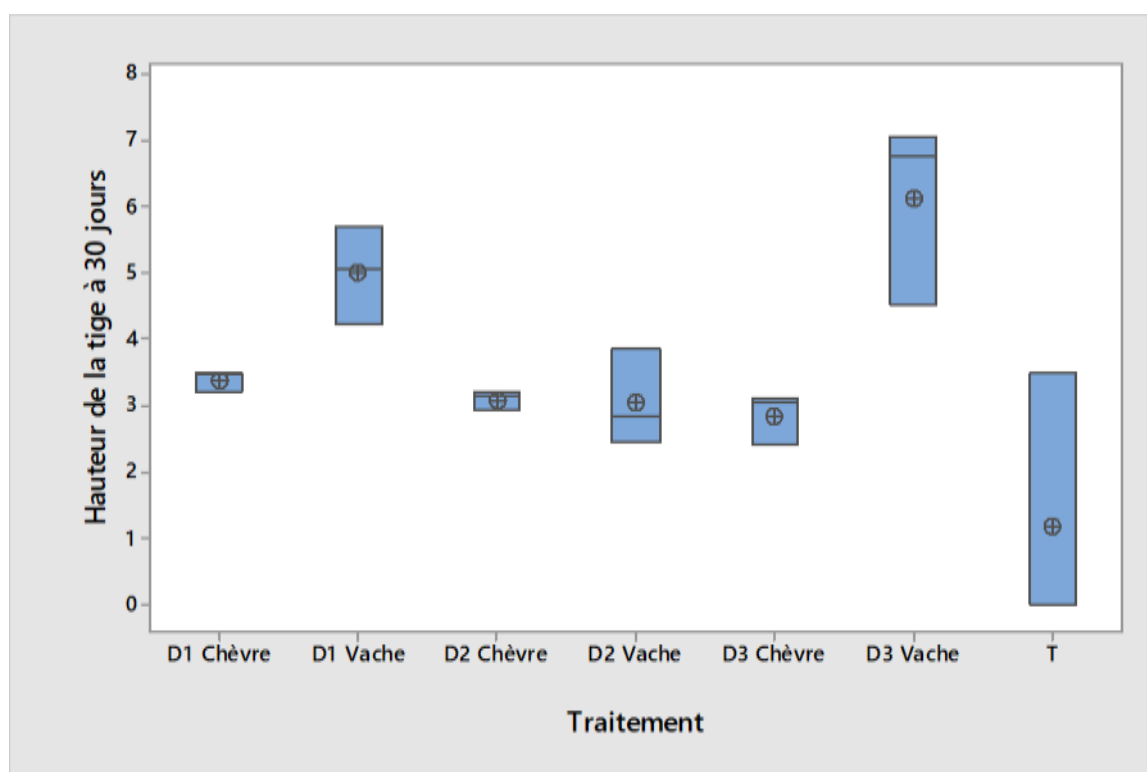


Figure N° 12 : Représentation de la hauteur des tiges des plants de la tomate Heinz à 30 jours de culture, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.1.2. Hauteur des tiges à 45 jours :

La figure N°10, présente les hauteurs des tiges de *Solanum lycopersicum* à 45 jour de culture. Nous observons la hauteur moyenne la plus élevée 9,45cm avec D3FV. La plus faible hauteur moyenne 2,8 cm pour les plants fertilisés avec le témoin. Des valeurs intermédiaires sont observées avec les autres dose de fumiers. L'ANOVA révélé qu'il existe une différence significative ($P < 0,001$) et la formation de 4 groupes statistiques.

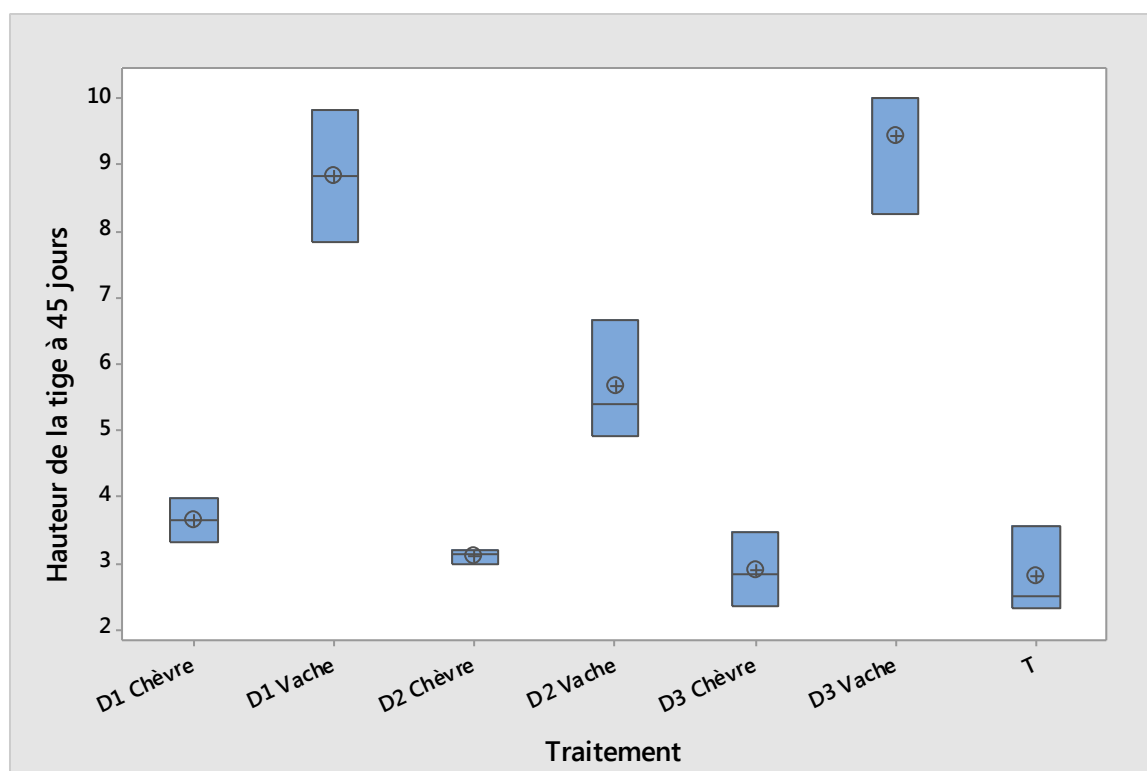


Figure N° 13 : Représentation de la hauteur des tiges des plants de la tomate Heinz à 45 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.1.3. Hauteur des tiges à 60 jours :

