



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 : BOUREGBA FATIMA ZOHRA

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : AMELIORATION DES PLANTES

Thème

**Contribution à l'amélioration de la production de tomate (*Solanum lycopersicum*
L.) par l'exploitation des résidus liquides de certaines matières
organiques**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom

Mme MARFOUA M.

Mme MALLEM H.

Mr SARIDI A.

Grade

Président

Examinatrice

Encadreur

Qualité

MCA

Pr

MCB

Année Universitaire 2024/2025

Remerciements

Avant tout, nous louons Dieu Tout-Puissant qui nous a accordé la force et la détermination nécessaires pour accomplir ce travail modeste.

Nous exprimons tout d'abord nos plus sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre encadrant, Monsieur Abdelkader Saridi. Ce fut un grand honneur et un réel plaisir de travailler sous sa direction. Nous le remercions vivement pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour ses encouragements, son humilité, son dévouement constant, ses orientations précieuses et ses conseils avisés.

Nous adressons également nos remerciements les plus chaleureux aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail. Leurs remarques et suggestions contribueront sans aucun doute à l'amélioration de ce mémoire.

Nous n'oublions pas de remercier l'ensemble des enseignants du département des sciences agricoles de l'Université Amar Telidji, qui ont contribué à notre formation et nous ont accompagnés tout au long de notre parcours dans la spécialité de l'amélioration des plantes, promotion 2025.

Nous tenons également à remercier très sincèrement les deux ingénieures de laboratoire, Mesdames Zahra et Rakia, pour leur aide précieuse, leur soutien constant et le temps qu'elles nous ont généreusement consacré malgré leurs propres responsabilités.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce travail modeste, fruit d'un effort soutenu et d'un engagement sincère, avec tout notre cœur et tout notre esprit.



Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Au phare de la science et de l'imam Mustafa à l'analphabète qui a enseigné aux instruits au maître de la création notre maître Mohammad, la paix soit sur lui.

Si Dieu a mis le paradis sous les pieds des mères, ce n'est pas pour rien.

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur .Mon cher mère..

Permettez-moi de vous exprimer mon grand amour, mon affection et ma profonde gratitude. Je suis tellement fière d'être votre fille et de pouvoir enfin réaliser ce que vous vouliez et attendiez de moi. Vous n'avez jamais cessé de déployer tous vos efforts pour répondre à nos besoins, nous encourager et nous aider à choisir la voie du succès. Votre patience, votre gentillesse, vos précieux conseils et votre confiance en moi ont été des facteurs décisifs dans ma réussite. Mon cher père.

A ceux qui les aiment dans mes veines et les guident dans leurs souvenirs, je me tourne A mes sœurs.

Nous parcourons ensemble la route qui mène au succès et à la créativité et nous travaillons main dans la main. Nous cueillons des fleurs et apprenons à mes amis (Hadjer, Djihad, zohra, Aicha) et à mes collègues. À ceux qui nous ont appris les lettres d'or et les mots et expressions des expressions les plus hautes et les plus belles de la science à ceux qui nous enseignent les lettres et leurs pensées phare nous éclairent la biographie de la science et le succès de nos professeurs distingués

FATIMA ZOHRA



Titre : Contribution à l'amélioration de la production de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) par l'exploitation des résidus liquides de certaines matières organiques

Résumé

Notre travail s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de l'effet de l'extrait de lactosérum en tant que fertilisant biologique et stimulateur naturel sur la croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.), en comparaison avec un produit homologué et un témoin non traité.

Cette étude vise à évaluer l'effet de l'utilisation du lactosérum en tant que biofertilisant et stimulateur naturel sur la croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.), en comparaison avec un produit homologué et un témoin non traité. L'expérimentation, d'une durée de trois mois, a été réalisée selon un dispositif de randomisation total, comportant trois traitements : lactosérum (PN), produit homologué (PH) et témoin (T), avec cinq répétitions chacun. Les résultats ont montré une nette supériorité du lactosérum dans l'amélioration des différents paramètres de croissance. En effet, la hauteur moyenne des plants traités au lactosérum a atteint 14,60 cm, contre 10,90 cm et 10,30 cm pour le produit homologué et le témoin, respectivement. Le nombre moyen de feuilles par plant était également plus élevé sous lactosérum (5,80 feuilles) comparé aux autres traitements (4,60 et 4,80 feuilles). De même, le poids frais total des plants sous lactosérum (1,430 g) a largement dépassé celui des autres traitements (0,750 g pour PH et 1,054 g pour T). Le produit homologué n'a pas montré d'effet significatif par rapport au témoin, suggérant une efficacité limitée dans ces conditions. Par ailleurs, une légère acidification du sol et une augmentation de la conductivité électrique ont été observées après traitement, témoignant d'une activité biologique accrue. L'efficacité du lactosérum est attribuée à sa richesse en composés bioactifs favorisant la croissance végétative et l'amélioration des propriétés du sol, ce qui est en fait une alternative naturelle prometteuse pour une agriculture durable. Néanmoins, des recherches complémentaires sont nécessaires pour évaluer son impact sur d'autres stades de développement et différentes cultures dans divers contextes environnementaux.

Mots-clés : lactosérum, tomate, *Solanum lycopersicum* L., biofertilisant, biostimulant, agriculture durable, croissance, propriétés du sol.

Title: Contribution to the improvement of tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) by the exploitation of liquid residues of certain organic materials

Summary

Our work falls within the framework of evaluating the effect of whey extract as a biological fertilizer and natural growth stimulator on the development of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.), in comparison with an approved product and an untreated control.

This study aims to evaluate the effect of using whey as a biofertilizer and natural stimulant on the growth of tomato (Pomodoro, *Solanum lycopersicum* L.), compared to a registered product and an untreated control. The experiment, lasting three months, was conducted using a completely randomized design, including three treatments: whey (PN), registered product (PH), and control (T), each with five replicates. The results showed a clear superiority of whey in improving various growth parameters. Indeed, the average height of plants treated with whey reached 14.60 cm, compared to 10.90 cm and 10.30 cm for the registered product and control, respectively. The average number of leaves per plant was also higher under whey treatment (5.80 leaves) compared to the other treatments (4.60 and 4.80 leaves). Similarly, the total fresh weight of plants treated with whey (1.430 g) greatly exceeded that of the other treatments (0.750 g for PH and 1.054 g for T). The registered product did not show a significant effect compared to the control, suggesting limited efficacy under these conditions. Moreover, a slight acidification of the soil and an increase in electrical conductivity were observed after treatment, indicating enhanced biological activity. The effectiveness of whey is attributed to its richness in bioactive compounds that promote vegetative growth and improve soil properties, making it a promising natural alternative for sustainable agriculture. However, further research is needed to assess its impact on other developmental stages and different crops in various environmental contexts.

Keywords: whey, tomato, Pomodoro, *Solanum lycopersicum* L., biofertilizer, biostimulant, sustainable agriculture, growth, soil properties.

المساهمة في تحسين إنتاج الطماطم (*Solanum lycopersicum* L.) من خلال استغلال المخلفات السائلة لبعض المواد العضوية." ملخص

يُدرج عملنا في إطار إلى تقييم تأثير مستخلص سائل الحليب (اللاكتوسيروم) كسماد حيوي ومحفز طبيعي على نمو نبات الطماطم (*Solanum lycopersicum* L.) ، وذلك بالمقارنة مع منتج معتمد وشاهد غير معالج.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير استخدام مصال اللين كسماد حيوي ومحفز طبيعي على نمو نبات الطماطم

(*Solanum lycopersicum* L.)، مقارنةً بمنتج معتمد وشاهد غير معالج. أُجريت التجربة التي استمرت لمدة ثلاثة أشهر وفق تصميم عشوائي

تَم، شملت ثلاثة معالجات: مصال اللين (PN) ، المنتج المعتمد (PH) ، والشاهد (T) ، مع خمس تكرارات لكل منها. أظهر النتائج تَوَافُقاً واضحاً

سائل الحليب في تحسين مختلف معايير النمو. نفي ميل المثال، بلغ متوسط ارتفاع النباتات المعالجة سائل الحليب 14.60 سم، مقابل 10.90 سم

و10.30 سم للمنتج المعتمد والشاهد على التوالي. كما كان متوسط عدد الأوراق لكل نبات أعلى تحت تأثير سائل الحليب (5.80 أوراق) مقارنةً

بالمعالجات الأخرى (4.60 و4.80 أوراق). وبالمثل، تجاوز الوزن الكلي للنباتات المعالجة سائل الحليب (1.430 جم) بشكل كبير ذلك الخاص

بالمعالجات الأخرى (0.750 جم للمنتج المعتمد و1.054 جم للشاهد). لم يظهر المنتج المعتمد تَوَافُقاً واضحاً دالة إحصائية مقارنةً بالشاهد، مما يشير

إلى فعالية محدودة في هذه الظروف. علاوة على ذلك، لوحظ تَمَحُّض طفيف في التربة وزيادة في التوصيلية الكهربائية بعد المعالجة، مما يدل على نشاط

بيولوجي متزايد. تُعزى فعالية سائل الحليب إلى غناه بالمركبات النشطة حيويًا التي تعزز النمو الخضري وتحسن خصائص التربة، مما يجعله بديلاً طبيعيًا

واعدًا للزراعة المستدامة. ومع ذلك، هناك حاجة إلى أبحاث إضافية لتقييم تأثيره على مراحل نمو أخرى ومحاصيل مختلفة في سياقات بيئية متنوعة.

النمور خصائص التربة، (*Solanum lycopersium* L.)

الزراعة المستدامة،

محفز حيوي،

السماد الحيوي،

الكلمات المفتاحية: سائل

الحليب ، الطماطم،

Liste des tableaux

Numéro de tableau	Titre	Page
Tableau 01	Production mondiale de la tomate	12
Tableau 02	Indices de production de tomate en Algérie	13
Tableau 03	Comparatif des avantages et inconvénients de l'eau lactée	21
Tableau 04	Les paramètres chimique du sol avant et après la culture	33
Tableau 05	Hauteur des plants (cm)	34
Tableau 06	Diamètre des tige (mm)	35
Tableau 07	Nombre de feuilles	35
Tableau 08	Poids frais tige	36
Tableau 09	Poids frais des feuilles	36
Tableau 10	Poids frais total	37
Tableau 11	Poids sec des tige	37
Tableau 12	Poids sec des feuilles	38
Tableau 13	Poids sec total	38

Liste des figures

Numéro de Figure	Titer	Page
Figure01	Premières images de tomate publiées	4
Figure02	La racine de la tomate	5
Figure03	La tige de la tomate	6
Figure04	La feuille de la tomate	6
Figure05	La fleur de la tomate	7
Figure06	Le fruit de la tomate	7
Figure07	Les graines de tomate	26
Figure08	Les produits naturel et homologué	27
Figure09	dispositif expérimental d'application des produits sur les plantes	27
Figure10	Application des produits naturels et homologué	28
Figure11	Les plantules de tomate à 75 jours après le semis	28
Figure12	Mesure de pH du sol	29
Figure13	Mesure de la conductivité électrique (CE)	29
Figure14	Dosage du calcaire total dans le sol	30

Liste des abreviations

ETM : Éléments Traces Métalliques

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

LAB : Bactéries Lactiques

RPGAA : Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture (à vérifier dans le contexte spécifique de ton travail)

T : Traitement témoin (sans apport)

