

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université 20Aout1955

Faculté Des Sciences

Département D'agronomie



جامعة 20 أوت 1955

كلية العلوم

قسم العلوم الفلاحية

*Mémoire présentée en vue de l'obtention*

*Du diplôme de*

***Master en Agronomie***

*Option : Amélioration des plantes*

**Thème :**

***Effet du compost du papier d'emballage sur les paramètres***

***Agro-physiologiques chez la tomate***

**Présenté par :**

- ✓ Boudjedida Baha eddine
- ✓ Labouz Hamza
- ✓ Hourri Hatem

**Devant le jury :**

<i>Présidente</i>	<i>Larbi Djamilia</i>	<i>MCA</i>	<i>Université20Aout1955Skikda</i>
<i>Encadreur</i>	<i>Boulechfar Mohamed</i>	<i>MAA</i>	<i>Université20Aout1955Skikda</i>
<i>Examineur</i>	<i>Laib Djameleddine</i>	<i>MCB</i>	<i>Université20Aout1955Skikda</i>

*Année Universitaire : 2024/2025*

# **Remerciements**

*Avant tout, nous tenons à exprimer ma profonde gratitude à Dr. Boulechfar Mohamed, notre encadrant, pour sa disponibilité, ses conseils pertinents, sa patience et son accompagnement tout au long de ce travail. Son expertise et son encadrement ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous tenons également à exprimer ma profonde gratitude à nos estimés professeurs du département de Sciences Agronomiques, pour les efforts constants et l'accompagnement précieux qu'ils nous ont apportés tout au long de notre parcours universitaire.*

*Nous remercions également l'ensemble des membres du jury Dr.Larbi Djamila et Dr.LaibDjamel Eddin, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.*

*Enfin, nous n'oublions pas mes collègues et amis, avec qui nous avons partagé de précieux moments durant ces années. Leur soutien et leur camaraderie ont été d'un grand réconfort.*

## ***Dédicace***

***À mes chers parents,***

*Pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux, et votre soutien sans faille tout au long de ce parcours.*

***À ma famille,***

*Pour vos encouragements, votre patience et votre confiance en moi même dans les moments les plus difficiles.*

***À la mémoire de ma chère sœur,***

*Qui a quitté ce monde trop tôt, mais dont l'amour, le sourire et les prières m'accompagnent encore chaque jour.*

*Ton souvenir reste vivant dans mon cœur, et cette modeste réussite t'est dédiée avec une pensée profonde et éternelle.*

***À mes enseignants,***

*Pour m'avoir transmis non seulement des connaissances, mais aussi la rigueur et l'humilité.*

***À mes amis et collègues,***

*Pour votre présence, vos encouragements et votre esprit de camaraderie tout au long de ce chemin.*

*Vous avez su alléger le poids des difficultés par vos mots, vos sourires et votre soutien sincère.*

***À vous tous, merci.***

(Labouz Hamza)

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mes chers parents, pour leur amour et leur soutien illimités tout au long de mon parcours jusqu'à ce jour,*

*À ma mère et à mon père,*

*À ma famille pour leur présence réconfortante et leurs encouragements constants,*

*À tous mes amis proches qui ont cru en moi et m'ont soutenu dans les moments difficiles.*

*Cette réalisation est aussi la leur.*

(Boudjedida Bahaa-eddine)

## *Dédicace*

### **À mes parents,**

Pour leur amour, leur patience, et leur confiance indéfectible. Leur soutien m'a porté dans chaque étape de ce parcours.

### **À mes frères et sœurs,**

Pour leur tendresse, leurs encouragements, et leur fierté qui m'a toujours poussé à aller plus loin.

### **À mes amis et collègues,**

Pour les moments partagés, l'entraide, les rires et les défis relevés ensemble.

Ce travail est aussi le fruit de votre présence.

**Merci à chacun de vous.**

(Hourì Hatem)

## Listes des figures :

<b>Figure 1</b> – Influence d’un apport de compost dans le sol sur le développement de l’oïdium sur les feuilles de plantes d’orge (Fuchs 2009) .....	22
<b>Figure 2</b> Les principaux types de carton ondulé.....	25
<b>Figure 3</b> Représentation de la chaîne de cellulose. (Fibres de cellulose) .....	25
<b>Figure 4</b> carton ondulé.....	27
<b>Figure 5</b> Les principaux type de carton ondulé (eco-recycle-equip s.d.) .....	27
<b>Figure 6</b> Profil de cannelure (Carton ondulé en france 2017) .....	28
<b>Figure 7</b> Les Types des cannelure .....	28
<b>Figure 8</b> Structure de feuille du papier (Baumgärtner 2017) .....	29
<b>Figure 9:</b> Représentation 3D de la structure du papier (Lachenal s.d.) .....	30
<b>Figure 10</b> Benne-compacteur pour la collecte des cartons (d’emballages ou non) et des papiers rachetés par Veolia .....	30
<b>Figure 11</b> Centre de tri des papier (PAPREC 2024).....	31
<b>Figure 12</b> Usine de recyclage .....	31
<b>Figure 13</b> La Tomate (Shankara, et al. s.d.) .....	34
<b>Figure 14</b> Localisation géographique de la zone d’étude .....	42
<b>Figure 15</b> de la serre pédagogique de l’université source : Notre source.....	43
<b>Figure 16</b> la serre pédagogique de l’université source : Notre source .....	43
<b>Figure 17</b> Les informations de la variété utilisée dans l’essai.....	44
<b>Figure 18:</b> Carton utilisé dans l’expérience dans le cadre de l’étude .....	45
<b>Figure 19:</b> déchiquetage du papier d’emballage (source : notre essai) .....	46
<b>Figure 20:</b> Compostage du papier d’emballage : a (à l’anaérobique), b (à l’aérobique), (source : notre essai).....	47
<b>Figure 21:</b> Les mesures du Ph des échantillons Source : Notre source .....	48
<b>Figure 22:</b> des mesures de la conductivité électrique des échantillons Source : Notre source ...	48
<b>Figure 23:</b> évolution de la hauteur des plantes en fonction du temps. ....	51
<b>Figure 24:</b> l’évolution du diamètre des plantes dans chaque substrat en fonction du temps.	53
<b>Figure 25 :</b> évolution du nombre des fleurs des plantes dans chaque substrat en fonction du temps. ....	55
<b>Figure 26</b> évolution de l’apparition des bouquets dans les plantes dans chaque substrat en fonction du temps. ....	57

## **Liste des tableaux :**

Tableau 1 Types de cannelure et epaisseur du carton ondulé pour plusieurs symboles .....	28
Tableau 2 Valeurs nutritionnelle pour 100g (Goka, et al. 2021).....	36
Tableau 3: Les analyses des paramètres chimiques du compost.....	51
Tableau 4: : L'analyse descriptive de la hauteur des plantes pour chaque traitement .....	52
Tableau 5L'analyse descriptive des diamètres des plantes pour chaque traitement .....	54
Tableau 6L'analyse descriptive des fleurs pour chaque traitements .....	56
Tableau 7L'analyse descriptive de bouquets pour chaque traitement.....	58

## SOMMAIRE

Listes des figures: .....	6
Listes des tableaux : .....	7
1. <i>Partie I : Partie Bibliographique</i> : .....	12.
Introduction générale : .....	13
Chapitre 01 : <i>3Le compost et son importance en agriculture</i> .....	15.
Fertilité des sols et gestion des déchets .....	16
1. Le Compost.....	16
2.1. Définition du compost : .....	16
2.2. Propriétés agronomiques du compost : .....	16
2. Types et Processus de compostage : .....	17
2.1. Type de compostage : .....	17
2.2. Le Processus de Compostage Aérobie : .....	17
2.3. Processus de compostage anaérobie : .....	18
3.: Effet du compost sur le sol et la plante. ....	21
3.1. Effets des composts sur les propriétés physiques et chimiques des sols : .....	21
3.2. Effets des composts sur la biologie des sols : .....	22
3.3. Effets des composts sur la santé des plantes : .....	22
3.4.à Effets des composts sur la plante entière : .....	23
Chapitre02 Valorisation des papiers d’emballages.....	24
1. Valorisation de Papier d’emballage : .....	25
1.1. Consommation mondiale et potentiel de développement du marché du papier .....	26
Le papier et le carton d'emballage : propriétés, production et pertinence environnementale .....	27
2. Introduction générale aux fibres de cellulose : définition, structure et applications : .....	28
2.1. Définition General .....	28
2.2. Structure et composition.....	28

2.3.	Sources et abondance .....	28
2.4.	Utilisation et sources d'émission .....	28
3.	Extraction des fibres cellulosiques et composition du carton.....	29
3.1.	Fibre Cellulosique dans le carton .....	29
3.2.	Les Composants du carton ondulé : .....	29
4.	La structure d'une feuille de papier .....	32
5.	Collecte, tri et conditionnement des cartons, papiers et autres matières fibreuses.....	33
5.1.	Le Geste de tri .....	33
5.2.	La collecte des emballages et papiers triés.....	33
5.3.	Le centre de tri.....	33
5.4.	Les usines de recyclages : .....	34
6.	Le Carton d'emballage dans le compostage : .....	35
2.	<i>Chapitre 3</i> : .....	36.
3.	<i>La tomate (Lycopersicum esculentum L.</i> .....	36
1.	Description Sommaire de la tomate : .....	37
2.	Caractéristiques botaniques du plant de tomate : .....	38
3.	Importance Nutritionnel et économique de la Tomate : .....	39
4.	Besoins nutritionnels de la plante : .....	40
5.	Facteur influençant la croissance et la production de la plante : .....	40
a.	Température : .....	40
c.	Fertilité de sol : .....	41
d.	Lumière : .....	42
e.	Type de Sol : .....	42
f.	Pratique Cultural : .....	42
4.	<i>Partie II : Partie Expérimentale</i> : .....	43
5.	<i>Chapitre 1</i> : .....	44

6. <i>Matériel et méthodes</i> .....	44
1.Localisation Géographique de la zone d'étude : .....	45
1.1. <i>Site et conditions expérimentales</i> : .....	46
2.Matériel Utilisé .....	47
2.1. Matériel végétal .....	47
2.2. Variété utilisée.....	48
2.3. Substrat de culture .....	48
2.4. Type de substrat utilisés .....	49
2.5. Contenants :.....	49
2.6. Matériel de mesure ou suivi : .....	49
2.7. Matériel de statistique : .....	49
3.Méthodes.....	49
Compostage dupapier d'emballage .....	50
3.1. Collecte et Préparation du papier d'emballage.....	50
3.2. Paramètres mesurés et méthodes d'évaluation.....	51
1.1.1. Paramètres agro physiologiques de la plante .....	51
1.1.2. Paramètres du substrat (compost de papier d'emballage) .....	52
3.4. Fréquence de mesure :.....	53
3.5. Analyse statistique :.....	53
7. Chapitre 2 : .....	54
8. <i>Résultats et Discussion</i> .....	54
1)Les analyses chimiques du compost : .....	55
1.1. PH.....	55
1.2. CE.....	55
1.3. TDS .....	55
2)L'effet du substrat sur les paramètres agro physiologique de la tomate .....	55
2.1.L'effet du substrat sur l'évolution de la hauteur des plantes .....	55

2.2.	L'effet du substrat sur l'évolution de diamètre des plantes .....	57
2.3.	Effet de substrat sur l'évolution des nombres des feuilles .....	57
2.4.	Effet de substrat sur l'apparition des bouquets .....	58
3)	Discussion .....	60
a)	Effet du compost sur la hauteur des plants :.....	60
b)	Effet du compost sur le diamètre de la tige :.....	60
c)	Effet du compost sur le Nombre de feuilles :.....	60
d)	Effet du compost sur le nombre de bouquets :.....	60
e)	Propriétés physico-chimiques du compost :.....	60
4)....	Recommandations.....	60
5)	CONCLUSION.....	61
9.	Bibliography.....	63.
10.	Annexe.....	65

*partie I :partie  
bibliographique*

# **Introduction générale**

## INTRODUCTION :

Dans un monde confronté à une croissance démographique exponentielle et à une consommation sans cesse croissante, la gestion des déchets solides est devenue l'un des défis environnementaux les plus pressants de notre époque. Chaque année, des millions de tonnes de déchets sont générées à l'échelle planétaire, exerçant une pression considérable sur les écosystèmes naturels et contribuant aux émissions de gaz à effet de serre. Parmi ces déchets, les déchets organiques représentent une part significative, et leur valorisation est désormais une priorité absolue pour atténuer leur impact négatif et favoriser une économie circulaire. Le papier d'emballage, omniprésent dans le secteur commercial et industriel, constitue une composante majeure de ces déchets solides. Des boîtes en carton aux sacs en papier kraft, ces matériaux, bien que souvent perçus comme recyclables, finissent malheureusement trop fréquemment dans les décharges, où leur décomposition anarchique contribue à la pollution des sols et de l'eau, ainsi qu'à la production de méthane, un puissant gaz à effet de serre. Face à ce constat alarmant, la recherche de solutions innovantes pour la réduction, la réutilisation et la valorisation de ces matériaux est impérative.

Parallèlement à cette problématique des déchets, l'agriculture moderne est confrontée à ses propres défis. L'intensification des pratiques agricoles, souvent synonyme d'utilisation massive d'engrais chimiques et de pesticides, a conduit à une dégradation de la fertilité des sols, à une perte de biodiversité et à une contamination des ressources hydriques. C'est dans ce contexte que le concept d'agriculture durable prend tout son sens. Cette approche vise à concilier la productivité agricole avec la préservation de l'environnement, en favorisant des pratiques respectueuses des cycles naturels et en optimisant l'utilisation des ressources. Le compostage des déchets organiques émerge comme une solution particulièrement prometteuse, s'inscrivant parfaitement dans les principes de l'agriculture durable. En transformant des résidus organiques, tels que le papier d'emballage, en un amendement organique riche et stable, le compost offre de multiples avantages. Il permet non seulement de réduire le volume des déchets à enfouir, mais aussi d'améliorer significativement la structure et la fertilité des sols, de favoriser l'activité microbienne bénéfique et de réduire le besoin en intrants chimiques. C'est une démarche qui s'inscrit dans une logique de boucle fermée, où les déchets d'une activité deviennent des ressources pour une autre.

Dans la présente étude, nous nous proposons d'explorer l'effet de l'incorporation de compost issu spécifiquement de papier d'emballage sur les paramètres agro-physiologiques de la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). La tomate, espèce potagère d'une importance économique et alimentaire majeure à l'échelle mondiale, représente un modèle idéal pour évaluer l'efficacité de cet amendement. Notre objectif principal est de valoriser ce type de déchet – le papier d'emballage déchiqueté – en le transformant en une ressource agricole précieuse. En évaluant son potentiel à améliorer la croissance végétale, la productivité des cultures et la qualité des fruits, nous espérons démontrer la pertinence de l'intégration du compost de papier d'emballage comme une stratégie durable pour la gestion des déchets et l'amélioration des performances agronomiques. Cette recherche contribuera ainsi à une meilleure compréhension des interactions sol-plante-déchet et à l'élaboration de pratiques agricoles plus écologiques et économiquement viables.

- ✓ Est-ce que le compost à base de papier d'emballage peut être utilisé comme une alternative écologique pour améliorer la croissance et la production de la tomate ?

**Chapitre 01 :**  
**le compost et son importance en**  
**agriculture .**

## **Chapitre 1 :Le compost et son importance en agriculture**

### **Fertilité des sols et gestion des déchets**

Les plantes ont besoin essentiellement et en quantités importantes d'azote, de phosphore et de potassium pour accomplir leur cycle de croissance, ce qui rend indispensable le réapprovisionnement périodique des réserves du sol en ces éléments afin de maintenir une bonne productivité (Moughli 2000)

De plus, la diminution de la fertilité des sols suite à une agriculture trop intensive ou inappropriée s'observe aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement, il en résulte une perte de matière organique stable dans les sols et une sensibilité accrue des plantes aux maladies, due aux déséquilibres microbiologiques des sols. Les récentes préoccupations sur les effets néfastes de l'utilisation de plus en plus intense des engrais synthétisés sur l'environnement, leur inefficacité sur la fertilité des sols et leur prix élevés ont rendu urgent la recherche d'une solution alternative pour minimiser les risques de contamination des aliments et des ressources naturelles par les résidus chimiques de synthèse et aussi pour améliorer la fertilité des sols.

D'un autre côté, divers pays sont confrontés à une augmentation importante des déchets. En Algérie L'étude réalisée par l'Agence Nationale des Déchets (AND) a montré que la quantité moyenne des déchets ménagers et assimilés générée quotidiennement est de 0,8 Kg/habitant, soit 292 Kg/hab./an (AND, 2016). On est évidemment loin de la moyenne européenne (512 kg/hab./an) et celle de la Belgique (489 kg/hab./an) qui comprend également le tout-venant et le recyclable (de Beer de Laer, 2012). Depuis, la production de déchets n'a cessé d'augmenter, tant en termes absolus que par habitant. Avec un taux de croissance annuelle de 3 % (AND, 2016), la quantité des déchets ménagers et assimilés générée en Algérie pour l'année 2018 est estimée à environ 13 millions de tonnes. En ce qui concerne leur nature, la comparaison de la situation entre 2010 et 2014 fait apparaître que, bien qu'elle ait diminué depuis les vingt dernières années, la fraction putrescible reste prédominante avec un taux de 54,40 %. Par contre, l'augmentation significative de la fraction plastique ainsi que celle du papier-carton et du textile dénote d'un changement dans les modes de consommation de la population algérienne (croissance de l'emballage des produits de large consommation) (Tahar et al, 2020)

### **1. Le Compost :**

#### **1.1 Définition du compost :**

Selon Mustin (1987), le compost est un produit stable riche en humus provenant du processus de dégradation de toutes les matières organiques et contenant des organismes vivants et des éléments nutritifs pour les plantes.(Mustin, Le compost : Gestion de la matière organique. 1987)

#### **1.2 Propriétés agronomiques du compost :**

L'utilisation du compost dans l'agriculture est considérée comme étant une pratique durable garantissant la conservation et l'équilibre environnemental, la sécurité sanitaire des fermiers, des opérateurs et des consommateurs. Le compost est économiquement viable pour les agriculteurs. Comme pour les indicateurs de qualité de sol, la qualité du compost tient compte des propriétés chimiques, physiques et biologiques (Titattreli, et al. 2007)

##### **1.2.1. Propriétés chimiques :**

L'évaluation des propriétés chimiques du compost repose principalement sur sa teneur en azote, un critère agronomique essentiel. En effet, l'azote constitue l'élément clé dans le calcul des doses de fertilisation. Toutefois, plusieurs études indiquent que la disponibilité de l'azote pour les plantes évolue avec le temps. Selon (Al-Bataina, Thomas et Ezio 2016) les composts libèrent annuellement 1 à 3 % de leur azote total, en fonction de leur degré de maturation. Par ailleurs,

une partie de cet azote (10 à 15 %) est directement assimilable sous forme minérale, tandis que 30 à 35 % sont relâchés durant la première année. Cependant (Sullivan, Kusonwiriawong et Hemphil 2014) soulignent que cette disponibilité dépend du rapport carbone/azote (C/N) du compost. Un ratio C/N supérieur à 20 entraîne une compétition microbienne pour l'azote, limitant son accès aux plantes. En revanche, un rapport compris entre 10 et 20 permet une libération d'environ 5 % de l'azote total la première année, alors qu'un ratio inférieur à 10 augmente cette proportion à 10-20 %.