La figure N° 11, présente les hauteurs des tiges de *Solanum lycopersicum* à 60 jours de culture. Nous observons la hauteur moyenne la plus élevée 20.5 cm avec D3FV. La plus faible hauteur moyenne 2cm pour les plants fertilisés avec le témoin. Des valeurs intermédiaires sont observées avec les autres doses de fumiers. L'ANOVA a révélé qu'il existe une différence significative ($P < 0,001$) et formation de 3 groupes statistiques.

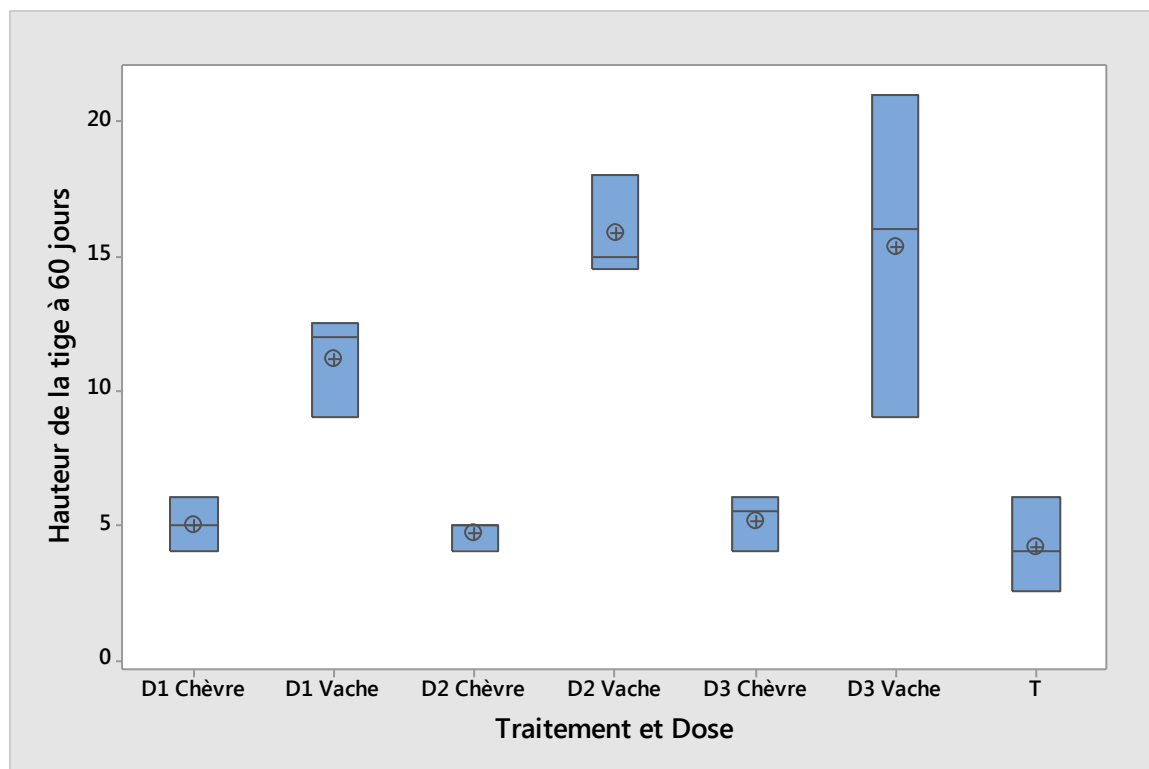


Figure N° 14 : Représentation de la hauteur des tiges des plants de la tomate Heinz à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.2. Vitesses de croissance

III.2.1. Vitesse de croissance des tiges

La figure N° 12, présente la vitesse de croissance des tiges. Nous observons la vitesse la plus élevée 0.239 cm/ jour enregistrée pour la dose D2FV. La plus faible vitesse est 0.063 cm/jour observée chez le témoin.