PH : Traitement avec eau extraite du lait

PN : Traitement avec biostimulant naturel

CE : Conductivité électrique

pH : Potentiel hydrogène

G.H : Groupe homogène (résultat du test de Newman-Keuls)

ANOVA : Analyse de la variance

Cm : Centimètre

g : Gramme

ET : Écart type

% : Pourcentage

ETM : Éléments Traces Métalliques

GAMM : VERT Nom commercial (source d'image)

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

LAB : Bactéries Lactiques

L:innaeus (auteur botanique de la tomate)

EC : conductivité électrique

HCl : Acide chlorhydrique

CO₂ : Dioxyde de carbone

CaCO₃: Carbonate de calcium

NaCl: Chlorure de sodium

PN: Produit Naturel (lactosérum)

PH : Produit Homologué (Bio Super)

T : Témoin (non traité)

pH : Potentiel hydrogène (acidité ou basicité du sol)

STATBOX 7.2 :Logiciel d'analyse statistique

mL : millilitre cm centimètre

°C : degré Celsius % pourcentage

Table des matières

page

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA TOMATE

I.1. Origine et historique de la tomate	4
I.2. Classification de la tomate.....	4
I.2.1. Classification botanique	4
I.2.2. Division génétique	5
I.3. Caractérisation morphologique de la tomate.....	5
I.3.1. Le système racinaire	5
I.3.2. La tige.....	6
I.3.3. La feuille.....	6
I.3.4. Les fleurs	7
I.3.5. Le fruit.....	7
I.3.6. La grain.....	8
I.4. Cycle biologique de la tomate	8
I.4.1. Phase de germination	8
I.4.2. Phase de croissance.....	8
I.4.3. Phase de floraison et pollinisation.....	9
I.4.4. Phase de nouaison et fructification	9
I.4.5. Phase de développement et maturation des fruits	9
I.5. Les exigences climatiques et édaphiques.....	10
I.5.1. Les exigences climatiques	10
I.5.1.1. La température	10
I.5.1.2. L'eau et l'humidité.....	10
I.5.1.3. La lumière	10
I.5.2. Les exigences édaphiques	10
I.5.2.1. Le sol.....	10

I.5.2.2. Le pH.....	11
I.5.2.3. La salinité.....	11
I.6. Importance économique de la tomate.....	12
I.6.1. Situation de culture dans le monde.....	12
I.6.2. La tomate en Algéri.....	13
I.7. Culture de la tomate.....	13
I.7.1. Culture en plein champ	13
I.7.2. Culture sous abris	13

CHAPITRE II : LES BIOSTIMULANTS

II.1. Définition des biostimulants.....	15
II.2. Modes d'action des biostimulants.....	15
II.3. Les composants des biostimulants organiques.....	16
II.3.1. Acides humiques	16
II.3.2. Extraits d'algues.....	17
II.3.3. Acides aminés	17
II.4. Le niveau d'utilisation des biostimulants	18
II.4.1. Dans le monde.....	18
II.4.2. En Algérie.....	18
II.5. Quelques exemples des biostimulants naturels.....	19
II.5.1. L'eau lactée	19
II.5.1.1. Définition.....	19
II.5.1.2. Composition.....	19
II.5.1.3. Mode d'utilisation	19
II.5.1.4. Traitement lacté des plants de tomate.....	20
II.5.1.5. Avantages de l'eau lactée pour les plants de tomate.....	20
II.5.2. Le lactosérum.....	21
II.5.2.1. Définition.....	21
II.5.2.2. Différents types de lactosérum	21
II.5.2.3. Valorisation du lactosérum.....	22
II.5.2.4. Utilisation du lactosérum à l'état brut	22
II.6. Évaluation du risque des biostimulants	23

PARTIE EXPERIMENTALES

CHAPITRE III:MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. Objectif.....	26
III.2. Matériels biologiques utilisés.....	26
III.2.1. Semences de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	27
III.3. Conditions expérimentales.....	27
III.4. Dispositif expérimental.....	27
III.5. Conduite de culture et méthodes.....	28
III.6. Paramètres mesurés.....	28
III.6.1. Paramètres du sol.....	29
III.6.1.1. Mesure du pH.....	29
III.6.1.2. Mesure de la conductivité électrique (CE).....	29
III.6.1.3. Dosage du calcaire total (CaCO_3).....	30
III.6.2. Paramètres morphologiques des plantes.....	31
III.6.2.1. Hauteur des plantes (cm).....	31
III.6.2.2. Diamètre de tige (mm).....	31
III.6.2.3. Nombre de feuilles.....	31
III.6.2.4. Poids frais total (tiges + feuilles).....	31
III.6.2.5. Poids sec des tiges et des feuilles.....	31
III.7. Analyses statistiques.....	31

CHAPITRE IV: RESELTATS ET DESSCUTION

IV.1. RESULTATS.....	33
IV.1.1. Les analyses chimiques du sol.....	33
IV.1.2. La hauteur des plants.....	34
IV.1.3. Diamètre des tiges.....	35
IV.1.4. Nombre de feuilles.....	35
IV.1.5. Poids frais tige.....	36
IV.1.6. Poids frais des feuilles.....	36
IV.1.7. Le poids frais total.....	37
IV.1.8. Le poids sec des tiges.....	37
IV.1.9. Poids sec feuilles.....	38

IV.1.10. Le poids sec total.....	38
IV.2. DISCUSSION	39
CONCLUSION.....	43
LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	44
ANNEXES	

INTRODUCTION

La tomate (*Solanum lycopersicom*), est une plante annuelle de la famille des solanacées originaire du Mexique (DEBY, 1853). La tomate est après la pomme de terre, l'espèce légumière la plus importante, représentant environ 15% de la production mondiale et près du tiers des surfaces consacrées aux légumes. Elle est répartie sur tous les continents dans toutes les zones climatiques car elle est cultivée sous abris dans les régions les plus froides (MARCHOUX et al, 2008).

L'agriculture orientée vers la production de légumes constitue l'un des principaux secteurs de la production agricole en Algérie. Au cours des dernières décennies, elle a connu une expansion significative, notamment dans les régions du Sud. Selon les données statistiques, la superficie totale consacrée à la culture maraîchère a atteint environ 417 000 hectares en 2022, contre 363 000 hectares en 2005, ce qui reflète un développement notable de ce secteur (IndexBox, 2023). Par ailleurs, ces dernières années ont vu le lancement de projets stratégiques d'envergure, dont un méga-projet s'étendant sur 1 000 hectares pour la production de tomates sous des systèmes modernes dans le Sud algérien, visant à soutenir les exportations et à créer des emplois (Bladi.net, 2024).

La biostimulation des plantes représente une option prometteuse pour les agriculteurs souhaitant pérenniser leur activité et progresser vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Les biostimulants jouent un rôle de plus en plus important en tant qu'outils agronomiques contribuant à la réduction de l'usage des engrais chimiques. Ils permettent d'améliorer les rendements des cultures ou de limiter les pertes liées aux stress abiotiques (Cataldo et al., 2022).

Les biostimulants sont composés de substances organiques et inorganiques, dont de nombreux composants restent encore mal identifiés. Pour comprendre leur mode d'action au niveau moléculaire, on a recours aux approches « omiques », qui permettent d'analyser les modifications du transcriptome, du protéome et du métabolome chez les plantes traitées (Franzoni et al., 2022).

Dans ce cadre, notre étude a utilisé la tomate comme plante modèle afin de tester les effets d'un produit naturel (le lactosérum), en comparaison avec un produit homologué, sur la croissance, dans le but d'évaluer leur efficacité respective et leur impact sur les premières phases de développement de la plante.

Afin de mieux présenter ce travail, le document est structuré en quatre chapitres complémentaires :

- Le premier chapitre est consacré à l'importance économique et agronomique de l'espèce végétale étudiée.
- Le deuxième chapitre traite des généralités relatives aux résidus liquides de matières organiques, en mettant en évidence leur rôle potentiel dans le cadre de l'agriculture durable.
- Le troisième chapitre décrit le matériel utilisé ainsi que la méthodologie expérimentale adoptée.
- Enfin, le quatrième chapitre présente une synthèse des résultats obtenus, suivie d'une conclusion et de propositions pour d'éventuels travaux futurs.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LA
TOMATE

I.1. ORIGINE ET HISTORIQUE

Les tomates sont originaires de la région des Andes en Amérique du Sud, où elles ont été d'abord domestiquées au Mexique. Elles ont ensuite été introduites en Europe en 1544, d'où leur culture s'est propagée vers des régions telles que l'Asie du Sud et de l'Est, l'Afrique et le Moyen-Orient. Plus tard, certaines variétés de tomates sauvages ont été introduites dans d'autres régions d'Amérique du Sud et du Mexique (SHANKARA *et al.*, 2005).



Figure 01: Premières images de tomate publiées. (A) Image publiée par Dodoens en 1553., (B) Planche de tomate dessinée par Mattioli en 1590, Tiré de Daunay *et al.*, (2007),

I.2. CLASSIFICATION DE LA TOMATE

I.2.1. Classification botanique

Selon MUNROE et SMALL (1998), Linné a attribué à la tomate, en 1753, le nom scientifique *Solanum lycopersicum* L, qui se traduit par "pêche de loup" (du latin *lucos* signifiant loup et *persica* signifiant pêche). Il proposa également une classification botanique classique basée sur ce nom.

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-Embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Ordre : Solanales
- Famille : Solanaceae
- Genre : *Solanum*
- Espèce : *Solanum lycopersicum* L.

I.2.2. Division génétique

Les variétés de tomates sont classées en deux catégories selon le mode de fécondation

a) Les variétés fixées

À travers le monde, des centaines de variétés fixées de tomate ont été développées par sélection massale ou individuelle, particulièrement avant l'essor des hybrides F1. Ces variétés, dites lignées pures, sont prisées pour leur stabilité phénotypique, leur adaptabilité locale et leur capacité à être reproduites sans perte de caractères. À titre d'exemple, plus de 200 variétés fixées de tomate sont recensées dans les banques de gènes et les catalogues de semences traditionnelles, notamment dans les pays méditerranéens où elles constituent une ressource génétique précieuse pour la sélection moderne (Bai & Lindhout, 2007)

b) Variétés hybrides

Ces variétés se caractérisent par un effet hétérosis, qui permet l'accumulation de gènes favorables, tels que la résistance aux maladies, et une meilleure nouaison, en particulier dans des conditions environnementales difficiles (CHAUX et FOURY, 1994).

I.3. CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE LA TOMATE

La tomate est une plante annuelle, herbacée, recouverte de poils, avec des feuilles odorantes. Sa forme peut être arbustive, buissonnante ou retombante selon les variétés. Elle peut atteindre une hauteur de 40 cm à plus de 2 mètres (POLESE, 2007).

I.3.1. Le système racinaire

Forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50cm ou plus. La racine principale produit une densité de racines latérale et adventices.

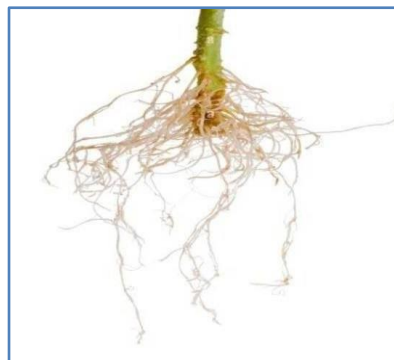


Figure 2 : La racine de la tomate (ALAMY, 2016).

