



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Ecologie et Environnement

قسم: البيئة و المحيط

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine

Sciences de la Nature et de la Vie

Filière

Ecologie et Environnement

Spécialité

Ecologie Fondamentale et Appliquée

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Etude du stress hydrique et évaluation de l'impact des biofertilisants(Coquilles d'œufs et son de blé)
sur la résistance des plantes

Présenté par : MAIGA Bassirou Mahamadou

Le 26/06/2025

Jury d'évaluation :

Président du jury

SAHLI

Leila

Pr - U Constantine 1 Frères Mentouri

Encadrant

TOUATI

Laid

Pr - U Constantine 1 Frères Mentouri

Examineur

BOUGHABA

Rokia

MAA - U Constantine 1 Frères Mentouri

Année universitaire : 2024-2025

Remerciements

Remerciements

La réalisation de ce travail de recherche, couronnant des années d'efforts et d'apprentissage, n'aurait pu aboutir sans le concours précieux et la bienveillance de nombreuses personnes. À chacune d'elles, j'adresse l'expression de ma profonde reconnaissance.

En premier lieu, toute ma gratitude s'élève vers Dieu Tout-Puissant, source de toute connaissance et de toute force, pour Sa guidance constante et Sa grâce inépuisable qui ont illuminé mon chemin.

Mes plus sincères remerciements sont dédiés à mon encadreur, Pr TOUATI Laid, dont la direction et le soutien indéfectible ont été des piliers fondamentaux de ce mémoire. Son sens de la pédagogie, la pertinence de ses conseils et sa disponibilité ont été des atouts inestimables qui ont façonné la qualité de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma déférence et mes remerciements aux éminents membres du jury qui ont accepté de juger ce travail. Je tiens particulièrement à saluer Madame la Présidente du Jury, Pr SAHLI Leila, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider cette soutenance. Mes remerciements s'adressent également à Dr BOUGHABA Rokia, pour sa contribution en tant qu'examinatrice et pour la richesse de ses remarques à venir.

Une mention spéciale de gratitude est adressée à Monsieur BOULACEL Mouad, dont l'aide précieuse et l'engagement personnel ont grandement facilité certaines étapes cruciales de ce projet. Sa contribution a été d'une valeur inestimable.

Ma reconnaissance va également à Madame Ben Kara pour son appui précieux et son implication.

Je remercie chaleureusement Monsieur le Chef du Département de l'Écologie et Environnement, Dr BAZRI Kamel, ainsi que l'ensemble du corps professoral, des personnels administratifs et techniques de notre département. Leur dévouement quotidien et l'environnement stimulant qu'ils offrent sont essentiels à notre formation.

Enfin, je n'oublie pas tous ceux et celles qui, par leurs encouragements, leurs conseils avisés, ou simplement leur présence bienveillante, ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire. Que l'expression de ma gratitude la plus sincère leur soit ici témoignée.

Dédicaces

Dédicaces :

Je dédie ce travail, fruit de mes efforts et de ma détermination, à tous ceux qui ont jalonné mon parcours et ont été ma source constante d'inspiration et de soutien.

À la mémoire éternelle de ma chère mère, dont l'amour infini, la force et la bienveillance continuent de m'éclairer chaque jour. Ton souvenir est une lumière qui guide mes pas et ton absence est une motivation profonde. Que Dieu t'accorde Sa Sainte Miséricorde et t'accueille en Son vaste paradis.

À mon très cher père, mon roc inébranlable, ma source de courage et de sagesse. Tes sacrifices et ta foi en mes capacités ont été un moteur constant. Ce travail est un vibrant témoignage de ma gratitude et de mon profond respect pour toi. Que Dieu te préserve et te bénisse.

À mes merveilleuses sœurs, Awa, Maimouna et Sagaratou, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leur complicité qui colore ma vie.

À mes frères, Younoussa, Abdoulaye et Halidou pour leur présence constante, leur fraternité et leurs encouragements qui n'ont jamais failli.

À toute la famille MAIGA, pour son unité, son soutien et la chaleur de ses liens qui ont toujours été une force dans ma vie.

À mes ami(e)s fidèles et à mes chers collègues, qui ont partagé les moments de doute et de réussite, et dont le soutien, la bonne humeur et l'amitié ont rendu ce parcours plus serein et agréable.

Enfin, à tous ceux et celles qui ont cru en moi, de près ou de loin, et qui, par leurs encouragements ou leur simple présence, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

TABLES DES MATIÈRES :

REMERCIEMENTS.....	I
---------------------------	----------

DÉDICACES :.....	II
-------------------------	-----------

LISTE DES TABLEAUX :.....	V
----------------------------------	----------

LISTE DES ABRÉVIATIONS :	VI
---------------------------------------	-----------

INTRODUCTION	1
--------------------	---

Chapitre 1 : Synthèse bibliographiques

1.1 Déchets :	3
1.1.1 Définition des déchets :	3
1.1.2 Classification des déchets :	3
1.1.3 La gestion des déchets :	4
1.1.4 Valorisation des déchets :	5
1.1.4.1 Valorisation matière :	5
1.1.4.2 Valorisation organique :	6
1.1.4.3 La valorisation énergétique :	6
1.2 Biofertilisants :	6
1.3 Les déchets des coquilles d'œufs :	7
1.3.1 Définition, structure, composition et valeur nutritionnelle des œufs :	7
1.3.2 Définition, structure, composition des coquilles d'œufs :	8
1.4 Le son de blé :	9
1.5 Le stress hydrique :	10
1.5.1 Définition :	10
1.5.2 Impact du stress hydrique sur les plantes :	10
1.5.2.1 Impact du stress hydrique sur la germination :	10
1.5.2.2 Impact du stress hydrique sur la morphologie des plantes :	10
1.5.2.3 Impact du stress hydrique sur la physiologie de la plante :	11
1.5.3 Adaptation des plantes au stress hydrique :	11
1.5.3.1 Echappement au stress :	11
1.5.3.2 Evitement du stress :	11
1.5.3.3 Tolérance au stress :	12

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

2.1 Présentation de la zone d'étude :	13
2.1.1 Situation géographique de la wilaya de Constantine :	13
2.1.2 Climat :	13
2.1.3 Occupation des sols	16
2.1.4 Hydrographie.....	16
2.2 Matériels et méthodes :	16
2.3 Matériel végétal utilisés :	16
2.4 Le biofertilisant :	17
2.4.1 Réalisation du bio-fertilisant :	17
2.4.2 Préparation des échantillons :	17
2.5 Plantation :	18
2.6 Paramètres physico-chimiques du sol :	18
2.6.1 Mesure du potentiel hydrogène :	18
2.6.2 Mesure de la conductivité :	19
2.6.3 Mesure du calcaire totale :	19
2.6.4 Matière organique :	20
2.7 Paramètres morphologiques :	21

2.7.1	Taux de germination.....	21
2.7.2	Croissance des plantes :	21
2.7.3	Nombres de feuilles :.....	21
2.7.4	Longueur des feuilles :.....	21
2.8	Paramètres physiologiques :	21
2.8.1	Teneur en proline :	21
2.8.2	Teneur en sucres solubles :	22
2.8.3	Teneur en chlorophylle totale :	23
2.9	Analyse statistique :	24

Chapitre 3 : Résultats et discussion

3.1	Paramètres physico-chimiques du sol :.....	25
3.1.1	Mesure du potentiel hydrogène :.....	25
3.1.2	Mesure de la conductivité :	26
3.1.3	Mesure du calcaire totale :.....	26
3.1.4	Mesure de la matière organique :	28
3.2	Paramètres morphologiques :.....	29
3.2.1	Taux de germination :	29
3.2.2	Croissance des plantes :	30
3.2.3	Nombres des feuilles :	31
3.2.4	Longueur des feuilles.....	32
3.3	Paramètre physiologique :.....	33
3.3.1	Teneur en proline :	33
3.3.2	Teneur en sucre soluble :	34
3.3.3	Teneur en chlorophylle :.....	36

CONCLUSION :	37
---------------------------	-----------

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	39
--	-----------

Résumé :

Liste des figures :

N ⁰	Titres des figures
1	Coquilles d’œufs, photo prise par Bassirou Maiga
2	Les différentes parties d’un œuf et leurs composants majoritaires (Clède, 2022).
3	Carte wilayas à l'est d'Alger (Bassirou M. MAIGA)
4	Carte topographique Constantine (Bassirou M. MAIGA)
5	CONSTANTINE : Cartes des températures (minimal et maximal), précipitations et humidité du sol de 2014 à février 2025
6	CONSTANTINE : Carte des flux solaire de 2014 à juin 2024
7	Tomates ACE 55 VF
8	Préparation de la poudre de coquilles d’œufs (Photos prises par Bassirou Maiga 5 mars 2025)
9	Processus de fabrication du compost (photos prises par Bassirou Maiga le 5 mai 2025)
10	Image de la plantation des graines de tomates (Photos prises par Bassirou Maiga le 05 mai 2025)
11	Mesure du pH (photos prises par Bassirou Maiga le 11 mai 2025)
12	Mesure de la conductivité (photos prises par Bassirou Maiga le 11 mai 2025)
13	Mesure du calcaire total (photos prises par Bassirou Maiga le 19 mai 2025)
14	Mesure de la matière organique des différents types de sols (photos prises par Bassirou Maiga le 29 mai 2025)
15	:Dosage de la proline (Photos prises par Bassirou Maiga le 12 mai 2025)
16	Dosages des sucres solubles (Photos prises par Bassirou Maiga le 12 mai 2025)
17	Dosage de la chlorophylle (Photos prises par Bassirou Maiga le 12 mai 2025)
18	Variation du pH en fonction du type de sol
19	Variation de la conductivité en fonction du type de sol
20	:Variation du taux de calcaire en fonction du type de sol
21	Variation de la matière organique en fonction du type de sol
22	Variation de taux de germination en fonction du type de sol
23	Variation de la croissance des plantes en fonction du temps
24	Variation du nombre moyen de feuilles en fonction du type de sol
25	:Variation de la longueur moyenne des feuilles en fonction du type de sol
26	Variation des moyennes des teneurs en proline chez les plantes

27	:Variation des moyennes des teneurs en sucre solubles chez les plantes
28	Variation des moyennes des teneurs en chlorophylles totales chez les plantes

Liste des tableaux :

N°	Titre des tableaux
1	Données climatiques moyennes annuelles ; températures, précipitations et humidité du sol (2014- février2025) et les flux solaire (2014-juin 2024)(Naza <i>data power</i>)

Liste des abréviations :

Abréviations	Significations
CO₂	Dioxyde de carbone
CaCO₃	Carbonate de calcium
K₂Cr₂O₇	Dichromate de potassium
H₂SO₄	Acide sulfurique
Chl	Chlorophylle
μs/cm	Microsiemens/centimètre
MF	Matière fraîche
μg	Microgramme
pH	Potentiel Hydrogène
Mg	Milligramme
ml	Millilitre
°C	Degré Celsius
ST	Sol Témoin non stressé (1 ^{ère} variété)
STS	Sol Témoin stressé (1 ^{ère} variété)
Scss	Sol enrichi stressé (1 ^{ère} variété)
Scs	Sol enrichi non stressé (1 ^{ère} variété)
ST₂	Sol Témoin non stressé (2 ^{ème} variété)
STS₂	Sol Témoin stressé (2 ^{ème} variété)
SCS₂	Traité non stressé (2 ^{ème} variété)
SCSS₂	Traité stressé (2 ^{ème} variété)
T. max	Température maximale
T. min	Température minimale
R. solaire	Radiation solaire
H. sol	Humidité du sol
Moy	Moyenne
V1	Première variété de tomate
V2	Deuxième variété de tomate
ANOVA	Analyse de la variance
NF	Norme française
NFX	Norme française expérimentale

INTRODUCTION

Introduction

Le XXI^e siècle est indéniablement marqué par des défis environnementaux majeurs, au premier rang desquels le changement climatique, dont les manifestations, telles que l'intensification et la prolongation des épisodes de sécheresse, menacent gravement la sécurité alimentaire mondiale. Ces phénomènes, exacerbés par les activités anthropiques exercent une pression sans précédent sur les écosystèmes agricoles, réduisant la productivité des cultures et fragilisant les systèmes de production **(Blanfort et Demenois, 2019)**. Parallèlement, la gestion des déchets agroalimentaires représente un enjeu environnemental, économique et social colossal. Des tonnes de matières organiques, souvent considérées comme de simples détritiques, sont générées annuellement par l'agriculture et l'industrie agroalimentaire, alors qu'elles recèlent un potentiel de valorisation considérable, notamment comme amendements organiques pour l'amélioration des sols.

Face à ces impératifs, la recherche de solutions innovantes et durables est devenue cruciale pour bâtir une agriculture plus résiliente et respectueuse de l'environnement, particulièrement dans des régions vulnérables au stress hydrique comme l'Algérie, caractérisée par un climat semi-aride(en grande partie), un déficit en précipitation et une forte dépendance à l'irrigation **(Benssenasse et Bouteldjaoui,2019)**. Dans ce contexte, l'utilisation d'amendements biologiques issus de la valorisation de coproduits agroalimentaires émerge comme une alternative prometteuse aux engrais chimiques. Contrairement à ces derniers, dont l'impact environnemental (pollution des eaux, empreinte carbone) et le coût économique sont considérables **(Medjedded et Louchene ,2020)**, les amendements biologiques permettent non seulement de réduire l'accumulation de déchets, mais aussi d'améliorer durablement la structure et la fertilité des sols, favorisant ainsi une meilleure tolérance des plantes aux stress abiotiques **(Medjedded et Louchene ,2020)**

Ce mémoire s'inscrit pleinement dans cette démarche en explorant l'efficacité de l'utilisation des coquilles d'œufs et du son de blé, deux coproduits agroalimentaires abondants et souvent sous-valorisés, comme fertilisants organiques. Notre étude se focalise sur la tomate (ACE 55VF et Heinz 1350), une culture d'une importance économique et alimentaire majeure en Algérie, mais particulièrement sensible au stress hydrique.

En évaluant l'impact de ces amendements sur les paramètres de morphologique et les réponses physiologiques de différentes variétés de tomates sous conditions de stress hydrique, nous cherchons à apporter des éléments de réponse à une question fondamentale : Est-ce que

l'application de coquilles d'œufs et de son de blé comme fertilisants peut atténuer les effets délétères du stress hydrique sur la tomate ?