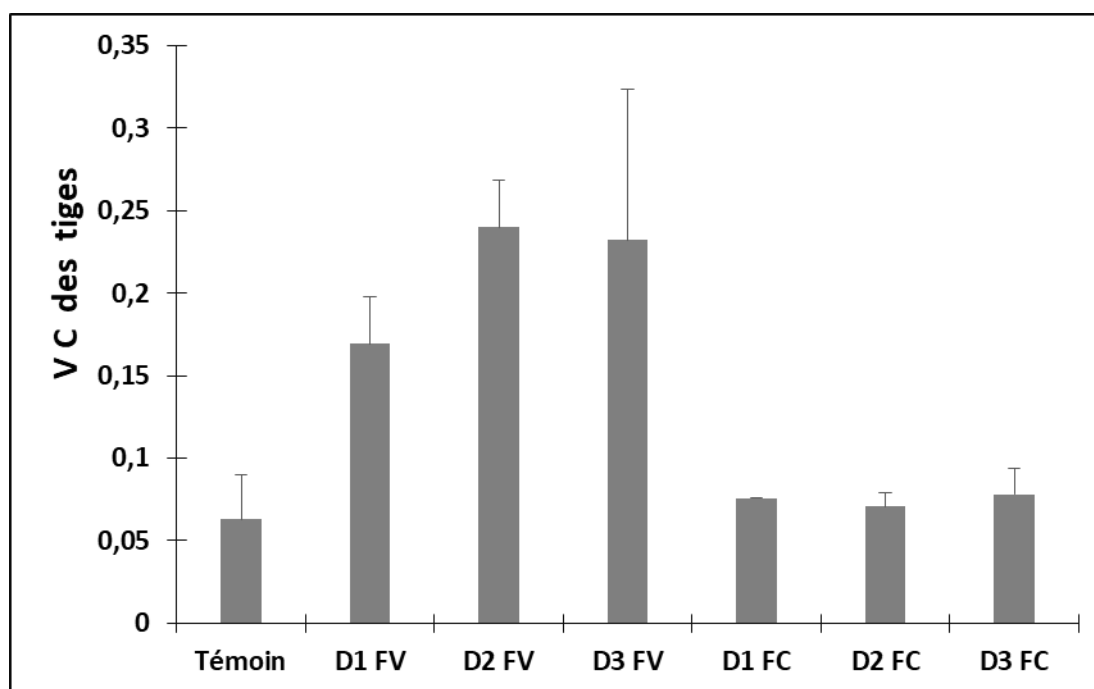


Figure N° 15 : Représentation de la vitesse de croissance des tiges, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.2.2. Vitesse de croissance des racines

La figure N° 13, présente la vitesse de croissance des racines. Nous observons la vitesse la plus élevée 0.17 cm/jour observée pour D3FV. La plus faible vitesse est 0.044 enregistrée avec la dose D2FC.

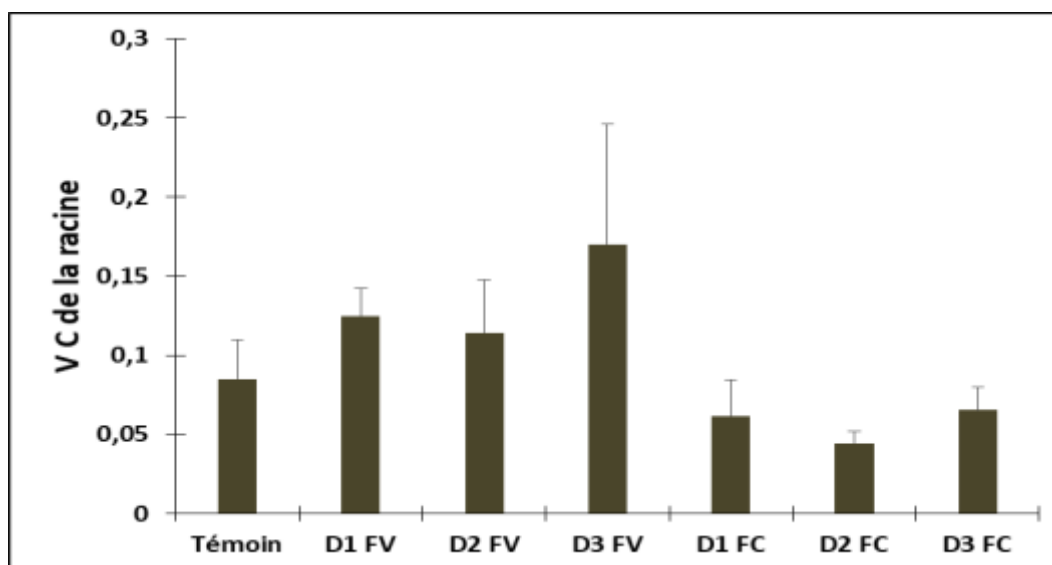


Figure N° 16 : Représentation de la vitesse de croissance des racines, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.3. Taux relatifs moyens de développement des plants

La figure N° 14, présente le taux relatifs moyen de développement des plants (période 01). Nous observons le TRMD le plus élevée 0.117 D1FV. Le plus faible TRMD 0.099 enregistré pour D2FC.

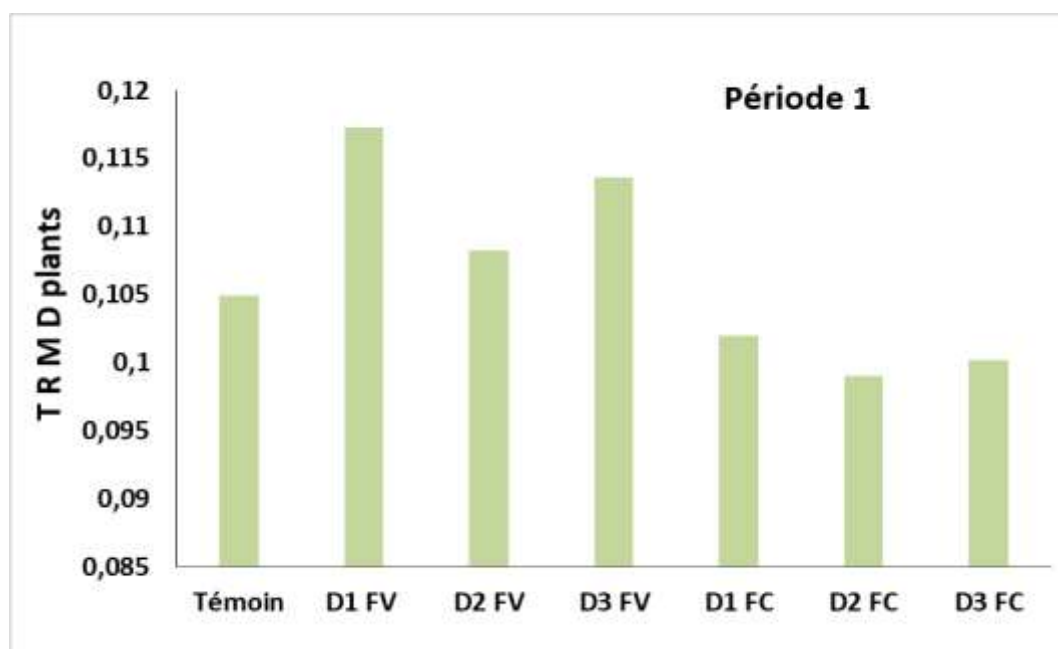


Figure N° 17 : Représentation de TRMD des plants de la tomate Heinz à 30 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

La figure N° 15, présente le taux relatifs moyen de développement des plants (période 02). Nous observons TRMD la plus élevée 0.33 D1FV. Le plus faible TRMD 0.008 est observé chez le témoin.