Par ailleurs, la minéralisation de l'azote est influencée par la nature du sol. Elherradi et al. (2005) ont observé que les sols limono-argileux minéralisent l'azote deux fois plus rapidement que les sols sableux. Le relargage résiduel se poursuit ensuite de manière progressive sur plusieurs années. Enfin, bien que le phosphore soit présent dans le compost à des concentrations variant entre 0,6 et 2 % (en matière sèche), couvrant généralement les besoins des plantes si l'azote est bien dosé, la teneur en potassium reste généralement faible (Titattreli, et al. 2007)

### **1.2.2 Propriétés physiques :**

Tout comme son impact sur les propriétés chimiques, l'apport de compost améliore également la structure physique du sol, contribuant ainsi à renforcer sa fertilité. Contrairement à l'agriculture conventionnelle, qui dégrade la structure du sol en réduisant sa teneur en matière organique, l'utilisation du compost favorise l'agrégation des particules du sol, améliorant ainsi sa stabilité. Parmi les autres avantages physiques, le compost augmente la capacité d'échange cationique (CEC), optimise la rétention hydrique et améliore la perméabilité du sol (Titattreli, et al. 2007)

### **1.2.3 Propriétés biologiques :**

La dynamique des communautés microbiennes au cours du compostage évolue en fonction des conditions environnementales et se succèdent dépendamment des phases. Les trois grands groupes de microorganismes : bactéries, champignons et virus sont présents dans le compost. Cependant, les plus importants pour la fertilité des sols sont les communautés des cellulolytiques, pectinolytiques, protéinolytiques, des bactéries nitrifiantes qui contribuent au cycle des éléments nutritifs du sol. Les communautés saprophytiques du compost sont également d'une grande importance vue qu'elle participe au contrôle des pathogènes éventuellement présents dans le compost mais constituent aussi une source d'azote et de carbone par la minéralisation de leurs biomasses après leurs morts. Ce produit provient du procédé appelé le compostage.

## **2 . Types et Processus de compostage :**

Le compostage peut être classé en deux types principaux selon les conditions de décomposition : le compostage anaérobie et le compostage aérobie.

### **2.1 Type de compostage :**

#### **a) Compostage anaérobie :**

Ce processus se déroule en l'absence ou avec une faible quantité d'oxygène. Les microorganismes anaérobies dominent alors la décomposition, produisant des composés intermédiaires tels que le méthane, les acides organiques et le sulfure d'hydrogène. En raison du manque d'oxygène, ces substances s'accumulent sans être entièrement dégradées, ce qui peut entraîner des odeurs désagréables et une certaine phytotoxicité. De plus, comme les températures restent modérées, les graines de mauvaises herbes et les agents pathogènes ne sont pas éliminés. Bien que cette méthode demande moins d'intervention et limite les pertes en nutriments, sa lenteur et ses inconvénients (odeurs, risques pour les plantes) en réduisent l'efficacité par rapport au compostage aérobie.)F.A.O 2005(

#### **b ) Compostage aérobie :**

Contrairement à la méthode anaérobie, ce processus nécessite une oxygénation abondante. Les microorganismes aérobies dégradent la matière organique en libérant du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et de l'humus, un produit final stable. Bien que des composés intermédiaires (comme certains acides organiques) puissent se former, ils sont rapidement décomposés, ce qui minimise les risques de phytotoxicité. La chaleur générée accélère la décomposition des matières complexes (protéines, cellulose, etc.) et réduit la durée du processus. De plus, les températures élevées éliminent de nombreux pathogènes et graines d'adventices. Bien que cette méthode entraîne des pertes plus importantes en nutriments (notamment sous forme gazeuse), elle reste préférée pour son efficacité et son produit final plus sûr et plus utile en agriculture.(F.A.O 2005)

## **2.2 Le Processus de Compostage Aérobie :**

### **2.2.1 Formation du Tas et Montée en Température :**

Le compostage aérobie commence par la constitution d'un tas de matière organique. Dès les premiers jours, on observe une élévation rapide de la température, pouvant atteindre 70 à 80°C.

#### ✓ **Phase mésophile (20-45°C) :**

Des microorganismes mésophiles (bactéries, champignons) se développent rapidement en consommant les sucres et acides aminés facilement accessibles. Leur activité métabolique génère de la chaleur, ce qui fait progressivement augmenter la température.

#### ✓ **Phase thermophile (50-70°C et au-delà) :**

Lorsque la température dépasse 45°C, les microorganismes mésophiles sont inhibés, laissant place à des bactéries et champignons thermophiles. Ces derniers maintiennent une température élevée (65°C ou plus), essentielle pour éliminer les pathogènes et les graines de mauvaises herbes.(F.A.O 2005)

#### ✓ **Phase de Maturation :**

Après la phase active, le compost entre en période de maturation, marquée par une baisse prog

##### • **Stabilisation thermique :**

Le retournement du tas ne provoque plus d'élévation significative de température, signe que la décomposition active est terminée.

##### • **Décomposition des composés résistants :**

Des champignons thermophiles spécialisés dégradent les parois cellulaires végétales (cellulose, hémicellulose), améliorant la structure du compost.

##### • **Éviter les risques d'un compost immature :** Une maturation insuffisante peut entraîner :

✓ Une faim d'azote (immobilisation de l'azote par les microorganismes).

✓ Une toxicité due aux acides organiques.

✓ Un manque d'oxygène pour les racines des plantes. ressure de la température.(F.A.O 2005)

### **2.2.2 Refroidissement et Produit Final :**

En phase finale, la température redescend à celle de l'environnement. Le compost mature présente alors les caractéristiques suivantes :

#### ✓ **Apparence :**

Couleur brun foncé à noire.

Texture fine et homogène, semblable à celle d'un sol fertile.

#### ✓ **Propriétés biochimiques :**

Taux de C/N réduit, indiquant une bonne stabilisation.

PH neutre, adapté à la plupart des cultures.

Capacité d'échange cationique (CEC) améliorée, favorisant la rétention des nutriments.

#### ✓ **Biodiversité microbienne :**

Bien que moins active, la microflore mésophile recolonise le compost, assurant une décomposition lente et continue après son épandage.(F.A.O 2005)

### 2.2.3 Facteurs Influençant le Compostage Aérobie

#### a) Aération :

**Nécessité :** L'oxygène est crucial, surtout en phase initiale.

**Rôle :**

- Favorise la croissance des microorganismes aérobies.
- Évite la surchauffe et élimine l'excès d'humidité et de gaz.
- Réduit les risques d'incendie (climats chauds).

**Optimisation :**

- Contrôle de la taille des particules, de l'humidité et de la ventilation.
- Retournements fréquents du tas.

#### b) Humidité:

**Plage optimale :** 40-65% (idéalement 50-60% au départ, ~30% en fin de processus).

**Effets d'un déséquilibre:**

**Trop sec :** Ralentissement du processus.

**Trop humide (>65%) :** Conditions anaérobies et mauvaises odeurs.

#### c) Éléments Nutritifs (Rapport C/N) :

**Optimum :** 25-30 (acceptable: 20-40).

**Effets d'un déséquilibre :**

C/N > 40 : Croissance microbienne limitée → compostage plus long.

C/N < 20 : Pertes d'azote (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O) et odeurs.

**Rapport final idéal: 10-15.**

#### d) Température :

**Phases clés:**

✓ **Mésophile (20-45°C) :** Début de décomposition.

✓ **Thermophile (50-70°C) :** Élimination des pathogènes (>55°C) et graines (>62°C).

**Régulation :** Retournements et aération pour éviter les surchauffes.

#### e) Teneur en Lignine

**Effets:**

Résistance à la dégradation → réduit la biodisponibilité du carbone.

Améliore la porosité (favorise l'aération).

**Conséquences:**

Excès de lignine → allonge la durée du compostage.

Apport de champignons décomposeurs → peut accélérer le processus.

#### f) Polyphénols (Tannins)

**Rôle inhibiteur:**

Réduisent l'accessibilité des protéines et parois cellulaires.

Limitent la libération d'azote.

**Recommandation:**

Utiliser les teneurs en lignine/polyphénols pour classer les matières organiques (Palm et al., 2001).

#### g) PH :

**Plage acceptable :** Neutre à légèrement alcalin (pH ≤ 8).

**Risques d'un PH trop élevé :**

Pertes d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) par volatilisation.(F.A.O 2005)

## **2.2.4 Techniques pour un Compostage Aérobie Efficace :**

### **a) Optimisation de l'Aération :**

#### **Taille du tas :**

Trop grand → zones anaérobies au centre.

Trop petit → perte rapide de chaleur.

Solution : Adapter la taille selon le climat (plus grand en froid, plus petit en chaud).

#### **Ventilation passive/active :**

Trous dans le tas (bambou, branches mortes à la base).

Systèmes sophistiqués : tuyaux perforés ou ventilateurs (méthode du tas aéré statique).

### **b) Retournement Fréquent :**

#### **Impact sur la durée :**

Aucun retournement : 6-8 mois (méthode Bangalore).

1 retournement : 4 mois (méthode Coimbatore).

Retournements quotidiens : 2 semaines (méthode Berkley).

#### **Équilibre nécessaire :**

Trop fréquent → baisse de température.

Trop rare → surchauffe locale ou anaérobie.

### **c) Inoculation Microbienne**

#### **Champignons utilisés :**

Trichoderma (décomposition rapide).

Pleurotus (pour matières résistantes comme la coque de noix de coco).

#### **Sources économiques :**

Prélèvement dans des composts matures.

Multiplier des souches commerciales à la ferme.

Utiliser des microorganismes naturels (sol, feuilles).

### **d) Gestion des Matières Premières :**

#### **Déchiquetage/broyage :**

Augmente la surface de contact pour les microbes.

Essentiel pour les matières dures (bois, tiges).

#### **Ajouts nutritifs :**

Azote (urée, fumier) pour corriger un C/N élevé.

Phosphate si le rapport C/P est déséquilibré (optimum : 75-150).

Mélasses pour stimuler l'activité microbienne initiale.

### **e) Contrôle du pH et Autres Ajouts :**

#### **Chaux :**

Peut aider à décomposer les matières ligneuses.

Risque : Alcalinisation excessive → pertes d'azote ( $\text{NH}_3$ ).

Recommandation : Limiter son usage aux tas trop acides.

### **f) Techniques Adaptatives :**

#### ✓ **Climat chaud :**

Tas plus petits, aération accrue pour éviter les incendies ( $>75^\circ\text{C}$ ).

#### ✓ **Climat froid :**

Tas plus grands pour conserver la chaleur.

#### ✓ **Humidité :**

Maintenir 50-60% au départ, surveiller l'excès d'eau. (F.A.O 2005)

## **2.3 Processus de compostage anaérobie :**

Développée en 1939 à Bangalore (Inde), cette méthode a été conçue pour composter efficacement des matières fécales et des déchets organiques, tout en contournant les inconvénients d'autres techniques comme la méthode Indore. Elle élimine notamment les besoins de protection climatique du tas, réduit les pertes nutritives dues aux intempéries, et minimise les nuisances liées aux mouches. En revanche, elle exige un temps de compostage plus long (6 à 8 mois) et convient particulièrement aux régions peu pluvieuses.

### **Mise en Œuvre**

#### **a) Préparation de la fosse :**

Des tranchées d'environ 1 m de profondeur sont creusées, avec des parois inclinées et un fond en pente (90 cm) pour éviter l'accumulation d'eau.

La taille varie selon les matériaux disponibles et l'espace.

#### **b) Remplissage :**

Les déchets organiques et matières fécales sont empilés en couches successives.

La fosse est recouverte d'une couche de matière organique (15-20 cm) pour limiter .

#### **c) Avantages et Limites :**

l'évaporation et les nuisances.

Après 3 mois, les matériaux se tassent naturellement, et des couches supplémentaires peuvent être ajoutées.

#### **d) de décomposition :**

Phase initiale aérobie (8-10 jours) : Début de dégradation par les microorganismes.

Phase anaérobie prolongée : La décomposition se poursuit lentement sans intervention, aboutissant à un compost mature en 6 à 8 mois.

Adaptée aux zones arides, peu exigeante en main-d'œuvre, et hygiénique (moins de mouches).

Durée longue, et nécessité d'un espace dédié pour les fosses.(F.A.O 2005)

### **3. Effet du compost sur le sol et la plante.**

#### **Composts, fertilité des sols et la santé des plantes :**

Le compost joue un rôle essentiel en agriculture grâce à sa richesse en éléments nutritifs. Des recherches récentes, notamment celles de (Mulaji 2011) ont démontré que son application contribue à l'enrichissement du sol en matière organique, améliore la capacité d'échange cationique ainsi que l'activité et la biomasse microbienne. Des expérimentations réalisées en conditions naturelles dans les sols acides et pauvres du Katanga ont révélé que les amendements organiques permettent de fournir aux cultures les nutriments nécessaires à leur croissance, leur développement et leur production (Useni, Mbuemba et Luceiens 2012). Étant donné l'importance de la matière organique pour la productivité végétale, ainsi que le coût élevé des engrais chimiques les rendant inaccessibles pour la majorité des agriculteurs, et dans un contexte de forte croissance démographique entraînant une demande accrue en produits alimentaires, le recours au compost apparaît comme une alternative durable et précieuse. (Kitabala 2016)

#### **3.1 Effets des composts sur les propriétés physiques et chimiques des sols :**

Les effets des composts sur les propriétés physiques et chimiques des sols sont importants et multiformes. Ils influencent diverses caractéristiques des sols et améliorent ainsi la productivité agricole. Dérivés de matières organiques, les composts améliorent la structure du sol, la disponibilité des nutriments et l'activité microbienne, ce qui conduit à des sols plus sains et à de meilleurs rendements agricoles. Les sections suivantes détaillent ces effets.

##### **✓ Propriétés physiques :**

Réduction de la masse volumique apparente : Les composts réduisent considérablement la masse volumique apparente du sol, améliorant ainsi sa porosité et sa rétention d'eau. Par exemple, la litière de volaille compostée a réduit la masse volumique apparente de 42 %.(Mandal, Rackesh et Sencindiver 2013)

Water Holding Capacity: The incorporation of compost increases total water content, which is crucial for plant growth (Mandal, Rackesh et Sencindiver 2013)

Soil Stability: Composts improve soil stability against erosion, particularly in sandy soils (Dominiguez, et al. 2019)

### 3.2 Effets des composts sur la biologie des sols :

Selon (Fuchs 2009) le compost influence la biologie du sol principalement de deux façons. Premièrement, il fournit une source de substrats organiques aux micro-organismes du sol, favorisant ainsi leur développement. Cet effet est particulièrement marqué avec un compost jeune, riche en matières facilement dégradables. Deuxièmement, la flore microbienne apportée par le compost peut modifier l'activité biologique du sol. Lorsque le compost est correctement élaboré, il contient une microflore bénéfique : la phase thermophile du processus élimine les agents pathogènes, tandis que la phase de maturation permet le développement de micro-organismes antagonistes favorables à l'équilibre biologique du sol.

### 3.3 Effets des composts sur la santé des plantes :

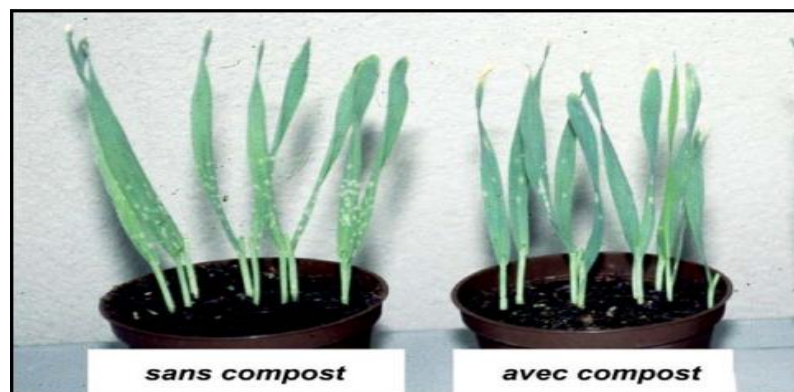
L'enrichissement des sols en compost améliore leurs propriétés chimiques, physiques et biologiques, créant ainsi un environnement plus favorable à la croissance des plantes. Grâce à ces conditions optimisées, les plantes subissent moins de stress et deviennent naturellement plus résistantes aux maladies.

En plus de ces effets indirects, les composts peuvent aussi exercer une action directe sur la santé végétale, en fonction de leur qualité microbiologique. Un compost riche en micro-organismes bénéfiques contient des agents antagonistes capables de s'opposer aux pathogènes présents dans le sol en les inhibant, les concurrençant ou en les parasitant. Ainsi, un compost de haute qualité microbiologique peut offrir une protection efficace contre certaines maladies, tandis qu'un compost pauvre en activité microbienne ne présente pas cette capacité. Il est également important de noter que le traitement thermique d'un compost actif détruit sa microflore bénéfique et lui fait perdre ses propriétés suppressives.

### 3.4 Effets des composts sur la plante entière :

Les bienfaits du compost ne se limitent pas uniquement à la lutte contre les maladies du sol. En effet, son incorporation dans le sol peut renforcer la résistance générale des plantes face à diverses maladies. Des recherches ont montré que certains composts, lorsqu'ils sont utilisés comme amendements, peuvent stimuler les défenses naturelles des plantes. Par exemple, l'application de compost a permis d'induire une résistance accrue chez l'orge, réduisant ainsi de manière significative les attaques d'oïdium (fig. 1).

( Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL) 2009/12)



**Figure 1.** Influence d'un apport de compost dans le sol sur le développement de l'oïdium sur les feuilles de plantes d'orge (Fuchs 2009)

## **Chapitre 2 :valorisation des papiers d'emballages**

## Chapitre 2 : Valorisation des papiers d'emballages

### 1. Valorisation de Papier d'emballage :

#### 1.1 Consommation mondiale et potentiel de développement du marché du papier :

L'étude de la Banque Mondiale (2023) révèle que l'industrie papetière mondiale maintient sa croissance malgré la transition numérique, avec une consommation globale estimée à 421 millions de tonnes annuelles et un taux de croissance de 2,1% , portée par le secteur de l'emballage qui représente 54% de la demande. Dans le contexte algérien, l'analyse montre une contradiction frappante : alors que la consommation par habitant s'élève à 5,6 kg/an (soit +3,7% depuis 2020), la production locale ne dépasse pas 52 000 tonnes - seulement 3% des besoins nationaux estimés à 1,7 million de tonnes - entraînant une facture d'importation annuelle atteignant 386 millions de dollars. Le déficit de développement apparaît clairement en comparaison régionale : la Tunisie (7,1 kg/habitant avec une production couvrant 22% de ses besoins) et l'Espagne (73,4 kg/habitant avec un excédent exportable de 12 milliards de dollars). Cette fragilité productive, couplée à une demande locale projetée en hausse de 4,8% annuels jusqu'en 2030, génère des opportunités d'investissement prometteuses dans : le recyclage des déchets papier (1,2 million de tonnes inexploitées), la fabrication de papier d'emballage (68% des importations), et la production de pâte à papier à partir de résidus agricoles locaux. (Banque Mondiale 2023)

#### Le papier et le carton d'emballage : propriétés, production et pertinence environnementale :

Le carton est devenu un matériau essentiel dans l'industrie de l'emballage, grâce à ses nombreux avantages techniques, économiques et environnementaux. Léger, facile à façonner et hautement recyclable, il s'impose comme une solution idéale pour la fabrication de boîtes, de caisses et de divers types d'emballages.

Parmi les différentes formes de carton, le **carton ondulé** domine largement le secteur en raison de ses performances mécaniques remarquables. Il est généralement constitué de trois couches : une feuille ondulée insérée entre deux feuilles de couverture. Le processus de fabrication est obtenu par un processus où la feuille centrale est cannelée à haute température (environ 180 °C), puis collée à l'aide d'amidon. L'ensemble est ensuite assemblé à grande vitesse, atteignant jusqu'à 300 mètres par minute, avec jusqu'à 800 lignes de collage par seconde. Ce carton est ensuite transformé en caisses ou autres formes d'emballage.

Breveté il y a plus d'un siècle, le carton ondulé reste aujourd'hui incontournable, grâce à sa **résistance aux chocs**, sa **légèreté** et sa **capacité à être recyclé** – plus de 90 % de sa production utilise des fibres recyclées. Des démonstrations impressionnantes, comme des sièges supportant des charges humaines, témoignent de sa solidité.

Outre le carton ondulé, d'autres types de cartons répondent à des besoins spécifiques. Par exemple, l'emballage pour liquides (lait, jus) se compose de feuilles de carton combinées à des couches de polyéthylène et parfois d'aluminium, pour assurer une barrière efficace contre l'air, l'humidité et la lumière. Pour les produits frais, on utilise souvent des cartons multicouches recouverts de polyéthylène ou de papier paraffiné.

Les sacs en papier représentent aussi une application importante, notamment pour les produits en vrac comme le ciment. Ils nécessitent des fibres longues pour assurer résistance mécanique et porosité. De même, pour les produits surgelés, le carton doit être traité en surface avec de la paraffine pour résister à l'humidité due à la condensation.

Selon (Biermann 1996) dans *Handbook of Pulping and Papermaking*, ces propriétés font du carton un **matériau économique** et polyvalent, utilisé non seulement dans l'industrie mais aussi dans des domaines créatifs. Sa capacité à protéger, sa facilité d'utilisation et son impact environnemental réduit expliquent pourquoi il reste un choix privilégié face à d'autres matériaux d'emballage.

## 2. Introduction générale aux fibres de cellulose : définition, structure et applications :

### 2.1 Définition général :

Les fibres de cellulose sont des structures naturelles formées par l'assemblage de macromolécules de cellulose en microfibrilles, qui s'organisent ensuite en fibres plus larges. Ces fibres sont biodégradables, recyclables et largement utilisées dans divers domaines industriels. Elles peuvent être extraites de différentes sources végétales, telles que le coton, le lin, le chanvre ou le bois. (Institut National de Recherche et Sécurité INRS 2011)

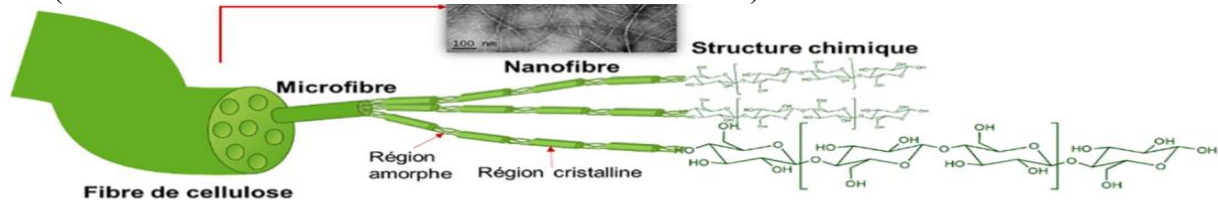


Figure 2. Les principaux types de carton ondulé

### 2.2 Structure et composition :

La cellulose est un polymère naturel composé de chaînes linéaires de D-glucose. Ces chaînes s'associent par des liaisons hydrogène pour former des microfibrilles, qui s'organisent ensuite en fibres de cellulose. La structure des fibres de cellulose comprend des zones cristallines, où les chaînes sont fortement ordonnées, et des zones amorphes, moins structurées. Cette organisation confère aux fibres de cellulose des propriétés mécaniques remarquables, telles qu'une grande résistance à la traction

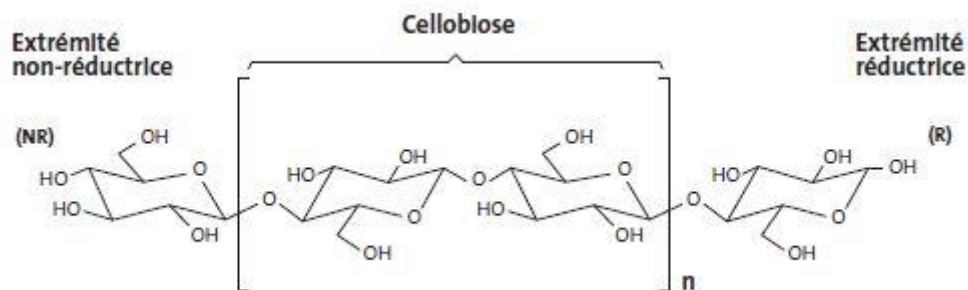


Figure 3. Représentation de la chaîne de cellulose. (Fibres de cellulose)  
(Institut National de Recherche et Sécurité INRS 2011)

### 2.3 Sources et abondance :

La cellulose est une composante naturelle de la paroi cellulaire des plantes et des arbres. Les fibres provenant de certaines plantes ont un contenu très élevé en cellulose (coton et ramie : > 90 %; jute, lin et chanvre : > 60 %), alors que les fibres provenant d'arbres (pin, épinette, sapin, bouleau, peuplier) sont généralement composées d'environ 40 à 50 % de cellulose. Les autres composantes majeures des fibres végétales sont l'hémicellulose et la lignine. (H.Pande 1998)

### 2.4 Utilisation et sources d'émission :

Les fibres de cellulose, qu'elles soient sous forme naturelle ou nanométrique (CNFs, CNCs), sont très utilisées pour renforcer des matériaux composites destinés notamment à l'emballage, l'automobile, l'aérospatial ou le biomédical. Elles confèrent des propriétés mécaniques et barrières remarquables aux films d'emballage, tout en étant légères et écologiques. Par exemple, les CNFs

améliorent la résistance à la traction, la flexibilité et l'imperméabilité des cartons, tout en réduisant l'épaisseur et en évitant l'emploi de plastiques. (Subin, et al. 2025)

La production industrielle de la cellulose, notamment via les procédés Kraft ou Sulfite, génère des émissions de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), de dioxyde de soufre (SO<sub>x</sub>) et d'autres composés organiques volatils dans l'air, ainsi qu'une quantité considérable de sous-produits aqueux (tels que les dioxines). De plus, l'industrie de la pâte et du papier représente environ 1 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, en générant près de 950 kg de CO<sub>2</sub> équivalent par tonne de papier produite (Mingxing, et al. 2018)

### **3. Extraction des fibres cellulosiques et composition du carton :**

#### **3.1 Fibre Cellulosique dans le carton :**

L'extraction des fibres de cellulose à partir de résidus de papier-carton passe typiquement par trois étapes principales : pré-hydrolyse, cuisson alcaline (pulping) pour éliminer l'hémicellulose et la lignine, puis blanchiment, souvent avec du peroxyde d'hydrogène ou du chlore, pour obtenir une cellulose pure et blanche. Par exemple, dans le cas d'emballages multicouches, une étude (Martínez-Barrera et al., 2021) décrit un protocole combinant acide acétique, peroxyde d'hydrogène et hydrolyse acide au H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, permettant l'obtention de nanocristaux de cellulose avec une structure cristalline élevée (~77 %). Ce procédé assure aussi l'élimination de charges comme le kaolin, fréquemment présents dans les cartons industriels. (Manikanika 2021)

Les cartons sont composés majoritairement de cellulose, accompagnée d'hémicellulose et de lignine. La cellulose forme 60–80 % de la matière, la lignine 5–20 %, l'hémicellulose 10–24 % et les cendres environ 0,5–3 % (Gustavo, et al. 2021).

Dans les pâtes mécaniques utilisées pour les cartons, une part importante de lignine subsiste, renforçant la rigidité mais limitant la blancheur et la résistance à l'eau. Un protocole spécifique pour valoriser les vieux cartons ondulés (OCC) montre que l'assainissement avec des traitements enzymatiques suivi de pulpage alcalin permet une purification de la cellulose comparable à celle observée pour la pâte kraft, incluant un taux élevé d'élimination des hémicelluloses (Sarwar et al, 2016)

Au XIX<sup>e</sup> siècle, Anselme Payen, éminent chimiste français, a découvert que la cellulose présente dans les fibres de bois était identique à celle des fibres de coton. Cette avancée scientifique a marqué un tournant majeur dans la société, rendant possible la production de papier en grandes quantités et à faible coût. Auparavant, la fabrication de papier reposait uniquement sur les chiffons, une matière première rare et onéreuse, limitant ainsi la production. Les cellules végétales du bois se présentent principalement sous forme de fibres cellulosiques dont la longueur varie entre 0,5 et 4 mm selon l'essence : de 0,5 à 2 mm pour les bois feuillus et de 2 à 5 mm pour les bois résineux. Leur diamètre, lorsqu'elles sont humides, oscille entre 20 et 100 μ. La production du papier repose sur la séparation individuelle de ces fibres, réalisée grâce à deux procédés particulièrement efficaces. Le carton (souvent appelé « paperboard ») est principalement fabriqué à partir de fibres de cellulose obtenues du bois par des procédés de défibrage mécaniques ou chimiques. Lors de la production, de l'eau est ajoutée pour disperser les fibres, et la pâte est déposée sur une toile en mouvement où l'eau est drainée, formant une nappe de fibres. Afin d'améliorer la résistance, les propriétés de surface et la durabilité du matériau, divers additifs sont incorporés : des amidons pour renforcer la résistance et améliorer la surface, des agents d'encollage pour résister à la pénétration des liquides, des charges minérales comme l'argile ou le carbonate de calcium pour améliorer la douceur et l'opacité, et parfois des résines résistantes à l'eau. Après le pressage et le séchage, la feuille est lissée par calandrage pour obtenir une surface uniforme et lisse. (Biermann 1996)

#### **3.2 Les Composants du carton ondulé :**



Figure03 :carton ondulé

### 3.2.1 Couverture :

- **Kraftliner** : papiers à base de fibres neuves obtenues par un procédé chimique au sulfate ou à la soude, et pouvant incorporer des fibres recyclées. Il est d'aspect écru ou blanc. Les grammages sont compris entre 115 et 440 g/m<sup>2</sup> .
- **Testliner** : papiers à base de fibres recyclées dont les grammages sont compris entre 90 et 250 g/m<sup>2</sup>. Il est d'aspect écru ou blanc.
- **Autres couvertures** : papiers à base de fibres recyclées, sans garantie d'aspect. 1.2.2. Cannelures

### 3.2.2 Sortes :

- **Mi-chimique** : papiers à base de fibres neuves obtenues par un procédé chimique et mécanique, et pouvant incorporer des fibres recyclées. Les grammages sont compris entre 105 et 250 g/m<sup>2</sup> .
- **Cannelure recyclée** : papiers à base de fibres recyclées dont les grammages sont compris entre 70 et 200 g/m<sup>2</sup> .

### 3.2.3 Types et profils des cannelures :

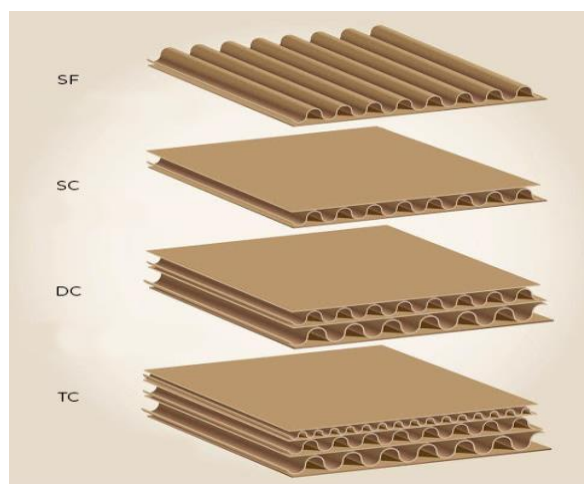


Figure 4 : Les principaux type de carton ondulé

La technologie de fabrication conduit à onduler le papier cannelure selon des profils pseudo-sinusoïdaux de plusieurs types (fig. 6 et tableau 1)

Fig. 2 – Profil de cannelure

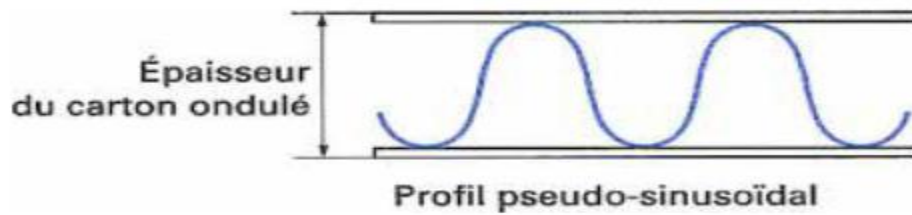


Figure 5 : Profil de cannelure (Carton ondulé en France 2017)

**Tableau 1.** Types de cannelure et épaisseur du carton ondulé pour plusieurs symboles  
 Pour le carton ondulé à plusieurs cannelures, les mêmes symboles sont utilisés et spécifiés dans

Symboles	Types de cannelures	Épaisseur du carton ondulé
K	Trèsgrandecannelure	$\geq 6$ mm
A	Grande cannelure	de l'ordre de 5 mm
C	Moyennecannelure	de l'ordre de 4 mm
B	Petite cannelure	de l'ordre de 3 mm
E	Micro cannelure	de l'ordre de 1.8 mm
F	Mini micro cannelure	de l'ordre de 1 mm
G	Ultra micro cannelure	inférieure à 1 mm

l'ordre : cannelure extérieure vers cannelure intérieure. Exemple : BC – BAA

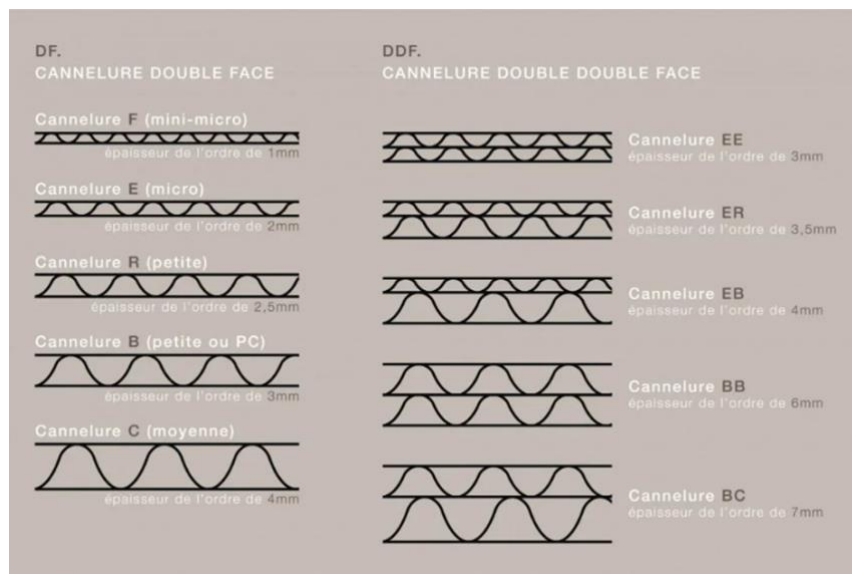


Figure 6 : Les Types des cannelure

### 3.2.4 Colles :

La performance de la structure dépend étroitement de la qualité du collage. Les colles utilisées pour le collage couverture/cannelure sont à base d'amidon. Déposé sur les sommets des cannelures, l'amidon se gélatinise sous l'effet de la chaleur de assure l'assemblage des papiers. Pour un carton simple cannelure, le dépôt de colle sec est de 10 à 30 g/m<sup>2</sup>. [(Carton Ondulé de France s.d.)

#### 4 . La structure d'une feuille de papier :

Grâce à la microscopie optique puis électronique, il est désormais possible d'observer la structure du papier, formée d'un enchevêtrement de fibres (figure 1) partiellement orientées selon la direction de défilement de la toile de la machine à papier.