I.3.2. La tige

La croissance de la tige varie entre érigée et prostrée, et elle peut atteindre une longueur de 2 à 4 mètres. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire (SHANKARA et al., 2005).



Figure 3 : La tige de la tomate (Originale).

I.3.3. La feuille

La feuille de la tomate est composée et ses dimensions varient selon les stades de croissance. En général, les deux ou trois premières feuilles sont petites et possèdent très peu de folioles, suivies par des feuilles normales qui sont plus longues que larges et peuvent atteindre jusqu'à 0,5 m de long (VALIMENZIGHA, 2006).



Figure 4 : la feuille de la tomate (Originale,).

I.3.4. Les fleurs

Les fleurs sont petites, jaunes et en forme d'étoile, regroupées en grappes sur le même pédoncule. Elles apparaissent généralement de manière régulière sur la tige chaque fois que la plante a produit trois feuilles. (Dans des conditions favorables, la plante continue de croître en produisant de nouvelles feuilles et des grappes de fleurs). L'ovaire de la tomate est supérieur (situé au-dessus du calice) et se compose généralement de deux loges ou carpelles, bien que certaines variétés puissent en avoir trois ou cinq (POLESE, 2007).



Figure 5 : La fleur de la tomate (GAMM VERT,2022).

I.3.5. Le fruit

Le terme "tomate" désigne également le fruit de cette plante, qui est une baie, c'est-à-dire un fruit charnu contenant des graines appelées pépins. Ces pépins sont entourés d'une substance gélatineuse résultant de la gélification de l'enveloppe de la graine. Bien que les fruits soient traditionnellement sphériques et rouges, ils peuvent varier en taille, couleur et forme. Il existe ainsi des variétés blanches, jaunes, orange ou même noires et violacées (POLESE, 2007).



Figure 6 : Le fruit de tomate .

I.3.6. La graine

Les graines sont de forme ovoïde et aplatie, mesurant entre 3 -5 mm × 2-4 mm, de couleur beige et recouvertes de poils, avec l'embryon enroulé dans l'albumen (GRUBBEN et *al.*, 2004).

I.4. LE CYCLE BIOLOGIQUE DE LA TOMATE

Selon GALLAIS et BANNEROT (1992), la durée du cycle complet de la tomate, de la graine jusqu'à la production de nouvelles graines, varie en fonction de la variété, de la période de culture et des conditions environnementales. En moyenne, ce cycle dure de 3,5 à 4 mois, avec une phase de 7 à 8 semaines de la graine à la floraison, et de 7 à 9 semaines de la floraison à la maturation du fruit.

Le cycle de vie de la tomate se compose de cinq phases principales.

I.3.5. Phase de germination

Après le semis, les graines de tomate commencent à germer en six jours lorsque la température optimale du sol se situe entre 20 et 25°C. À ce stade, une racine pivotante mince apparaît, accompagnée de deux cotylédons ovales. Les premières feuilles commencent à se développer sur la tige principale, avec un nombre variant généralement entre 7 et 14, avant que l'apex ne se transforme en inflorescence terminale (GRUBBEN et *al.*, 2004).

I.3.6. Phase de croissance

Selon LAUMONIER (1979), la croissance de la tomate se déroule en deux phases distinctes, selon le milieu : En pépinière : Cette phase dure jusqu'à l'apparition de six feuilles, période durant laquelle la plante développe un système racinaire fonctionnel, assurant son alimentation en eau et en nutriments essentiels. Après la transplantation en plein champ ou sous serre : À partir du stade de six feuilles, la plante est transférée de la pépinière pour être repiquée en plein champ ou sous serre. Elle poursuit alors sa croissance, avec un allongement progressif de la tige et une augmentation du nombre de feuilles.

I.3.7. Phase de floraison et pollinisation

Cette phase marque la transition du stade végétatif au stade reproducteur, avec l'apparition des bourgeons floraux. L'apex s'élargit et s'aplatit, laissant apparaître des protubérances qui formeront les différentes pièces florales. Ces structures évoluent ensuite en boutons floraux, qui finissent par éclore en fleurs. Le développement floral est influencé par plusieurs facteurs, notamment : La photopériode (durée d'exposition à la lumière), La température, La disponibilité des nutriments. Dans des conditions optimales, les premières inflorescences en grappes apparaissent 6 à 7 semaines après le semis. Durant cette période, la température idéale doit être de 13°C la nuit et 23°C le jour. La pollinisation repose sur l'intervention de facteurs externes, tels que le vent ou certains insectes pollinisateurs comme le bourdon, dont les vibrations provoquent la libération du pollen, favorisant ainsi la fécondation (CHAUX et FOURY, 1994).

I.3.8. Phase de nouaison et de fructification

La nouaison est un processus biologique complexe qui englobe la gamétogenèse, la pollinisation, la croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules, puis le développement des fruits, connu sous le nom de fructification. Le délai entre la pollinisation et la fécondation est de 2 à 3 jours. Pour assurer une bonne nouaison, la température nocturne doit être comprise entre 13°C et 15°C, tandis que des nuits chaudes dépassant 22°C peuvent nuire à ce processus et réduire le taux de nouaison (REY et COSTAES, 1965).

I.3.9. Phase de développement et de maturation des fruits

La maturation des fruits se manifeste par plusieurs changements, notamment l'augmentation de leur taille et la transformation de leur couleur du vert au rouge, signe de leur maturité complète. Une lumière intense joue un rôle clé dans la stimulation de la synthèse des hydrates de carbone, qui sont rapidement transportés vers les fruits en croissance. Pour assurer une maturation optimale, il est essentiel que la température soit de 18°C la nuit et 27°C le jour, créant ainsi des conditions favorables au bon développement des fruits (REY et COSTAES, 1965).

I.5 . LES EXIGENCES CLIMATIQUES ET EDAPHIQUES DE LA TOMATE

La tomate est une plante particulièrement sensible aux conditions climatiques. Elle ne tolère pas le froid, est vulnérable au gel et aux vents chauds, et nécessite des températures adaptées pour assurer une croissance optimale et une bonne production (POLESE, 2007).

I.5.1. Les exigences climatiques

I.5.1.1. La température

La température idéale pour la culture de la tomate se situe entre 21 et 24°C. Bien que la plante puisse supporter certaines variations thermiques, des températures inférieures à 10°C ou supérieures à 38°C peuvent provoquer des dommages aux tissus végétaux. Un équilibre thermique entre le jour et la nuit est essentiel pour garantir une croissance harmonieuse et une bonne nouaison des fruits (SHANKARA *et al.*, 2005).

I.5.1.2. L'eau et l'humidité

La tomate n'est pas très exigeante en précipitations, préférant un climat sec avec un apport d'eau régulier par irrigation. Elle requiert un apport hydrique de 5 mm par jour entre la plantation et la floraison, puis 10 mm par jour de la floraison jusqu'à la récolte, afin de favoriser le bon développement des fruits (NYABYENDA, 2007).

I.5.1.3. La lumière

La lumière joue un rôle essentiel dans le développement de la tomate. Une intensité lumineuse inférieure à 11 000 lux peut entraîner un ralentissement de la croissance et un retard de la floraison. Cependant, la tomate n'est pas influencée par la durée du jour et peut fructifier sous des photopériodes variant de 7 à 19 heures (GRUBBEN *et al.*, 2004).

I.5.2. Les exigences édaphiques

I.5.2.1. Le sol

La plante de tomate peut se développer dans la majorité des types de sols, à condition que ceux-ci présentent une bonne capacité de rétention en eau ainsi qu'une aération suffisante. Toutefois, les sols limoneux profonds et bien drainés sont les plus adaptés à la culture de la

tomate, car ils offrent un environnement favorable au développement racinaire. La couche superficielle du sol doit être perméable à l'eau et à l'air pour assurer une bonne croissance des racines. Dans les sols argileux lourds, un labour en profondeur est recommandé afin d'améliorer l'aération et de favoriser la pénétration des racines. Par ailleurs, l'apport de matière organique contribue à stimuler la croissance de la plante en améliorant les propriétés physiques et chimiques du sol. Cependant, les sols très riches en matière organique, comme les sols tourbeux, sont moins appropriés en raison de leur forte capacité de rétention en eau, ce qui peut nuire à l'aération et limiter la disponibilité des éléments nutritifs essentiels (Shankara et al., 2005).

I.5.2.2. Le pH

La tomate nécessite un pH équilibré, idéalement compris entre 6,0 et 7,0, pour une absorption optimale des nutriments. Tout écart important par rapport à cette plage, qu'il soit en baisse ou en hausse, peut entraîner des carences en minéraux ou une accumulation de substances toxiques, affectant ainsi la croissance de la plante (GRUBBEN et al., 2004).

I.5.2.3. La salinité

La tomate est modérément sensible à la salinité du sol, car une augmentation de la salinité peut réduire le rendement, en fonction des niveaux de conductivité électrique (EC) du sol. Les stades les plus vulnérables à la salinité sont la germination et les premières phases de développement, ce qui rend essentiel un lessivage régulier des sels par une pré-irrigation ou des arrosages abondants au début de la culture, afin de garantir un environnement de croissance optimal (FAO, 1987).

Selon MAAS et al., (1997), au stade de la germination et des premières phases de développement, il est préférable que la conductivité électrique soit inférieure à 2 -3 dS/m, car un niveau plus élevé peut nuire à la croissance des plantes. Tandis que, au stade de croissance avancée, les tomates peuvent tolérer des niveaux de conductivité électrique plus élevés, jusqu'à 5 dS/m, mais il est préférable de ne pas dépasser cette limite pour maintenir une bonne performance des plantes.

Le même auteur ajoute que si la conductivité électrique dépasse ces valeurs, des mesures doivent être prises, telles que le lessivage des sels ou l'amélioration du drainage du sol, afin de réduire l'impact négatif sur le rendement (MAAS et al., 1997).

I.6. IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA TOMATE

I.6.1. Situation de culture dans le monde

La tomate est le deuxième produit agricole le plus répandu au monde après la pomme de terre (Arbaoui, 1984). Selon les statistiques fournies par la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), la production mondiale de tomates en 2017, la production a dépassé 182 millions de tonnes sur une superficie d'environ 4 millions d'hectares, avec un rendement moyen de 37 tonnes par hectare. En 2018, ce chiffre a connu une augmentation significative pour atteindre 188 millions de tonnes, selon le rapport de la FAO (2020).

L'Égypte et la Chine figurent en tête des plus grands producteurs de tomates, suivies par l'Italie, l'Espagne, le Brésil et enfin l'Algérie, selon l'ordre décroissant (Tableau 1) (FAOSTAT, 2020).

Tableau 1. Production mondiale de la tomate en 2020 (FAOSTAT,2020).

Pays	Production (tonnes)
Chine	64865807
Brésil	3753595
Algérie	1635616
Argentine	656529
Afrique du sud	581459
Canada	492211
Arabie saoudite	351212
Australie	297474
Allemagne	102120
Egypte	6731220
Espagne	4312900
France	670600
Iraq	754759
Italie	6247910
Japon	706000

I.6.2. En Algérie

La culture de la tomate en Algérie occupe la deuxième place après la pomme de terre. En 2020, la superficie dédiée à cette culture était supérieure à 26 000 hectares, avec une production dépassant le million de tonnes (Tableau 2) (FAOSTAT, 2020).

Tableau 2 : indices de production de tomate en Algérie 1980/2020 (FAOSTAT,2025).