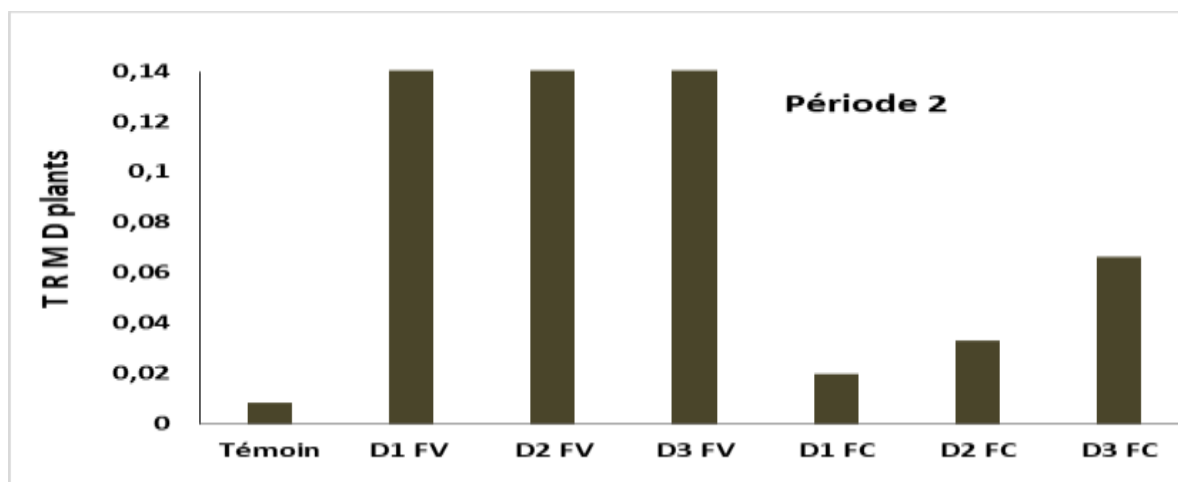


Figure N° 18 : Représentation de TRMD des plants de la tomate Heinz à 45 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

La figure N° 16, présente le taux relatifs moyen de développement des plants (période 03). Nous observons le TRMD le plus élevée 0.066 chez D2FV. Le plus faible TRMD 0.016 est noté pour la dose D1FV.

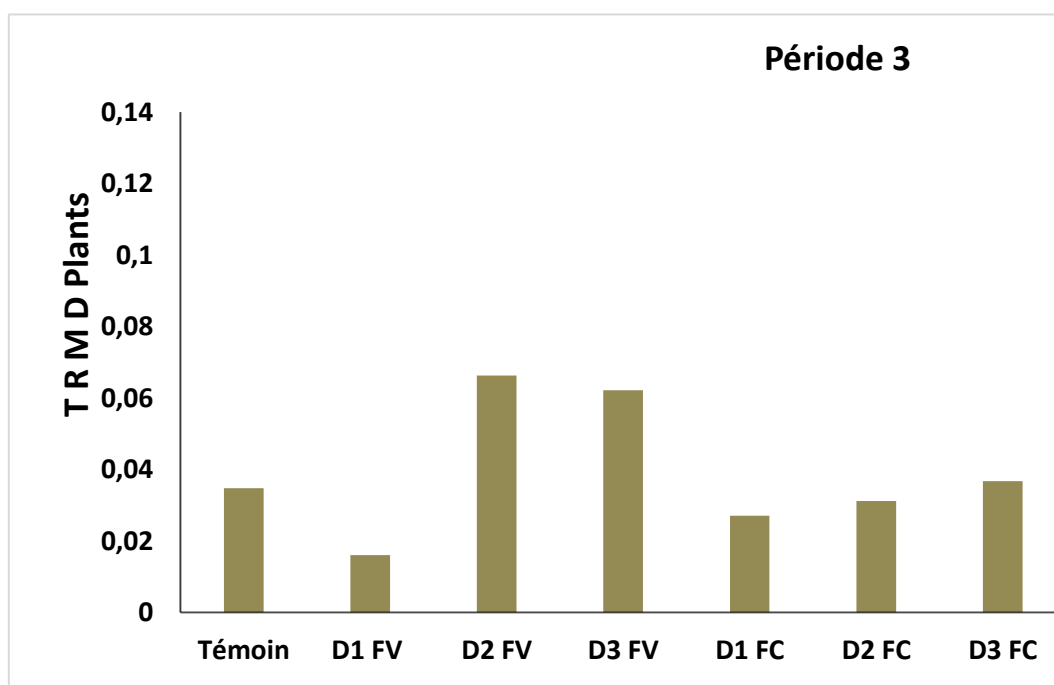


Figure N° 19 : Représentation de TRMD des plants de la tomate Heinz à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.4. Indice de vigueur des plants

La figure N° 17, présente les indices de vigueur des plants. Nous observons l'indice la plus élevée 26,56 pour la dose D3FV. Le plus faible indice est 7.6 noté pour D2FC.