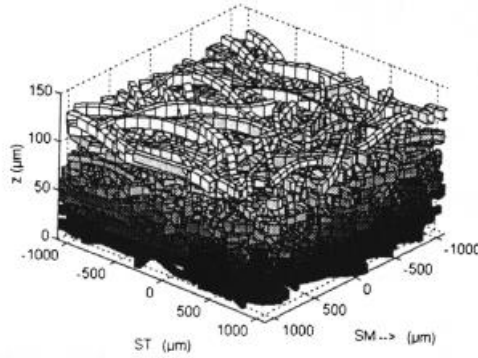
Figure 7 :Structure de feuille du papier(Baumgärtner 2017)

La résistance mécanique d'une feuille de papier est remarquable, d'autant qu'aucun liant n'est ajouté pour fixer les fibres entre elles. Cette résistance dépend à la fois des propriétés intrinsèques des fibres utilisées et de l'agencement du réseau fibreux, deux paramètres partiellement liés.

Les papiers d'emballage, connus pour leur solidité, sont exclusivement fabriqués à partir de fibres de bois résineux, plus longues que celles des bois feuillus, généralement utilisées pour les papiers d'impression et d'écriture.

Des recherches approfondies ont été menées pour comprendre l'origine de cette résistance mécanique et pour établir des liens entre les caractéristiques des fibres, la structure du réseau qu'elles forment et les propriétés finales du papier.

Les progrès en simulation informatique ont permis des avancées majeures dans ce domaine. La figure 9 illustre une représentation 3D de la structure du papier, réalisée par simulation sur la base d'hypothèses concernant les propriétés des fibres. Aujourd'hui, il est possible de simuler l'évolution de cette structure en modifiant ces propriétés, ouvrant ainsi la voie à la création de nouveaux types de papier. Cette approche permet d'associer différentes fibres ou d'ajuster certains paramètres de la machine à papier pour concevoir des produits aux propriétés adaptées à des besoins spécifiques.. (Biermann 1996)



**Figure 8:** Représentation 3D de la structure du papier(Lachenal s.d.)

## 5. Collecte, tri et conditionnement des cartons, papiers et autres matières fibreuses à recycler :

### 5.1 Le Geste de tri :

Les produits que nous achetons sont emballés pour les conserver, les protéger et informer les consommateurs : après consommation, ces emballages sont à mettre dans le bac de tri ou à jeter avec les ordures ménagères. En effet, les règles de tri peuvent différer d'une commune à l'autre. Mais plus pour longtemps. (Maira 2023)



**Figure 9 :**Benne-compacteur pour la collecte des cartons (d'emballages ou non) et des papiers rachetés par Veolia

### 5.2 La collecte des emballages et papiers triés :

Une fois vos emballages et papiers triés, les poubelles de tri et les conteneurs des points de tri sont collectés par des agents de collecte, aussi appelés ripeurs ou éboueurs. Cette étape de collecte permet d'acheminer tous ces emballages et papiers vers le centre de tri le plus proche. Les emballages en verre sont envoyés dans des centres de traitement où ils seront nettoyés et broyés, pour redevenir des emballages en verre..(Maira 2023)

### 5.3 Le centre de tri :

Les camions de collecte arrivent ensuite en centre de tri, un site industriel, qui grâce à de nombreux mécanismes et technologies va permettre de séparer tous les emballages et papiers collectés par matériau.

Après cette étape, les contenus de la poubelle de tri vont, en fonction de leur matériau, avoir un parcours différent.

Les matériaux disposant d'une filière de recyclage (papier et papier-carton, verre, métal, et certains plastiques comme ceux des bouteilles d'eau et des flacons de shampoing ...) sont acheminés vers une usine de recyclage. En France en 2023, le taux de recyclage des emballages est de 67%, celui du papier de 63%.

Les emballages en plastique dont les filières de recyclage sont en cours de développement pourront être regroupés dans un « flux développement », où ils seront triés par résine, et rejoignent des filières en cours de développement ou feront l'objet de tests pour pouvoir développer leur recyclage.

Les matériaux non recyclables sont dirigés soit vers une unité de valorisation, où leur incinération fournira de l'énergie ou de la chaleur, soit stockés dans des centres d'enfouissement. (Maira 2023)



**Figure 10 :** Centre de tri des papier (PAPREC 2024)

#### **5.4 Les usines de recyclages :**

Dans les usines de recyclage, les emballages et papiers subissent plusieurs étapes de transformation mécanique, différentes selon les matériaux, pour redevenir une matière première. Ils peuvent ainsi être broyés, lavés, fondus... Pour les plastiques, on expérimente aussi le recyclage 'chimique' par exemple par pyrolyse.

A l'issue de ces processus, ces matériaux prennent la forme de paillettes pour le plastique, de pâte pour le papier, de lingots ou blocs pour les métaux ou de calcin (du verre broyé) pour le verre. (Maira 2023)



**Figure 11:** Usine de recyclage

#### **6. Le Carton d'emballage dans le compostage :**

Comme mentionné dans le chapitre précédent, Le compostage est l'une des méthodes environnementales durables permettant de recycler les déchets organiques en un amendement naturel riche en éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes. Dans ce contexte, les composants du carton jouent un rôle important en améliorant l'efficacité du processus de compostage ainsi que la qualité du produit final. Le carton est principalement composé de fibres de cellulose, des composés organiques végétaux facilement biodégradables par l'action de micro-organismes tels que les bactéries et les champignons. Lorsqu'il est ajouté au tas de compost, le carton fournit une source élevée de carbone, contribuant ainsi à équilibrer le rapport carbone/azote (C/N), élément crucial pour assurer une dégradation biologique rapide et efficace. La présence de matière riche en carbone, telle que le carton, est essentielle pour stimuler l'activité des micro-organismes aérobies qui accélèrent le processus de décomposition. De plus, la structure fibreuse du carton améliore l'aération du compost, prévenant ainsi la formation d'odeurs désagréables dues à la dégradation anaérobie et maintenant des températures favorables à la prolifération des bactéries bénéfiques. D'autre part, le carton agit comme un absorbeur efficace de l'humidité excédentaire, contribuant ainsi à maintenir un taux d'humidité optimal, indispensable au bon déroulement du compostage biologique. Sur le plan environnemental, l'utilisation de carton propre (non traité avec des encres industrielles ou des plastiques) dans le compostage réduit la quantité de déchets papier dirigés vers les décharges, participant ainsi à la diminution de l'empreinte carbone globale. À la fin du processus de compostage, le carton dégradé se transforme en matière organique riche qui améliore les propriétés physiques et chimiques du sol. Il augmente la capacité du sol à retenir l'eau et les éléments nutritifs, tout en créant un environnement favorable au développement de la microfaune bénéfique du sol, telles que les vers de terre et les bactéries fixatrices d'azote. En outre, l'intégration du carton composté dans les sols améliore leur aération et favorise un meilleur enracinement des plantes, ce qui se traduit par une meilleure santé végétale et une croissance accrue. Des études scientifiques, notamment celle menée par Zandvakili et ses collègues (2019), ont démontré que l'ajout de matières riches en carbone dans le processus de compostage conduit à un compost plus équilibré et plus riche en matière organique, améliorant ainsi la fertilité naturelle des sols et réduisant la dépendance aux engrais chimiques. Grâce à cette valorisation intelligente des déchets papier, plusieurs objectifs environnementaux et agricoles sont atteints, incluant le soutien à l'agriculture durable et la préservation des écosystèmes naturels. En conclusion, il est clair que le carton joue un rôle central dans le processus de compostage, non seulement en facilitant la dégradation organique, mais aussi en contribuant de manière significative à l'amélioration de la santé des sols et des plantes, ce qui en fait un matériau précieux dans les stratégies de gestion durable des déchets et les pratiques agricoles écologiques. (Zandvakili et al, 2019).

**Chapitre 03 : la tomate**  
*(lycopersicum esculentum l).*

## Chapitre 3 : La tomate (*Lycopersicon esculentum L*)

### 1. Description Sommaire de la tomate :

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) figure parmi les légumes les plus cultivés à l'échelle mondiale. En 2001, la production globale de tomates fraîches avoisinait les 105 millions de tonnes, réparties sur environ 3,9 millions d'hectares. Grâce à son cycle de croissance relativement court et à son rendement élevé, cette culture présente un fort potentiel économique, ce qui se traduit par une expansion continue des surfaces qui lui sont consacrées. La tomate appartient à la famille des Solanacées, tout comme d'autres plantes bien connues telles que la pomme de terre, le poivron, l'aubergine ou encore le tabac.

La tomate (voir figure 1) est une plante annuelle, qui peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres. Cependant, en Amérique du Sud, il est possible de récolter d'une même plante pendant plusieurs années d'affilé

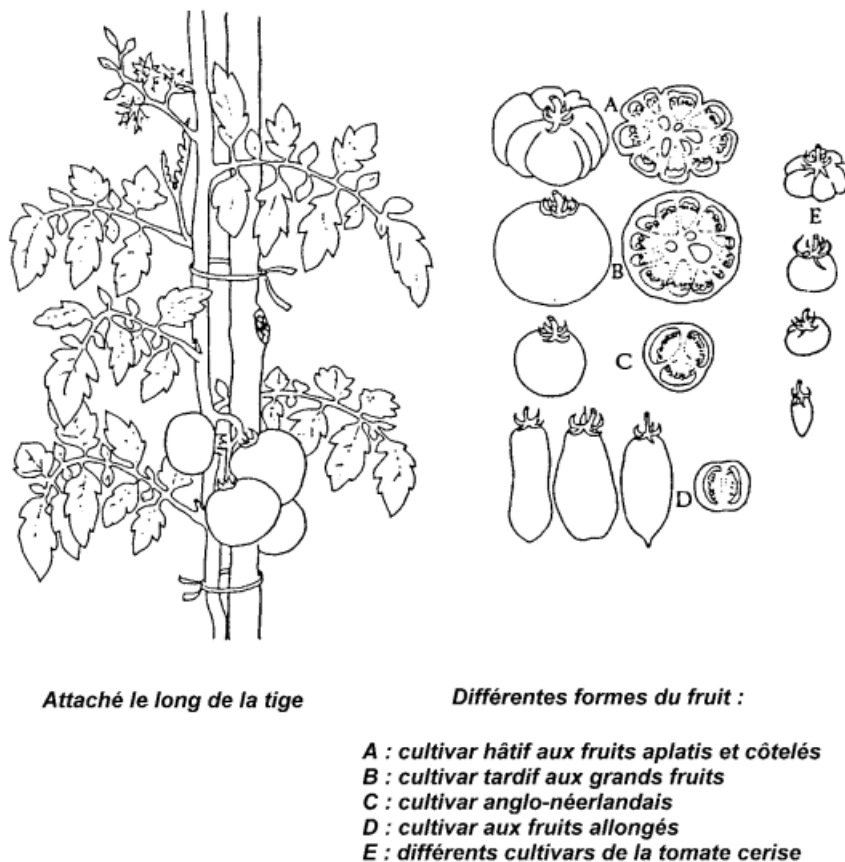


Figure 12 La Tomate(Shankara, et al. s.d.)

La première cueillette peut avoir lieu 45 à 55 jours après la floraison, ou 90 à 120 jours après semis. La forme des fruits varie selon le cultivar. La couleur varie dans la gamme du jaune au rouge.

On distingue principalement deux grandes catégories de plants de tomates selon leur mode de développement :

- les variétés à croissance indéterminée,
- les variétés à croissance déterminée.

À ces deux types s'ajoutent des variétés intermédiaires dites à croissance semi-déterminée. Chaque type de croissance correspond à un système de culture spécifique.

Pour obtenir une récolte prolongée, il est conseillé d'opter pour des variétés à croissance indéterminée. Ces dernières continuent de croître même après le début de la floraison, d'où leur nom. Toutefois, en climat tropical, leur développement peut être freiné par les maladies ou les ravageurs. Ces plants présentent souvent un feuillage dense, ce qui crée un microclimat plus frais au sein de la culture et protège les fruits des rayons directs du soleil. Cela ralentit leur maturation, ce qui favorise une meilleure qualité gustative, notamment une saveur plus sucrée, grâce à un rapport élevé entre feuillage et fruits. Pour soutenir leur croissance verticale, ces variétés nécessitent des structures comme des tuteurs, des treillis ou des cages

En revanche, les variétés à croissance déterminée cessent leur développement une fois la floraison atteinte. Elles n'ont généralement pas besoin de tuteur car elles sont plus compactes et se maintiennent seules. Toutefois, en cas de conditions climatiques extrêmes, comme des vents violents ou des tempêtes, un support ou une protection reste recommandé. Moins exigeantes en main-d'œuvre, ces variétés sont souvent privilégiées dans les cultures commerciales. Elles produisent leurs fruits sur une période courte — en général deux à trois semaines — et ceux-ci arrivent à maturité plus rapidement que ceux issus de variétés à croissance indéterminée.

#### **Atouts de la culture de la tomate :**

La tomate est un légume qui présente un cycle de culture relativement rapide.

Il est possible de choisir entre une culture de courte ou de longue durée selon les besoins.

Elle s'adapte aussi bien à la culture en plein champ qu'à celle sous abri.

Elle s'intègre facilement dans divers systèmes de culture.

Elle possède une forte valeur commerciale.

Ses fruits sont riches en micronutriments.

Ils peuvent être transformés de différentes manières : séchage, mise en conserve, ou utilisation industrielle.

## **2. Caractéristiques botaniques du plant de tomate :**

- ✓ **Système racinaire :** La tomate développe une racine pivotante vigoureuse, pouvant atteindre ou dépasser 50 cm de profondeur. Cette racine principale émet de nombreuses racines secondaires ainsi que des racines adventives.
- ✓ **Tige :** Sa tige peut présenter un port dressé ou étalé, avec une longueur pouvant aller de 2 à 4 mètres. Elle est pleine, densément recouverte de poils glanduleux.
- ✓ **Feuillage :** Les feuilles sont disposées en spirale et mesurent entre 15 et 50 cm de long pour 10 à 30 cm de large. Les folioles, de forme ovale à allongée, sont également couvertes de poils glanduleux. Certaines grandes folioles peuvent être découpées à leur base. Les fleurs sont regroupées en inflorescences de type cyme, comptant généralement entre 6 et 12 fleurs. Les pétioles mesurent entre 3 et 6 cm.
- ✓ **Fleurs :** Les fleurs, hermaphrodites et symétriques, mesurent entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles apparaissent soit en face des feuilles, soit entre celles-ci. Le calice est court, poilu, avec des sépales persistants. En moyenne, on observe 6 pétales jaunes recourbés à maturité, mesurant jusqu'à 1 cm. L'appareil reproducteur comprend 6 étamines aux anthères jaune vif, qui forment un cône autour du style. Celui-ci est prolongé par une extrémité stérile. L'ovaire, situé au-dessus, comporte de 2 à 9 loges. La fécondation est généralement autogame, mais une pollinisation croisée est possible, notamment grâce aux abeilles et aux bourdons.
- ✓ **Fruit :** Il s'agit d'une baie charnue, de forme sphérique ou légèrement aplatie, avec un diamètre variant entre 2 et 15 cm. Immature, le fruit est vert et couvert de poils ; à maturité, sa couleur va du jaune au rouge en passant par l'orange. Les formes peuvent être lisses ou côtelées.

- ✓ **Graines** : Les graines, en grand nombre, ont une forme de rein ou de goutte, sont recouvertes de poils fins et affichent une couleur beige. Leur taille varie entre 3 et 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé à l'intérieur de l'albumen. Environ 1 000 graines pèsent entre 2,5 et 3,5 grammes. (Naika, et al. 2005)

### **3. Importance Nutritionnel et économique de la Tomate :**

Après la pomme de terre, la tomate représente le deuxième légume le plus consommé au niveau mondial, que ce soit en tant que produit frais ou sous forme transformée. Elle est cultivée à travers le globe, sous diverses latitudes et dans une grande variété de conditions climatiques et de systèmes de production.

La culture de la tomate a connu une croissance continue tout au long du XXe siècle, avec une nette accélération durant les trente dernières années. À titre d'exemple, la production mondiale est passée de 48 millions de tonnes en 1978 à 74 millions en 1992, puis à 89 millions en 1998, pour enfin atteindre 124 millions de tonnes en 2006 [FAO, 2007]. Parmi les 16 pays dépassant le million de tonnes de production annuelle, 6 d'entre eux franchissent la barre des 5 millions de tonnes.

On estime qu'environ 30 % de la production mondiale est destinée à la transformation industrielle, bien que ce taux varie fortement selon les pays [Laterrot, 2013]. En termes de volume produit, la tomate se classe en troisième position au niveau mondial, derrière la pomme de terre et la patate douce.

En 2007, la production globale a été estimée à 126,2 millions de tonnes. La Chine, à elle seule, en a produit près du quart, avec 33,6 millions de tonnes. En Europe, l'Italie domine la production avec 6,53 millions de tonnes, suivie par l'Espagne (3,66 millions) et la Grèce (1,46 million) [(FAO 2019)

En Algérie, la culture de la tomate, considérée comme stratégique, s'étend sur 39 400 hectares. Cette superficie se divise en deux : 22 500 hectares sont destinés à la tomate fraîche (principalement dans les wilayas de Biskra, Mostaganem et Tipaza), et 16 900 hectares sont dédiés à la tomate industrielle. 80% de la production de tomate industrielle se concentre dans les wilayas de Skikda, El Tarf, Guelma et Annaba (Ministère d'agriculture et du développement rural MADR 2023)

Sur le plan alimentaire, la tomate joue un rôle essentiel. Elle est consommée aussi bien crue — notamment en salades ou en jus — que cuite dans une multitude de recettes à travers le monde [Chanforan, 2010]. En 2003, la Chine en était le principal consommateur avec 25,27 millions de tonnes, suivie des États-Unis (10,11 millions) et de l'Inde (6,84 millions).