	1980	1990	2000	2010	2020
surface (ha)	19020	32000	16710	21358	26311
rendement (kg/ha)	14600.4	12563.1	20433.7	33628.4	62164.7
production (t)	277700	402020	341447	718235	1635616.3

I.7. CULTURE DE LA TOMATE

I.7.1. Culture en plein cham

La culture en plein champ est le mode de production de tomates le plus répandu. Lorsque l'irrigation est disponible, la plantation peut être réalisée pendant la saison sèche. La mécanisation reste généralement limitée à la préparation du sol (CIRAD et GRET, 2002) .

I.7.2. Culture sous abris

À l'origine, les serres étaient des structures en verre conçues pour protéger les cultures des variations climatiques. Elles ont été utilisées pour la première fois en Europe afin d'accélérer la floraison ou pour cultiver des plantes nécessitant des températures spécifiques(URBAN L et URBAN I, 2010) Les serres en verre, plus sophistiquées et durables, sont principalement employées dans les pays au climat froid, tandis que les serres en plastique sont largement répandues dans les régions méditerranéennes(ZELLA et SMADHI, 2002) Le système de culture sous serre vise à assurer une production de tomates tout au long de l'année. Il favorise également le développement de la culture hydroponique, permettant ainsi de contourner certaines contraintes liées au sol (CIRAD et GRET, 2002) La production de tomates sous serre repose sur deux principaux systèmes de culture : la culture en pleine terre et la culture hydroponique, avec ou sans substrat (GRAVAL, 2007).

CHAPITRE II :
LES BIOSTIMULANTS

II.1. DEFINITION DES BIOSTIMULANTS

Les pratiques agricoles ont démontré que certaines substances ou micro-organismes, bien qu'ils n'apportent pas de nutriments en quantités significatives, favorisent la croissance des plantes en améliorant notamment l'absorption des éléments nutritifs (Desfontaines et al., 2018). Parmi les exemples les plus connus figurent : les substances humiques, les mycorhizes qui facilitent l'absorption du phosphore, les bactéries du genre *Rhizobium* fixant l'azote, et les champignons *Trichoderma* aux propriétés antagonistes. Malgré la diversité des appellations telles que "activateur de sol" ou "stimulateur de croissance", ces produits manquaient d'une définition claire.

En 2012, un groupe européen a proposé une définition adoptée par la Commission Européenne, stipulant que : "Les biostimulants sont des substances et/ou micro-organismes utilisés pour stimuler les processus naturels des plantes ou du sol, améliorant l'absorption des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, ainsi que la qualité et le rendement des cultures, sans fournir directement de nutriments.

II.2. MODES D'ACTION DES BIOSTIMULANTS

Les recherches scientifiques indiquent deux principaux mécanismes d'action des biostimulants appliqués au sol : le premier est un effet direct sur les propriétés biologiques, physiques ou chimiques du sol, tandis que le second consiste en l'introduction de micro-organismes bénéfiques pour les plantes. L'utilisation de ces biostimulants entraîne une activation rapide des enzymes impliquées dans les cycles de l'azote, du phosphore, du soufre, ainsi que dans la décomposition de la matière organique, et ce, quelques heures seulement après l'application (Caballero et al., 2019).

Selon les travaux de Faessel et al. (2014), et Yakhin et al. (2017), les biostimulants agissent à travers plusieurs mécanismes, notamment : L'accélération de la germination des graines et la stimulation de la croissance racinaire et du développement global des plantes ; L'activation de la photosynthèse et l'amélioration de son efficacité ; Le renforcement de l'absorption des éléments nutritifs essentiels du sol, tels que l'azote et le phosphore ; L'augmentation de la résistance des plantes aux stress biotiques (maladies, agents pathogènes) ; L'amélioration du métabolisme des éléments nutritifs dans le sol, en particulier celui de l'azote et du phosphore ; La stimulation de l'activité microbienne bénéfique du sol, contribuant ainsi à sa fertilité.

Les biostimulants contribuent à réduire les effets néfastes des facteurs de stress abiotiques tels que la sécheresse, la chaleur, le froid, la salinité, l'oxydation, ainsi que les stress mécaniques ou chimiques. Cette atténuation des effets des stress abiotiques résulte principalement de l'induction de la résistance chez les plantes impliquera cinq étapes clés, regroupant divers mécanismes biochimiques et physiologiques.

- A. La reconnaissance des principes actifs par des récepteurs spécifiques, permettant l'entrée des molécules actives dans les cellules et tissus ;
- B. La translocation et la transformation des substances actives à l'intérieur de la plante ;
- C. L'expression des gènes de défense, la régulation des signaux et l'ajustement hormonal, menant à une résistance locale induite ;
- D. L'activation des processus métaboliques ;
- E. La transmission des signaux et l'intégration de la résistance induite au niveau de la plante entière.

II.3. LES COMPOSANTS DES BIOSTIMULANTS ORGANIQUES

Les composantes bioactives constituent la base de l'efficacité des biostimulants organiques, car leurs propriétés physico-chimiques et biologiques contribuent à stimuler la croissance des plantes et à améliorer la qualité du sol. Parmi les plus importantes figurent les acides humiques, les extraits d'algues et les acides aminés, largement utilisés pour leur capacité à activer les processus biologiques des plantes et à interagir positivement avec l'environnement rhizosphérique.

II.3.1. Acides humiques :

Les substances humiques et fulviques constituent les principaux composants organiques du sol et de la tourbe. Elles proviennent de la dégradation biologique de la matière organique issue de la décomposition des résidus végétaux, animaux et microbiens. L'activité métabolique des micro-organismes du sol, exploitant ces substrats, contribue également à la formation d'un mélange complexe d'acides riches en groupes phénoliques et carboxyliques. Les acides fulviques sont classés parmi les acides humiques, mais s'en distinguent par un poids moléculaire plus faible et une teneur en oxygène plus élevée, leur conférant des propriétés chimiques et physiques particulières (Rose et al., 2014).

II.3.2. Extraits d'algues :

Selon Khan et al. (2009), les algues rouges macroscopiques photoautotrophes représentent environ 10 % de la production marine. Ces organismes multicellulaires sont des producteurs importants de biomasse dans les habitats marins et constituent une ressource économique renouvelable avec de nombreuses utilisations potentielles. Les extraits d'algues sont parmi les biostimulants les plus étudiés, grâce à leur richesse en composés hormonaux stimulant la croissance, en oligosaccharides, en acides aminés, en composés phénoliques, etc. Ces extraits d'algues émergent comme des biostimulants prometteurs dans l'agriculture. En raison de leur richesse en polyuronides tels que les alginates et les fucodanes, ils aident à maintenir l'humidité et l'aération nécessaires dans le sol pour favoriser l'établissement du système racinaire. Ils stimulent également la croissance des bactéries bénéfiques pour les plantes, influençant ainsi positivement les propriétés physiques et biologiques du sol.

II.3.3. Acides aminés :

Les protéines issues des sous-produits de l'industrie agroalimentaire, qu'elles proviennent de sources végétales (comme les résidus de cultures) ou de déchets animaux (tels que le collagène et les tissus épithéliaux), sont soumises à des processus d'hydrolyse chimique et enzymatique. Ces procédés permettent d'obtenir un mélange d'acides aminés et de peptides, ainsi que des acides aminés purifiés utilisés à diverses fins (Calvo et al., 2014).

Certains acides aminés, comme la glycine et l'acide glutamique, jouent un rôle essentiel en tant qu'agents chélateurs, facilitant l'absorption des nutriments et aidant à protéger les plantes contre les effets néfastes des métaux lourds (Calvo et al., 2014). De plus, ces acides aminés, ainsi que les hydrolysats de protéines, contribuent de manière significative à renforcer la résistance des plantes face aux stress biotiques : ils améliorent la capacité des plantes à faire face aux agressions biologiques en stimulant l'activité des enzymes antioxydantes endogènes. Plusieurs mécanismes d'action peuvent être activés en fonction du type et du niveau de stress, notamment par l'activation de voies métaboliques spécifiques. Par exemple, la proline et la glycine agissent comme osmoprotecteurs, stabilisant les membranes cellulaires dans des conditions telles que la salinité ou les températures extrêmes. Ces deux osmolytes peuvent également stabiliser l'activité de la FAO et induire l'expression de gènes impliqués dans les réponses au stress abiotique (Rouphael et Colla, 2020).

II.4. LE NIVEAU D'UTILISATION DES BIOSTIMULANTS

II.4.1. Dans le monde :

Le marché des biostimulants connaît une croissance annuelle de l'ordre de 10 à 12%. Les extraits d'algues représentent la part de marché la plus importante, suivis par les acides aminés et les substances humiques.

Les biostimulants représentent un élément clé de l'agriculture et du jardinage biologiques, deux secteurs en pleine expansion, y compris dans l'agriculture conventionnelle. Ils sont de plus en plus perçus comme une solution répondant aux attentes des consommateurs en faveur de pratiques agricoles plus douces et respectueuses de l'environnement. Face au besoin croissant d'assurer la sécurité alimentaire et d'adopter des méthodes agricoles sûres, le secteur des produits alimentaires biologiques connaît une croissance rapide, avec des taux d'augmentation à deux chiffres (García-Sánchez *et al.*, 2022).

II.4.2. En Algérie :

L'Algérie fait partie des pays qui s'efforcent d'adopter les tendances mondiales en matière d'innovation agricole, notamment à travers l'intégration de produits biologiques durables dans leur système agricole. Dans ce contexte, les biostimulants occupent une place importante dans la stratégie nationale visant à améliorer le rendement et la qualité des cultures, tout en réduisant les impacts négatifs sur l'environnement. Parmi les principaux acteurs dans ce domaine figure la société TIMAC AGRO Algérie, spécialisée dans la production et le développement de solutions de nutrition végétale et animale, y compris une gamme variée de biostimulants disponibles sous forme liquide, racinaire et foliaire. Ces produits visent à stimuler la croissance des plantes, améliorer l'absorption des éléments nutritifs et renforcer la résistance des cultures aux stress environnementaux, ce qui en fait un élément central de l'agriculture durable (TIMAC AGRO Algérie, 2024).

Plusieurs études ont été réalisées dans le sud-est de l'Algérie pour évaluer l'efficacité d'un biostimulant issu de certaines souches locales de champignons du genre *Trichoderma* sur la performance d'une variété locale de maïs (Lakhdari *et al.*, 2020). Une autre étude a porté sur l'effet de biostimulants organiques ajoutés à la zéolite sur des plants de courgettes infectés par le virus New Delhi tomato leaf curl. Malgré ces avancées, l'utilisation des biostimulants en Algérie reste limitée en raison de leur coût élevé (Donati *et al.*, 2022).

II.5. QUELQUES EXEMPLES DES BIOSTIMULANTS NATURELS

II.5.1. L'eau lactée

II.5.1.1. Définition

Selon Dupont (2023), la fertilisation biologique représente une alternative durable visant à améliorer la croissance des plantes tout en respectant l'environnement. Parmi les pratiques non conventionnelles utilisées dans ce cadre, l'application d'eau lactée – un mélange d'eau et de lait – est adoptée par certains jardiniers et agriculteurs pour la culture de la tomate. Cette solution est appréciée pour sa richesse en nutriments essentiels, notamment le calcium, qui joue un rôle crucial dans la prévention de troubles physiologiques tels que la nécrose apicale. De plus, le lait contient des protéines et des enzymes qui, sous l'effet de la lumière, peuvent développer des propriétés antifongiques, contribuant ainsi à la protection des plantes contre certaines maladies. Cette approche s'inscrit pleinement dans les principes de l'agriculture écologique, visant à réduire l'usage des produits phytosanitaires chimiques.