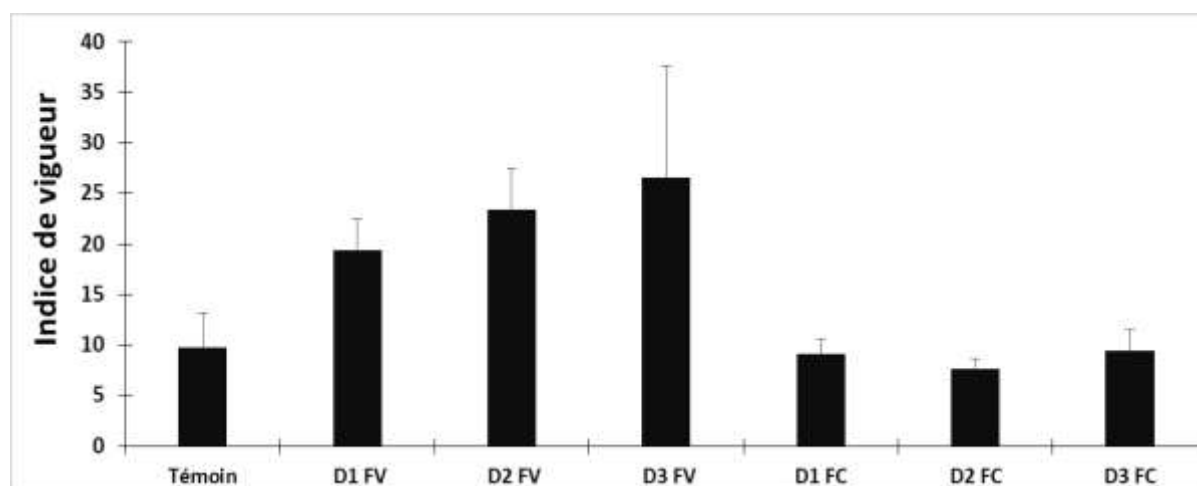


Figure N° 20 : Représentation de l'indice de vigueur des plants fertilisés avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.5. Paramètres physiologiques et biochimiques

III.5.1. Paramètre biochimique

III.5.1.1. Sucres totaux totale dans les feuilles des plants

La figure N° 18, présente le teneur de sucres totaux de *Solanum lycopersicum* à 60 jours de culture. Nous observons la dose la plus élevée 6,36 mg/g avec la dose D3FV. La plus faible teneur moyenne en sucres 1.43 mmol/g est notée pour les plants fertilisés avec D2FC. Des valeurs intermédiaires sont observées avec les autres dose de fumiers. L'ANOVA révélé qu'il existe une différence significative ($P < 0,001$) et la formation de 7 groupes statistiques.

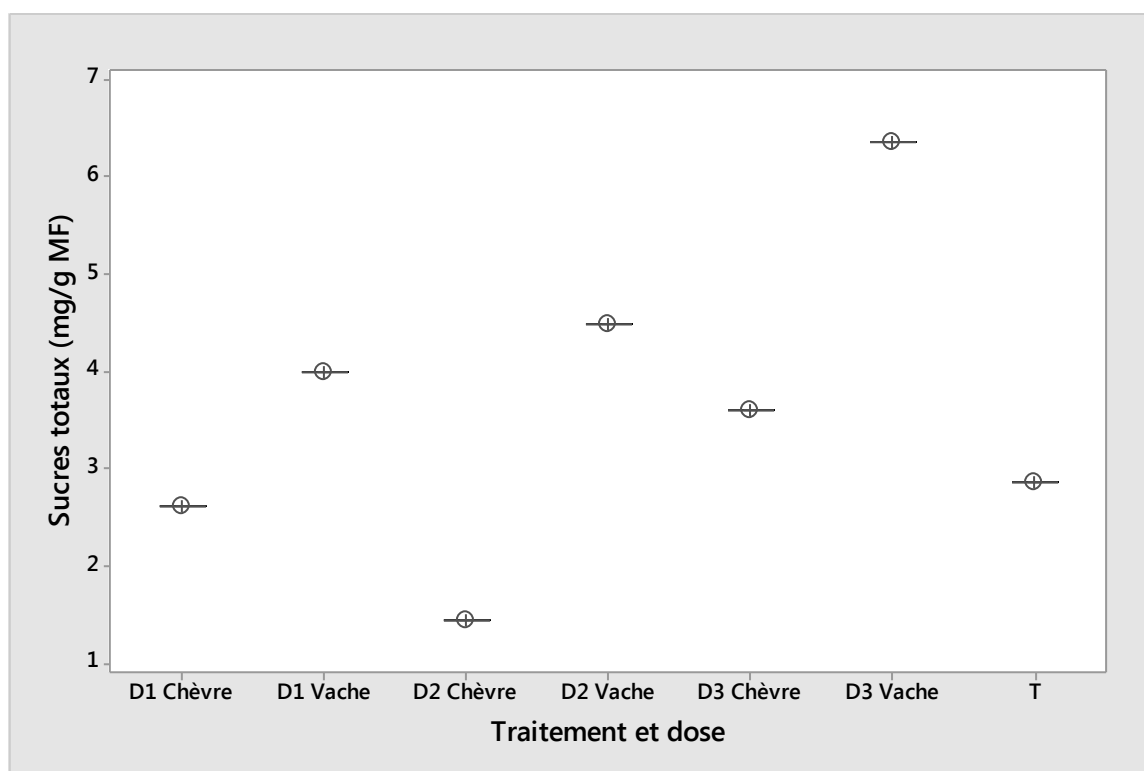


Figure N° 21 : Représentation de teneur de sucres totaux dans les plants de la tomate Heinz à 60 jours de culture, fertilisés avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.5.2. Paramètres physiologiques

III.5.2.1. Chlorophylle totale dans les feuilles des plants

La figure N° 19, présente le teneur de chlorophylle de *Solanum lycopersicum* à 60 jours de culture. Nous observons la teneur en chlorophylle, la plus élevée 46,62 mg/g avec le D2FV. La plus faible teneur moyenne de chlorophylle est 33,82 mg/g, notée pour les plants fertilisés avec le témoin. Des valeurs intermédiaires sont observées avec les autres dose de fumiers. L'ANOVA révéla qu'il existe une différence significative ($P < 0,001$) et la formation de 7 groupes statistiques.