Concernant la consommation annuelle par habitant, les Libyens et les Grecs se distinguent avec une moyenne respective de 117 kg et 115 kg par personne [FAOSTAT, 2019]. En France, chaque individu consomme environ 12 kg de tomates fraîches par an, faisant de ce légume l'un des plus présents dans les foyers français. Pour ce qui est des produits transformés, la consommation annuelle était d'environ 16 kg par habitant en 2008. En comparaison, l'Italie — principal consommateur en Europe — enregistrait une consommation moyenne de 41 kg par habitant [CTIFL, 2000]. (Goka, et al. 2021)

**Tableau 2** Valeurs nutritionnelle pour 100g(Goka, et al. 2021)

Eau : 94,5 g	Fibres : 1,41 g		Valeur énergétique : 16,4 kcal
Protéines : 0,8 g	Glucides : 1,72 g	Lipides : 0,26 g	Acides gras saturés : 0,048 g
Acides gras monoinsaturés : 0,035 g	Acide gras polyinsaturés : 0,13 g	Oméga 6: 0,118 g	Oméga 3 0,012 g
Minéraux et Oligo- éléments			
Phosphor: 19,3 mg	Calcium: 8,24 mg	Sodium: 3,29 mg	Zinc: 0,221 mg
Magnésium : 10,1 mg	Cuivre : 0,032 mg	Fer : 0,151 mg	Manganèse : 0,071 mg
Potassium : 251 mg	Sélénium : 0,3 µg		
Vitamines et assimilés			
Vitamine A : 0,84 mg	Vitamine B1 : 0,06 mg	Vitamine B2 : 0,04 mg	Vitamine B3 : 0,6 mg

#### **4. Besoins nutritionnels de la plante :**

La tomate est une culture exigeante en éléments minéraux. Selon les études, la production d'une tonne de fruits nécessite des quantités précises d'éléments nutritifs essentiels : - Azote: 2.2–2.4 kg (essentiel pour la croissance végétative et la floraison). - Potassium (K) : 2.6–3.6 kg (fortement mobilisé pendant la maturation des fruits, influence la qualité). - Phosphore (P) : 0.2–0.4 kg (important pour les stades précoces de croissance et le développement racinaire). - Calcium (Ca) : ~1.7 kg (prévient des maladies comme la nécrose apicale). - Magnésium (Mg) : 0.3–0.6 kg (soutient la photosynthèse). - Soufre (S) : ~0.6 kg (nécessaire à la synthèse des protéines).(F.A.O 2013)

#### **5. Facteur influençant la croissance et la production de la plante :**

##### **a) Température :**

Pour obtenir une production optimale de fruits, la culture de la tomate requiert un écart de température de 6 à 10 °C entre le jour et la nuit. Les températures idéales sont d'environ 25 °C durant la journée et 17 °C la nuit. Toutefois, lorsque les températures journalières dépassent les 30 °C, la formation des fruits devient difficile, et elle cesse généralement au-delà de 35 °C. Par ailleurs, des températures supérieures à 38 °C ou inférieures à 10 °C peuvent causer des dommages aux tissus de la plante (Direction de l'Agriculture -Polynésie française DAG 2018)

#### **b) Gestion de l'eau :**

Une humidité adéquate du sol est essentielle ; des études indiquent qu'une meilleure gestion de l'irrigation peut entraîner une augmentation significative de la hauteur des plantes (86,1 %) et de l'indice de surface foliaire (79,7 %). (Knapp, et al. 2024)

Le stress salin nuit à la productivité de la tomate à tous les stades de croissance, ce qui nécessite des stratégies de gestion efficaces (Narayanan, et al. 2024)

#### **c) Fertilité de sol :**

La fertilité du sol est cruciale pour la réussite de la culture de tomates, influencée par divers facteurs, notamment la teneur en matière organique, les pratiques de gestion des nutriments et l'activité microbienne. Les recherches indiquent que des conditions de sol optimales améliorent considérablement le rendement et la qualité des tomates. Les sections suivantes décrivent les principaux facteurs qui influent sur la fertilité du sol pour la culture de la tomate.

##### ✓ **Matière organique et teneur en nutriments :**

Carbone total (TC) et azote total (TN) : Les niveaux de TC idéaux se situent entre 30 000 et 36 000 mg/kg, avec un TN autour de 1600 à 1900 mg/kg, ce qui favorise des rendements plus élevés. (Dinesh et al, 2018)

Carbone organique du sol (COS) : Un COS de 8,12 g/kg et des niveaux d'azote minéral de 266 kg/ha ont été associés à une amélioration de la qualité du sol et du rendement en tomate. (Nadhini et al , 2024)

##### ✓ **Stratégies de fertilisation :**

Gestion intégrée des éléments nutritifs (INM) : La combinaison de 75 % d'engrais organiques et 25 % d'engrais inorganiques peut améliorer le rendement des tomates jusqu'à 150 % tout en améliorant la fertilité du sol (Nadhini et al 2024)

##### ✓ **Activité microbienne :**

Biomasse microbienne du sol : L'activité microbienne accrue, indiquée par des taux plus élevés d'enzyme déshydrogénase, est en corrélation avec une amélioration de la santé du sol et du rendement en tomate (Nadhini et al , 2024)

#### **d) Lumière :**

La tomate exige un ensoleillement direct d'au moins 6 à 8 heures par jour pour une croissance optimale. Dans les régions à forte chaleur, une protection contre les rayons intenses est nécessaire pour éviter les brûlures des fruits (F.A.O 2019)

#### **e) Type de Sol :**

Les tomates prospèrent dans des sols profonds, bien drainés et riches en matière organique. Une couche arable d'au moins 60 cm est essentielle pour permettre un développement racinaire adéquat. (Université d'Alger Département d'agronomie 2021)

#### **f) Pratique Cultural :**

Un arrosage régulier pendant la phase de croissance des fruits est essentiel, tout en évitant les excès d'eau pour prévenir l'éclatement des tomates. Un arrosage profond et espacé est optimal pour le développement racinaire. (Ministère de l'agriculture et le développement rural Algérien MADR 2018)

La taille des branches latérales pour les variétés à croissance indéterminée améliore l'aération et la productivité, tandis que les variétés déterminées ne nécessitent pas de taille intensive.(F.A.O 2020)

La culture sous tunnels non chauffés réduit les maladies foliaires et améliore la qualité des récoltes (Université de constantine 2019)

Le paillage plastique ou organique maintient l'humidité du sol et empêche la croissance des mauvaises herbes(Institut national de la recherche Agronomique 2021)

***Partie II :Partie  
Expérimentale :***

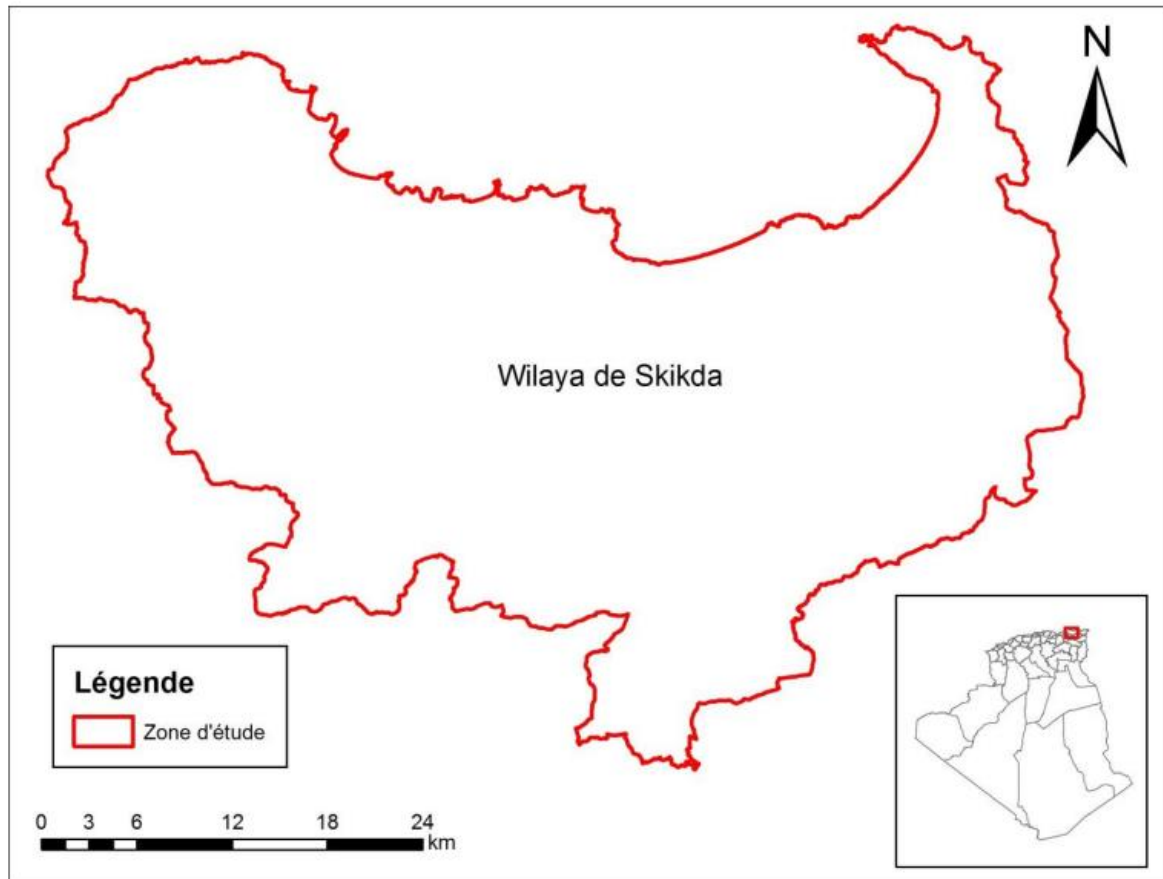
# **Chapitre 1 : matériel et méthodes**

## Partie II : Partie Expérimentale :

### Chapitre 1 : Matériel et méthodes

#### 1. Localisation Géographique de la zone d'étude :

La zone d'étude correspond à la wilaya de Skikda, située au Nord-est algérien, couvrant une surface totale de 4137,68 km<sup>2</sup>. Elle est comprise entre 36°05' et 36°15' de latitude Nord et entre 7°15' et 7°30' Est des longitudes. Localisée entre l'Atlas Tellien et le littoral méditerranéen, elle dispose de 140 km de côtes qui s'étalent de la Marsa à l'est jusqu'à Oued Z'hour à l'ouest. Elle est limitrophe avec les wilayas d'Annaba, Guelma, Constantine, Mila et Jijel (carte 1).



**Figure 13** Localisation géographique de la zone d'étude  
(Amiour 2005)

#### 1.1 Site et conditions expérimentales :

L'essai a été conduit au niveau de la serre pédagogique de l'université de 20 Aout 1955 Skikda (36°51'06.1"N, 6°53'26.7"E)

La serre utilisée est de type tunnel en plastique, avec une armature métallique. Elle est ventilée naturellement par des ouvertures latérales, sans chauffage ni climatisation artificielle.



**Figure 14** de la serre pédagogique de l'université source : Notre source

Les conditions climatiques à l'intérieur de la serre durant la période de l'expérimentation de Février à Juin ont été globalement stables, Les conditions climatiques durant l'expérimentation étaient caractérisées par une température modérée à élevée, avec une augmentation notable entre le matin et l'après-midi. L'humidité relative, quant à elle, présentait des variations journalières modérées, reflétant un climat globalement chaud et légèrement légèrement humide, propice à la croissance des plants de tomate.



**Figure 15** la serre pédagogique de l'université source : Notre source

L'usage de la serre a permis de protéger les plants contre les aléas climatiques (pluie, vent, fortes chaleurs), assurant ainsi des conditions de culture semi-contrôlées favorables à l'étude de l'effet du compost sur la tomate.

## **2. Matériel Utilisé :**

### **2.1. Matériel végétal :**

L'espèce étudiée dans notre essai est la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), membre de la famille des Solanacées. Il s'agit d'une espèce herbacée annuelle, largement cultivée en tout le monde pour ses fruits riches en vitamines, minéraux et antioxydants. Sa croissance rapide, sa sensibilité aux conditions du sol et sa valeur économique élevée.

## 2.2. Variété utilisée :

La variété utilisée dans notre essai expérimental est « Zouina F1 » elle est hybridée d'origine indienne. Ces semences ont un taux de germination avec 95% avec 99% de pureté, ils ont été récoltés en juillet 2021. Cette variété est réputée pour bonne productivité, résistance partielle aux maladies, cycle court. Elle est fréquemment semée le 20/01/2025 pour 4 mois et après elle est cultivée dans une pépinière située dans la zone agricole de « Sidi Mezghich », wilaya de Skikdaen raison de son adaptation aux conditions climatiques locales.

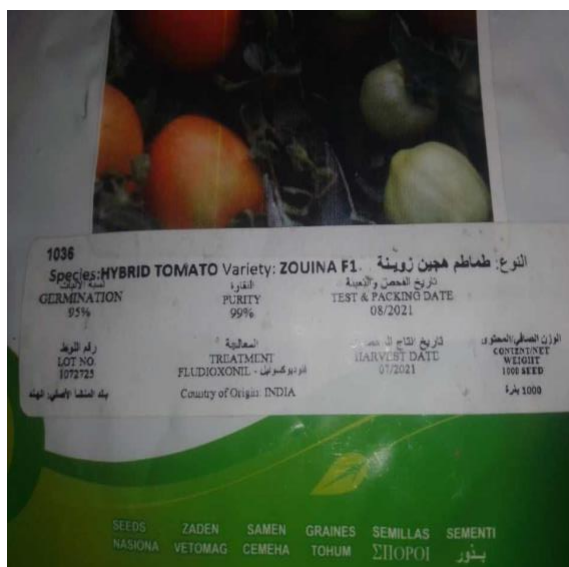


Figure 16 Les informations de la variété utilisée dans l'essai

**Justification de choix :** La tomate est une espèce modèle idéale pour l'évaluation de l'effet des substrats étudiés. Son choix se justifie pour:

- Sa forte sensibilité aux variations de qualité du sol,
- Ses besoins nutritifs bien documentés,
- Son cycle court (60–90 jours),
- Sa grande importance socio-économique au niveau local et national.
- Sa capacité de résistance aux maladies
- Haute productivité
- Résistance aux conditions environnementales

## 2.3 Substrat de culture :

Le compost utilisé dans cette étude est un amendement organique obtenu à partir de papiers d'emballage recyclés. Ces papiers proviennent principalement de sources domestiques et commerciales, comme les sacs en papier kraft, les cartons fins non plastifiés et autres emballages à base cellulosique.

Avant leur transformation, les papiers ont été soigneusement triés pour écarter ceux contenant des encres toxiques, des plastiques ou des éléments métalliques. Seuls les papiers biodégradables, non traités et sans impression colorée dominante ont été retenus.

Ce compost a été utilisé dans cette expérience pour évaluer son impact sur les paramètres agro physiologique de la tomate.



*Figure 17: Carton utilisé dans l'expérience dans le cadre de l'étude*

**Justification du choix :** L'usage de papier d'emballage dans le compostage présente plusieurs avantages :

- Il constitue une source importante de cellulose, favorable à l'activité microbienne,
- Sa valorisation réduit les déchets urbains et leur impact sur l'environnement,
- Il permet une gestion alternative simple et économique de résidus recyclables.

#### **2.4 Type de substrat utilisé :**

Six types de substrats ont été utilisés, dont des substrats purs et des substrats mixtes.

Perlite

Compost de papier d'emballage (en anaérobie)

Compost de papier d'emballage (en anaérobie)+fumier

Compost de papier d'emballage (en aérobie)

Compost de papier d'emballage (en aérobie) +fumier

Fumier décomposé (âgé de plus de 6 mois)

#### **2.5 Contenants :**

Les plants ont été cultivés dans des sacs de cultures, percés à la base pour faciliter le drainage.

Chaque traitement a été répété 4 fois, soit un total de 24 pots.

#### **2.6 Matériel de mesure ou suivi :**

Les mesures de croissance ont été effectuées à l'aide d'une règle graduée (pour la hauteur des plants), d'un pied d coulisse pour le diamètre,

#### **2.7 Matériel de statistique :**

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide de deux logiciels : **Microsoft Excel**, utilisé pour le calcul des moyennes, ainsi que pour la mise en forme des tableaux et graphiques ; et **SPSS 15.6 (Statistical Package for the Social Sciences)**, utilisé pour effectuer les tests statistiques, notamment l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur, permettant de comparer les moyennes entre les différents traitements et d'évaluer la significativité des différences observées.

### **3. Méthodes :**

L'objectif de cette expérimentation est de tester l'impact de l'application de compost obtenu à partir de papier d'emballages sur la croissance et la production de la tomate (*Solanum lycopersicum*) dans des conditions de serre

L'essai a été réalisé en conditions réelles dans la région de [Skikda, ElHadaik], au climat méditerranéen semi-aride. L'expérience a été menée pendant [4 mois], à partir des mois de [Février],

Les températures diurnes moyennes pendant la durée de l'essai variaient de 20 °C à 30 °C, avec quelques pics occasionnels au-dessus de 30 °C. L'humidité relative moyenne était autour de 30 à 50 %, et variait quotidiennement en fonction des conditions météorologiques, Ces conditions climatiques ont influencé la vitesse de décomposition du matériau, en particulier pour le traitement anaérobie, qui dépend presque entièrement de la teneur en humidité interne du substrat.

### Compostage du papier d'emballage :

#### 3.1 Collecte et Préparation du papier d'emballage :

La première étape consiste à collecter le carton brun non traité, principalement sous forme de papier kraft. Ce type de carton est privilégié car il ne contient pas de produits chimiques ou de traitements qui pourraient nuire au processus de compostage ou à la qualité du compost final. Sa disponibilité en tant que déchet d'emballage en fait une ressource précieuse pour la production de compost.

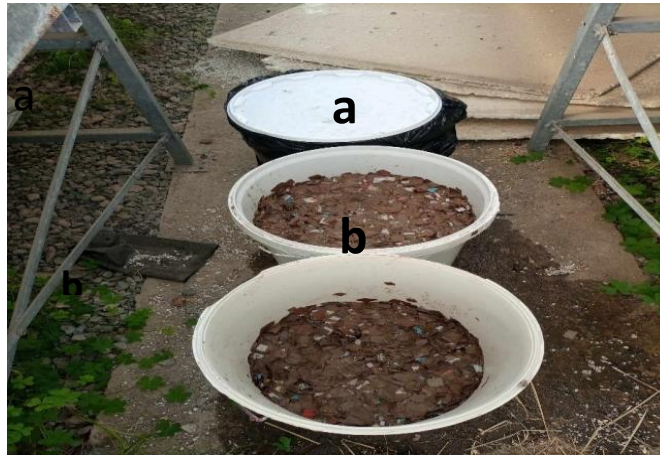
Une fois collectés, les papiers sont déchiquetés en petits morceaux. Cette action mécanique est cruciale car elle augmente considérablement la surface du matériau exposée aux micro-organismes responsables de la dégradation. Des morceaux plus petits permettent une pénétration plus facile de l'humidité et de l'air, accélérant ainsi le processus de compostage et assurant une décomposition plus homogène du carton dans le mélange.