Pour répondre à cette problématique, ce mémoire est structuré en plusieurs chapitres. Le Chapitre I sera dédié à une synthèse bibliographique approfondie, permettant de situer notre travail dans le contexte des connaissances actuelles sur les déchets de manière générale, une description des biofertilisants, une caractérisation des coquilles d'œufs et son de blé pour terminer avec le stress hydrique. Le Chapitre II détaillera le matériel végétal et les méthodes expérimentales mises en œuvre, incluant la préparation des amendements, la conduite de la culture de tomates dans les différentes conditions de sol et de stress hydrique, ainsi que les protocoles de mesure des paramètres morphologiques et physiologiques. Le Chapitre III présentera et discutera les résultats obtenus, en analysant l'influence des traitements sur les différentes variables mesurées. Enfin, une conclusion générale récapitulera les principaux acquis de cette recherche et ouvrira sur des perspectives d'études futures, contribuant ainsi à la promotion de pratiques agricoles plus durables et résilientes face aux défis climatiques.

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Synthèse bibliographiques :

1.1 Déchets :

La diversité des déchets que nous générons pose des défis considérables en matière de gestion. Pour mieux comprendre ces enjeux, il est crucial de distinguer les différentes catégories de déchets, chacune présentant des spécificités en termes de composition, de traitement et de valorisation. Cette section propose une typologie détaillée des déchets.

1.1.1 Définition des déchets :

L'étymologie du mot "déchet" En fait, le terme vient du latin "cadere" qui signifie "tomber". Exprime l'éloignement et la séparation, ce qui reflète bien l'idée que les déchets sont des objets que l'on abandonne ou dont on se sépare. Au fil du temps, avec l'évolution de la technologie et l'augmentation de la population, les déchets sont devenus plus visibles et envahissants. C'est leur concentration et le manque de prise en compte qui posent problème pour les populations humaines (Tristan, 2018).

Un déchet est défini comme tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui est de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs. D'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement (Byckahouad,s 2022).

1.1.2 Classification des déchets :

Les déchets peuvent être classés selon plusieurs critères, tels que leur origine (urbains, de soins, agricoles, ultimes), leur nature physique (solides, liquides, gazeux, boues), leur nature chimique (organiques, minéraux, métalliques, acides, basiques, polymériques, sels résiduels), et leur potentiel polluant et toxicité (dangereux, non dangereux, inertes) . (Hammi 2023).

Selon la loi 01-19 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, les déchets sont classés en 3 types :

-Déchets ménagers et assimilés.

-Déchets inertes.

-Déchets spéciaux il existe des déchets spéciaux dangereux [1].

➤ Les déchets ménagers et assimilés :

Les déchets ménagers et assimilés incluent tous les déchets qui proviennent des maisons ainsi que ceux qui proviennent des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres, et qui sont similaires aux déchets ménagers par leur nature et leur composition [2].

➤ **Déchets inertes :**

Les déchets inertes sont une sous-catégorie de déchets non dangereux. Ils ne se décomposent pas et ne présentent pas de risques pour la santé ou l'environnement. Ils sont principalement composés de matériaux minéraux tels que le béton, la brique, la pierre, la terre, le verre, les métaux non dangereux, les céramiques, etc. Ces matériaux sont considérés comme inertes car ils ne contiennent pas de substances toxiques en quantités significatives. Cependant, ils peuvent contenir des traces de substances nocives, comme des métaux lourds, qui doivent être gérées correctement pour éviter toute contamination de l'environnement [3].

➤ **Déchets spéciaux (DS) :**

Les déchets spéciaux sont des déchets qui nécessitent des mesures particulières de conditionnement et de collecte en raison de leur composition, de leurs propriétés physicochimiques ou biologiques, ou du danger résultant d'une élimination inappropriée. Exemple : peintures, produit de nettoyage, détachant, nettoyeurs, graisses, médicaments (Hammi 2023).

➤ **Déchets spéciaux dangereux (DSD) :**

Selon l'article 03 de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 :

Tous les déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement, par exemple : Produit chimique boues, déchets de colle et mastic contenant des solvants organiques aux autres, transformation PCB mis en rebut (polychlorobiphényles), les DASRI (Hammi, 2023).

1.1.3 La gestion des déchets :

La gestion des déchets comprend la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets produits par l'activité humaine. Le but est de réduire leur impact sur la santé humaine, l'environnement et l'esthétique locale. Cela concerne tous les types de déchets,

qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, et chaque type a son propre processus de traitement spécifique. De plus, des mesures peuvent être prises pour réduire la production de déchets et promouvoir le recyclage et la réutilisation des matériaux convertibles (**Brik et Guerriche, 2021**).

Traitement, valorisation et élimination des déchets :

- **Le traitement** est toute opération de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination.
- **La valorisation** des déchets désigne toute opération qui permet de donner une seconde vie aux déchets en les transformant en nouveaux produits, en matières premières ou en énergie. (**Brik et Guerriche, 2021**).
- **L'élimination** des déchets représente la dernière étape de la gestion des déchets, intervenant lorsque la valorisation n'est pas possible ou économiquement viable. Elle regroupe un ensemble de procédés visant à se débarrasser des déchets de manière définitive, en minimisant leur impact environnemental et sanitaire.

1.1.4 Valorisation des déchets :

D'après la directive européenne 75/442/CEE du conseil du 15 juillet 1997 la caractéristique essentielle de l'opération de valorisation consiste à faire remplir aux déchets une fonction utile. Ils se substituent pour cela à l'usage d'autres matériaux qui auraient dû être utilisés pour remplir cette fonction, afin de préserver les ressources naturelles. La valorisation se décline en : valorisation de la matière qui permet de réutiliser les éléments constitutifs du déchet en les intégrant dans le circuit économique ; valorisation biologique permettant la production d'engrais et de compost et valorisation énergétique (production de chaleur et d'électricité).

1.1.4.1 Valorisation matière :

La valorisation matière consiste à transformer les déchets en de nouveaux matériaux ou produits, leur donnant ainsi une seconde vie.

L'objectif est de réintroduire ces matériaux dans le cycle de production, réduisant ainsi le besoin d'extraire de nouvelles matières premières (**Masson, 2018**).

On distingue différentes formes de valorisation des matières liées aux conditions économiques, sociales et culturelles. Ces formes sont : le réemploi comme la réutilisation des bouteilles en verre, des emballages, etc. ; le recyclage qui permet d'obtenir de nouveaux produits en intégrant ces matières premières et secondaires dans un nouveau cycle de production.

La valorisation de la matière englobe donc : le recyclage et la récupération des déchets. Une grande partie du secteur informel est basée sur cette activité avec la récupération de carcasse de véhicules, de plastiques et de métal.

1.1.4.2 Valorisation organique :

La valorisation organique des déchets représente l'ensemble des processus biologiques et biophysiques par lesquels les matières résiduelles d'origine végétale ou animale sont transformées en produits stabilisés et enrichis en matière organique. **(Saïdi-Boulahia, 2018).**

Dans le milieu naturel, cette dégradation de la matière organique peut se faire par deux voies différentes : en conditions aérobies, c'est-à-dire en présence d'oxygène, pour former un amendement organique appelé humus ou compost. Il s'agit alors de compostage, qui se fait naturellement dans les litières forestières **(Teglia, 2011)**. En conditions anaérobies, c'est-à-dire en absence d'oxygène pour produire du gaz. Il s'agit de la méthanisation qui se déroule dans le milieu naturel. La méthanisation est un processus biologique de dégradation anaérobie (en l'absence d'oxygène) de la matière organique, effectué par une succession de micro-organismes. Ce procédé complexe permet la conversion de substrats organiques divers (biomasse agricole, déchets agro-industriels, boues d'épuration, biodéchets) en deux produits principaux : d'une part, le biogaz, une énergie renouvelable riche en méthane valorisable en chaleur, électricité ou carburant ; et d'autre part, un résidu appelé digestat, un fertilisant organique de haute qualité **(Saïdi-Boulahia et al. 2018)**

1.1.4.3 La valorisation énergétique :

Ce type de valorisation est envisageable dans le cadre de la production de l'énergie. La valorisation consiste à utiliser les calories contenues dans les déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour chauffer des immeubles ou produire de l'électricité. Cette forme de valorisation consiste à brûler les déchets ménagers hétérogènes dans des fours aménagés à cet effet. La valorisation énergétique est un mode d'exploitation des déchets par traitement thermique ; elle a pour objectif de récupérer une partie de leur contenu énergétique. Cette combustion peut avoir lieu dans plusieurs types d'installations : les incinérateurs à déchets ménagers, les cimenteries, les chaudières (pour le bois essentiellement). **(Fournier et al. 2015).**

1.2 Biofertilisants :

Les biofertilisants sont des produits composés de micro-organismes vivants qui favorisent la croissance des plantes grâce à leurs propriétés. Ils aident les végétaux en agissant de plusieurs manières sur les nutriments du sol et de l'atmosphère :

- Amélioration de l'absorption des nutriments : les micro-organismes transforment les éléments nutritifs immobilisés en formes facilement assimilables par les plantes.
- Stimulation de la fixation de l'azote : certains micro-organismes capturent l'azote atmosphérique et le rendent utilisable pour les plantes.
- Favorisation du développement racinaire : les micro-organismes contribuent à la croissance de racines plus saines et plus vigoureuses, permettant aux plantes d'absorber davantage d'eau et de nutriments.
- Production de substances stimulantes : certains micro-organismes produisent des substances qui favorisent la croissance et le développement des plantes.
- Amélioration de la fertilité du sol : les micro-organismes améliorent la structure du sol et augmentent sa teneur en matière organique [4].

1.3 Les déchets des coquilles d'œufs :

Les coquilles d'œufs (**figure 1**) sont souvent récupérées des déchets de restauration et de transformation alimentaire. Elles sont peu coûteuses et abondantes, et présentent des caractéristiques intéressantes pour de nombreuses applications potentielles (**Byckahouad, 2022**).



Figure 1 : coquilles d'œufs(photo prise par Bassirou Maiga)

1.3.1 Définition, structure, composition et valeur nutritionnelle des œufs :

Un œuf est le produit de la ponte d'un oiseau femelle. Il contient un germe entouré de substance de réserve et protégé par une coquille calcaire poreuse pour permettre les échanges.

La forme est généralement ellipsoïdale avec un gros bout et un bout pointu. Le poids moyen d'un œuf de poule est de 53 à 63 grammes. Les parties comestibles de l'œuf représentent 90% de son poids et renferment 77% d'eau. En moyenne, la coquille représente 10% de l'œuf, le blanc ou albumen 65%, le jaune ou vitellus 25%.

Les œufs des différentes espèces animales qui les produisent, les volatiles surtout, ont une composition caractéristique et peu variable, il existe trois principaux constituants (**figure 2**) :

- Un constituant minéral externe, la coquille.
- Deux constituants organiques internes ; le blanc et le jaune [5].

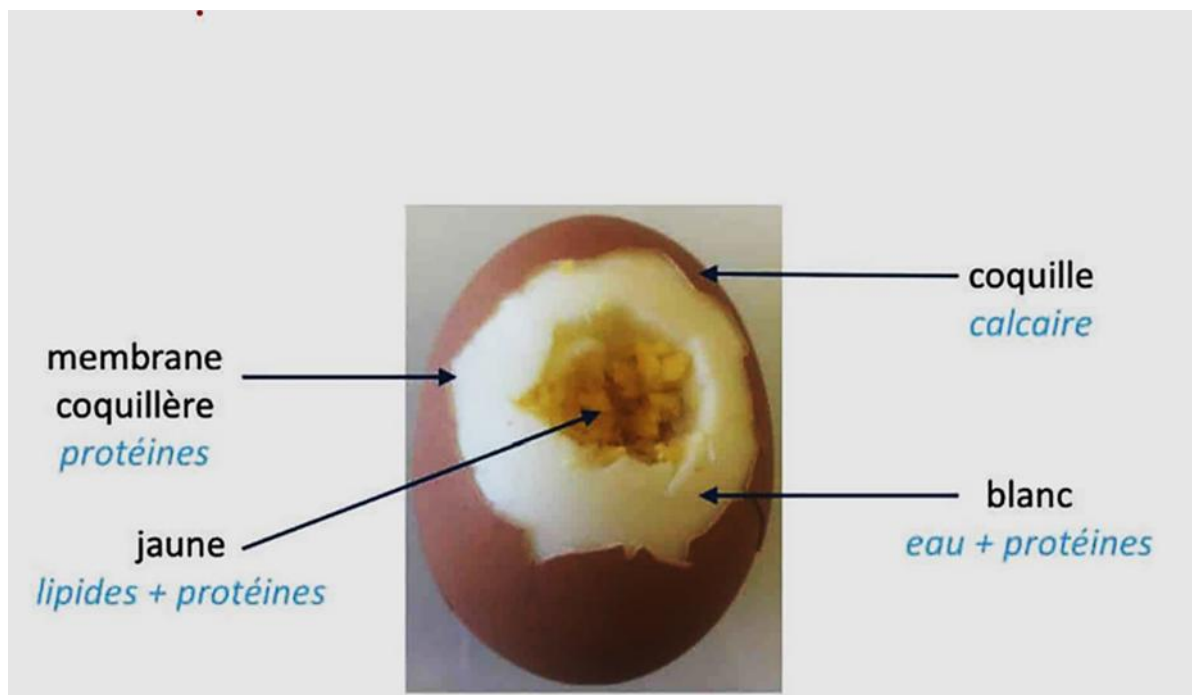


Figure 2 : Les différentes parties d'un œuf et leurs composants majoritaires (Clède, 2022).

1.3.2 Définition, structure, composition des coquilles d'œufs :

La coquille constitue une barrière physique empêchant toute pénétration microbienne. Elle contrôle les échanges gazeux avec l'environnement, garantissant ainsi le développement normal du futur poussin. De plus, elle préserve les qualités internes de l'œuf de consommation pendant le stockage.

Qu'elle soit blanche, tachetée ou uniformément pigmentée, la coquille est principalement composée de minéraux. Ce n'est pas un simple revêtement, mais un dépôt de sels minéraux intégré dans une structure de fibres protéiques [5].

➤ L'origine de la coquille

La coquille se forme à partir du calcium sanguin, transféré par le sang à l'organe reproducteur de la poule et déposé sur la membrane coquillière de l'œuf [5].