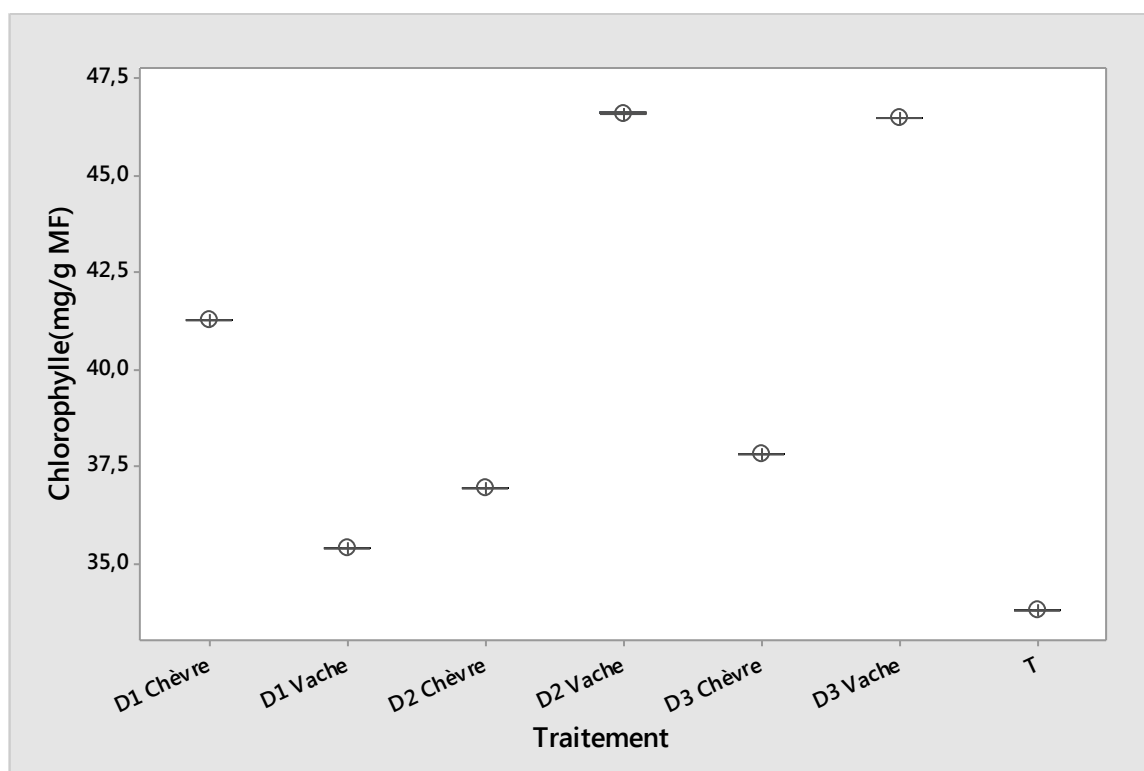


Figure N° 22 : Représentation de teneur de chlorophylle dans les plants de la tomate Heinz à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.5.2.2. Proline accumulée dans les feuilles des plants

La figure N° 20, présente le teneur de proline de *Solanum lycopersicum* à 60 jours de culture. Nous observons la dose la plus élevée 2,1 mmol/g avec le témoin. La plus faible concentration moyenne de proline 0,77 mmol/g est observée pour les plants fertilisés pour les plants fertilisés avec D2FC. Des valeurs intermédiaires sont observées avec les autres dose de fumiers. L'ANOVA révélé qu'il existe une différence significative ($P < 0,001$) et la formation de 7 groupes statistiques.

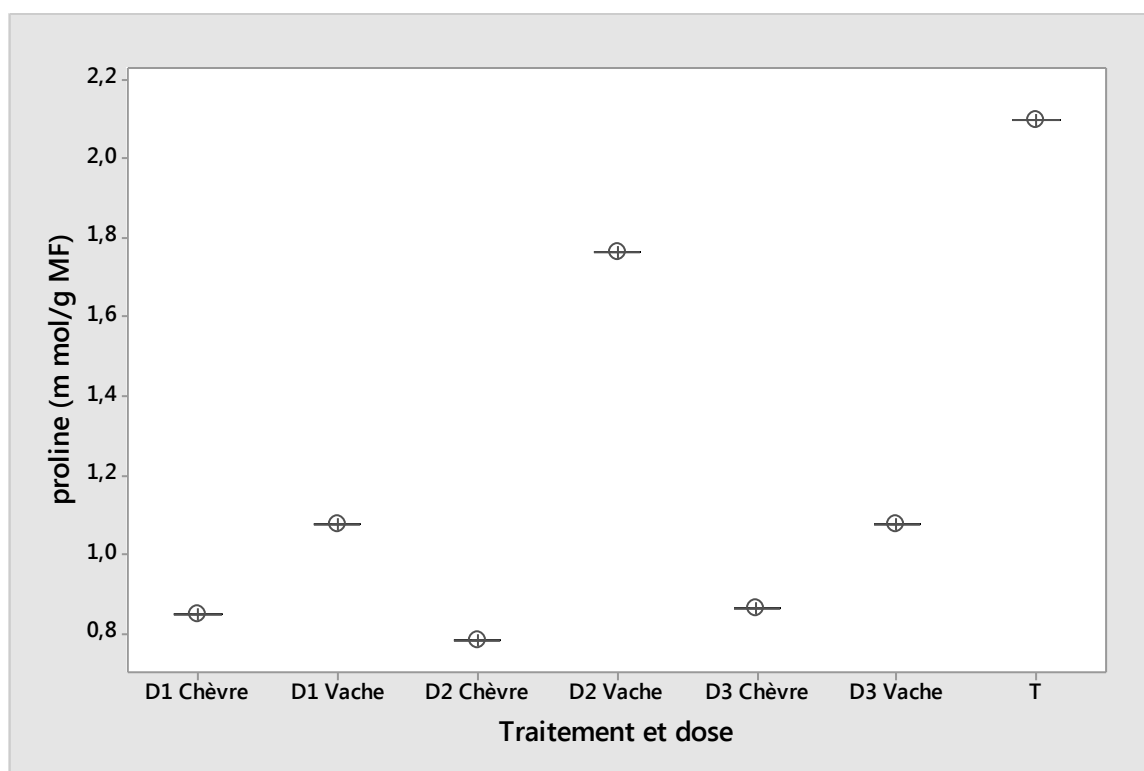


Figure N° 23 : Représentation de teneur de proline dans les plants de la tomate Heinz à 60 jours, fertilisée avec différentes doses de fumier de vache et de fumier de chèvre.