II.5.1.2. Composition

Selon Chavan et Jana (2008), la composition de l'eau lactée se caractérise par la présence de plusieurs éléments nutritifs essentiels et composés bioactifs, qui contribuent à ses effets bénéfiques sur la croissance et la santé des plantes. Parmi ces composants, on trouve notamment :

- Calcium
- Protéines
- Lactose
- Bactéries bénéfiques (comme *Lactobacillus*)
- Graisses et vitamines en petites quantités

II.5.1.3. Mode d'utilisation

Selon El-Fattah (2013), nous présentons ci-dessous les éléments essentiels concernant le mode d'utilisation de l'eau lactée comme fertilisant, en précisant les proportions de dilution, les quantités, et la fréquence d'application pour l'arrosage au sol (fertilisation racinaire) ainsi que pour la pulvérisation foliaire.

II.5.1.4. **Traitement lacté des plants de tomate**

II.5.1.5. **Avantages de l'eau lactée pour les plants de tomate**

Selon Pathak et al. (2014), l'utilisation de l'eau lactée dans la culture de la tomate offre plusieurs avantages agronomiques, tant sur le plan nutritionnel que sanitaire. Parmi les bénéfices les plus significatifs, on peut citer :

- **Amélioration de la croissance générale** : Fournit des nutriments essentiels au développement cellulaire, notamment le calcium.
- **Prévention de la pourriture apicale** : Le calcium du lait aide à prévenir cette maladie fréquente chez la tomate.
- **Activation de la vie microbienne du sol** : Les protéines et les bactéries favorisent l'activité biologique du sol.
- **Lutte contre les champignons** : En pulvérisation foliaire, l'eau lactée limite la propagation de maladies comme l'oïdium.

Pour compléter ce qui a été exposé précédemment, le tableau suivant résume les principaux avantages et inconvénients liés à l'utilisation de l'eau lactée, contribuant ainsi à une présentation plus structurée et synthétique.

Tableau 3 : Comparatif des avantages et inconvénients de l'eau lactée (Hadwiger, 2008).

Avantages	Inconvénients
Source naturelle riche en nutriments (protéines, lactose, minéraux)	Risque de fermentation rapide en conditions chaudes
Effet stimulant sur la croissance microbienne bénéfique dans le sol	Mauvaise odeur en cas de dégradation
Améliore la structure et la fertilité du sol	Peut attirer les insectes ou les nuisibles
Réduction potentielle de certaines maladies fongiques chez les plantes	Risque de déséquilibre du sol s'il est utilisé en excès
Valorisation d'un déchet agroalimentaire (écologique et économique)	Effets variables selon les cultures et les conditions pédoclimatiques

II.5.2. Le lactosérum

II.5.2.1. Définition

Une description complète du lactosérum montre que ce sous-produit, traditionnellement appelé "petit-lait", est issu des procédés de fabrication du fromage et de la préparation des caséinates (Jouan, 2002). En effet, l'acidification combinée à la chaleur provoquait une séparation du lait, laissant apparaître un liquide clair au-dessus du caillé (DeWitt, 2001). Sur le plan industriel, le lactosérum représente environ 90 % du volume initial du lait utilisé dans la fabrication fromagère, ce qui en fait le sous-produit le plus abondant de cette filière (Moletta, 2002). Il s'agit d'un liquide translucide à la teinte jaune verdâtre, obtenu après séparation des caséines, soit par coagulation acide, soit par voie enzymatique à l'aide de la présure ou de la chymosine (Heslot, 1996 ; Jouan, 2002).

II.5.2.2. Différents types de lactosérum

Le lactosérum peut être classé en deux catégories principales en fonction du procédé d'extraction et du degré d'acidité, comme le rapporte Alais (1984).

- **lactosérum doux** : se caractérise par une faible acidité, variant entre 15 et 22 degrés Dornic, avec un pH moyen d'environ 6,5. Ce type de lactosérum est généralement issu de la fabrication des fromages à pâte pressée et/ou cuite, ainsi que des fromages à pâte molle (Sottiez, 1990).

- **Lactosérum acide** : est obtenu lors de la fabrication des fromages frais ou au cours de la production des caséines. Il présente une acidité élevée pouvant atteindre 120 degrés Dornic, correspondant à un pH avoisinant 4,5 (Sottiez, 1990).

II.5.2.3. Valorisation du lactosérum

Le lactosérum représente environ 80 % du lait et constitue un effluent liquide polluant dans les industries laitières. Cependant, les avancées scientifiques ont mis en évidence sa haute valeur nutritionnelle (Alais, 1975), ce qui a permis d'orienter son utilisation vers les domaines médical, alimentaire et biotechnologique.

II.5.2.4. Utilisation du lactosérum à l'état brut:

Le lactosérum est considéré comme un produit alimentaire de grande valeur en raison de sa richesse en composés nutritifs essentiels. Toutefois, sa teneur élevée en sels minéraux constitue un facteur limitant pour sa consommation directe par l'homme. Malgré son potentiel nutritionnel, cette contrainte physico-chimique a orienté, pendant de nombreuses années, son utilisation principalement vers le secteur de l'alimentation animale, qui a représenté le principal débouché de ce produit (Rerat et al., 1984).

- **Alimentation animale**

Le lactosérum sous-produit issu de la fabrication du fromage, notamment des veaux, constitue le principal débouché des lactosérums, bien que leur utilisation dans l'alimentation générale des animaux varie. De nombreuses études se sont concentrées sur l'amélioration de cette alimentation, notamment pour réduire les troubles gastro-intestinaux. Par exemple, l'ajout de lactosérum fermenté avec *Lactobacillus acidophilus* pour l'alimentation des veaux, des volailles et des porcs a démontré des effets positifs sur la croissance, sans provoquer de désordres gastro-intestinaux (Bernardeau et al., 2009).

- **Alimentation humaine**

Incorporation du lactosérum dans les produits laitiers fermentés : Le lactosérum joue un rôle crucial dans la fabrication des laits fermentés tels que le yaourt et le leben. Il est couramment utilisé comme substitut de l'eau dans le processus de reconstitution du lait à

partir de lait en poudre, améliorant ainsi la texture et la qualité du produit final (Carreira et al., 2002).

Boisson à base de lactosérum : Le lactosérum pasteurisé a été ajouté à cinq types de jus de fruits différents — orange, raisin, fraise, banane et pomme — accompagné de saccharose et d'acide ascorbique. Les résultats ont démontré une qualité optimale des boissons obtenues, confirmant l'intérêt de l'incorporation du lactosérum dans la formulation de boissons fonctionnelles (Vojnovic et al., 1993).

- **Autres utilisations**

La production de produits chimiques précieux à partir du lactosérum a été considérée comme une option intéressante en raison de sa richesse en éléments nutritifs. Le lactosérum de fromage a été utilisé comme substrat pour la production d'acide organique, d'éthanol, et de méthane. Le lactosérum typique du fromage contient 5 à 6% de lactose, 0,8 à 1% de protéines et 0,06% de matière grasse constituant une matière première peu coûteuse et riche en nutriments, un taux de production élevé et un rendement élevé pour la fermentation lactique qui est initiée par l'hydrolyse du lactose par les bactéries lactiques (LAB). Le lactosérum a également été utilisé comme engrais agricole, mais avec l'inconvénient de laisser des dépôts salins élevés (Bardy, 2016).

II.6. ÉVALUATION DU RISQUE DES BIOSTIMULANTS

Selon Calvo et al. (2014), les biostimulants sont souvent perçus comme des produits « naturels » et moins dangereux pour la santé humaine et l'environnement, même lorsqu'ils sont issus de synthèse. Toutefois, leur origine peut soulever des interrogations quant à leur innocuité. En effet, les sites d'extraction peuvent être exposés à des pollutions, et les procédés de fabrication peuvent engendrer la présence de résidus nocifs. Par exemple, une contamination accidentelle des zones de récolte des algues peut entraîner la présence de HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). Ce sont des molécules toxiques qui peuvent potentiellement se retrouver dans le produit final, représentant ainsi un risque pour l'utilisateur et l'environnement. Étant donné la forte capacité de complexation des substances humiques, il est également possible qu'elles contiennent des polluants cationiques tels que les éléments traces métalliques (ETM), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), ainsi que des radionucléides présents dans l'atmosphère.

Selon Guilayn et al. (2020), l'utilisation de résidus de cuir comme matière première pour la production d'acides aminés peut poser un problème environnemental et sanitaire en raison de la présence potentielle de chrome. En effet, le chrome est couramment utilisé dans les procédés de tannage, ce qui peut entraîner sa persistance dans les sous-produits. Cette contamination représente un risque non négligeable, notamment si les acides aminés ainsi produits sont destinés à un usage agricole ou alimentaire.

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III: MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. OBJECTIF

Cette étude vise à évaluer les effets de lactosérum utilisé en tant que biofertilisant et/ou biostimulant sur la croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.), afin de valoriser des alternatives naturelles pour améliorer la productivité tout en réduisant le recours aux intrants chimiques.

III.2. MATÉRIELS BIOLOGIQUES UTILISÉS

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de semences de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de la variété Saint Pierre (Figure 07) . Ces semences ont été importées d'Italie par la société MAGNANI GREEN SRL, via l'entreprise algérienne EURL OUADHI SEMENCES, située à Aïn Oussera, wilaya de Djelfa. Les semences présentent un taux de pureté de 99 % et un pouvoir germinatif de 90 %. Elles ont été préalablement traitées avec la matière active Metalaxil-M, un fongicide systémique couramment utilisé pour prévenir les maladies fongiques. Le poids net de la boîte est de 100 g, le numéro de lot est MG-AN074, et la date de production est janvier 2024. Bien que commercialisées depuis l'Italie, l'origine des semences est indiquée comme étant la Chine



Figure 07 : Les graines de tomate (Originale,2025).

De plus, deux autres matériaux biologiques ont été utilisés dans notre expérimentation :

- un produit naturel, le lactosérum de lait (figure 08), composé de protéines solubles (lactalbumines, lactoglobulines), de lactose, de vitamines hydrosolubles et de minéraux (Smither, G., 2008) ;
- un produit homologué, le Bio Super (figure 08-b), contenant de l'azote, du potassium, du phosphore, du calcium, du manganèse, du zinc, du fer et des matières organiques.



Figure 08 : les produits naturel et homologué (a : produit naturel, b : produit homologué)

III.3. CONDITIONS EXPERIMENTALS

Notre expérimentation a été réalisée aux laboratoires de département d'agronomie à l'Université Amar Téliidji – Laghouat. Cette étude a duré trois mois, depuis 27/02/2025, jusqu'au 26/05/2025, dans des conditions de température ambiante.

III.4. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Cet expérimentation a été menée par un dispositif de type randomisation total, à un seul facteur, avec trois niveaux (PN, PH, T) et cinq répétitions, soit un total de 15 unités expérimentales.



Figure09 : dispositif expérimental d'application des produits sur les plantes.

III.5. LA CONDUITE DE CULTURE ET LES METHODES APPLIQUEES

Pour mieux conduire l'expérimentation, nous avons tout d'abord remplies les pots en sol, et arroser une seul fois avec de l'eau, et ajouter ensuite le produit naturel et le produit homologue en raison de 10 ml pour chaque pot.