➤ Les membranes coquillères

Il y a deux membranes coquillères : une membrane interne qui enveloppe l'albumen et une membrane externe qui tapisse la paroi interne de la coquille et adhère à la couche mamellaire au pôle. La plus grande des deux membranes se sépare pour former la chambre à air.

À la ponte, l'œuf est plein, et c'est uniquement en refroidissant que la chambre à air se forme par l'évaporation de l'eau contenue dans le blanc, ce qui entraîne la séparation des deux membranes [5].

La coquille d'œuf est constituée à 95.1% d'éléments minéraux, notamment de carbonate de calcium sous forme de calcite cristallisée, mais aussi 3.3% de protéines qui constituent la trame initiale de la coquille et de 1.6 % d'eau étant formée principalement de carbonate de calcium (CaCO_3), elle contient également du carbonate de magnésium et du phosphate tricalcique, chacun à environ 0,8 %. Globalement, le calcium constitue 37,3 % du poids total de la coquille (2,3 grammes pour une coquille de 6 grammes), le carbonate représente 58 %, et le magnésium et le phosphore chacun 0,35 % (Byckahouad, 2022).

1.4 Le son de blé :

Le son de blé est en effet un coproduit d'intérêt pour les bioraffineries. Il provient des procédés de meuneries et de bioraffineries et correspond aux enveloppes végétales qui entourent et protègent le grain de blé. Actuellement, il est principalement utilisé en alimentation animale, mais il a un potentiel sous-exploité pour la production de molécules à haute valeur ajoutée [6].

Les fibres cellulosiques présentes dans le son de blé sont bénéfiques pour augmenter ses apports quotidiens en fibres et favoriser le transit intestinal dans le cadre d'un régime équilibré. Le blé est principalement constitué d'une écorce formée par une superposition de couches ligneuses. Cette écorce est responsable du son. Le son est l'un des éléments les plus abondants du blé. Il renferme de nombreux nutriments : phosphore, manganèse, magnésium, zinc, sélénium, cuivre entre autres. Il est richement enrichi en vitamines B1, B3, B6, E [7].

1.5 Le stress hydrique :

1.5.1 Définition :

Le terme de stress hydrique fait référence à une situation où il n'y a pas suffisamment d'eau pour répondre aux besoins des plantes pendant leur croissance et leur développement **(Benabdallah, 2008)**. Le stress hydrique peut être causé par un manque d'eau, déficit hydrique ou la sécheresse représente le stress abiotique le plus sévère. Le stress hydrique a été défini comme une baisse ou un excès de la disponibilité de l'eau dans le milieu d'installation de telle culture, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype **(Benabdallah, 2008)**.

La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol. **(Benabdallah, 2008)**.

1.5.2 Impact du stress hydrique sur les plantes :

L'effet du stress hydrique va dépendre de son intensité, de sa durée, du stade de développement de la plante ainsi que du génotype et de son interaction avec l'environnement **(Benabdallah, 2008)**.

1.5.2.1 Impact du stress hydrique sur la germination :

Ce phénomène est l'un des facteurs environnementaux qui affecte le plus la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement. En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, n'évolue pas, retardant ainsi la levée. En cas de persistance de la sécheresse, la situation peut se traduire par une absence de germination **(Touati et al. 2017)**.

1.5.2.2 Impact du stress hydrique sur la morphologie des plantes :

Un déficit hydrique affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs ce qui se traduit par une réduction de la biomasse finale **(Touati et al. 2017)**.

Une diminution importante de la longueur et du nombre de racines, pourrait être due à un arrêt de la division et de l'élongation cellulaire au niveau de la partie racinaire, une autre conséquence importante de la sensibilité à l'élongation des cellules lors d'un stress hydrique est la réduction marquée de la surface foliaire. Cette dernière diminuera la croissance de la plante surtout durant les premiers stades de développement. **(Touati et al. 2017)**.

1.5.2.3 Impact du stress hydrique sur la physiologie de la plante :

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, on observe un changement dans la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration.

En effet, un tel stress provoque la fermeture des stomates, ralentissant ainsi la photosynthèse en même temps que la respiration. De plus l'activité physiologique de la feuille est fortement affectée et est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire. Cette réduction est supposée dépendre d'une fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂ et d'une limitation biochimique du chloroplaste pour la fixation du CO₂ (Toumi et al. 2022).

1.5.3 Adaptation des plantes au stress hydrique :

1.5.3.1 Echappement au stress :

Cette stratégie consiste pour la plante à achever son cycle de vie avant que les conditions de sécheresse ne deviennent trop intenses. Elle est particulièrement prévalente chez les espèces annuelles des écosystèmes arides et semi-arides, et repose sur des mécanismes tels qu'un cycle de vie court permettant une floraison et une fructification précoces. Cela assure une production de graines viables et leur dispersion avant que les réserves en eau du sol ne s'épuisent. Une croissance rapide durant les périodes favorables optimise l'accumulation de biomasse, et la dormance des graines assure la pérennité de l'espèce en attendant le retour de conditions d'humidité propices à la germination (Levitt, 1980).

1.5.3.2 Evitement du stress :

L'évitement de la sécheresse correspond à la capacité de la plante à maintenir un potentiel hydrique élevé dans ses tissus, malgré un déficit hydrique dans le sol. Cette stratégie combine des ajustements morphologiques et physiologiques visant soit à maximiser l'absorption d'eau, soit à minimiser ses pertes. Pour maximiser l'absorption, les plantes peuvent développer un système racinaire profond ou très étendu afin d'explorer un volume de sol plus important et d'accéder aux réserves d'eau. Une augmentation du rapport racine/tige est également une adaptation courante, et l'amélioration de l'efficacité d'absorption par les racines peut être facilitée par des associations comme les mycorhizes. Pour minimiser les pertes d'eau, la régulation stomatique constitue la réponse la plus immédiate et efficace, avec une fermeture partielle ou totale des stomates, contrôlée par l'acide abscissique (ABA), pour réduire la transpiration (Levitt, 1980).

1.5.3.3 Tolérance au stress :

La tolérance à la sécheresse permet aux plantes de fonctionner et de survivre même sous de faibles potentiels hydriques tissulaires. Cette stratégie repose sur des ajustements cellulaires, tels que l'ajustement osmotique par l'accumulation de solutés compatibles comme la proline et les sucres solubles. La plante développe également des systèmes antioxydants pour protéger ses macromolécules et maintenir l'intégrité de ses membranes face au stress oxydatif (**Levitt, 1980**).

Matériel et Méthodes

Chapitre 2 : Matériel et méthodes :

2.1 Présentation de la zone d'étude :

2.1.1 Situation géographique de la wilaya de Constantine :

La ville de Constantine (**figure 3**) se trouve à 36° 22' de latitude Nord et 6° 37' de longitude Est par rapport au méridien de Greenwich. Elle est située à 431 km à l'est d'Alger, à 86 km de Skikda et à 159 km d'Annaba. Elle est bordée au nord par la wilaya de Skikda, à l'est par la wilaya de Guelma, à l'ouest par la wilaya de Mila et au sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi (**figure 04**) avec une superficie de 2 287,77 km², elle représente 0,09 % de la superficie totale du pays [8].



Figure 4: Carte wilayas à l'est d'Alger (Bassirou M. MAIGA)

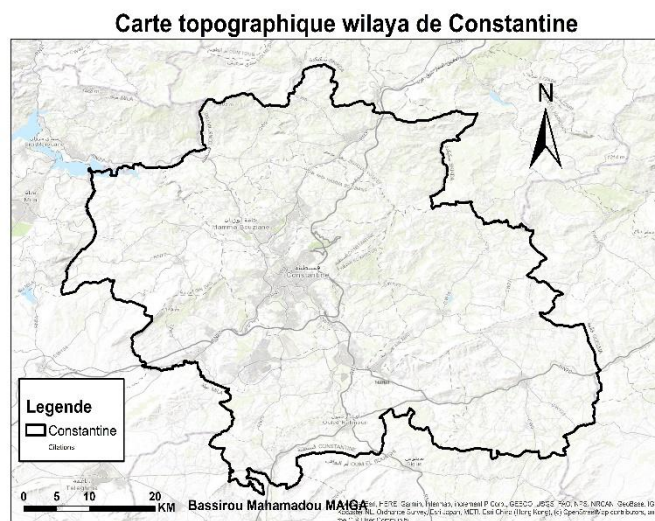


Figure 3: Carte topographique Constantine (Bassirou M. MAIGA)

2.1.2 Climat :

Le **tableau 1** illustre les données climatiques de la région de Constantine sur une décennie. Le climat est méditerranéen avec des étés très chauds et des hivers exposés aux vagues de froid et aux chutes de neige (**figure 05**) [9].

- **La figure 5a** présente une distribution spatiale des températures maximales moyennes à Constantine sur une décennie (2014-février 2025), révélant des zones hétérogènes avec des "îlots de chaleur" marqués (rouge) et des secteurs moins chauds (bleu). La température maximale moyenne au sein de la ville varie de 40°C à 42°C, mettant en évidence des disparités thermiques significatives sur le territoire.
- Les températures minimales moyennes à Constantine sur la période 2014-février 2025, révélant une variabilité thermique au sein de la ville avec des zones plus froides (bleu)

et des secteurs légèrement plus tempérés (rouge). La température minimale moyenne varie de $-2,81^{\circ}\text{C}$ à $-0,59^{\circ}\text{C}$ (**Voir figure 5b**).

- La répartition géographique des précipitations moyennes à Constantine entre 2014 et février 2025, révélant une hétérogénéité significative avec des zones plus humides (bleu foncée) et des régions plus sèches (blanc). Les niveaux de précipitations moyennes s'échelonnent de 400 mm à 700 mm à travers la ville, soulignant ainsi des contrastes pluviométriques (**Voir figure 5c**).
- La cartographie dépeint la répartition de l'humidité du sol à 5 mètres de profondeur à Constantine, couvrant la période de 2014 à février 2025, révélant une forte disparité entre les secteurs très arides (marron) et les zones plus gorgées d'eau (bleu). Les niveaux d'humidité du sol à cette profondeur varient de **0.48 à 0.57** (**Voir figure 5b**).
- La distribution spatiale des flux solaires absorbés pour la photosynthèse à Constantine sur la période 2014-février 2025, affichant une forte variabilité avec des zones assez faible activité photosynthétique (bleu) et des zones à haute productivité lumineuse potentielle (rouge). Les valeurs de ce flux s'étendent de 7,39 à 7,76 ; soulignant des contrastes significatifs dans l'énergie lumineuse disponible pour la végétation, influençant directement la croissance des plantes (**Voir figure 6**)

Tableau 1 : Données climatiques moyennes annuelles ; températures, précipitations et humidité du sol (2014- février2025) et les flux solaire (2014-juin 2024)(Naza data power)

Stations	Moyennes des données climatiques annuelles				
	T. Max	T. Min	Précipitations	H. Sol	R. solaire
1	42	-0,67	1,70	0,57	7,76
2	40	-0,59	1,72	0,53	7,39
3	42	-0,67	1,45	0,48	7,76
4	42	-0,67	1,70	0,54	7,76
5	40,4	-0,59	1,45	0,54	7,76
6	42	-0,67	1,72	0,53	7,76
7	42	-0,67	1,70	0,53	7,76
8	40	-2,81	1,72	0,53	7,5
9	40	-2,74	1,70	0,57	7,76
10	42	-0,67	1,70	0,53	7,76

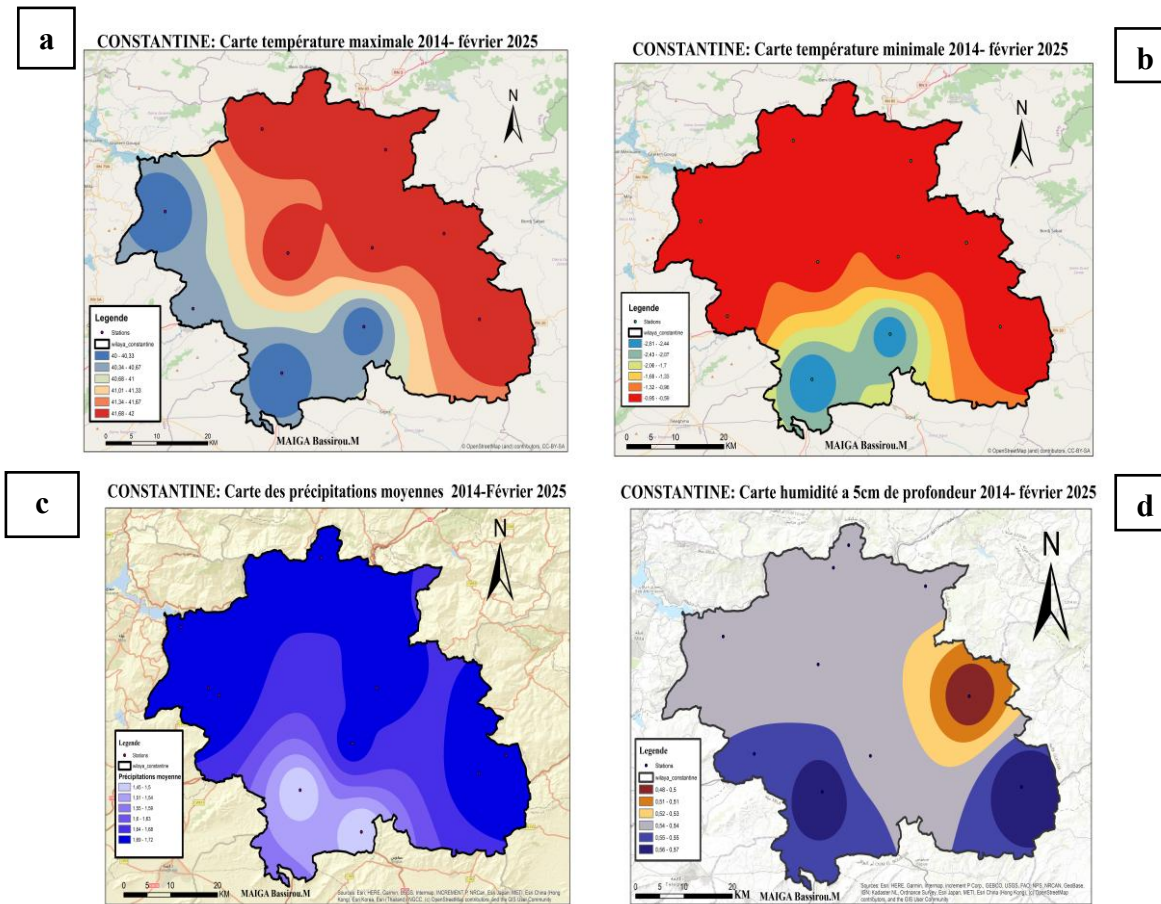


Figure 5 : CONSTANTINE : Cartes des températures (minimal et maximal), précipitations et humidité du sol de 2014 à février 2025

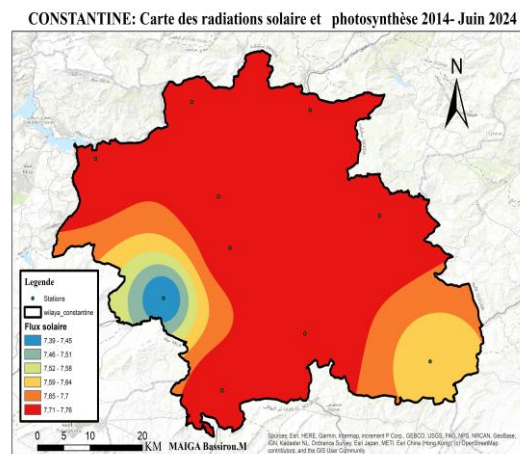


Figure 6 : CONSTANTINE : Carte des flux solaire de 2014 à juin 2024

2.1.3 Occupation des sols

Constantine est une région qui se distingue par la présence de nombreuses terres agricoles occupe une grande partie, se représentant 79.56 % de la totale de Wilaya. Les terres comprennent des terres argileuses riches en ressources agricoles (Aoulmi et Boukerzaza, 2021). La wilaya de Constantine compte une superficie agricole totale d'environ 175 939 hectares, dont environ 126 747 hectares sont exploitables dans ses douze communes. Pour garantir le succès de la saison agricole en cours, des moyens matériels tels que des tracteurs et des équipements d'irrigation ont été mobilisés pour les céréalicultures [10].