Figure 18: déchiquetage du papier d'emballage (source : notre essai)

La décomposition du carton déchiqueté varie considérablement selon les conditions environnementales, comme on peut l'observer en comparant deux fûts de 20 kg : l'un maintenu en conditions aérobies (avec oxygène) et l'autre en conditions anaérobies (sans oxygène). Dans le fût aérobie, où l'**oxygène est abondant**, les micro-organismes aérobies (bactéries et champignons) sont les principaux acteurs de la décomposition. Ces organismes utilisent l'oxygène pour respirer et dégrader rapidement les glucides complexes du carton en dioxyde de carbone, eau et matière organique stable (humus). Le processus est **rapide, efficace**, génère peu d'odeurs et produit de la chaleur. Le volume du carton diminue de manière significative, et le résultat est un compost riche et friable.

En revanche, dans le fût anaérobie, en **absence d'oxygène**, ce sont les micro-organismes anaérobies qui prennent le relais. Leur métabolisme est différent : ils décomposent le carton par fermentation, produisant du méthane, du dioxyde de carbone, des acides organiques et d'autres gaz malodorants (comme le sulfure d'hydrogène). Ce processus est **beaucoup plus lent**, peut générer des odeurs désagréables et une chaleur moindre. La décomposition est souvent incomplète, et le produit final peut être une masse pâteuse et malodorante, moins stable et moins bénéfique pour le sol que le compost aérobie. La différence entre les deux fûts met en évidence l'importance de l'aération pour un compostage efficace et de qualité.



**Figure 19:** Compostage du papier d'emballage : a (à l'anaérobie), b (à l'aérobie), (source : notre essai)

### **Dispositif expérimental :**

L'essai a été conduit selon un dispositif complètement randomisé comportant **4 répétitions** et **6 traitements** différents. Chaque traitement est appliqué sur un lot de plants répartis uniformément dans des sacs de plantation noirs d'une capacité d'un litre,

**A. Les traitements** sont les suivants :

- **T0:** Perlite (témoin)
- **T1 :** Compost en anaérobie+fumier
- **T2 :** Compost en anaérobie
- **T3 :** Compost en aérobie
- **T4 :** Compost en aérobie +fumier
- **T5:** Fumier seul

Chaque traitement a été appliqué à un nombre égal de sac, et les plantes ont été plantées de manière homogène pour assurer une comparaison équitable entre les différents traitements, les sacs ont été déposés sous abris (serre), et chaque unité expérimentale correspond à un sac contenant un plant.

### **3.2 Paramètres mesurés et méthodes d'évaluation :**

Afin d'évaluer l'effet des différents traitements, plusieurs paramètres agro physiologiques ont été suivis tout au long du cycle de culture :

Le processus de mesure a été réalisé à l'aide d'instruments de précision tels qu'une règle graduée et un pied à coulisse, dans le but de recueillir des données fiables et précises pour l'étude en question. La longueur des échantillons a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, permettant une mesure directe de la dimension linéaire. Le diamètre des objets d'étude a été quantifié à l'aide d'un pied à coulisse, un instrument de mesure de haute précision capable de déterminer les dimensions internes et externes avec une grande exactitude. De plus, le nombre de feuilles et le nombre de bouquets ont été enregistrés par un comptage direct des éléments visibles, en suivant un protocole standardisé pour assurer la reproductibilité des observations. Les mesures ont été effectuées dans des conditions contrôlées afin de minimiser les erreurs systématiques, et chaque observation a été réalisée avec rigueur pour garantir la fiabilité des données recueillies. Cette méthodologie vise à assurer la précision des résultats, tout en facilitant leur analyse dans le cadre de l'étude scientifique.

#### **❖ Paramètres étudiés :**

##### **1.1.1 Paramètres agro physiologiques de la plante :**

- **Hauteur de la plante (cm)** : mesurée à l'aide d'une règle graduée chaque semaine à partir de la transplantation.
- **Diamètre de la tige (mm)** : mesuré à la base à l'aide d'un pied à coulisse.
- **Nombre de feuilles** : comptage manuel hebdomadaire.
- **Nombre de bouquets par plante** :

Ces mesures ont été recueillies sur chaque répétition, puis analysées afin de comparer les performances des différents amendements organiques.

#### 1.1.2 Paramètres du substrat (compost de papier d'emballage) :

- pH
  - conductivité électrique
  - TDS
- ✓ **Mesure du pH :**
- Les échantillons ont été **agités pendant 10 minutes**, puis **laissés au repos pendant 15 minutes**.
  - Le pH a été mesuré à l'aide d'un **pH-mètre électronique étalonné**, directement dans la phase liquide surnageante.



Figure 20: Les mesures du Ph des échantillons Source : Notre source

- ✓ **Mesure de la conductivité électrique (CE) :**
- Un second prélèvement de 10 g pour chaque compost a été **agité pendant 15 minutes**, puis **laissé au repos pendant 30 minutes**.
  - La CE a été mesurée à l'aide d'un **conductimètre numérique**, les résultats étant exprimés en **dS/m**.

Pour chaque type de compost, **10 g** ont été prélevés et mélangés à **25 ml d'eau distillée** pour le pH et **10 g** ont été prélevés et mélangés à **50 ml d'eau distillée** pour la conductivité.

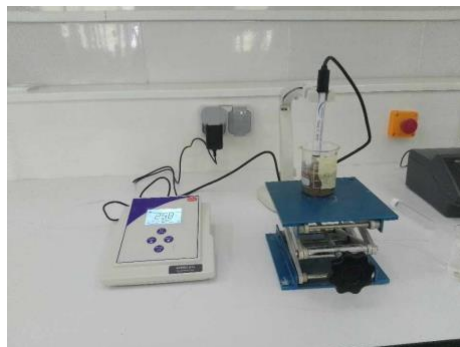


Figure 21: des mesures du conductivité électrique des échantillons Source : Notre source

✓ **Mesure du TDS :**

- Réalisée à l'aide d'un **conductimètre numérique**, sur le même extrait que la CE.
- Les TDS sont exprimés en **mg/L (ppm)** et donnent une estimation de la **quantité totale de sels dissous**.

**3.4 Fréquence de mesure :**

Les différents paramètres agro physiologiques ont été relevés **deux fois par semaine**, à intervalles réguliers, tout au long du cycle de culture. Cette fréquence a été choisie afin d'assurer un **suivi rapproché** de l'évolution des plants et de détecter rapidement les effets des traitements sur la croissance et le développement de la tomate.

Des analyses de pH et de conductivité électrique (CE) ont été réalisées **une seule fois** au laboratoire du botanique sur deux échantillons de compost :

- ✓ **Compost à l'aérobie** (exposé à l'air)
- ✓ **Compost à l'anaérobie** (enfermé sans oxygène)

**3.5 Analyse statistique :**

L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel **SPSS For Windows (version 15.6)**. Après l'enregistrement des données de croissance végétative (hauteur, nombre de feuilles, diamètre, etc.), une **analyse de la variance (ANOVA)** a été appliquée pour détecter les différences significatives entre les traitements. Lorsque l'ANOVA indiquait une significativité ( $p < 0,05$ ), un test **post-hoc de comparaison multiple (test de Tukey /test LSD / test Dunnet)** ont été effectués afin de déterminer les traitements qui diffèrent entre eux. Ce traitement statistique permet d'assurer la validité des conclusions en identifiant objectivement les effets réels des différents composts sur les paramètres étudiés.

## **chapitre 2 :*résultats et discussion.***

## Chapitre 2 : Résultats et Discussion.

### 1) Les analyses chimiques du compost :

#### 1.1 pH :

Les résultats des analyses physico-chimiques ont mis en évidence des différences claires entre les deux composts étudiés. Le pH du compost aérobie (6,85) est proche de la neutralité, ce qui indique une bonne stabilisation de la matière organique et un environnement chimique favorable au développement des plantes. En comparaison, le compost anaérobie présente un pH légèrement plus acide (6,37), ce qui pourrait traduire une décomposition incomplète ou la présence de composés organiques intermédiaires.

#### 1.2 CE :

La conductivité électrique (CE), mesurant la concentration en ions solubles, est nettement plus élevée dans le compost aérobie (355  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que dans l'anaérobie (261  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette différence reflète une meilleure minéralisation des nutriments dans le compost aérobie, rendant les éléments fertilisants plus facilement disponibles pour les plantes.

#### 1.3 TDS :

Les valeurs des solides dissous totaux (TDS), également supérieures dans le compost aérobie (252 mg/L) contre 206 mg/L pour le compost anaérobie.

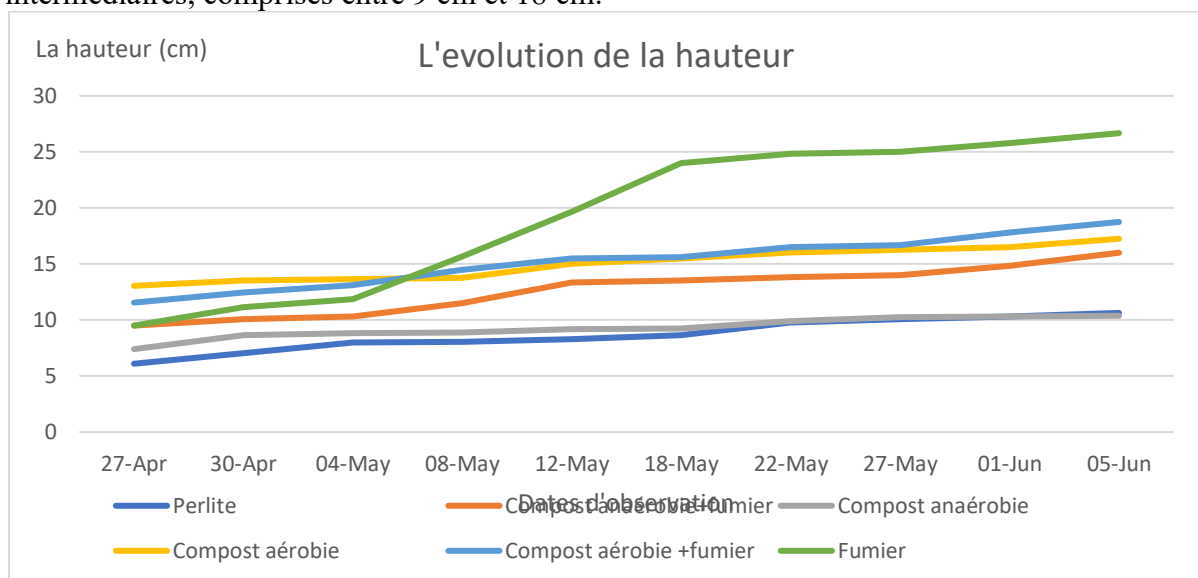
**Tableau 3:** Les analyses des paramètres chimiques du compost

	Ph	Conductivité électrique	TDS
Compost anaérobie	6,37	261 $\mu\text{S}/\text{cm}$	206 mg/L
Compost aérobie	6,85	355 $\mu\text{S}/\text{cm}$	252 mg/L

### 2) L'effet du substrat sur les paramètres agro physiologique de la tomate :

#### 2.1) L'effet du substrat sur l'évolution de la hauteur des plantes :

La hauteur la plus élevée a été enregistrée chez les plants traités avec le fumier seul, avec une valeur de 26,67 cm. La hauteur la plus faible a été obtenue dans le traitement témoin la perlite, avec une hauteur de 8,0cm. Les autres traitements (compost anaérobie +fumier, compost anaérobie, compost aérobie, compost aérobie +fumier) ont présenté des valeurs intermédiaires, comprises entre 9 cm et 18 cm.



**Figure 22:** évolution de la hauteur des plantes en fonction du temps.

Le traitement T5 (fumier seul) a montré la hauteur maximale (26,67 cm), suivi de T4 (compost aérobie + fumier) et T3 (compost aérobie seul).

Le témoin T0 (perlite) et Le traitement T2 (compost anaérobie) ont enregistré la croissance la plus faible (10,63 cm , 10 ,33), confirmant l'effet limitant d'un substrat inerte sans amendement organique pour le perlite et l'importance de l'oxygène dans le substrat pour le T2 .

La supériorité du fumier (T5) peut s'expliquer par sa richesse en nutriments immédiatement disponibles (azote, potassium) et sa capacité à améliorer la structure du sol.

Le compost T4(Compost + fumier) Ceci est probablement dû à la présence de fumier avec un bon compostage du substrat en présence de l'oxygène.

Les composts de papier T3(Compost aérobie) et T1 (Compost anaérobie) ont également stimulé la croissance, mais moins efficacement, probablement en raison d'un relargage plus lent des nutriments car ils ne sont pas soutenus par les matières organiques présentes dans le fumier

L'étude de la hauteur des plants de tomate a été réalisée après l'application de six traitements différents, dont un témoin (T0). Chaque traitement a été répété quatre fois (sauf T1 et T5, trois fois). Les résultats montrent une variation nette entre les moyennes des hauteurs mesurées.

**Tableau 4 :** L'analyse descriptive de la hauteur des plantes pour chaque traitement

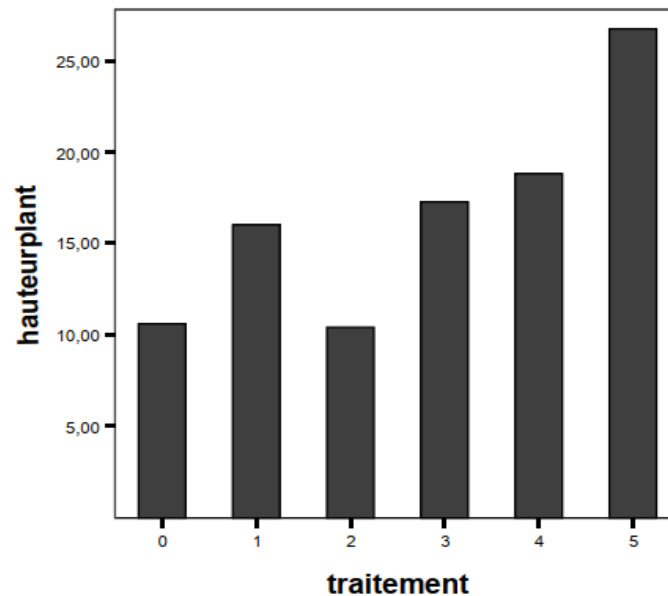
Traitement	Hauteur moyenne	hauteur minimale	hauteur maximale	F <sub>obs</sub>	P valeur
Perlite	10,62± 1,24	2 ,90	14	11,79**	<0,01
Compost anaérobie+Fumier	16± 3 ,78	5,50	22		
Compost anaérobie	10 ,37±0 ,8	5,50	12		
Compost aérobie	17,25±1,01	11,40	19		
Compost aérobie+Fumier	18 ,75±1 ,37	7,2	22		
Fumier	26,66±1,85	5 ,50	29		

(\*\* : effet hautement significatif)

On constate que les traitements compost aérobie, Compost aérobie + fumier et fumier seul ont conduit à des hauteurs moyennes nettement supérieures à celles du témoin, avec une valeur maximale atteinte pour le fumier seul (26,67 cm). À l'inverse, les traitements Perlite et Compost anaérobie ont présenté les plus faibles hauteurs.

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé une différence hautement significative entre les traitements appliqués en ce qui concerne la hauteur des plants ( $F = 11,792$  ;  $p < 0,001$ ), ce qui indique que le type de substrat utilisé a un effet marqué sur la croissance aérienne des tomates. Les résultats des tests post-hoc confirment cette observation. Le test de Tukey a montré que le traitement en fumier seul a produit une hauteur significativement supérieure à tous les autres traitements, à l'exception du traitement compost aérobie + fumier, dont la

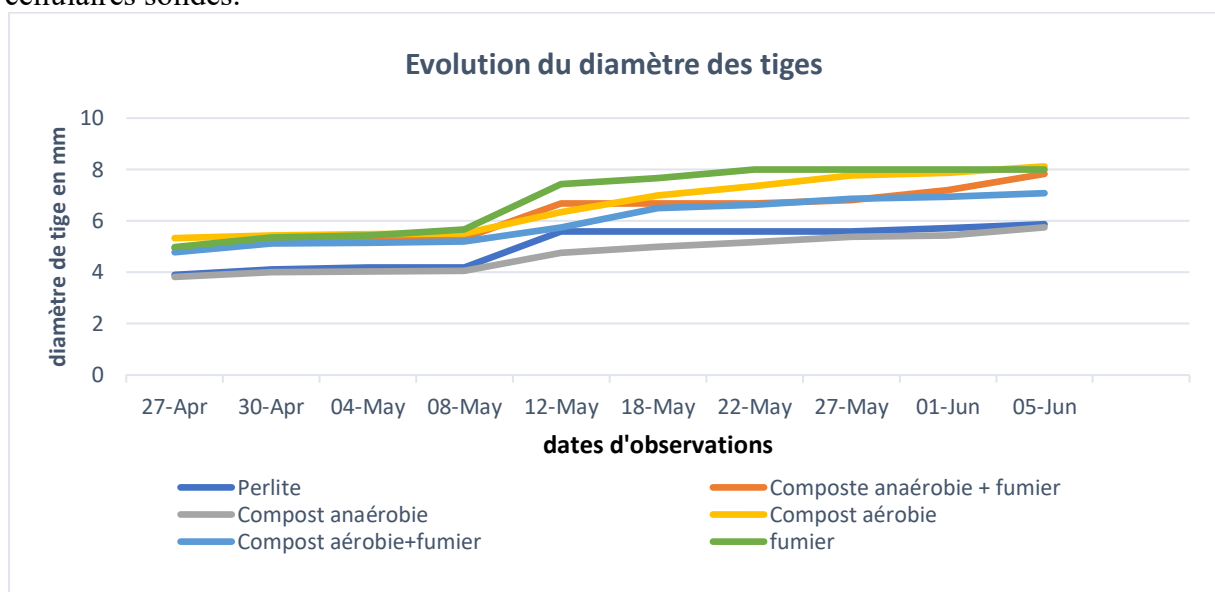
différence avec le fumier seul n'était pas significative ( $p = 0,052$ ). Le test LSD, plus sensible, a toutefois détecté une différence significative entre le fumier seul et le compost aérobie + fumier, renforçant ainsi la supériorité du fumier seul. De plus, le test de Dunnett a permis de comparer chaque traitement au témoin (T0 – perlite) : il a montré que tous les traitements (compost anaérobie + fumier à fumier) ont entraîné une croissance significativement plus élevée que le témoin ( $p < 0,05$ ), à l'exception du compost anaérobie seul (T2), dont la hauteur n'était pas significativement différente de celle du témoin. Ces résultats confirment que l'apport de matière organique, en particulier sous forme de fumier, a un effet direct et favorable sur la croissance en hauteur des plants de tomate.