Nous notons que le produit naturel a été utilisé à l'état brut, tandis que le produit homologue a été utilisé avec une concentration de 1g par 100 ml d'eau distillée.

Ensuite, le semis a été réalisé le 27 février 2025, à raison de cinq graines par pot. Un arrosage régulier avec de l'eau du robinet a été effectué tout au long de la période expérimentale. De plus, une application périodique des deux produits a été assurée tous les dix jours à la dose de 10mL/L.



Figure 10 : Application de produits naturels et homologues

L'expérimentation a été menée sur une période d'environ trois mois, du 27 février au 26 mai 2025. Cette période a permis de comparer la dynamique de croissance des plants de tomate, en évaluant leur hauteur, le nombre de feuilles et leur vigueur.



Figure 11 : Les plantules de tomate à 75 jours après le

III.6. LES PARAMETRES MESURES

III.6.1. Les paramètres du sol

Dans le but d'évaluer les effets de ce produit sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol, et par conséquent sur l'espèce cultivée, nous avons réalisé une série de mesures en laboratoire, avant et après la culture. L'analyse a porté sur la mesure du pH, de la conductivité électrique (CE) ainsi que du taux de calcaire total (CaCO_3), afin d'établir un diagnostic précis de l'état du sol.

III.6.1.1. Mesure du pH

Un échantillon de 10g de sol mélangé avec 250ml d'eau distillée, le mélange a été agité pendant 30 minutes, puis laissé au repos pendant 45 minutes afin de permettre la décantation, la mesure a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre.

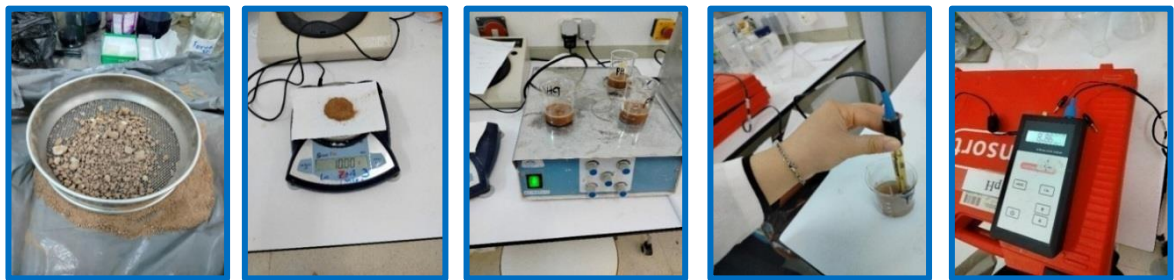


Figure 12 : Mesure de pH du sol .

III.6.1.2. Mesure la conductivité électrique (CE)

Pour mesurer la conductivité électrique (CE) du sol, une masse de 10 grammes d'un échantillon de sol sec a été pesée, puis ajoutée à 100 ml d'eau distillée. L'échantillon a ensuite été placé dans un mélangeur hermétique pendant 30 minutes, afin d'assurer une homogénéisation complète de la solution. Après l'agitation, la suspension a été filtrée à l'aide de papier filtre. Enfin, la conductivité électrique de filtrat obtenue a été mesurée à l'aide d'un conductimètre.



Figure 13 : Mesure de la conductivité électrique (CE)

III.6.1.3. Dosage de calcaire total du sol

Le dosage du calcaire total dans les échantillons de sol a été effectué par la méthode de titrage acide, qui repose sur la réaction entre le carbonate de calcium (CaCO_3) et un acide fort, en l'occurrence l'acide chlorhydrique (HCl). Cette réaction libère du dioxyde de carbone (CO_2).

Dans notre protocole, 1 gramme de sol a été traité avec une solution d'HCl en présence de NaCl comme solvant d'extraction. Un étalonnage a été préalablement réalisé à partir de 0,1 g de CaCO_3 pur, nécessitant un volume trois quarts de la solution d'HCl pour une réaction complète.

Les volumes de solution consommés lors du titrage ont été enregistrés. La teneur en CaCO_3 dans l'échantillon est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en CaCO}_3(\%) = \frac{\text{masse de CaCO}_3(\text{g})}{\text{masse de l'échantillon (g)}} \cdot 100$$

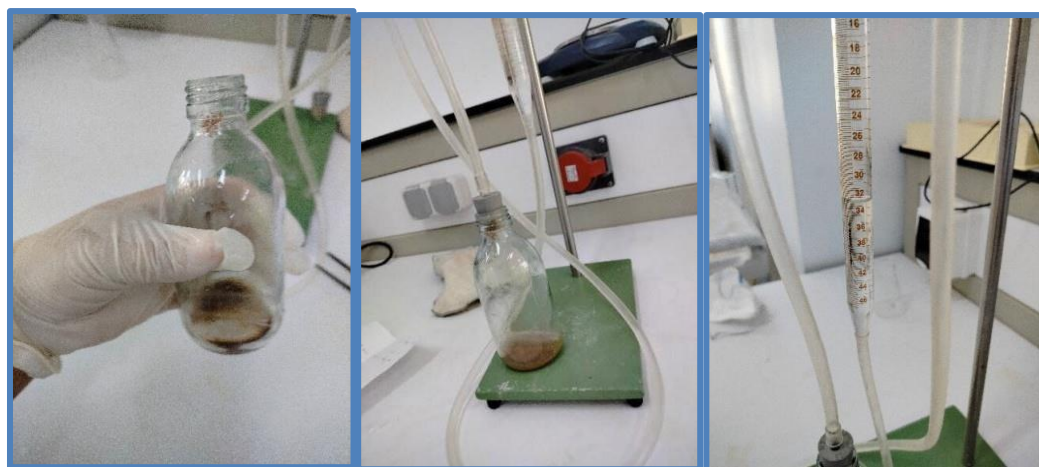


Figure 14 : dosage de calcaire total dans le sol

III.6.2. Les paramètres morphologiques des plantes

III.6.2.1. Hauteur des plantes (cm)

La hauteur des plantes a été évaluée à l'aide d'une règle graduée en centimètre (cm), depuis le collet jusqu'au l'apex.

III.6.2.2. Diamètre de tige (mm)

Le diamètre de tige des plantes a été évaluée à l'aide pied à coulisse.

III.6.2.3. Les nombre des feuilles

Le nombre de feuilles formées a été enregistré dans chaque pot et pour chaque répétition, avec un suivi de l'évolution de ce paramètre au cours des différentes périodes (en jours), dans le but d'évaluer la dynamique de la croissance végétative des plantes étudiées.

III.6.2.4. Poids frais total (tiges + feuilles)

La masse fraîche totale de la partie aérienne a été mesurée immédiatement après sa collecte à l'aide d'une balance de précision. Par la suite, les feuilles ont été soigneusement séparées des tiges, puis pesées individuellement afin d'estimer la masse fraîche propre à chaque organe.

III.6.2.5. Poids sec des tiges et des feuilles

Après la récolte, les échantillons prélevés des feuilles et des tiges sont d'abord pesés pour déterminer leur poids frais. Ensuite, ces échantillons sont placés dans une étuve à température constante de 45°C, où ils subissent un séchage pendant une période de trois jours afin d'éliminer toute l'humidité contenue dans les tissus végétaux. À la fin de cette période, les échantillons sont pesés à nouveau pour obtenir leur poids sec.

III.7. LES ANALYSES STATISTIQUES

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse statistique grâce au logiciel « STATBOX 7.2 », dont on a calculé la variance à un facteur par le test de Fisher Snedecor au seuil de risque de 5 %, ainsi que la comparaison multiple des moyennes par le test de Newman et Keuls, pour identifier les groupements homogènes.

CHAPITRE IV :

RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. RESULTATS

Les résultats expérimentaux obtenus au cours de la période d'étude, qui s'est étalée sur trois mois, afin d'évaluer l'effet du produit homologué et du lactosérum sur la croissance des plants de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), en comparaison avec le témoin. Ces résultats présentés dans les tableaux 4 à 13, révèlent des différences marquées entre les traitements, ce qui permet de dégager des tendances préliminaires quant à l'efficacité de chaque traitement dans l'amélioration de la croissance des plants de tomate dans les conditions adoptées.

IV.1.1. LES ANALYSES CHIMIQUES DU SOL

À travers la comparaison des données chimiques du sol avant et après la culture, des changements notables ont été observés au niveau de certaines propriétés fondamentales du sol, reflétant l'effet des traitements appliqués sur l'équilibre chimique du milieu édaphique, comme l'illustre le tableau suivant (Tableau 04).

Tableau 04 : Les paramètres chimique du sol avant et après la culture

Paramètre	Avant la culture	Après culture			
		T	PN	PH	Moyenne
pH	8.08 ± 0.026	7.36 ±0.032	7.22 ±0.050	7.02 ±0.026	7.20 ±0.036
CE (ms)	0.230 ±0.003	2.67 ±0.263	2.81 ± 0.106	2.62 ± 0.166	2.70 ±0.17
Calcaire (%)	14	12.3	12	12.7	12.3

- **pH (réaction du sol)**

Le pH est passé de 8,08 à une moyenne de 7,20 après culture, avec une valeur minimale (7,02) observée avec pH. Cela indique une diminution du pH du sol, probablement due à l'activité microbienne et aux matières organiques appliquées.

- **CE (conductivité électrique)**

En comparant les valeurs avant et après la culture, on observe une augmentation nette de la conductivité électrique, passant de 0,230 mS/cm à une moyenne de 2,70 mS/cm après traitement. Cette hausse reflète une accumulation de sels minéraux dans le sol, ce qui est tout à fait logique suite à l'application de solutions nutritives telles que le lactosérum ou le produit homologué. Ces substances ont probablement enrichi le milieu en éléments solubles, entraînant ainsi une élévation de la salinité. Bien que cette salinité demeure dans une plage acceptable, sa persistance pourrait, à long terme, perturber l'équilibre d'absorption de l'eau et des nutriments par la plante. Ces résultats soulignent donc l'importance de surveiller régulièrement la salinité du sol lors de l'utilisation répétée de fertilisants liquides d'origine naturelle.

- **Calcaire total (%)**

Le taux de calcaire est passé de 14 % à 12.3 %, avec un minimum enregistré avec PN (12 %). Cette baisse suggère une dissolution partielle des carbonates, favorisée par la baisse du pH et l'augmentation des interactions biologiques.

IV.12 La hauteur des plants

Les analyses (annexe 01) ont révélé des différences significatives entre les trois traitements étudiés (T, PH, PN) avec une probabilité associée à l'ANOVA de 0,004.

Selon le test de Newman-Keuls, les modalités ont été réparties en deux groupes homogènes : La modalité PN, avec une moyenne de 14,600 cm et un écart-type de 0,894, a formé un groupe distinct (A), ce qui signifie qu'elle a eu un effet significativement plus élevé sur la hauteur par rapport aux autres modalités. Les modalités PH et T, avec des moyennes respectives de 10,900 cm et 10,300 cm, et des écarts-types de 0,548 et 2,752, appartiennent au même groupe homogène (B), indiquant qu'il n'y a pas de différence entre elles (Tableau 05).

Tableau 05 : La hauteur des plants (cm)

	T	pH	PN
Moyenne	10,300	10,900	14,600
Ecart type	±2,752	±0,548	±0,894
G.H	B	B	A

IV13 Diamètre des tiges

Le tableau 06 présente l'analyse de l'effet de trois traitements (T, pH, PN) sur le diamètre des tiges. Les résultats ont montré une supériorité du traitement PN avec la plus grande moyenne du diamètre des fruits, atteignant 2,592 g, suivi du traitement PH avec 2,525 g, puis du traitement T avec 2,458 g. Malgré ces différences, le test ANOVA a révélé que les variations entre les traitements ne sont pas significatives ($p = 0,813$), ce qui suggère que l'écart observé est probablement dû à des variations aléatoires plutôt qu'à un effet réel des traitements.