2.1.4 Hydrographie

Les principaux cours d'eau de la région s'écoulent d'ouest en est et comprennent l'Oued El Mellah, le Rhumel et le Boumezoug. Parmi eux, le Rhumel et le Boumezoug sont les plus significatifs. Leur confluence se situe à l'entrée sud de la zone urbaine historique (Despois, 1952).

2.2 Matériels et méthodes :

Cette étude est menée entre le 02 Mars et le 29 mai 2025, afin d'évaluer l'efficacité de l'utilisation de compost d'œufs et de son de blé comme fertilisants pour la croissance des plantes de tomates et leurs résistances au stress hydrique, réalisée au Laboratoire de Valorisation et de Développement des Ressources Phylogénétiques de l'Université Frères Mentouri Constantine.

2.3 Matériel végétal utilisés :

➤ 1ere variété :

D'après la Magnani Green SRL , ACE 55 VF est une variété ancienne de tomate (*Solanum lycopersicum*) développée aux États-Unis dans les années 1960. Elle est appréciée pour sa résistance naturelle aux maladies fongiques, notamment le *Verticillium* et le *Fusarium*, comme l'indique le sigle "VF". Cette tomate donne des fruits rouges, ronds, lisses et non craquelés, avec une faible acidité, ce qui la rend idéale pour la consommation fraîche ou en sauce. Les plants mesurent en général entre 80 et 120 cm, et la culture s'étend généralement de février à septembre selon les climats.



Figure 7 : Tomates ACE 55 VF (photos prises par Bassirou Maiga le 22 Mars 2025)

➤ **2^{ème} variété : La tomate Heinz 1350**

La variété Heinz 1350 présente une grande uniformité, une grande vitalité, une résistance naturelle aux maladies et un rendement amélioré. Elle a été découverte en 1963 par l'américain Henry John Heinz. Les graines sont semées entre février et avril et récoltées de fin juillet à fin septembre. Cette espèce mesure en moyenne entre 80 et 120 cm de hauteur. Elle donne naissance à des fruits ronds, lisses, rouges, qui ne craquent pas. [11].

2.4 Le biofertilisant :

2.4.1 Réalisation du biofertilisant :

- La collecte des coquilles d'œufs au niveau des restaurants.
- Nettoyage des coquilles d'œufs avec l'eau de robinet pour éliminer toute les impuretés ou résidus de nourriture.
- Séchage à l'aire libre libre pendant 7 jours
- Broyage des coquilles d'œufs avec un mixeur électrique jusqu'à obtenir une poudre.

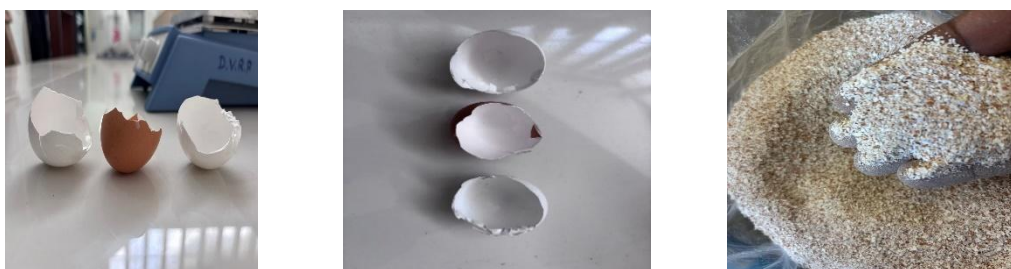


Figure 8 : Préparation de la poudre de coquilles d'œufs (Photos prises par Bassirou Maiga 5 mars 2025)

2.4.2 Préparation des échantillons :

La préparation des échantillons s'est déroulée en 2 phases, qui sont :

- 1^{ère} Phase : qui consistait à remplir 18 pots intégralement en sol. Sur ces pots 6 constituaient les témoins et les 12 autres étaient soumis à un stress hydrique de 5 jours.
- 2^{ème} phase : qui consistait à remplir 18 pots de sol, coquilles d'œufs (50 grammes) et son de blé (25 grammes) et les 2 /3 restant en sol. Sur ces pots 6 constituaient les témoins et les 12 autres étaient soumis à un stress hydrique de 5 jours.



Figure 9 :Processus de fabrication du compost (photos prises par Bassirou Maiga le 5 mai 2025)

2.5 Plantation :

La plantation a eu lieu le 05 Mai 2025 au niveau de la serre de Laboratoire de Développement et de Valorisation des Ressources Phylogénétiques de l'Université Frères Mentouri Constantine.

On a semé 3graines de tomates par pots (**figure 10**).



Figure 10 : Image de la plantation des graines de tomates (Photos prises par Bassirou Maiga le 05 mai 2025)

2.6 Paramètres physico-chimiques du sol :

2.6.1 Mesure du potentiel hydrogène :

La méthode utilisée est celle de la NFX31-103 (1998).

- Peser 10 g de sol sèche dans un bécher,
- Ajouter 25 ml d'eau distillé à l'aide d'une éprouvette graduée de 50 ml,
- Agitation mécanique pendant 1 heure,
- Laisser reposer le mélange pendant 2 heures,
- Filtrer l'eau du sol à l'aide d'un papier filtre,
- Directement, insérer l'électrode de combinée dans la suspension ; prendre la lecture après 30 secondes,

- Retirer l'électrode de combinée de la suspension et la rincer bien à l'eau distillé dans un autre bécher ; sécher bien l'excès avec un chiffon en papier doux,

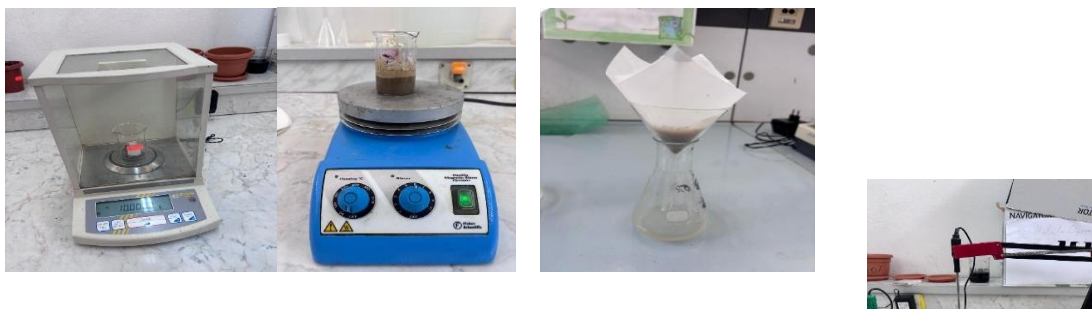


Figure 11 : Mesure du pH (photos prises par Bassirou Maiga le 11 mai 2025)

2.6.2 Mesure de la conductivité :

La méthode utilisée est celle de ISO11265 (1994).

- Peser 20 g de sol séché dans un bécher en verre,
- Ajouter 100 ml d'eau distillé à l'aide d'une éprouvette graduée,
- Agitation mécanique pendant 1 heure,
- Laisser reposer pendant une demi-heure,
- Centrifugation à 2000 tours/minutes pendant 5 min,
- Filtrer le mélange à l'aide d'un papier filtre,
- Insérer la cellule de conductivité dans la solution et mesurer la conductivité,
- Retirer la cellule du filtrat et la rincer bien à l'eau distillée dans un bécher, sécher bien avec un papier doux.

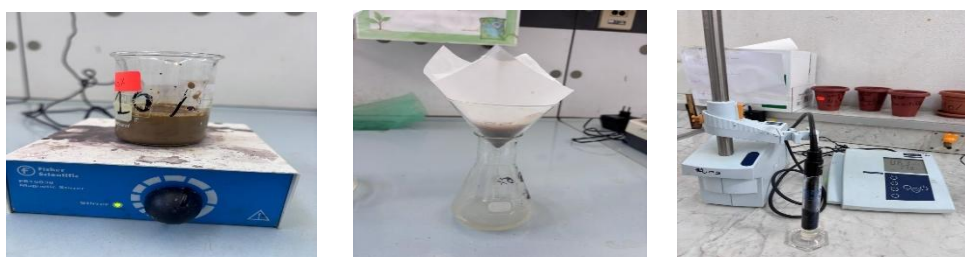


Figure 12 : Mesure de la conductivité (photos prises par Bassirou Maiga le 11 mai 2025)

2.6.3 Mesure du calcaire totale :

La méthode utilisée est celle de la NF ISO 10693 (1995).

- Peser précisément 0,5 g de chaque type de sol (sol enrichi et sol témoin).
- Préparer également des échantillons de carbonate de calcium (CaCO_3) pur avec des masses de 0,025 g, 0,05 g, 0,1 g, 0,2 g et 0,3 g pour établir la courbe de calibration.
- Placer chaque échantillon dans le calcimètre.

- Ajouter 4 millilitres d'acide chloridrique pour déclencher la réaction (noter le volume initial (V_0) avant l'introduction de l'acide. Mesurer le volume total (V_t) après la réaction complète).
- Calculer le volume de CO_2 dégagé : $V_{\text{CO}_2} = V_t - V_0$
- Entrer les données des échantillons de CaCO_3 pur dans un tableau Excel avec deux colonnes : Masse de CaCO_3 (g) et Volume de CO_2 dégagé (ml).
- Créer un graphique de type Nuage de points (XY).
- Ajouter une courbe de tendance linéaire et afficher l'équation sur le graphique pour obtenir la droite de calibration.
- Utiliser l'équation de la courbe de calibration pour calculer la masse de CaCO_3 dans chaque échantillon de sol à partir du volume de CO_2 dégagé.
- Calculer le pourcentage de CaCO_3 dans chaque échantillon :



Figure 13 : Mesure du calcaire total (photos prises par Bassirou Maiga le 19 mai 2025)

2.6.4 Matière organique :

La méthode utilisée est celle de Walkley et Black (**Duchaufoyr, 1981**).

- 1g de sol (séché et tamisé à 2 mm)
- Ajouter 10 ml de dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (1N) + 20 ml d'acide phosphorique (H_2SO_4) (concentré)
- Agité pendant une minute et laisser reposer 30 minutes (la coloration du liquide doit être violette)
- Ajouter 200 ml d' H_2O_s + 10 ml d'acide phosphorique (H_3PO_4) + 1 ml de l'indicateur (diphénylamine)
- Titrer avec la solution du sulfate de fer (FeSO_4) jusqu'au virage du liquide au vert

Remarque : faire un essai à blanc (même conditions sans le sol)

Solution de diphénylamine : 0,25 g (diphénylamine) + 50 ml H_2SO_4 + 10 ml de H_2O_s

Solution de FeSO_4 : 69,5g (FeSO_4) + 250ml H_2O + 2,5ml H_2SO_4

Solution de $K_2Cr_2O_7$ (1N) : $2,45g(K_2Cr_2O_7) + 50 \text{ ml de } H_2O_s$

Calcul:

$$\%MO = 4 * 1.725 (a-b) / a$$

a : Volume $FeSO_4$ du blanc

b : Volume $FeSO_4$ de l'échantillon



Figure 14: Mesure de la matière organique des différents types de sols (photos prises par Bassirou Maïga le 29 mai 2025)

2.7 Paramètres morphologiques :

2.7.1 Taux de germination

La germination est notée après le 8^{ème} jour, il est exprimé par le rapport : Nombre de graine germée dans le dernier jour sur le nombre total de graine. Le taux de germination a été déterminé selon la formule de Côme (1970) : $G (\%) = 100 (NGG/NTG)$.

- G (%) représente le pourcentage de germination.
- NGG représente le nombre de graines germées.
- NTG représente le nombre total de graines incubées.

2.7.2 Croissance des plantes :

La croissance des plantes a été mesurée à l'aide d'une règle le long de la croissance des plantes sur les 3 mois.

2.7.3 Nombres de feuilles :

Les nombres de feuilles de toutes les plantes ont été comptés le long de la croissance des plantes.

2.7.4 Longueur des feuilles :

La taille des feuilles a été mesurée à l'aide d'une règle le long de la croissance des plantes sur les 3 mois.

2.8 Paramètres physiologiques :

2.8.1 Teneur en proline :

La méthode de dosage utilisée est celle de (Bates et al, 1973).