III.5.2.3. Analyse en composante principale

L'Analyse en composante principale a révélé que les paramètres **hauteur des tiges**, **longueur des racines** et **indice de vigueur** sont les plus corrélés avec les facteurs dose et type de fumier ; cependant la corrélation positive est accentuée et forte avec D2FC et est négative pour ces trois paramètres chez la variété *Heinz*, cette liaison serait notamment dû au carbone contenu dans ces deux doses D3 de fumier de vache, D2 Fumier de chèvre et le témoin.

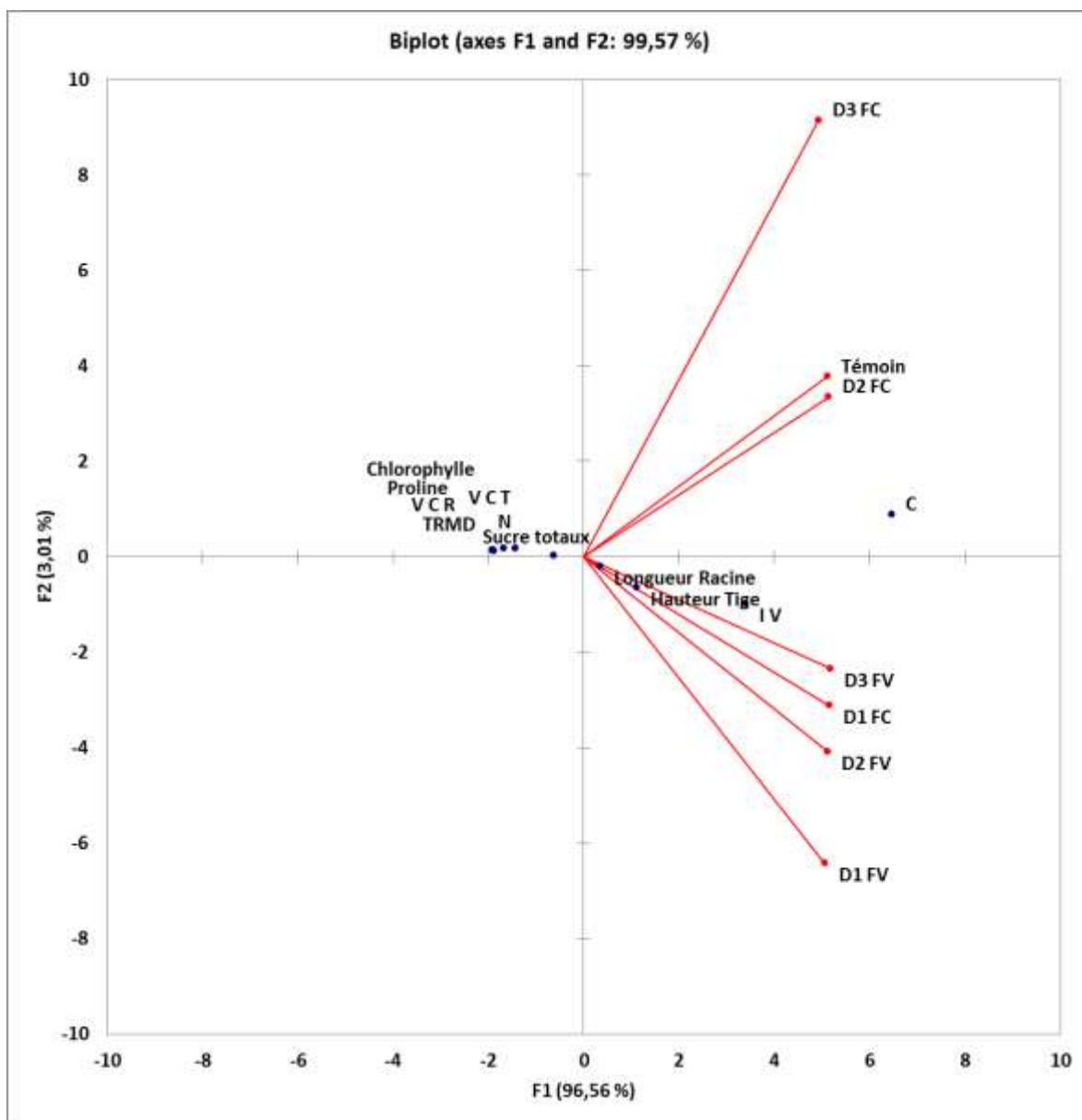


Figure 24 : Analyse en composante principale

Discussion

Discussion

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent de manière générale que l'apport d'engrais organiques, en particulier le fumier de vache, a eu un effet significatif et positif sur la croissance et la vigueur des plants de tomate de la variété Heinz.

La comparaison entre les différents traitements révèle que les doses modérées, notamment D2 (5 g/kg), offrent de meilleures performances par rapport aux faibles et fortes doses. Ce résultat est cohérent avec les observations de plusieurs auteurs (**Kitabala et al., 2016 ; Bationo et al., 2012**), qui soulignent qu'un excès de matière organique peut perturber l'équilibre nutritif du sol, tandis qu'une dose insuffisante ne permet pas de répondre pleinement aux besoins de la plante.

L'amélioration observée sur la hauteur de tige, la vitesse de croissance et l'indice de vigueur chez les plants fertilisés avec le fumier de vache peut être expliquée par la richesse de ce dernier en azote et en éléments minéraux facilement assimilables. En revanche, les plants fertilisés avec le fumier de chèvre ont montré une performance inférieure, ce qui peut être lié à une composition différente et à une minéralisation plus lente de ce type de fumure.

Les paramètres biochimiques (chlorophylle, sucres totaux, proline) confirment cette tendance. L'augmentation de la teneur en chlorophylle et en sucres totaux traduit une meilleure activité photosynthétique et un métabolisme plus dynamique, favorisant le développement végétatif. À l'inverse, la baisse des teneurs en proline chez les plants bien nourris suggère une réduction du stress physiologique, puisque la proline est souvent considérée comme un marqueur de stress abiotique tels que sécheresse, carences et salinité (**Dorais et al., 2001**).