Tableau 06: Le diamètre des tiges

	T	pH	PN
Moyenne	2,458	2,522	2,592
Ecart type	$\pm 0,549$	$\pm 0,111$	$\pm 0,055$

IV14 Nombre de feuilles

Les résultats (Tableau07) de l'essai ont montré une différence significative entre les trois traitements (T, pH, PN) concernant le nombre de feuilles, comme l'indique l'analyse de la variance (annexe 02) ($p = 0,024$)

Le traitement PN a enregistré la moyenne la plus élevée du nombre de feuilles, soit 5,800 feuilles, avec un écart-type relativement faible (0,447), indiquant une bonne homogénéité des résultats au sein de ce traitement. PN appartient au groupe statistique A, ce qui traduit une supériorité significative par rapport aux autres traitements.

Les traitements T et pH, quant à eux, ont enregistré des moyennes plus faibles, respectivement 4,800 et 4,600 feuilles, avec des écarts-types de 0,837 pour T et 0,548 pour PH. Ces deux traitements appartiennent au même groupe statistique B.

Tableau07 : Le nombre de feuilles

	T	pH	PN
Moyenne	4,800	4,600	5,800
Ecart type	$\pm 0,837$	$\pm 0,548$	$\pm 0,447$
G.H	B	B	A

IV.15 poids frais tige

L'analyse de la variance (annexe 03) a montré que le facteur étudié avait un effet statistiquement significatif sur le poids frais des tiges ($p = 0,008$).

ce qui indique que les différences observées reflètent un effet réel des traitements appliqués sur cette variable. Selon le tableau 08, le traitement PN a enregistré la moyenne la plus élevée du poids frais des tiges (0,039 g) et s'est distingué en appartenant seul au groupe homogène A, ce qui témoigne de sa supériorité significative par rapport aux autres traitements. En revanche, le traitement PH a affiché la valeur la plus faible (0,020 g), tandis que le traitement témoin (T) a affiché une valeur intermédiaire (0,028 g), ces deux derniers étant regroupés dans le groupe homogène B.

Tableau 08 :Le poids frais tige

	T	pH	PN
Moyenne	0,550	0,388	0,754
Ecart type	$\pm 0,245$	$\pm 0,037$	$\pm 0,087$
G.H	B	B	A

IV.16 Poids frais des feuilles

Pour ce paramètre, les résultats obtenus (tableau 09) n'ont pas montré de différence significative ($p = 0,159$). Les valeurs moyennes enregistrées sont respectivement de 0,682 g, 0,546 g et 0,480 g pour les traitements PN, T et pH.

Tableau 09: Le poids frais des feuilles

	T	pH	PN
Moyenne	0,546	0,480	0,682
Ecart type	$\pm 0,249$	$\pm 0,058$	$\pm 0,096$

IV.17. Le poids frais total

L'analyse de la variance (annexe 05) à la variable a révélé des différences significatives entre les trois modalités étudiées (T, PH, PN) avec une probabilité associée $p = 0,014$.

Les résultats obtenus (Tableau 10) indiquent que les traitements ont été répartis en groupes homogènes comme suit : le traitement PN (1,430 g) appartient uniquement au groupe A, ce qui témoigne de sa supériorité statistique ; le traitement PH (0,750 g), quant à lui, se situe dans le groupe B, indiquant un effet plus faible. Le traitement T (1,054 g) a été classé à la fois dans les groupes A et B, ce qui signifie que ses résultats sont intermédiaires et ne diffèrent pas significativement de ceux de PN et pH.

Tableau 10: le poids frais total

	T	pH	PN
Moyenne	1,054	0,750	1,430
Ecart type	$\pm 0,490$	$\pm 0,110$	$\pm 0,168$
G.H	AB	B	A

IV.18 Le poids sec des tiges

L'analyse de la variance (annexe 06) a montré un effet significatif ($p = 0,012$) du facteur trié (traitement) sur le poids sec de la tige.

Les résultats (tableau 11) ont montré que PN (0,039 g) a enregistré la moyenne la plus élevée du poids sec de la tige, suivi de T (0,028 g), puis de PH (0,020 g). Le traitement PN (0,039 g) a été classé seul dans le groupe A, ce qui indique une différence significative, tandis que T (0,028 g) et PH (0,020 g) ont été regroupés dans le groupe B, sans différence significative entre eux. Ainsi, PN (0,039 g) est considéré comme le traitement le plus efficace pour améliorer le poids sec de la tige.

Tableau 11 : le poids sec des tiges

	T	pH	PN
Moyenne	0,028	0,020	0,039
Ecart type	$\pm 0,014$	$\pm 0,002$	$\pm 0,004$
G.H	B	B	A

IV.19 poids sec feuilles

Le (tableau 12) de l'analyse de la variance du poids sec des feuilles ne montre pas de différence significative ($p = 0,174$). Les valeurs moyennes enregistrées sont respectivement de 0,046 g, 0,51 g et 0,64 g pour les traitements pH, T et PN.

Tableau 12: le poids sec feuilles

	T	pH	PN
Moyenne	0,051	0,046	0,064
Ecart type	$\pm 0,023$	$\pm 0,006$	$\pm 0,009$

IV.10 Le poids sec total

Les résultats de l'analyse de la variance (annexe07) à la variable du poids sec total ont révélé des différences significatives entre les trois modalités, avec une valeur de probabilité ($p = 0,019$).

Tableau13 indique que le traitement PN a enregistré la moyenne la plus élevée (0,118 g), comparativement à T (0,079 g) et PH (0,067 g). les modalités ont été réparties en deux groupes homogènes : PN s'est distinguée statistiquement en appartenant seule au groupe "A", tandis que T et pH ont été regroupées dans le groupe "B". De manière générale, il ressort que le traitement PN a contribué de façon notable à l'augmentation du poids sec total, ce qui le rend prometteur en termes d'efficacité comparativement aux autres modalités.

Tableau 13 : le poids sec totale

	T	pH	PN
Moyenne	0,079	0,067	0,118
Ecart type	$\pm 0,036$	$\pm 0,017$	$\pm 0,017$
G.H	B	B	A

IV2 DISCUSSION

Cette étude visait à évaluer l'effet de certains résidus liquides organiques sur la croissance d'espèces appartenant à la famille des Solanacées, en particulier la tomate. L'objectif principal était d'analyser l'impact de traitements à base de lactosérum, comparé à un produit homologué et à un témoin non traité, sur les paramètres de croissance végétative des plants.

Les résultats ont révélé une nette supériorité du lactosérum par rapport au produit homologué et au témoin. Les plants de tomate ayant reçu des apports réguliers en lactosérum ont développé un appareil végétatif plus dense, avec un nombre de feuilles plus élevé et une tige plus allongée, traduisant une croissance plus vigoureuse et équilibrée. En comparaison, le produit homologué a montré une amélioration modérée par rapport au témoin, mais nettement inférieure à celle du lactosérum. Cette différence pourrait s'expliquer par la richesse biochimique du lactosérum, qui ne se limite pas à fournir des nutriments essentiels, mais agit également comme un biostimulant naturel, en enrichissant le sol en micro-organismes bénéfiques et en composés bioactifs. Ces observations sont en accord avec les résultats de travaux antérieurs. Ayed et al. (2019) ont montré que l'usage du lactosérum avait amélioré la croissance de la laitue, notamment par la stimulation de la structure microbienne du sol. De même, Pescuma et al. (2010) ont rapporté que le lactosérum stimule l'activité enzymatique du sol, ce qui pourrait expliquer l'amélioration observée dans cette étude.

Les effets bénéfiques du lactosérum sur la croissance végétative de la tomate peuvent être expliqués par plusieurs mécanismes physiologiques et biochimiques. D'une part, le lactosérum est riche en nutriments facilement assimilables, comme le calcium, le potassium, l'azote sous forme d'acides aminés, ainsi que le lactose, qui favorise le développement de micro-organismes utiles dans la rhizosphère. D'autre part, sa richesse en composés organiques bioactifs (peptides, acides organiques, résidus protéiques) lui confère un effet biostimulant, en stimulant directement la division cellulaire, la synthèse des protéines végétales, ainsi que l'élongation des tissus, notamment au niveau des méristèmes. Par ailleurs, plusieurs études ont montré que le lactosérum améliore la biodisponibilité des éléments nutritifs du sol, non seulement par son apport direct, mais aussi en favorisant l'activité microbienne. Selon Ben Fredj et al. (2020), l'application de lactosérum sur des cultures maraîchères a stimulé la prolifération de micro-organismes rhizosphériques utiles, entraînant une meilleure absorption du phosphore et de l'azote.

Les résultats obtenus dans notre essai corroborent les conclusions de plusieurs travaux antérieurs concernant l'efficacité des résidus organiques liquides, en particulier du lactosérum, dans l'amélioration de la croissance des cultures maraîchères. Par exemple, Ayed et al. (2019) ont signalé que l'irrigation de laitues avec du lactosérum dilué avait significativement augmenté la biomasse aérienne, le nombre de feuilles et la teneur en chlorophylle, comparativement à un témoin arrosé à l'eau seule. De même, Pescuma et al. (2010) ont mis en évidence le rôle du lactosérum en tant que source d'azote et de composés bioactifs, favorisant la croissance de micro-organismes bénéfiques pour les plantes. En outre, Benamara et al. (2021) ont observé une augmentation notable de la biomasse et de la vigueur végétative chez l'aubergine traitée avec des extraits fermentés de résidus organiques, ce qui corrobore notre constat quant à la capacité du lactosérum à surpasser certains produits homologués.

Malgré les résultats encourageants obtenus, certaines limites doivent être signalées. Tout d'abord, l'expérimentation s'est limitée à la phase végétative de la tomate, sans évaluer l'effet des traitements sur la floraison, la fructification ou la qualité des fruits, ce qui empêche de tirer des conclusions sur le rendement final. Ensuite, la composition du lactosérum peut varier selon la source (type de lait, traitements thermiques, degré de fermentation...), ce qui pourrait affecter la reproductibilité des résultats. D'autres facteurs environnementaux, comme la température, l'humidité du sol ou les interactions microbiennes, peuvent également influencer la réponse des plantes. Par ailleurs, l'expérimentation a été menée à petite échelle et dans des conditions contrôlées ou semi-contrôlées, ce qui limite l'extrapolation des résultats à des systèmes agricoles à grande échelle.

Les résultats prometteurs de cette étude ouvrent plusieurs pistes de recherche. Il serait pertinent de prolonger l'expérimentation jusqu'à la phase de fructification, afin d'évaluer l'impact du lactosérum sur le rendement, la qualité des fruits et les caractéristiques physico-chimiques des tomates. Il serait également intéressant de tester l'effet du lactosérum sur d'autres espèces de la famille des Solanacées (poivron, aubergine...), ainsi que dans des contextes pédoclimatiques différents. D'autres variables peuvent aussi être étudiées, comme le dosage optimal, la fréquence d'application, ou les interactions possibles entre le lactosérum et d'autres amendements organiques ou micro-organismes bénéfiques. D'un point de vue pratique, les résultats suggèrent que le lactosérum pourrait être valorisé en tant que fertilisant liquide d'origine naturelle, particulièrement adapté à une agriculture durable ou biologique. Son

utilisation permettrait à la fois de réduire la dépendance aux intrants chimiques, et de valoriser un sous-produit souvent gaspillé par l'industrie laitière.