- Pour chaque échantillon, 500 mg de matière végétale ont été prélevés.
- Ajouter 5 millilitres d'éthanol à 40 %.
- Chauffer à 85°C dans un bain marie pendant 60 minutes, après refroidissement.
- Prendre 1 millilitre de la solution d'extraction.
- Ajouter 2 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml du mélange (120 ml d'eau distillée, 300 ml acide acétique, 80 ml acide orthophosphorique).
- L'ensemble est porté à ébullition pendant 30 minutes au bain-marie (100°C), la solution vire à rouge.
- Après refroidissement, ajouter 2 ml de toluène deux phases se séparent (une phase supérieure et une inférieure).
- Après agitation au vortex pendant 10 secondes, la densité optique est mesurée à 520 nanomètres au spectrophotomètre.
- La teneur en proline est calculée à travers l'équation : $(y-0,0177)/0,0618)/0,05$

Avec y= la valeur numérique obtenu lors de la lecture au spectrophotomètre.



Figure 15 :Dosage de la proline (Photos prises par Bassirou Maiga le 12 mai 2025)

2.8.2 Teneur en sucres solubles :

Les sucres solubles sont dosés par la méthode de **(Dubois et al, 1956)**.

- Prendre 100 mg de la matière végétale, dans des tubes à essai.
- Ajouter 3 ml d'éthanol à 80%
- Laisser à température ambiante pendant 48 heures à l'obscurité.
- Filtrer le contenu, et ajouter 20 ml de l'eau distillé à l'extrait (solution à analyser).
- Dans des tubes à essai prendre 2 ml de la solution à analyser, ajouter 1 ml de phénol à 5%
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique à 96%, laisser reposer pendant 20 minutes puis lecture au spectrophotomètre a 485 nanomètres.
- Calculer la teneur en en sucres solubles à travers l'équation : $((y-0,0105)/6,929)/230$

Avec y = la valeur numérique obtenu lors de la lecture au spectrophotomètre.

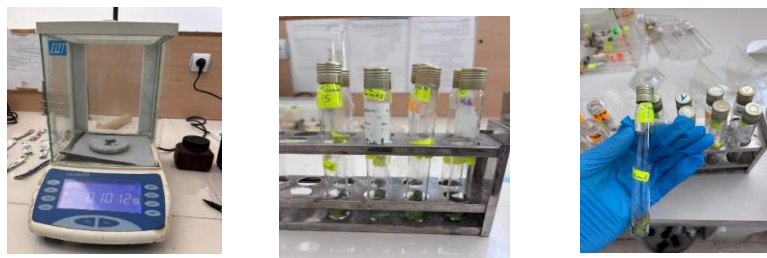


Figure 16 : Dosages des sucres solubles (Photos prises par Bassirou Maiga le 12 mai 2025)

2.8.3 Teneur en chlorophylle totale :

La chlorophylle est dosée par la méthode de (Francis et al. 1970).

- Prendre 100 mg de matière fraîche, coupée en petits morceaux et placé dans boîtes
- Ajouter 10 ml d'une solution préparée à partir de 75% d'acétone et de 25% d'éthanol.
- On conserve les boîtes noires fermées pendant 48 heures à 30°C et à l'obscurité.
- La densité optique est mesurée au spectrophotomètre à 663 et 645 nanomètres.

La chlorophylle a est calculé selon l'équation : $(12,21 * y_{663}) - (2,81 * y_{645})$, avec y = la valeur numérique obtenu lors de la lecture au spectrophotomètre.

La chlorophylle b est calculé selon l'équation : $(20,13 * y_{645}) - (5,03 * y_{663})$, avec y = la valeur numérique obtenu lors de la lecture au spectrophotomètre.

- La teneur en chlorophylle totale est déterminée comme suit : $\text{Chl (Total)} (\mu\text{g/g MF}) = \text{chl a} + \text{chl b}$.



Figure 17 : Dosage de la chlorophylle (Photos prises par Bassirou Maiga le 12 mai 2025)

2.9 Analyse statistique :

Une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs a été réalisée afin d'évaluer l'effet des traitements sur trois paramètres physiologiques des plants de tomate : la proline, les sucres solubles et la chlorophylle totale.

- Les deux facteurs étudiés sont : le traitement (avec ou sans application de coquilles d'œufs et de son de blé) et le stress hydrique (présence ou absence de stress).
- Les variables quantitatives sont : les teneurs en proline, en sucres solubles, en chlorophylle totale
- L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT, en utilisant une ANOVA à deux facteurs.

Résultats et discussion

Chapitre 3 : Résultats et discussion :

3.1 Paramètres physico-chimiques du sol :

3.1.1 Mesure du potentiel hydrogène :

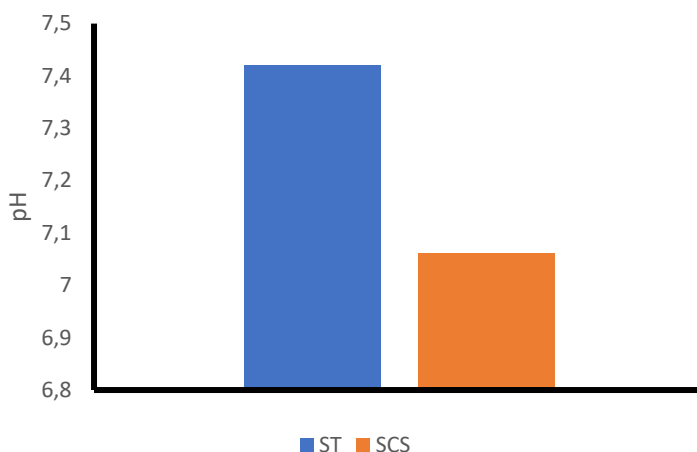


Figure 18 : Variation du pH en fonction du type de sol

La figure 18 présente les résultats du pH dans les 2 types de sol, le sol témoin présente un pH de 7,42, ce qui le classe comme légèrement alcalin. Cela peut être attribué à une faible concentration en ions hydrogène (H^+) et potentiellement à la présence de carbonates ou de bicarbonates, fréquents dans les sols bien drainés ou riches en minéraux basiques.

En revanche, le sol enrichi avec des coquilles d'œufs et du son de blé affiche un pH de 7,06, plus proche de la neutralité. Cette légère diminution du pH par rapport au sol témoin peut s'expliquer par les effets combinés des amendements utilisés :

- **Coquilles d'œufs** : Principalement composées de carbonate de calcium ($CaCO_3$), elles agissent normalement comme un amendement alcalinisant en neutralisant les acides présents dans le sol.
- **Son de blé** : Riche en matière organique, il se décompose en libérant des acides organiques, comme l'acide acétique et l'acide humique, qui augmentent la concentration en ions H^+ et contribuent à l'acidification du sol. Mesure de la conductivité du sol (Koull, 2012).

3.1.2 Mesure de la conductivité :

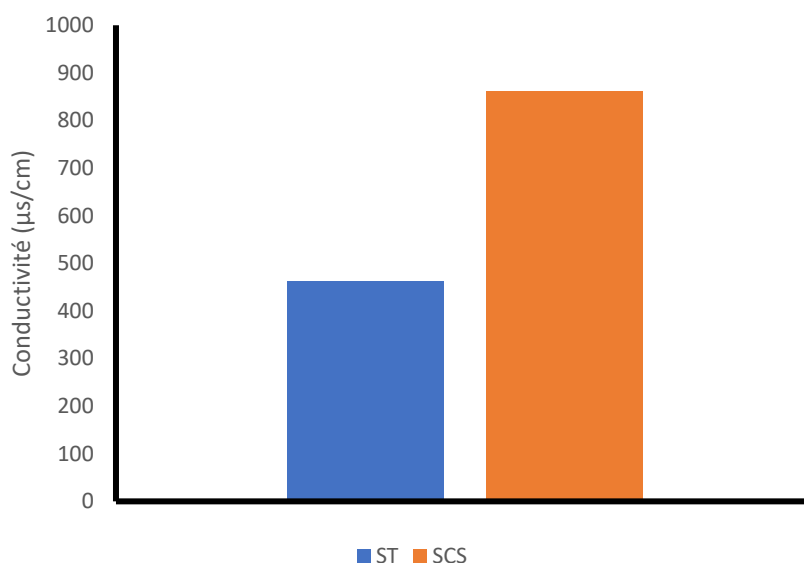


Figure 19 : Variation de la conductivité en fonction du type de sol

La figure 19 présente les résultats de la conductivité électrique, elle mesure la capacité du sol à conduire un courant électrique, principalement influencée par la concentration des sels dissous et des nutriments disponibles. Les valeurs mesurées sont :

- **Sol témoin (462 µS/cm)** : Faible conductivité, indiquant une concentration modérée en nutriments disponibles et en sels solubles. Ce niveau est typique des sols peu amendés, avec une activité microbienne modérée.
- **Sol enrichi (863 µS/cm)** : Conductivité beaucoup plus élevée, suggérant une plus grande concentration en ions dissous. Cet enrichissement peut être dû à la libération d'éléments nutritifs provenant des coquilles d'œufs (calcium, magnésium) et du son de blé (potassium, phosphore), ainsi qu'à l'accumulation de sels issus de la décomposition de la matière organique (Koull, 2012).

3.1.3 Mesure du calcaire totale :

La présence de calcaire (CaCO_3) dans le sol est un facteur important influençant la disponibilité des nutriments et l'acidité du sol, ce qui impacte directement la croissance des plantes, y compris la tomate, sujet de cette étude. Le calcaire est principalement constitué de carbonate de calcium, qui libère du dioxyde de carbone (CO_2) lorsqu'il réagit avec un acide. Cette analyse vise à

déterminer la teneur en calcaire de deux types de sol : un sol enrichi (coquilles d'œufs et son de blé) et un sol témoin non enrichi.

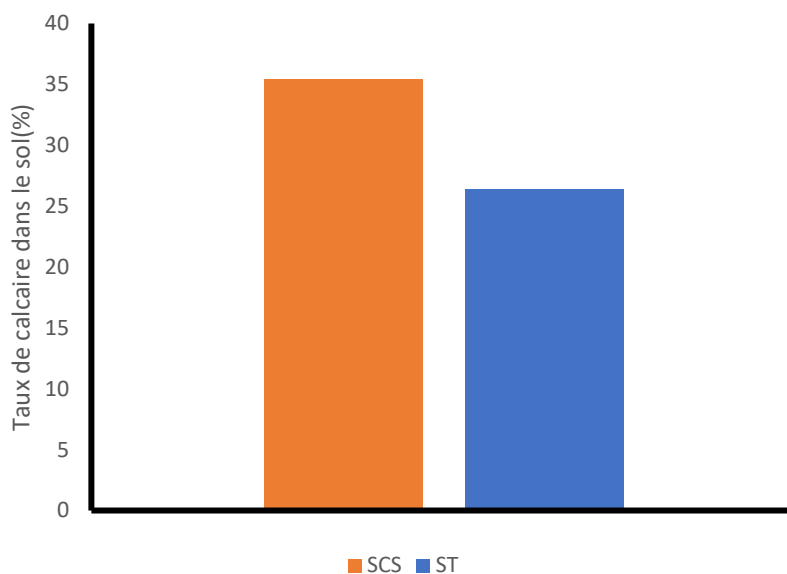


Figure 20 : Variation du taux de calcaire en fonction du type de sol

La figure 20 illustre les résultats du taux de calcaire total dans les différents types de sols, une différence significative entre les quantités en calcaire des deux types de sols étudiés est à noter. Le sol enrichi présente une teneur en calcaire de **35,41 %**, tandis que le sol témoin en contient **26,45 %**. Cette différence s'explique par l'enrichissement en coquilles d'œufs et son de blé, deux matériaux naturellement riches en carbonate de calcium. Cette augmentation du calcaire dans le sol enrichi peut favoriser une meilleure rétention des nutriments, réduire l'acidité du sol et améliorer sa structure, créant ainsi un environnement plus favorable pour la culture de la tomate. [12].

3.1.4 Mesure de la matière organique :

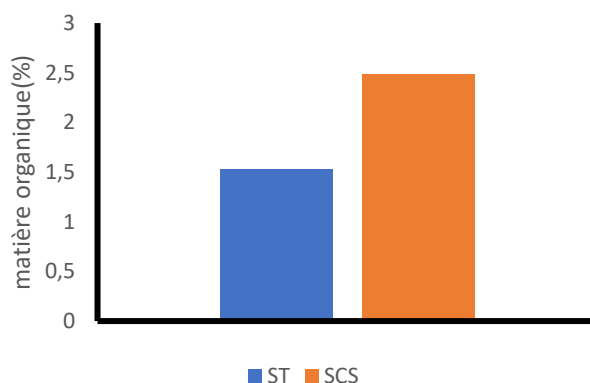


Figure 21 : Variation de la matière organique en fonction du type de sol

L'analyse de la composition des sols tel qu'illustré dans la **figure 21** révèle une distinction notable concernant la teneur en matière organique entre les deux types de sol étudiés.

Alors que le sol témoin affiche une proportion de matière organique de **1,53%**, le sol enrichi avec des coquilles d'œufs et du son de blé présente un taux significativement plus élevé, atteignant **2,48%** (moyennement enrichi en matière organique). Cette augmentation d'environ 0,95 point de pourcentage atteste clairement de l'efficacité de l'incorporation de ces amendements d'origine organique. L'amélioration de la matière organique est d'une importance capitale dans le contexte de notre étude sur la résilience de la tomate au stress hydrique. En effet, une teneur accrue en matière organique confère au sol une capacité supérieure à retenir l'eau et les nutriments, tout en favorisant une meilleure structure et aération, ainsi qu'une activité microbienne accrue. Ces propriétés sont directement liées à une disponibilité en eau prolongée pour les racines, permettant aux plants de mieux faire face aux épisodes de déficit hydrique. (Koull, 2012).