## 2.2 ) L'effet du substrat sur l'évolution de diamètre des plantes :

Le fumier et compost aérobie ont donné les diamètres les plus élevés (8–9 mm), tandis que le Perlite a eu les plus faibles (5 mm).

Un diamètre accru reflète une meilleure vigueur végétative, liée à l'apport en carbone organique et en minéraux des composts. La cellulose du papier pourrait favoriser la formation de parois cellulaires solides.



**Figure 23:** l'évolution du diamètre des plantes dans chaque substrat en fonction du temps.

Les résultats indiquent que le compost aérobie et le fumier seul ont eu le plus grand impact positif sur le développement du diamètre des plantes (8,12-8 mm), avec une prédominance de du compost aéré, suivi de compost non aéré et compost aéré + fumiers.

Le compost aéré a légèrement surpassé le fumier en termes d'augmentation du diamètre de la tige, bien que les résultats soient très proches. Cela est dû à sa meilleure capacité à retenir l'eau et les nutriments de manière progressive et équilibrée, ce qui favorise la croissance des racines et réduit le stress. De plus, le compost offre un environnement meilleur pour l'aération et le drainage, contribuant ainsi à améliorer la santé des racines et à augmenter la solidité de la tige.

Un diamètre accru reflète une meilleure vigueur végétative, liée à l'apport en carbone organique et en minéraux des composts. La cellulose du papier pourrait favoriser la formation de parois cellulaires solides.

**Tableau 5L** l'analyse descriptive des diamètres des plantes pour chaque traitement

Traitement	Diamètre moyen	Diamètre minimal	Diamètre maximal	F <sub>obs</sub>	P valeur
Perlite	5,87± 0 ,51	3,25	7	4 ,339*	0,011
Compost anaérobie+Fumier	7,83± 0,92	3,38	9		
Compost anaérobie	5,75±0 ,25	3	6		
Compost aérobie	8,12±0,48	5	9		
Compost aérobie+Fumier	7,07±0,56	3,93	8,70		
Fumier	8±0,000	3,92	4		

\* : effet significatif

Les moyennes de diamètre des tiges varient selon les traitements, allant de 5,75 cm à 8,12 cm. Le traitement T3 (compost aérobie) présente le plus grand diamètre moyen (8,12 cm), suivi de près par le fumier seul (T5) avec un diamètre constant de 8,00 cm (écart-type = 0,00), indiquant une très faible variabilité entre les répétitions. À l'opposé, les traitements T0 (perlite) et T2 (compost anaérobie) affichent les diamètres les plus faibles (respectivement 5,88 cm et 5,75 cm), ce qui suggère une croissance plus limitée. Les intervalles de confiance les plus larges sont observés pour T1, traduisant une forte variabilité entre les répétitions. L'ANOVA indique que les différences observées sont statistiquement significatives (F = 4,339 ; p = 0,011).

Les tests post-hoc (Tukey, LSD) précisent les comparaisons significatives :

Le test de Tukey montre que le compost aérobie et le fumier seul ont des diamètres significativement supérieurs au Perlite (p < 0,05).

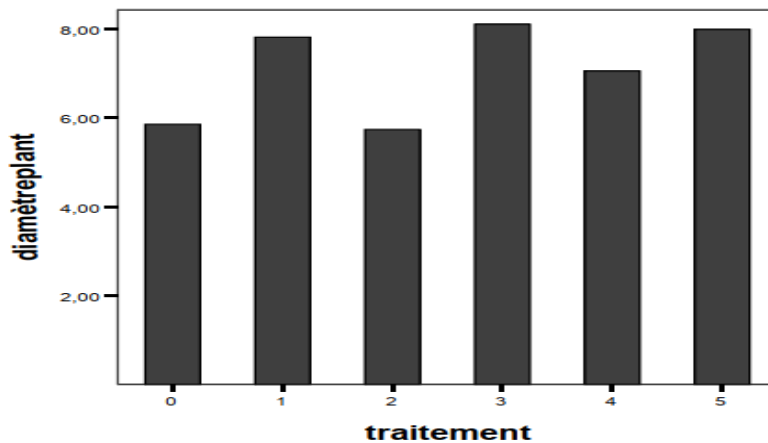
Le test LSD, plus sensible, détecte aussi une différence significative entre Compost aérobie +fumier et la perlite.

Le traitement Compost anaérobie seul ne diffère pas significativement du témoin ;

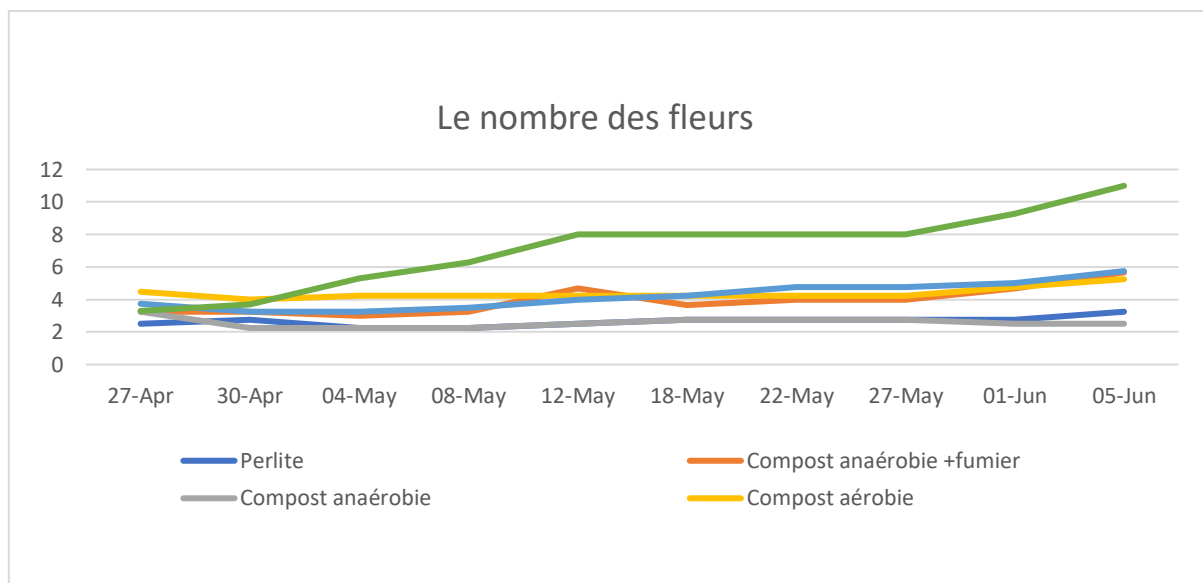
Le diamètre de la tige, en tant qu'indicateur de robustesse physiologique, a répondu favorablement aux traitements organiques les plus riches ou les mieux stabilisés. Le Compost aérobie et le fumier seul ont permis un développement radial supérieur, suggérant :

Une excellente disponibilité des nutriments favorisant la division et l'élargissement cellulaire,  
 Une meilleure structure du substrat, facilitant l'ancrage racinaire et le transport de sève.  
 Le compost anaérobique comme pour la hauteur, n'a pas permis d'augmentation significative du diamètre. Cela pourrait être lié à :

Une mauvaise stabilité du compost (compounds toxiques résiduels),  
 Une faible disponibilité en éléments minéraux immédiatement assimilables. Le témoin (T0)  
 Utilisant un substrat inerte (perlite), reste parmi les plus faibles en diamètre. Ce résultat est logique, car aucun élément nutritif n'a été apporté, ce qui limite la croissance globale de la plante.



### 2.3 Effet de substrat sur l'évolution des nombres des feuilles :



**Figure 24** : évolution du nombre des fleurs des plantes dans chaque substrat en fonction du temps.

Les résultats indiquent que le traitement fumier seul a conduit au développement maximal des feuilles (11 feuilles), suivi de compost anaérobique + fumier, compost aérobie et compost aérobie +fumier avec des taux très similaires (de 5,25 à 5,75 feuilles), tandis que les traitements perlite(témoin) et compost anaérobique seul ont produit seulement de 3,25 à 2,5 feuilles. Cette grande différence reflète l'effet stimulant du compost sur la croissance végétative des plantes, probablement dû à sa richesse en éléments nutritifs rapidement

disponibles, qui favorisent efficacement la croissance des plantes. Le compost a contribué à l'apparition d'un nombre considérable de feuilles grâce à ses avantages en fournissant des éléments nutritifs et en maintenant l'humidité du milieu, mais il n'a pas été aussi efficace que le fumier animal

**Tableau 6 : nombre des fleurs pour chaque traitements**

Traitement	Moyenne	Valeur minimale	Valeur maximal	F <sub>obs</sub>	P valeur
Perlite	3,25± 0 ,47	2	4	9,807**	<0,001
Compost anaérobie+Fumier	5,66± 2,02	2	9		
Compost anaérobie	2,50±0,50	1	3		
Compost aérobie	5,25±0,62	3	7		
Compost aérobie+Fumier	5,75±0,75	3	7		
Fumier	11±1,00	3	13		

Le nombre de feuilles par plant varie considérablement d'un traitement à l'autre. La moyenne la plus élevée est obtenue avec le traitement du fumier seul, atteignant 11 feuilles parplant, avec un intervalle de confiance jusqu'à plus de 15 feuilles. Ce résultat est nettement supérieur à ceux des autres traitements. Les compostsaérobie et aérobie + fumier suivent avec des moyennes respectives de 5,25 et 5,75 feuilles, indiquant un effet positif, mais moins marqué. En revanche, les traitements perlite et compost anaérobieont généré un développement foliaire plus réduit, avec des moyennes respectives de **3,25** et 2,50 feuilles par plant, ce qui souligne une croissance végétative limitée.

L'ANOVA indique une différence significative (F = 9,807 ; p < **0,001**).

Les tests post-hoc montrent :

- Le fumier seul a produit **significativement plus de feuilles** que tous les autres traitements (Tukey, LSD, Dunnett).
- **Les composts aérobies +fumier et aérobie seul** donnent également plus de feuilles que dans le perlite et compost anaérobie.
- Le compost anaérobie seul, une fois de plus, est **statistiquement équivalent au témoin**.

Le nombre de feuilles est un indicateur de la capacité photosynthétique et de la vigueur végétative de la plante.

Le traitement fumier seul permet une prolifération foliaire optimale, signe d'un apport élevé et disponible en azote, nutriment clé pour le développement des feuilles.

Les composts aérobies enrichis (T4) et non enrichis (T3) ont également permis un développement foliaire supérieur, ce qui montre que le processus de compostage aérobie conserve mieux la valeur agronomique du substrat.

À l'opposé, le compost anaérobie seul se montre encore une fois peu efficace, voire limitant pour le développement foliaire, probablement en raison :

- D'un déséquilibre du rapport C/N,
- De phytotoxines résiduelles,
- Ou d'une minéralisation lente des nutriments.

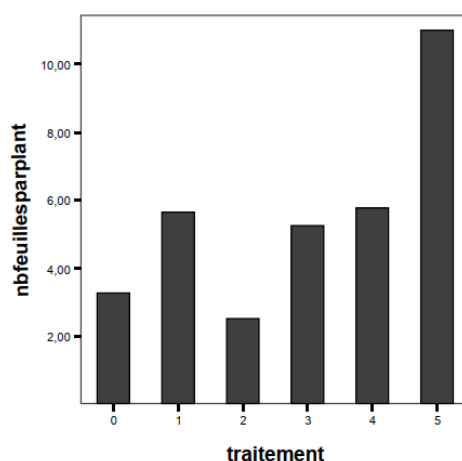
Le nombre de feuilles est un indicateur de la capacité photosynthétique et de la vigueur végétative de la plante.

Le traitement fumier seul permet une prolifération foliaire optimale, signe d'un apport élevé et disponible en azote, nutriment clé pour le développement des feuilles.

Les composts aérobies enrichis (T4) et non enrichis (T3) ont également permis un développement foliaire supérieur, ce qui montre que le processus de compostage aérobie conserve mieux la valeur agronomique du substrat.

À l'opposé, Le compost anaérobie seul se montre encore une fois peu efficace, voire limitant pour le développement foliaire, probablement en raison :

- D'un déséquilibre du rapport C/N,
- De phytotoxines résiduelles,
- Ou d'une minéralisation lente des nutriments.



#### 2.4 Effet de substrat sur l'apparition des bouquets :

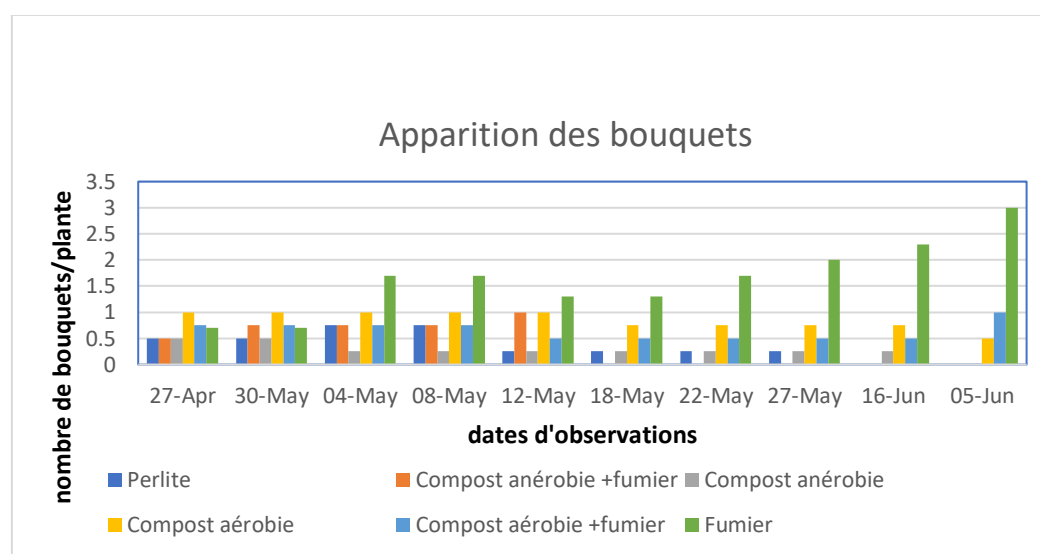


Figure 25 évolution de l'apparition des bouquets dans les plantes dans chaque substrat en fonction du temps.

Les résultats indiquent que le fumier seul a contribué de manière significative à la formation des bouquets (3), suivi de compost aérobie +fumier avec (1) bouquet, puis T3 avec (0,5) bouquet, tandis que les résultats pour perlite, compost anaérobie +fumier et compost anaérobie étaient de (0) bouquet. La baisse de la formation des bouquets dans le sol à compost anaérobie pourrait être attribuée à des conditions défavorables à la décomposition (comme la production de méthane et d'acides organiques), ce qui limite la disponibilité des ressources nécessaires à la reproduction. Ces résultats soulignent l'importance d'utiliser un compost aérobie pour stimuler de manière optimale la formation des bouquets, tandis qu'avec le perlite T0, les nutriments essentiels tels que l'azote, le potassium et le phosphore, qui contribuent à la croissance des bouquets, n'étaient pas présents en quantité suffisante.

**Tableau 7 :**L'analyse descriptive de bouquets pour chaque traitement

Traitement	Moyenne	Valeur minimale	Valeur maximal	F <sub>obs</sub>	P valeur
Perlite	0,00± 0,00	0	1	7,741 **	<0,001
Compost anaérobie+Fumier	0,00± 0,00	0	2		
Compost anaérobie	0,00±0,00	0	1		
Compost aérobie	0,50±0,28	0	3		
Compost aérobie+Fumier	1,0±0,70	0	3		
Fumier	3±0,57	0	3		

La floraison a été absente dans les traitements du perlite, compost anaérobie +fumier et compost anaérobie, qui ont tous enregistré une moyenne de zéro bouquet floral par plant, révélant un défaut de déclenchement de la phase reproductive dans ces conditions. **Les** traitements compost aérobie **et** compost aérobie + fumier ont induit une floraison légère, avec des moyennes respectives de **0,5** et **1,0** bouquet floral, accompagnées d'une forte variabilité. Le fumier seul (T5) se distingue nettement avec une moyenne de **3 bouquets** floraux par plant, montrant une induction florale précoce et plus efficace que tous les autres substrats. L'analyse statistique révèle un effet significatif ( $F_{obs} = 7,71$  ;  $pvalue < 0,01$ ) du substrat sur le nombre de bouquet par plantes, et le test de comparaison de moyennes (PPDS à 0,01 et le test HSD de Tukey) ont montré que le fumier seul produit significativement plus de bouquets floraux que tous les autres traitements. Compost aérobie et compost aérobie +fumier ont des effets modestes, mais statistiquement non significatifs. Et les traitements perlite, compost anaérobie+fumier et compost anaérobie n'ont généré aucune floraison durant la période de l'essai.

La floraison est une étape clé du développement reproductif. Le nombre de bouquets floraux est un indicateur direct du potentiel de rendement.

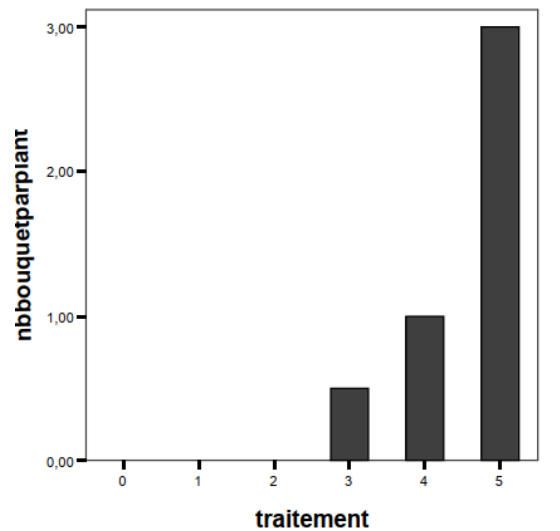
Le traitement fumier seul permet une entrée en floraison rapide et abondante, ce qui suggère :

- Une maturation précoce,
- Une nutrition riche et équilibrée, surtout en phosphore et oligo-éléments,

- Une stimulation hormonale naturelle via le fumier.

Le compost aérobie et le compost aérobie +fumier amorcent la floraison, mais de manière plus modérée et variable.

Les traitements perlite, compost anaérobie +fumier et compost anaérobie seul, quant à eux, n'ont pas suffi à induire la floraison dans les conditions de l'essai, indiquant un stress ou un déficit nutritif majeur.