Ces résultats rejoignent ceux obtenus par **Dorais et al. (2001)** et **Adams et al. (2001)**, qui indiquent que l'amélioration de la nutrition organique favorise à la fois la croissance et la résistance des plants. Ils confirment également que l'utilisation raisonnée des engrais organiques constitue une alternative durable aux engrais minéraux, dont l'usage excessif entraîne des effets négatifs sur la fertilité des sols et sur l'environnement.

Cependant, certains résultats doivent être interprétés avec prudence. Par exemple, la plus grande longueur racinaire a été observée chez le témoin non fertilisé, ce qui pourrait s'expliquer par une stratégie adaptative de la plante cherchant à explorer le sol à la recherche de nutriments (**Jones, 2008**). Cela montre que la réponse des plantes aux amendements n'est pas uniforme et peut varier selon les paramètres mesurés.

Discussion

En définitive, cette étude met en évidence l'importance d'optimiser le type et la dose d'amendements organiques. Le fumier de vache à dose modérée apparaît comme la meilleure option pour la production de plants vigoureux de tomate en conditions semi-arides comme celles de **Laghouat**. Ces résultats peuvent être valorisés dans le cadre de l'agriculture durable et contribuer à réduire la dépendance aux engrais chimiques.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de deux types de fertilisation organique le fumier de vache et le fumier de chèvre appliqués à différentes doses, sur la croissance, la vigueur et certains paramètres biochimiques des plants de tomate (*Solanum lycopersicum*, variété Heinz).

L'ensemble des résultats obtenus au cours de cette expérimentation montre que les amendements organiques ont un effet significatif et positif sur le développement des plants. Les meilleures performances ont été observées chez les plants traités avec le fumier de vache, notamment à des doses modérées à élevées (D2FV et D3FV), tant en termes de hauteur de tige, de vitesse de croissance, que de taux relatif de développement et d'indice de vigueur.

Les analyses biochimiques ont également confirmé ces tendances. Les plants ayant reçu un apport adéquat en fumier de vache ont présenté une teneur plus élevée en chlorophylle et en sucres totaux, traduisant une meilleure efficacité photosynthétique et un métabolisme plus actif. Par ailleurs, la baisse des niveaux de proline chez ces mêmes plants indique une réduction significative du stress physiologique.

Ces résultats confirment donc que l'utilisation raisonnée des fertilisants organiques constitue une alternative efficace et durable aux engrais chimiques. Elle permet non seulement d'améliorer la qualité des plants et leur capacité à se développer dans des conditions semi-arides, comme celles de la région de Laghouat, mais aussi de préserver la fertilité des sols à long terme.

Perspectives

Nos résultats ouvrent de nombreuses perspectives intéressantes de recherches en domaine de fertilisation des cultures maraichères mais également il serait intéressant de :

- Tester d'autres traitements (compost, fumiers de volailles...) sur la croissance des plants de tomate ;
- D'autres études devraient être menées avec d'autres cultures maraichères en pots et sur champs avec d'autres traitements dans des buts d'optimisation de production de plants maraichers.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2007). *History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae)*. In Razdan, M. K., & Mattoo, A. K. (Eds.), *Genetic improvement of solanaceous crops* (Vol. 2, pp. 1–27). Science Publishers.
2. Rick, C. M. (1990). Tomato: Past, present, and future. In J. Janick (Ed.), *Plant Breeding Reviews* (Vol. 8, pp. 1–28). Wiley
3. Adams, P., Ho, L. C., & Pearson, S. (2001). *Growth and development of the tomato plant*. In: Atherton, J. G., & Rudich, J. (Eds.), *The Tomato Crop* (pp. 111–156). Springer
4. Peet, M. M., Willits, D. H., & Gardner, R. (1998). Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 49(323), 1061–1068. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.323.1061>
5. Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *HortReviews*, 26, 239–319. <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch6>
6. Jones, J. B. (2008). *Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden* (2nd ed.). CRC Press.
7. FAO. (2023). *FAOSTAT: Tomato production in the world*. <https://www.fao.org/faostat/>
Gomez, P. (2019). *Économie de la production maraîchère sous serre au Maghreb*. Éditions INRA
8. Ryder, E. J. (1999). *Lettuce, endive and chicory*. CABI Publishing.
9. Vilmorin-Andrieux. (1885). *Les plantes potagères : description et culture des principaux légumes des climats tempérés*. Vilmorin.
De Candolle, A. (1883). *Origine des plantes cultivées*. Germer Baillière
10. Lebeda, A., Kristkova, E., Dolezalova, I., & Astley, D. (2004). *Lettuce genetic resources in Europe*. Bioversity International.
11. Wien, H. C. (1997). *The physiology of vegetable crops*. CABI Publishing.
12. Ryder, E. J. (1999). *Lettuce, endive and chicory*. CABI Publishing Production en algérie
13. Boudjellal, M. (2020). L'agriculture en Algérie: État des lieux et perspectives. *Algerian Agricultural Studies Journal*, 18(2), 45-60.
14. Zeroual, K. (2018). Les industries agroalimentaires en Algérie: Impact de la tomate transformée. *Journal of Agroindustrial Development*, 22(3), 89-104.

-
15. Chérif, H. (2019). La tomate: Un pilier de la sécurité alimentaire en Algérie. *Food Economics Review*, 15(4), 56-72.
 16. Benamar, T. (2021). L'exportation de produits agricoles: Le cas de la tomate en Algérie. *Economic Perspectives*, 10(1), 112-128.
 17. (Cherrad, 2016). Production et transformation de la tomate industrielle dans le bassin de Guelma : une filière en développement.
 18. (ANSES, Ciqual, 2020). (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). 2020. Table Ciqual 2020 : Composition nutritionnelle des aliments.
 19. (Romdhane et al., 2023). "Agronomic Performance and Nutraceutical Quality of a Tomato Germplasm Line Selected under Organic Production System.
 20. (Jones et al., 2014). « Guidelines to Use Tomato in Experiments with a Controlled Environment ».