3.2 Paramètres morphologiques :

3.2.1 Taux de germination :

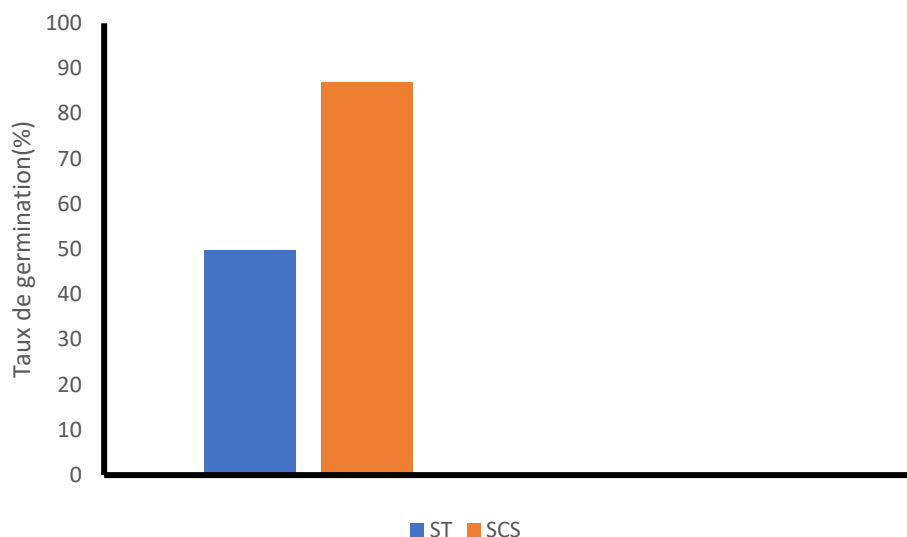


Figure 22 : Variation de taux de germination en fonction du type de sol

Les données présentées dans la **figure 22** indiquent les taux de germinations des plantes en fonction du type de sol :

L'enrichissement du sol avec des coquilles d'œufs et du son de blé a eu un effet bénéfique marqué et durable sur le taux de germination. Les coquilles d'œufs, en apportant du calcium et en améliorant le pH et la structure du sol [5], et le son de blé, en fournissant de la matière organique, des nutriments et en améliorant la capacité de rétention d'eau, ont créé un environnement de croissance plus favorable. [7].

La dynamique observée dans le sol simple (un taux de germination assez faible) est typique d'un sol aux ressources limitées, incapable de soutenir la croissance durable.

3.2.2 Croissance des plantes :

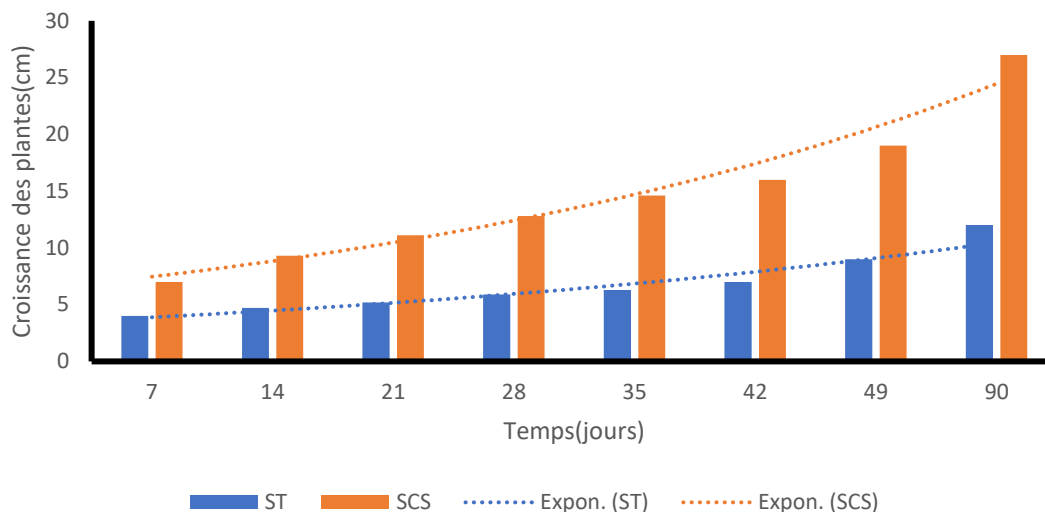


Figure 23 : Variation de la croissance des plantes en fonction du temps

Les données présentées dans la **figure 23** indiquent la croissance des plantes en fonction du temps :

L'enrichissement du sol avec des coquilles d'œufs et du son de blé a manifestement fourni un environnement beaucoup plus propice à la croissance végétative. Les nutriments essentiels et une meilleure structure du sol (rétention d'eau, aération) ont permis un développement aérien plus important dès les premiers stades [5].

Pour le sol simple, la croissance plus lente, surtout entre le 21^{ème} et 35^{ème} jours, indique que leur potentiel de développement a été freiné, probablement par un manque de ressources (nutriments) pour soutenir une croissance rapide et durable.

L'écart de taille croissant entre les deux groupes souligne l'importance cumulative des bénéfices d'un sol de qualité pour le développement optimal et la résilience des plantes. [13]

3.2.3 Nombres des feuilles :

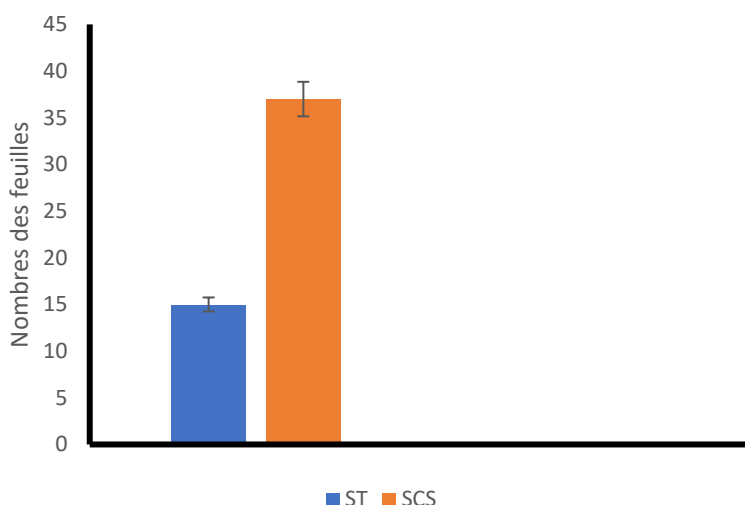


Figure 24 : Variation du nombre moyen de feuilles en fonction du type de sol

Les données présentées dans la **figure 24** démontrent clairement que l'enrichissement du sol avec des coquilles d'œufs et du son de blé a un impact significativement positif et croissant sur le développement foliaire des plantes.

Le sol témoin permet une croissance basale modérée [13]. En revanche, le sol enrichi favorise une accélération exponentielle de la production de feuilles. Les coquilles d'œufs, riches en calcium, et le son de blé, apportant des nutriments organiques, semblent stimuler la vitalité et la capacité de développement des plantes de manière synergique [7].

Ces résultats prouvent que l'intégration de ces amendements organiques est une stratégie efficace pour améliorer la fertilité du sol et optimiser la croissance végétale, particulièrement pour la production de biomasse foliaire. Cette observation valide l'hypothèse selon laquelle l'apport de substances nutritives spécifiques peut grandement influencer le rendement et la santé des plantes.

3.2.4 Longueur des feuilles

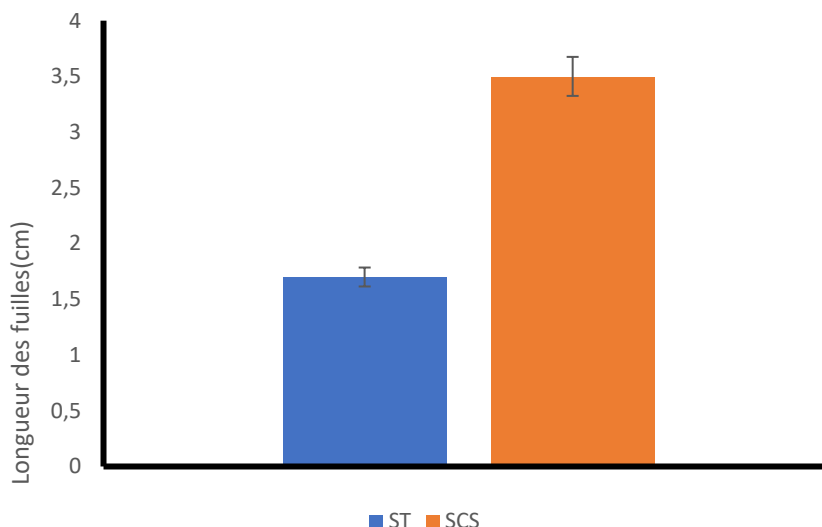


Figure 25 : Variation de la longueur moyenne des feuilles en fonction du type de sol

Les données graphiques de la **figure 25** démontrent de manière irréfutable que l'enrichissement du sol avec des coquilles d'œufs et du son de blé a un impact substantiel et bénéfique sur la longueur des feuilles des plantes.

Le sol témoin permet une croissance progressive mais limitée [13] de la taille des feuilles. En contraste, le sol enrichi favorise une croissance supérieure, les feuilles des plantes cultivées en sol enrichi sont pratiquement deux fois plus grandes que celles du groupe témoin. Ce phénomène est attribué à l'apport de nutriments essentiels (calcium des coquilles, matière organique du son de blé) qui optimisent les processus métaboliques des plantes, conduisant à un développement cellulaire et tissulaire accru au niveau foliaire.

Ces résultats soulignent l'efficacité de ces amendements organiques pour améliorer non seulement la quantité (nombre de feuilles, comme vu précédemment) mais aussi la qualité et le développement morphologique des feuilles, confirmant leur rôle crucial dans l'amélioration de la productivité végétale [7].

3.3 Paramètre physiologique :

3.3.1 Teneur en proline :

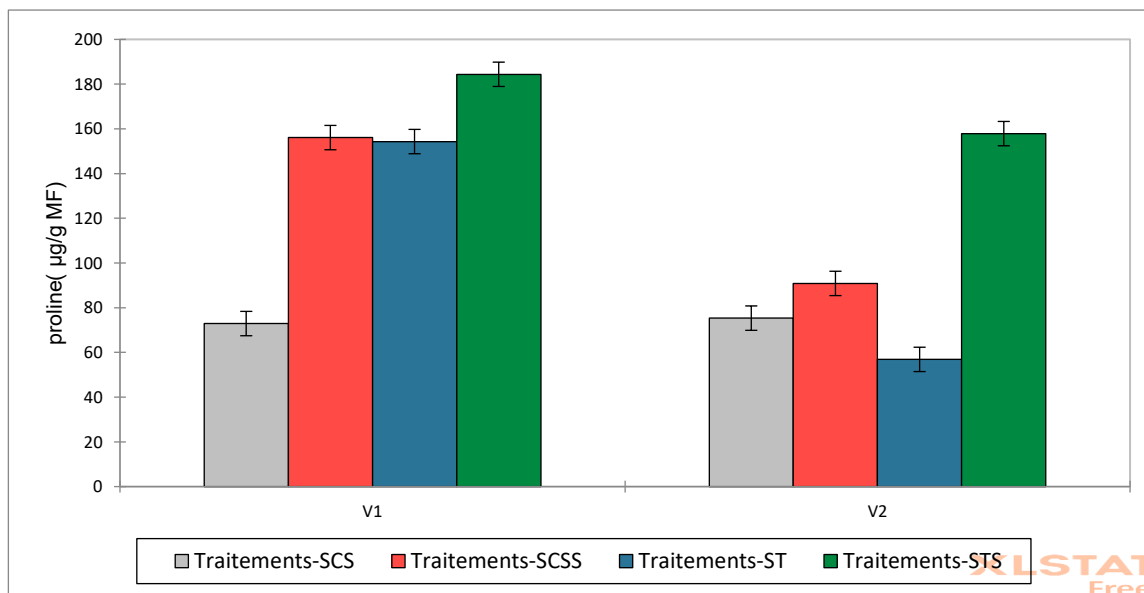


Figure 26: Variation des moyennes des teneurs en proline chez les plantes

La figure 26 présente les moyennes des teneurs en proline chez deux variétés de tomate cultivées sur différents types de sols, avec ou sans stress hydrique.

L'analyse de la teneur en proline chez les deux variétés de tomate révèle une réponse différenciée en fonction des conditions de culture et de stress hydrique. Chez la **variété 1**, la teneur en proline est minimale sur sol témoin non stressé (ST), 70 µg/g MF, traduisant une situation physiologique normale sans contrainte. En revanche, l'application d'un stress hydrique sur sol témoin (STS) induit une forte accumulation de proline, atteignant environ 185 µg/g MF. Cette hausse significative reflète une réponse de défense osmotique marquée. Sur sol enrichi non stressé (SCS), la teneur est également élevée (environ 155 µg/g MF), ce qui suggère que les amendements organiques stimulent certains processus métaboliques. Enfin, sur sol enrichi soumis au stress (SCSS), la concentration reste similaire à celle de ST, indiquant un effet modérateur de l'enrichissement du sol sur l'intensité de la réponse au stress.

Chez la **variété 2**, on observe une tendance globale similaire mais avec des valeurs plus modérées. Sur sol témoin non stressé (ST), la teneur en proline est la plus faible, de 57 µg/g MF, traduisant l'absence de stress. Le stress hydrique sur sol témoin (STS) engendre une accumulation importante de proline (160 µg/g MF), signalant une activation des mécanismes

de protection. Sur sol enrichi non stressé (SCS), la teneur est légèrement supérieure à celle du témoin (75 $\mu\text{g/g}$ MF), tandis que sur sol enrichi stressé (SCSS), elle atteint 93 $\mu\text{g/g}$ MF. Ces résultats indiquent que les amendements organiques (coquilles d'œufs et son de blé) atténuent partiellement l'impact du stress hydrique, surtout chez cette seconde variété.

L'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif des traitements sur la teneur en proline, avec une probabilité associée $p < 0,0001$, indiquant une forte influence des conditions expérimentales (Bhuyean, 2025).

L'expérience met en évidence le rôle bénéfique de l'enrichissement du sol avec des coquilles d'œufs et du son de blé. En condition non stressée, cet enrichissement maintient des niveaux de proline faible, témoignant d'un bon état physiologique des plantes. En condition de stress, bien qu'il y ait une augmentation de la proline, celle-ci est moins élevée dans les sols enrichis (SCSS) que dans les sols témoins stressés (STS), ce qui prouve un effet atténuateur du stress hydrique par les amendements organiques. Autrement dit, les coquilles d'œufs et le son de blé semblent renforcer la tolérance des plantes au stress en réduisant leur niveau de stress perçu (Chaib et al. 2015).