L'usage raisonné de certains résidus organiques liquides, en particulier le lactosérum, constitue une alternative agroécologique prometteuse pour améliorer la productivité des cultures de Solanacées. Il représente également une voie efficace de valorisation des déchets agroalimentaires, dans une approche agricole durable, respectueuse de l'environnement et contribuant à la sécurité alimentaire.

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans le cadre de la valorisation des intrants naturels et de la promotion d'une agriculture durable adaptée aux conditions agro-environnementales locales, cette étude s'est centrée sur l'évaluation de lactosérum sur la croissance végétative de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Les résultats ont révélé une nette supériorité du notre produit « PN », qui a significativement amélioré les différents paramètres de croissance, Parmi les résultats les plus marquants, la hauteur moyenne des plants sous PN a atteint environ 14,60 cm, contre 10,90 cm et 10,30 cm chez pH et T respectivement. De même, le nombre moyen de feuilles par plant a été significativement plus élevé sous PN (5,80 feuilles), comparativement aux traitements pH (4,60 feuilles) et T (4,80 feuilles). En ce qui concerne la biomasse, le poids frais total des plants traités avec PN s'est élevé à 1,430 g, contre 1,054 g pour le témoin et 0,750 g pour le traitement pH.

Les résultats ont montré que le produit homologué (pH) n'a pas eu d'effet significatif sur les paramètres de croissance étudiés, les valeurs enregistrées sous son influence étant proches de celles obtenues avec le témoin (T), ce qui reflète une efficacité limitée dans la stimulation de la croissance végétale dans les conditions de cette expérimentation.

Cette supériorité du lactosérum « PN » pourrait être attribuée à sa richesse en composés bioactifs, qui ont favorisé le développement végétatif sans recours aux intrants chimiques.

Sur la base de ces résultats, l'utilisation de ce type d'intrant naturel peut être envisagée comme une alternative prometteuse dans le cadre d'une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

Toutefois, des recherches complémentaires restent nécessaires afin de confirmer ces résultats sur d'autres cultures et dans divers contextes pédoclimatiques.

Références :

- Alais, C. (1975).** Science de la lait : chimie et physico-chimie. 2^e éd. Paris : Sepaic, 572 p.
- Alais, C. (1984).** Science de la lait : chimie et physico-chimie. 4^e éd. Paris : Sepaic, 620 p.
- Alamy (2016).** Les racines des plantes de tomate est isolé sur fond blanc [image en ligne]. Disponible sur : <https://www.alamyimages.fr/photo-image-les-racines-des-plantes-de-tomate-est-isole-sur-fond-2C2K8MH.html>
- Bardy, J. (2016).** Valorisation du lactosérum : usages industriels, alimentaires et agricoles. Paris : Éditions Universitaires Européennes, 210 p.
- Bai, Y. et Lindhout, P. (2007).** Domestication et amélioration génétique de la tomate : Qu'avons-nous obtenu et que pouvons-nous encore améliorer à l'avenir ? Annales de Botanique, 100(5), 1085–1094.
- Bernardeau, M., Vernoux, J.-P., Henri-Dubernet, S. et Guéguen, M. (2009).** Safety assessment of dairy microorganisms: The Lactobacillus genus. International Journal of Food
- Blancard d., Messiaen c.m., Rouxel f., Lafon r., 1988 :** Les maladies des plantes maraichères. 3^eme édition. Ed : INRA. 547p.
- Caballero, G., Poveda, J., & González-Andrés, F. (2019).** Application of microbial biostimulants in agriculture: Mechanisms and effects on crop productivity. Agronomy, 9(11), 785. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110785>
- Chavan, R. S. et Jana, A. H. (2008).** Boisson à base de lactosérum : Une revue. Natural Product Radiance, 7(5), 413–421.
- Calvo P., Nelson L. et Kloepper J.W., 2014 -** « Agricultural uses of plant biostimulants », Plant and soil., 383 (1): 3-41.
- Carreira, M., Mendes, E., Aires-Barros, M.R. et Cabral, J.M. (2002).** Production of yogurt from reconstituted milk: influence of composition on texture and acceptability. Lait, 82(5), 531–544.
- Desfontaines I., Rotin p. et Lafontaine h., 2018 -** Les Biostimulants : Qu'en savons-nous ? Quelles alternatives pour l'agriculture Guyanaise ? Innovations agronomiques, 64 : 31-46.
- Dewitt, J. (2001).** Structure and function of milk proteins. London : Academic Press, 315 p.
- Donati, L., Bertin, S., Gentili, A., Luigi, M., Taglienti, A., Mangli, A., ... & Ferretti, L. (2022).** Effets des biostimulants organiques ajoutés à la zéolite sur les plants de courgettes infectés par le virus de la tomate Leaf Curl New Delhi. Virus , 14 (3), 607. (s. d.).
- Dupont, L. (2023).** Utilisation du lait en agriculture : entre tradition et innovation durable. Lyon : Éditions Agroécologie et Territoires, 154 p.
- El-Fattah, A. M. A. (2013).** Utilisation du lactosérum comme fertilisant naturel dans la production horticole. Revue Africaine d'Agriculture Durable, 4(2), 45–52.
- Faessel, L., Gomy, C., Nassr, N., Tostivint, C., Hipper, C., & Dechanteloup, A., 2014 :** Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes-Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques.
- FAO., 1987 :** Réponse des rendements à l'eau : Bulletin Fao d'irrigation et de drainage. 83p.
- FAO STAT, 2020. Food And Agricultural Organization (FAO). 2020.** Global review of area and

production of tomato.

FAO STAT., 2016 : Statistique agricole

Gallais A et Bannerot., 1992 : Amélioration des espèces végétales cultivées objectif et critère de sélection. INRA, Paris, 765 P.

Gamm vert (2022). Les fleurs de mes tomates tombent : pourquoi et que faire ? [en ligne]. Consulté le 30 juin 2025. Disponible sur : <https://www.gammvert.fr/conseils-idees/les-fleurs-de-mes-tomates-tombent>

García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Navarro-Pérez, V., & Alfosea-Simón, M. (2022). Scientific Advances in Biostimulation Reported in the 5th Biostimulant World Congress. Horticulturae, 8(7), 665. (s. d.).

Grubben G.J.H et Denton O.A., 2004 : Ressource végétale de l'Afrique tropicale 2. Légumes. Ed Prota, Wageningen. Pay-Bas, 737 P

Guilayn, F., Rouez, M., Crest, M., Patureau, D., & Jimenez, J. (2020). Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants : A critical review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 19(2), 419-462. (s. d.).

Hadwiger, L.A., 2008. Le rôle du lait dans la lutte contre les maladies des plantes. Physiological and Molecular Plant Pathology, vol. 73, n°1, pp. 8–12.

Heslot, H. (1996). Biochimie structurale et fonctionnelle des protéines. Paris : Masson, 480 p.

Jouan, J. (2002). Les sous-produits de l'industrie laitière : valorisation et traitements. Paris : Tec & Doc Lavoisier, 298 p.

Khan, W., Rayorath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. J. Plant Growth.. 28, 386-399.

Latigui A., 1984 : Effets des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée. Thèse Magister. INA El Harrach, Algérie.

Laumonier R., 1979 : Culture légumière et maraichère, Tome III. Ed : Biliaire, Paris, 279P.

Maas, E.V., & Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance—Current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 103(IR2), 115–134.

Microbiology, 126(3), 278–285. Rérat, A., Vaissade, P. et Vaugelade, P. (1984). Utilisation

Moletta, R. (2002). Traitement et valorisation des effluents agroalimentaires. Paris : Tec & Doc, 356 p. **Sottiez, J. (1990)**. La technologie des fromages. Bruxelles : De Boeck, 270 p.

Nyabyenda P., 2007 : Les plantes cultivées en région tropicale d'altitude d'Afrique. Ed Presse Agronomique de Gembloux, T, 240P.

Pathak, H., Bhatnagar, K., & Jain, R. (2014). Effets de l'eau lactée sur la croissance des plantes et la gestion des maladies en horticulture. Journal International d'Agriculture Biologique, 9(3), 215–222.

Polese JM., 2007 : La culture des tomates. Ed Artémis, 95P

REY Y et COSTES C., 1965 : La physiologie de tomate : étude bibliographique. Ed INRA., 112P.

Shankara N., Joep V., Marja G., Martin H, et Barbara V., 2005 : La culture de tomate, production, Transformation et commercialisation. Ed PROTA.105p.

Shankara N., Van lidt de jeud J., DE Goffau M., Hilmi m., Van dam

B.2005. La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation. 5eme (Ed).fondation agromisa et CTA, Wageningen.105 P

Sottiez, J. (1990). La technologie des fromages. Bruxelles : De Boeck, 270 p.

Valimunzigha C.K., 2006 : Etude de comportement physiologique et agronomique de la tomate (*Solanum Lycopersicum L*) en réponse à un stress hydrique précoce. Université Catholique de Louvain.

Vojnovic, M., Schwarz, M. et Sagmeister, H. (1993). Development of whey-based fruit beverages *Milchwissenschaft*, 48(9), 525–528.

Annexes

Tableau d'analyse de variance de la hauteur

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
VarTOTALE	88,933	14	6,352		
Var.FACTEUR 1	54,233	2	27,117	9,378	0,004
VAR.RESIDUELLE 1	34,700	12	2,892		

Tableau d'analyse de variance de la Diamètre

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
VarTOTALE	1,312	14	0,094		
Var.FACTEUR 1	0,045	2	0,022	0,213	0,813
VAR.RESIDUELLE 1	1,267	12	0,106		

Tableau d'analyse de variance de la nombre des feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
VarTOTALE	8,933	14	0,638		
Var.FACTEUR 1	4,133	2	2,067	5,167	0,024
VAR.RESIDUELLE 1	4,800	12	0,400		

Tableau d'analyse de variance de poids frais des feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
VarTOTALE	0,404	14	0,029		
Var.FACTEUR 1	0,106	2	0,053	2,138	0,159
VAR.RESIDUELLE 1	0,298	12	0,025		

Tableau d'analyse de variance de poids frais des tige

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
VarTOTALE	0,625	14	0,045		
Var.FACTEUR 1	0,348	2	0,174	7,544	0,008
VAR.RESIDUELLE 1	0,277	12	0,023		

Tableau d'analyse de variance de poids frais total

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
VarTOTALE	2,283	14	0,163		
Var.FACTEUR 1	1,160	2	0,580	6,201	0,014
VAR.RESIDUELLE 1	1,123	12	0,094		

Annexes 03

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0,002	14	0,000		
Var.FACTEUR 1	0,001	2	0,000	6,623	0,012
VAR.RESIDUELLE 1	0,001	12	0,000		

Tableau d'analyse de variance de poids sec tige

Tableau d'analyse de variance de poids sec des feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0,003	14	0,000		
Var.FACTEUR 1	0,001	2	0,000	2,021	0,174
VAR.RESIDUELLE 1	0,003	12	0,000		

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0,015	14	0,001		
Var.FACTEUR 1	0,007	2	0,003	5,552	0,019
VAR.RESIDUELLE 1	0,008	12	0,001		

Tableau d'analyse de variance de poids sec totale