3.3.2 Teneur en sucre soluble :

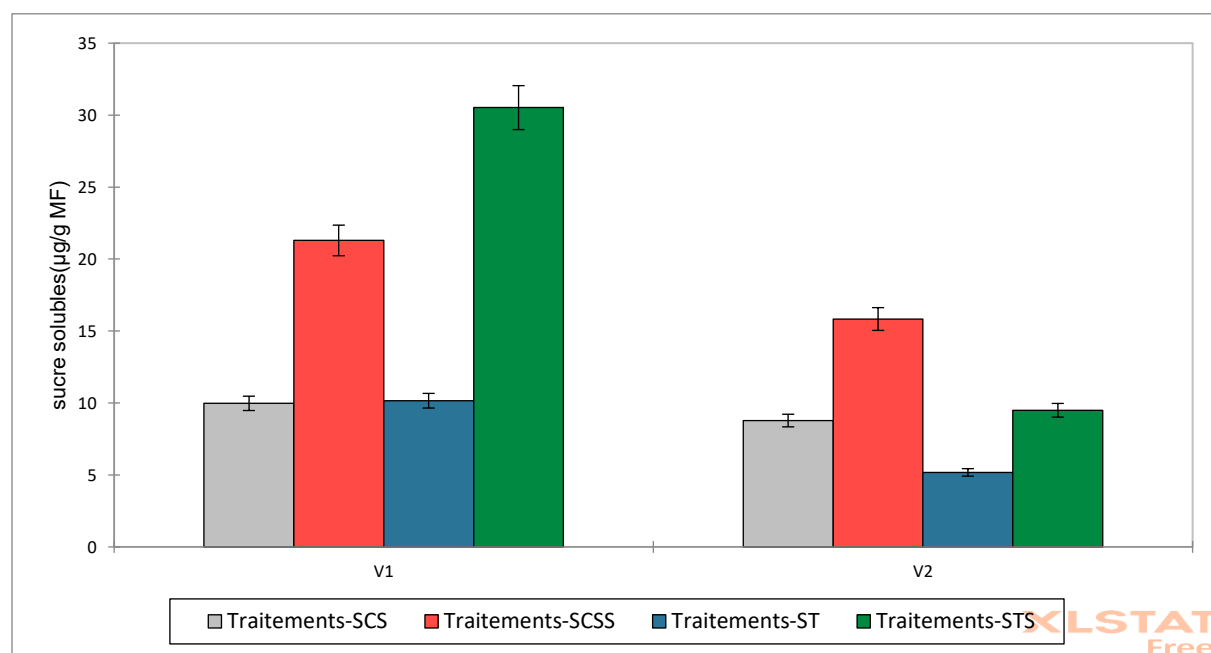


Figure 27 : Variation des moyennes des teneurs en sucre solubles chez les plantes

Les résultats de la teneur en sucre soluble sont présentés sur **la figure 27**, son analyse montre que :

Chez la variété 1 (V1), les niveaux les plus faibles sont observés sur sol témoin non stressé (ST) ainsi que sur sol enrichi non stressé (SCS), 10,15 µg/g MF. Ces résultats suggèrent que, sans contrainte hydrique, la production de sucres solubles reste modérée. L'application d'un stress hydrique sur sol témoin (STS) induit une augmentation marquée, atteignant environ 30,52 µg/g MF, ce qui constitue le pic de production observé pour cette variété. Cette élévation traduit une stratégie de réponse osmotique face au déficit hydrique. Sur sol enrichi soumis au stress (SCSS), la teneur en sucres augmente également (21,29 µg/g MF), mais reste inférieure à celle mesurée sur le sol témoin stressé. Ce résultat révèle un effet atténuateur de l'amendement organique, qui limite partiellement l'accumulation osmotique provoquée par le stress.

Chez la variété 2 (V2), la dynamique est légèrement différente. Sur sol témoin non stressé (ST), les teneurs en sucres sont les plus basses (5,178 µg/g MF). Le stress hydrique sur sol témoin (STS) provoque une augmentation modérée (9,49 µg/g MF), nettement inférieure à celle observée chez V1. Sur sol enrichi non stressé (SCS), la concentration reste comparable à celle du témoin non stressé. En revanche, sur sol enrichi stressé (SCSS), la teneur atteint 15,83 µg/g MF, dépassant légèrement celle du témoin stressé. Ces résultats suggèrent que l'amendement organique exerce un effet légèrement bénéfique, bien que moins prononcé que chez V1.

Les résultats de l'ANOVA montrent également un effet très hautement significatif ($p < 0,0001$), soulignant que les traitements appliqués modifient de manière notable les concentrations en sucres solubles (**Bhuyean, 2025**).

En résumé, la variété 1 répond au stress hydrique par une accumulation significative de sucres solubles, modulée positivement par l'enrichissement du sol. À l'inverse, la variété 2, bien que moins réactive, semble naturellement plus stable face au stress, confirmant sa résilience plus élevée, indépendamment des conditions de sol (**Chaib et al, 2015**).

3.3.3 Teneur en chlorophylle :

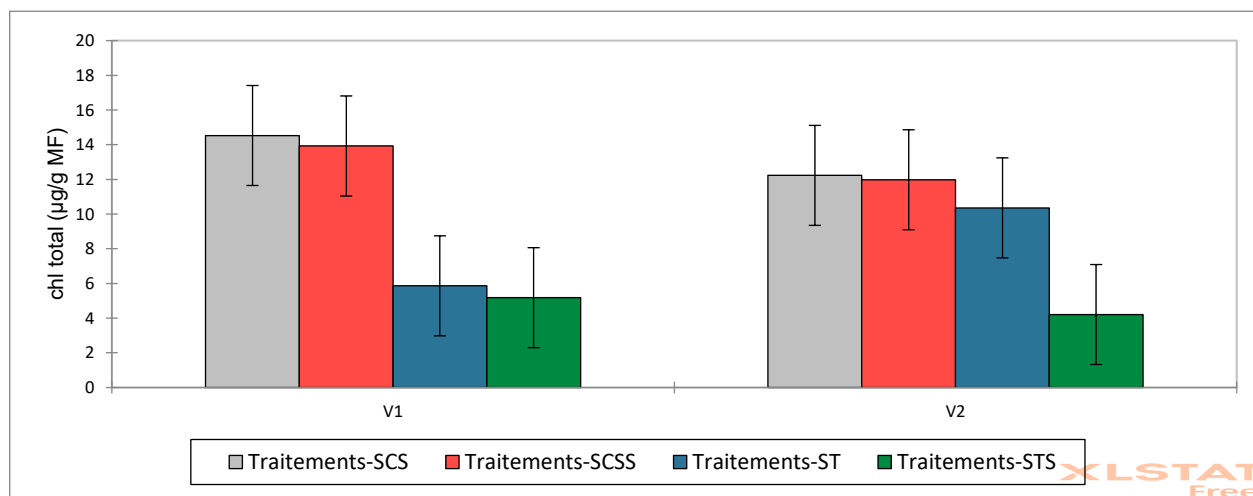


Figure 28 : Variation des moyennes des teneurs en chlorophylles totales chez les plantes

Les chlorophylles totales correspondent à la somme des chlorophylles a et b, les deux principaux pigments impliqués dans la photosynthèse chez les plantes. Elles reflètent la capacité globale d'absorption lumineuse d'une plante et son potentiel photosynthétique. Une teneur élevée en chlorophylles totales est généralement corrélée à une croissance saine, une bonne nutrition azotée et une meilleure tolérance aux stress environnementaux.

Les résultats de la teneur en chlorophylle totale sont présentés sur **la figure 28**, son analyse montre que :

Chez la variété 1, les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les traitements réalisés sur sol enrichi, avec ou sans stress. En effet, les valeurs atteignent 14,5 à 13,92 $\mu\text{g/g MF}$ pour les traitements SCS (sol enrichi non stressé) et SCSS (sol enrichi stressé), traduisant une bonne préservation du potentiel photosynthétique. En revanche, sur sol témoin (ST), la chlorophylle chute à 5,86 $\mu\text{g/g MF}$, et cette baisse est encore plus marquée en condition de stress hydrique sur sol témoin (STs), où elle atteint 5,1 $\mu\text{g/g MF}$. Cette nette diminution dans les conditions non amendées souligne l'effet délétère du stress hydrique. Ainsi, l'amendement organique joue un rôle protecteur majeur, permettant de maintenir des niveaux élevés de chlorophylle même en conditions de stress, et limitant la dégradation du pigment chez V1.

Chez la variété 2 (V2), une tendance similaire est observée, bien que les teneurs soient globalement légèrement inférieures à celles de V1 dans des conditions comparables. Sur sol

enrichi (SCS), la teneur est égale à 12,23 µg/g MF, et reste élevée sous stress hydrique (SCSS), avec une valeur de 11,97 µg/g MF. Sur sol témoin non stressé (ST), la teneur chute à environ 10,35 µg/g MF, et diminue drastiquement sous stress hydrique (STS) jusqu'à 4,20 µg/g MF. L'effet de l'amendement est donc également manifeste chez V2, bien que cette variété semble globalement plus sensible à la réduction du pigment en condition de stress sans apport organique.

L'analyse de la variance a mis en évidence un effet statistiquement très significatif des traitements ($p = 0,000$), confirmant l'impact des amendements organiques sur la capacité photosynthétique des plants de tomate (**Bhuyean,2025**).

En résumé, pour les deux variétés, les sols enrichis permettent de préserver les teneurs en chlorophylle, même en présence de stress hydrique, tandis que les sols témoins stressés présentent les pertes les plus marquées. Cela démontre l'intérêt agronomique de l'enrichissement du sol pour soutenir l'activité photosynthétique et limiter les effets négatifs du déficit hydrique. (**Bouillenne, 1962**).

Conclusion et perspectives

Conclusion :

Dans un contexte marqué par les défis croissants du changement climatique et de la dégradation des ressources naturelles, l'agriculture durable apparaît comme une réponse essentielle pour garantir la sécurité alimentaire tout en préservant l'environnement. Elle repose sur des pratiques respectueuses des écosystèmes, visant notamment à recycler les déchets organiques et à renforcer la résilience des cultures.

Est-ce que l'application de coquilles d'œufs et de son de blé comme fertilisants peut atténuer les effets délétères du stress hydrique sur la tomate ? C'est à cette question centrale que notre étude a tenté d'apporter des éléments de réponse.

La recherche a porté sur plusieurs paramètres clés : les paramètres physico-chimiques du sol (tels que le pH, la conductivité, la teneur en matière organique, la teneur en calcaire totale), les paramètres morphologiques des plants de tomate (notamment le taux de germination, la taille des plants, le nombre de feuilles et la longueur des feuilles), ainsi que les paramètres physiologiques (avec un accent particulier sur la teneur en proline, indicateur de stress hydrique, la teneur en chlorophylle totale et la teneur en sucres solubles).

Nos résultats ont démontré un impact significatif de ces amendements sur l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, ce qui a directement favorisé une croissance morphologique (par exemple un développement physiologique accru chez les plants de tomate qui passe de 12cm chez les plants des sols témoin à 27cm chez les plants des sols enrichi).

L'enrichissement du sol a permis d'optimiser le pH, d'augmenter la conductivité (qui est passé de 462 $\mu\text{S}/\text{cm}$ chez le sol témoin à 863 $\mu\text{S}/\text{cm}$ chez le sol enrichi) et, de manière cruciale, d'accroître la teneur en matière organique et en calcaire. Ces modifications ont créé un environnement de croissance plus favorable, se traduisant par un meilleur taux de germination, une taille des plantes plus importante, ainsi qu'un développement foliaire supérieur en quantité et en qualité.

Sur le plan physiologique, bien que le stress hydrique ait induit des réponses classiques d'adaptation telles que l'accumulation de proline et de sucres solubles, l'apport des amendements a significativement modulé ces réactions. Nous avons observé que les plantes cultivées dans le sol enrichi étaient mieux équipées pour maintenir leur capacité photosynthétique, comme en témoignent les teneurs en chlorophylles totales, même sous

contrainte hydrique. Il est clair que l'enrichissement confère une protection et une meilleure performance globale par rapport aux sols non amendés.

L'analyse statistique (ANOVA à deux facteurs) a confirmé un effet très hautement significatif des traitements sur la proline, les sucres solubles et la chlorophylle totale, avec des probabilités inférieures à 0,0001, soulignant la robustesse des effets observés.

En somme, cette recherche met en lumière l'efficacité des coquilles d'œufs et du son de blé non seulement pour transformer des déchets en ressources précieuses, mais aussi pour renforcer la capacité des cultures de tomate à faire face au stress hydrique, un défi majeur dans des régions comme Constantine. Ces résultats plaident en faveur d'une agriculture circulaire et durable, capable de s'adapter aux conditions environnementales changeantes.

En perspective, il serait pertinent d'approfondir cette étude en optimisant les dosages d'amendements, y compris l'ajout de quantités plus importantes de son de blé, afin d'accroître davantage le taux de matière organique et d'améliorer les performances physiologiques des plantes. Il serait également intéressant d'évaluer l'impact de ces amendements organiques sur le long terme, en tenant compte de leur effet cumulé sur la qualité du sol et la résilience des cultures. Des recherches futures devraient explorer l'efficacité de cette pratique sur d'autres espèces végétales, ainsi que sur un génotype différent, afin de déterminer si la réponse observée est spécifique au matériel utilisé ou généralisable à d'autres variétés. Enfin, la mise en œuvre de ces expérimentations à plus grande échelle permettrait de valider leur potentiel pour une application agricole durable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

Aoulmi, R and Boukerzaza, H. (2021) Le Grand Constantine: une agriculture périurbaine multifonctionnelle pour un développement territorial de Constantine. *Revue des Sciences Humaines*.32(1). 685-695 pp.

Beldi, N. (2012) Etude d'un compost issu d'une biomasse végétale. Mémoire de master en Génie de L'Environnement. Université de Blida 1. 40P. <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/14513>

Benabdallah, A. (2008) Variation du développement et du rendement de la tomate industrielle ;soumise à un stress hydrique. *Revue des Régions Arides*, Université Chadli Bendjedid El Tarf, Algérie.

Benssenasse, M. et Bouteldjaoui (2019) Variabilité climatique et ruptures dans les séries des précipitations dans le Bassin Versant des Zahrez, Algérie. Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement, 12 – 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie).

Bhuyean, M. A. M. (2025). Analysis of Variance (ANOVA): A Statistical Review. *Paripex – Indian Journal of Research*, 14(03). <https://doi.org/10.36106/paripex/9305506>

Blanfort and Demenois, J. (2019) Changements climatiques et agriculture : quels enjeux, quels impacts aujourd'hui et demain ? *Les Grands Dossiers (CIRAD)*. N° 49.85–89pp.

Bouillenne, R.L.E. (1962) Évolution des teneurs en chlorophylles a et b dans les feuilles de *Salvia splendens*, comparativement en jour long de 16 h et en jour court de 8 h en cours de développement. *Bulletins de l'Académie Royale de Belgique*, Vol 48, 1016–1040pp. https://www.persee.fr/doc/barb_0001-4141_1962_num_48_1_65604

Brik L & Guerliche A. (2021). La valorisation des déchets. Mémoire de master en Ecologie Microbienne. Université Constantine 1 Frères Mentouri. 40p.

Byckahouad, D.O. (2022) L'influence d'un ajout minéral sur les performances des matériaux cimentaires .Master en Génie civil et Hydraulique. Université 08 Mai 1945 Guelma. 69P.

Chaib, G., Benlaribi, M. and Hazmoune, T. (2015) Accumulation D'osmotocums chez le blé .dur (*Triticum durum Desf.*) sous stress hydrique. *European Scientific Journal*. 11(24).378-395pp.

Clède, S. (2022) De la coquille au jaune : une étude infrarouge d'un œuf. L'Actualité chimique, 478. 40–46pp.

Despois, J. (1952) Relief et hydrographie des Hautes plaines constantinoises. Annales de Géographie.61(323), 62-63pp.

Fournier, S., Audrey, D. and Patrick, R. (2015) Méthode d'aide à la décision dans le choix d'implantation d'une chaîne de traitement des déchets par incinération avec récupération d'énergie. Déchets Sciences et Techniques. Vol 40. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.2037>

Hammi, A. (2023) Gestion des Déchets Spéciaux Dangereux en Algérie - cas de l'entreprise CINTECH. Master en Génie chimique. Université Abderrahmane-Mira de Béjaïa,

Koull, N. (2012) Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla. Étude et Gestion des Sols. Vol. 23, 9-20pp.

Levitt, J. (1980) Responses of plants to environmental stresses. New York : Academic Press. Vol.2. 520.PP <http://archive.org/details/responsesofplant0001levi>.

Masson, E. (2018) La gestion et l'évacuation des déchets. Métiers de la petite enfance. 1–3. pp. <https://doi.org/10.1016/j.melaen.2017.11.004>.

Medjedded et Louchene. (2020) Effet de l'engrais chimique NPK sur les composés phénoliques et le statut redox de la tomate. Master en Biochimie Appliquée. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. 26p.

Saïdi-Boulahia, A., Sabah, A. and Saber, M. (2018) Valorisation des déchets organiques ménagers et les déjections bovines par la méthanisation. Revue des énergies renouvelables . 21(4), 537-543pp.

Teglia, C. (2011) Valorisation par compostage de résidus solides de digestion anaérobie des déchets organiques. Thèse de doctorat en Chimie. Université Rennes 1. 236p.

Touati, M. et al. (2017) Étude de l'effet de l'intensité du stress hydrique sur la croissance des plantules de sparte (*Lygeum spartum. L.*). Conférence scientifique internationale sur l'environnement et l'agriculture, Diar Lemdina, Hammamet, Tunisie, 24-25 avril 2017.

Toumi, M. et al. (2022) Effets du stress hydrique sur la physiologie et la morphologie de plants du robinier, *Robinia pseudoacacia*, d'Algérie. Bois et Forêts des Tropiques . 354 (4). 7-17.pp.

Tristan, 2018 (2025) Les déchets– Collecte, traitement, tri, recyclage. 2^{ème} édition. Dunod, collection. Technique et ingénierie. 3p.

Sites internet :

[1] Différentes catégories de déchets | Ministères Aménagement du territoire Transition écologique [WWW Document], n.d. URL <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/differentes-categories-dechets> (accessed 5.21.25).

[2] La gestion des déchets ménagers et assimilés [WWW Document], n.d. URL <https://capexcellence.net/vivre-habiter/cadre-de-vie/la-gestion-des-dechets/la-gestion-des-dechets-menagers-et-assimiles> (accessed 5.21.25).

[3] Déchet inerte : définition et traitement des déchets inertes [WWW Document], n.d. URL <https://recyclage.pagesjaunes.fr/astuce/voir/300309/dechet-inerte-definition-et-traitement> (accessed 5.21.25).

[4] Un biofertilisant, qu'est-ce que c'est ? Biofertilisants.fr [WWW Document], n.d. URL <http://www.biofertilisants.fr/comprendre-les-biofertilisants/biofertilisant-quest-ce-cest-ca-sert/> (accessed 5.21.25).

[5] Œuf : composition nutritionnelle, protéines, bienfaits santé [WWW Document], n.d. URL <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-nutrition/2588708-oeuf-composition-nutritionnelle-proteines-bienfaits/> (accessed 6.10.25).

[6] Son de Blé : Propriétés et bienfaits pour votre santé et régime [WWW Document], 2024. URL <https://alimentation.pagesjaunes.fr/astuce/voir/511423/son-de-ble> (accessed 5.21.25).

[7] Son de blé - Celnat, n.d. URL <https://www.celnat.fr/ref/son-de-ble> (accessed 6.10.25).

[8] SITUATION GEOGRAPHIQUE DE CONSTANTINE [WWW Document], n.d. vitaminedz.com. URL <https://www.vitaminedz.com/fr/Algerie/situation-geographique-de-constantine-2366851-Articles-0-0-1.html> (accessed 5.25.25).

[9] Climat Constantine : température, pluie, quand partir - Climats et Voyages [WWW Document], n.d. URL <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/constantine> (accessed 5.25.25).

- [10] Constantine: 91.000 hectares de terres agricoles réservés à la production des céréales [WWW Document], n.d. URL <https://www.aps.dz/regions/162349-constantine-91-000-hectares-de-terres-agricoles-reserves-a-la-production-des-cereales> (accessed 5.25.25).
- [11] Le ketchup Heinz, toujours le même 138 ans après [WWW Document], 2014. . Le Figaro. URL <https://www.lefigaro.fr/societes/2014/08/25/20005-20140825ARTFIG00290-le-ketchup-heinz-toujours-le-meme-138ans-apres.php> (accessed 6.10.25).
- [12] Renevier, A., 2022. Sol calcaire : composition, PH et caractéristiques [WWW Document]. URL <https://www.journaldesfemmes.fr/jardin/conseils-jardinage/2739821-sol-calcaire-composition-ph-et-caracteristiques/> (accessed 5.25.25).
- [13] La fertilité du sol : riche ou pauvre, comment savoir ? 2019. . Blog Promesse de fleurs. URL <https://www.promessedefleurs.com/conseil-plantes-jardin/ficheconseil/fertilite-du-sol-riche-ou-pauvre-comment-savoir/> (accessed 5.25.25).

Résumés

Résumé :

L'étude a été réalisée dans des conditions contrôlées dans la serre du Chaabat-El rsas, de l'Université des Frères Mentouri Constantine 1 et au laboratoire de Développement et de Valorisation des Ressources Phylogénétiques, elle aborde la problématique de la gestion des déchets agroalimentaires et des défis du changement climatique (stress hydrique) en agriculture. Elle explore la valorisation des coquilles d'œufs et du son de blé comme amendements du sol, s'appuyant sur une synthèse bibliographique des biofertilisants et des mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique. Les paramètres physico-chimiques du sol (tels que le pH, la conductivité, la teneur en matière organique, la teneur en calcaire totale), les paramètres morphologiques des plants de tomate (notamment le taux de germination, la taille des plants, le nombre de feuilles et la longueur des feuilles), ainsi que les paramètres physiologiques (avec un accent particulier sur la teneur en proline, indicateur de stress hydrique, la teneur en chlorophylle totale et la teneur en sucres solubles) constituaient la base de cette étude. Nos résultats ont démontré que l'ajout de ces co-produits améliore significativement les propriétés physico-chimiques du sol, favorisant ainsi une meilleure croissance morphologique et un développement physiologique des plants de tomate. Plus précisément, les amendements ont permis de maintenir des niveaux de chlorophylle plus élevés et d'atténuer les effets du stress hydrique. Cette étude conclut que la réutilisation de ces déchets constitue une stratégie efficace pour développer une agriculture circulaire et durable, capable de renforcer la résilience des cultures face aux contraintes environnementales.

Mots clés : Valorisation, déchets agroalimentaires, coquilles d'œufs, son de blé, biofertilisants, stress hydrique.

Abstract:

This study was conducted under controlled conditions in the greenhouse of Chaabat-El-Rsas at the University of Constantine 1 Frères Mentouri and in the Laboratory for the Development and Valorization of Phylogenetic Resources. It addresses the issue of agro-food waste management and the challenges posed by climate change (water stress) in agriculture. The research explores the valorization of eggshells and wheat bran as soil amendments, relying on a literature review of biofertilizers and plant adaptation mechanisms to water stress. The physico-chemical parameters of the soil (such as pH, electrical conductivity, organic matter content, and total limestone content), the morphological parameters of tomato plants (notably germination rate, plant height, number of leaves, and leaf length), as well as physiological parameters (with a focus on proline content as a water stress indicator, total chlorophyll content, and soluble sugar content) formed the foundation of this study. Our results demonstrated that the addition of these co-products significantly improved the physico-chemical properties of the soil, thus promoting better morphological growth and physiological development of tomato plants. More specifically, the amendments helped maintain higher chlorophyll levels and mitigate the effects of water stress, although some heterogeneity in plant response persisted. This study concludes that the reuse of such waste constitutes an effective strategy for developing a circular and sustainable agriculture capable of strengthening crop resilience to environmental constraints.

Keywords: Valorization, agro-food waste, eggshells, wheat bran, biofertilizers, water stress.

ملخص:

لقد تم إجراء هذه الدراسة في ظروف متمكن منها داخل بيت بلاستيكي بمنطقة شعبة الرصاص، التابع لجامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1، وفي مخبر تطوير وتثمين الموارد الفيلوجينية. تتناول هذه الدراسة إشكالية تسيير النفايات الزراعية الغذائية وتحديات التغير المناخي (الإجهاد المائي) في الزراعة. وتستكشف إمكانية تثمين قشور البيض ونخالة القمح كمواد محسنة للتربة، معتمدة على مراجعة بيبلوغرافية للأسمدة البيولوجية وآليات تأقلم النباتات مع الإجهاد المائي. اعتمدت الدراسة على عدة مؤشرات فيزيائية وكيميائية للتربة (مثل درجة الحموضة pH، الناقلية الكهربائية، نسبة المادة العضوية، نسبة الكلوروفيل)، ومؤشرات مورفولوجية لنبات الطماطم (لأسيما نسبة الإنبات، حجم النبات، عدد الأوراق وطولها)، بالإضافة إلى مؤشرات فسيولوجية (مع تركيز خاص على محتوى البرولين كمؤشر على الإجهاد المائي، ومحتوى الكلوروفيل الكلي، ومحتوى السكريات الذائبة) والتي تشكل أساس هذه الدراسة. وقد أظهرت نتائجنا أن إضافة هذه المنتجات الثانوية حسن بشكل ملحوظ الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مما ساعد على نمو أفضل للطماطم من حيث الجوانب المورفولوجية والفسيولوجية. كما ساعدت هذه التعديلات على الحفاظ على مستويات أعلى من الكلوروفيل والتخفيف من آثار الإجهاد المائي. ومن هذه الدراسة نستخلص أن إعادة استعمال هذه النفايات تشكل استراتيجية فعالة لتطوير زراعة دائرية ومستدامة، قادرة على تعزيز مقاومة المحاصيل للضغوط البيئية.

الكلمات المفتاحية: التثمين، النفايات الزراعية الغذائية، قشور البيض، نخالة القمح، الأسمدة البيولوجية، الإجهاد المائي.

Année universitaire : 2024-2025 Présenté par : MAIGA Bassirou Mahamadou
Intitulé : Etude du stress hydrique et évaluation de l'impact des biofertilisants(Coquilles d'œufs et son de blé) sur la résistance des plantes
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamentale et Appliqué
<p>Résumé :</p> <p>L'étude a été réalisée dans des conditions contrôlées dans la serre du Chaabat-El rsas, de l'Université des Frères Mentouri Constantine 1 et au laboratoire de Développement et de Valorisation des Ressources Phylogénétiques, elle aborde la problématique de la gestion des déchets agroalimentaires et des défis du changement climatique (stress hydrique) en agriculture. Elle explore la valorisation des coquilles d'œufs et du son de blé comme amendements du sol, s'appuyant sur une synthèse bibliographique des biofertilisants et des mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique. Les paramètres physico-chimiques du sol (tels que le pH, la conductivité, la teneur en matière organique, la teneur en calcaire totale), les paramètres morphologiques des plants de tomate (notamment le taux de germination, la taille des plants, le nombre de feuilles et la longueur des feuilles), ainsi que les paramètres physiologiques (avec un accent particulier sur la teneur en proline, indicateur de stress hydrique, la teneur en chlorophylle totale et la teneur en sucres solubles) constituaient la base de cette étude. Nos résultats ont démontré que l'ajout de ces co-produits améliore significativement les propriétés physico-chimiques du sol, favorisant ainsi une meilleure croissance morphologique et un développement physiologique des plants de tomate. Plus précisément, les amendements ont permis de maintenir des niveaux de chlorophylle plus élevés et d'atténuer les effets du stress hydrique, bien qu'une certaine hétérogénéité dans la réponse des plantes ait persisté. Cette étude conclut que la réutilisation de ces déchets constitue une stratégie efficace pour développer une agriculture circulaire et durable, capable de renforcer la résilience des cultures face aux contraintes environnementales.</p>
Mots clés : Valorisation, déchets agroalimentaires, coquilles d'œufs, son de blé, biofertilisants, stress hydrique.
Laboratoires de recherche : Laboratoire de Biologie et environnement (U Constantine 1 Frères Mentouri).
<p>Présidente du jury : Dr SAHLI Leila (PROF - U Constantine 1 Frères Mentouri).</p> <p>Encadrant : Dr TOUATI Laid (PROF - UFM Constantine 1).</p> <p>Examineur : Dr BOUGHABA Rokia (MAA - UFM Constantine 1),</p>