### 3) Discussion :

Cette étude vise à évaluer l'effet de l'utilisation d'un compost élaboré à partir de papier d'emballage (préparé en conditions aérobies et anaérobies, avec ou sans ajout de fumier) sur la croissance de la tomate (variété « Zouina »), en suivant plusieurs indicateurs agro-physiologiques : la hauteur de la plante, le diamètre de la tige, le nombre de feuilles et le nombre d'inflorescences.

#### a) Effet du compost sur la hauteur des plants :

Les comparaisons avec la littérature montrent que nos résultats sont en accord avec ceux de Zandvakili et al. (2019), qui ont démontré que l'utilisation de matériaux riches en carbone dans le compost améliore la croissance des plantes en optimisant la structure du sol et la disponibilité des nutriments. [15]

#### b) Effet du compost sur le diamètre de la tige :

Nos observations confirment les conclusions de Tognetti et al. (2007), selon lesquelles l'utilisation de compost mûr (aérobie) stimule le développement des tissus basaux et augmente le diamètre de la tige, en particulier chez les Solanacées. (Tognetti et al, 2007)

#### c) Effet du compost sur le Nombre de feuilles :

Les résultats obtenus s'accordent avec ceux de Castaldi et al. (2005), qui ont montré que la combinaison compost/fumier favorise la croissance végétative et stimule la ramification foliaire grâce à un meilleur équilibre nutritionnel. (Castaldi, et al. 2005)

#### d) Effet du compost sur le nombre de bouquets :

Les résultats de l'expérience concordent avec les données bibliographiques indiquant que la composition chimique et l'aération du compost influencent directement la floraison, notamment en ce qui concerne les composés inhibiteurs issus de la fermentation anaérobie. Plusieurs études soulignent l'effet négatif de ces conditions sur les performances physiologiques des plantes.

**e) Propriétés physico-chimiques du compost :**

Les différences observées en termes de pH et de conductivité électrique entre les types de compost sont cohérentes avec les conclusions de Bernal et al. (2009), qui ont mis en évidence l'importance de la maturité et de l'équilibre du compost pour assurer une efficacité agronomique optimale. (*Bernal et al, 2009*)

**4) Recommandations :**

Ces résultats soutiennent l'orientation vers la valorisation des déchets celluloseux à travers un compostage aérobie, en particulier lorsqu'il est enrichi en fumier, comme alternative efficace et durable pour une agriculture respectueuse de l'environnement. Les observations rejoignent plusieurs études internationales soulignant le lien direct entre la qualité du compost et l'efficacité de la croissance et de la floraison chez la tomate.

# Conclusion

## CONCLUSION :

Ce travail a permis d'évaluer les effets de composts issus du recyclage de papier d'emballage, selon deux modes de fermentation (aérobie et anaérobie) comparés à la perlite comme témoin stérile et fumier, sur la croissance végétative de la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.).

L'analyse des paramètres physico-chimiques des composts a mis en évidence une meilleure qualité du compost aérobie, caractérisé par un pH proche de la neutralité, une conductivité et une teneur en solides dissous plus élevées, traduisant une décomposition plus avancée de la matière organique.

Les essais en conditions contrôlées ont montré que les traitements les plus efficaces pour stimuler la croissance végétative des plants de tomate sont le fumier seul, suivi du compost aérobie enrichi en fumier et du compost aérobie seul. Ces traitements ont amélioré significativement la hauteur des plants, le nombre de feuilles ainsi que la précocité de l'apparition des bouquets floraux par rapport au témoin.

En revanche, le compost anaérobie seul a montré une efficacité plus limitée, probablement en raison d'une maturation incomplète et d'un moindre enrichissement en éléments nutritifs assimilables.

Les résultats obtenus démontrent l'intérêt agronomique du compost de papier d'emballage lorsqu'il est correctement élaboré, en particulier sous forme aérobie. Cette valorisation de déchets cellulosiques présente non seulement un potentiel fertilisant réel mais constitue également une solution durable de gestion des déchets.

Pour des perspectives futures, il est recommandé que le processus de production du compostage des déchets d'emballages en papier aérobie soit structuré sous la forme d'un contrôle strict des conditions de compostage (aération, humidité, température et rapport C/N) afin de garantir une maturation totale. Cette branche devrait être accompagnée d'un réseau de collecte sélective des déchets cellulosiques, ainsi que d'une collaboration avec les collectivités locales et les pépinières agricoles pour favoriser la diffusion du compost obtenu. Des essais multi-emplacements et à long terme doivent être mis en œuvre pour évaluer l'efficacité du compost sur diverses cultures et types de sols, tout en promouvant une formation continue des agriculteurs aux bonnes pratiques d'utilisation. À côté, il serait pertinent d'associer des dispositifs de suivi qualité et d'aller à l'initiative des projets de recherche agronomique sur les effets biologiques du compost papier, à fin de favoriser la durabilité, la rentabilité et l'effet environnemental favorable de celle-ci dans le contexte d'une agriculture circulaire.

## Références bibliographie :

- 1) Adhikari et al., 2018 : Évaluation des conditions de sol adaptées à la culture de la tomate en agriculture biologique.
- 2) Antony José et al., 2025 : Revue sur les nanomatériaux et fibres de cellulose.
- 3) Carton ondulé en France, 2017 : Guide pratique professionnel sur l'emballage en carton ondulé.
- 4) Carton Ondulé de France, n.d. : Guide pratique professionnel sur les emballages en carton ondulé.
- 5) Castaldi et al., 2005 : Étude de l'évolution de la matière organique pendant le compostage des déchets solides municipaux.
- 6) CNESST, 2003 : Fiche toxicologique sur la cellulose et les fibres végétales.
- 7) DAG, 2018 : Fiche technique sur la tomate en Polynésie française.
- 8) Dominguez et al., 2019 : Caractérisation physicochimique et biochimique d'un sol acide.
- 9) Duarte Uruena et al., 2021 : Extraction de nanocristaux de cellulose à partir de résidus d'emballages.
- 10) eco-recycle-equip, n.d. : Présentation d'une ligne de production de carton ondulé.
- 11) FAO, 2005 : Guide pratique sur les méthodes de compostage.
- 12) FAO, 2013 : Guide de bonnes pratiques agricoles pour les légumes cultivés sous serre.
- 13) FAO, 2019 : Base de données statistiques FAOSTAT.
- 14) FAO, 2019 : Recommandations techniques sur la production de tomate sous serre.
- 15) FAO, 2020 : Article sur la production de tomate en zone tempérée.
- 16) Fuchs, 2009 : Présentation sur la fertilité des sols et les pathogènes.
- 17) Goka et al., 2021 : Étude sur l'importance socio-économique et nutritionnelle de la tomate au Togo.
- 18) INARE, 2020 : Étude sur les matériaux stimulables à base de cellulose.
- 19) INRA, 2021 : Techniques de culture de la tomate.
- 20) INRS, 2011 : Fiche toxicologique sur la cellulose.
- 21) Kitabala, 2016 : Effets de différentes doses de compost sur la production de tomate à Kolwezi.
- 22) Knapp et al., 2024 : Facteurs environnementaux influençant la croissance de la tomate au Brésil.
- 23) Konan, 2020 : Mémoire sur la production biologique de tomate en Côte d'Ivoire.
- 24) Kroschwitz, 2004 : Encyclopédie Kirk-Othmer sur les matériaux d'emballage et les produits chimiques.
- 25) Lachenal, n.d. : Présentation sur les papiers-cartons en tant que matériaux de structure.
- 26) MADR, 2018 : Guide de culture de la tomate.
- 27) MADR, 2023 : Annuaire des statistiques agricoles en Algérie.
- 28) Maira, 2023 : Article sur le parcours du recyclage des papiers et emballages.
- 29) Mandal et al., 2013 : Effets du compost de fumier de volaille sur les propriétés du sol.
- 30) Manikanika, 2021 : Revue sur l'extraction des fibres cellulosiques naturelles.
- 31) Mayer, 2009 : Présentation d'un nanomatériau imitant le carton ondulé.
- 32) Moughli, 2000 : Présentation sur les engrais minéraux.
- 33) Mulaji, 2011 : Thèse sur l'utilisation de composts de biodéchets ménagers.
- 34) Mustin, 1987 : Ouvrage sur la gestion de la matière organique par compostage.
- 35) Naika et al., 2005 : Guide sur la culture, la transformation et la commercialisation de la tomate.
- 36) Nadhini et al., 2024 : Impact des pratiques de fertilisation sur le sol et le rendement de tomate.

- 37) Narayanan et al., 2024 : Amélioration de la productivité de la tomate en conditions de stress.
- 38) PAPREC, 2024 : Présentation sur le tri des papiers-cartons.
- 39) Pande, 1998 : Analyse des fibres non ligneuses et de l'offre mondiale de fibres.
- 40) Sarwar et al., 2016 : Transformation du carton recyclé en pâte à dissoudre.
- 41) Shankara et al., n.d. : Guide sur la culture, transformation et commercialisation de la tomate.
- 42) SQM Nutrition, n.d. : Guide en ligne sur la nutrition des tomates.
- 43) Sullivan et al., 2014 : Prédiction de l'azote assimilable à partir d'amendements organiques.
- 44) Tahar et al., 2020 : Analyse des défis de la gestion des déchets ménagers en Algérie.
- 45) Titattreli et al., 2007 : Qualité et usage agronomique du compost.
- 46) Tognetti et al., 2007 : Amélioration de la qualité du compost municipal.
- 47) Université d'Alger, 2021 : Manuel technique sur le maraîchage.
- 48) Université de Constantine, 2019 : Principes de base de la culture sous abri.
- 49) University of New Hampshire, n.d. : Guide sur la culture de tomates.
- 50) Useni et al., 2012 : Étude sur les amendements sur sol contaminé au Congo.
- 51) Veolia, n.d. : Service de recyclage et rachat de papiers-cartons usagés.
- 52) Yara, n.d. : Principes agronomiques sur la culture de tomate.

## Annexe

### Annexe 01 : Analyse de la variance de la hauteur des plantes

#### ANOVA

HAUTEURPLANT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	619,231	5	123,846	11,792	,000
Within Groups	168,042	16	10,503		
Total	787,273	21			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: HAUTEURPLANT

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Tukey HSD	0	1	-5,37500	2,47518	,302
		2	,25000	2,29157	1,000
		3	-8,82500	2,29157	,092
		4	-8,12500 <sup>a</sup>	2,29157	,027
		5	-16,04167 <sup>a</sup>	2,47518	,000
	1	0	5,37500	2,47518	,302
		2	5,62500	2,47518	,260
		3	-1,25000	2,47518	,995
		4	-2,75000	2,47518	,870
		5	-10,66667 <sup>a</sup>	2,64608	,010
	2	0	-,25000	2,29157	1,000
		1	-5,62500	2,47518	,260
		3	-6,87500	2,29157	,076
		4	-8,37500 <sup>a</sup>	2,29157	,022
		5	-16,29167 <sup>a</sup>	2,47518	,000
	3	0	6,62500	2,29157	,092
		1	1,25000	2,47518	,995
		2	6,87500	2,29157	,076
		4	-1,50000	2,29157	,985
		5	-9,41667 <sup>a</sup>	2,47518	,016
4	0	8,12500 <sup>a</sup>	2,29157	,027	
	1	2,75000	2,47518	,870	
	2	8,37500 <sup>a</sup>	2,29157	,022	
	3	1,50000	2,29157	,985	
	5	-7,91667 <sup>a</sup>	2,47518	,052	
5	0	16,04167 <sup>a</sup>	2,47518	,000	
	1	10,66667 <sup>a</sup>	2,64608	,010	
	2	16,29167 <sup>a</sup>	2,47518	,000	
	3	9,41667 <sup>a</sup>	2,47518	,016	
	4	7,91667 <sup>a</sup>	2,47518	,052	
LSD	0	1	-5,37500 <sup>a</sup>	2,47518	,045
		2	,25000	2,29157	,914
		3	-8,82500 <sup>a</sup>	2,29157	,011
		4	-8,12500 <sup>a</sup>	2,29157	,003
		5	-16,04167 <sup>a</sup>	2,47518	,000
	1	0	5,37500 <sup>a</sup>	2,47518	,045
		2	5,62500 <sup>a</sup>	2,47518	,037
		3	-1,25000	2,47518	,620
		4	-2,75000	2,47518	,283
		5	-10,66667 <sup>a</sup>	2,64608	,001
	2	0	-,25000	2,29157	,914
		1	-5,62500 <sup>a</sup>	2,47518	,037
		3	-6,87500 <sup>a</sup>	2,29157	,008
		4	-8,37500 <sup>a</sup>	2,29157	,002
		5	-16,29167 <sup>a</sup>	2,47518	,000

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: HAUTEURPLANT

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
LSD	3	0	6,62500 <sup>a</sup>	2,29157	,011
		1	1,25000	2,47518	,620
		2	6,87500 <sup>a</sup>	2,29157	,008
		4	-1,50000	2,29157	,522
		5	-9,41667 <sup>a</sup>	2,47518	,002
	4	0	8,12500 <sup>a</sup>	2,29157	,003
		1	2,75000	2,47518	,283
		2	8,37500 <sup>a</sup>	2,29157	,002
		3	1,50000	2,29157	,522
		5	-7,91667 <sup>a</sup>	2,47518	,006
	5	0	16,04167 <sup>a</sup>	2,47518	,000
		1	10,66667 <sup>a</sup>	2,64608	,001
		2	16,29167 <sup>a</sup>	2,47518	,000
		3	9,41667 <sup>a</sup>	2,47518	,002
		4	7,91667 <sup>a</sup>	2,47518	,006
Dunnnett t (2-sided) <sup>a</sup>	1	0	5,37500	2,47518	,162
	2	0	-,25000	2,29157	1,000
	3	0	6,62500 <sup>a</sup>	2,29157	,042
	4	0	8,12500 <sup>a</sup>	2,29157	,011
	5	0	16,04167 <sup>a</sup>	2,47518	,000

## Annexe 02 : Analyse de la variance du diamètre des plantes

### ANOVA

DiamètrePLANT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21,452	5	4,290	4,339	,011
Within Groups	15,819	16	,989		
Total	37,271	21			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: DiamètrePLANT

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Tukey HSD	0	1	-.195833	.75943	.159
		2	.12500	.70310	1,000
		3	-2,25000	.70310	,052
		4	-1,20000	.70310	,547
		5	-2,12500	.75943	,109
	1	0	1,95833	.75943	,159
		2	2,08333	.75943	,120
		3	-.29167	.75943	,999
		4	.75833	.75943	,912
		5	-.16667	.81187	1,000
	2	0	-.12500	.70310	1,000
		1	-2,08333	.75943	,120
		3	-2,37500	.70310	,037
		4	-1,32500	.70310	,445
		5	-2,25000	.75943	,081
	3	0	2,25000	.70310	,052
		1	.29167	.75943	,999
		2	2,37500	.70310	,037
		4	1,05000	.70310	,673
		5	.12500	.75943	1,000
4	0	1,20000	.70310	,547	
	1	-.75833	.75943	,912	
	2	1,32500	.70310	,445	
	3	-1,05000	.70310	,673	
	5	-.92500	.75943	,822	
5	0	2,12500	.75943	,109	
	1	-.16667	.81187	1,000	
	2	2,25000	.75943	,081	
	3	-.12500	.75943	1,000	
	4	.92500	.75943	,822	
LSD	0	1	-.195833	.75943	,020
		2	.12500	.70310	,861
		3	-2,25000	.70310	,008
		4	-1,20000	.70310	,107
		5	-2,12500	.75943	,013
	1	0	1,95833	.75943	,020
		2	2,08333	.75943	,014
		3	-.29167	.75943	,708
		4	.75833	.75943	,333
		5	-.16667	.81187	,840
	2	0	-.12500	.70310	,861
		1	-2,08333	.75943	,014
		3	-2,37500	.70310	,004
		4	-1,32500	.70310	,078
		5	-2,25000	.75943	,009

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: DiamètrePLANT

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	
LSD	3	0	2,25000	.70310	,006	
		1	-.29167	.75943	,706	
		2	2,37500	.70310	,004	
		4	1,05000	.70310	,155	
		5	.12500	.75943	,871	
	4	0	1,20000	.70310	,107	
		1	-.75833	.75943	,333	
		2	1,32500	.70310	,078	
		3	-1,05000	.70310	,155	
		5	-.92500	.75943	,241	
	5	0	2,12500	.75943	,013	
		1	-.16667	.81187	,840	
		2	2,25000	.75943	,009	
		3	-.12500	.75943	,871	
		4	.92500	.75943	,241	
	Dunnnett t (2-sided)	1	0	1,95833	.75943	,077
		2	0	-.12500	.70310	1,000
		3	0	2,25000	.70310	,023
		4	0	1,20000	.70310	,344
		5	0	2,12500	.75943	,051

## Annexe 03 : Analyse de la variance du nombre de feuilles par plantes

### ANOVA

Nbfeuillesparplant

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	146,856	5	29,371	9,807	,000
Within Groups	47,917	16	2,995		
Total	194,773	21			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Nbfeuillesparplant

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Tukey HSD	0	1	-2,41667	1,32173	,476
		2	,75000	1,22368	,988
		3	-2,00000	1,22368	,990
		4	-2,50000	1,22368	,362
		5	-7,75000*	1,32173	,000
	1	0	2,41667	1,32173	,476
		2	3,16667	1,32173	,215
		3	,41667	1,32173	,999
		4	-,08333	1,32173	1,000
		5	-5,33333*	1,41299	,017
	2	0	-,75000	1,22368	,988
		1	-3,16667	1,32173	,215
		3	-2,75000	1,22368	,270
		4	-3,25000	1,22368	,140
		5	-8,50000*	1,32173	,000
	3	0	2,00000	1,22368	,990
		1	-,41667	1,32173	,999
		2	2,75000	1,22368	,270
		4	-,50000	1,22368	,998
		5	-5,75000*	1,32173	,005
4	0	2,50000	1,22368	,362	
	1	-,08333	1,32173	1,000	
	2	3,25000	1,22368	,140	
	3	,50000	1,22368	,998	
	5	-5,25000*	1,32173	,012	
5	0	7,75000*	1,32173	,000	
	1	5,33333*	1,41299	,017	
	2	8,50000*	1,32173	,000	
	3	5,75000*	1,32173	,005	
	4	5,25000*	1,32173	,012	
LSD	0	1	-2,41667	1,32173	,086
		2	,75000	1,22368	,549
		3	-2,00000	1,22368	,122
		4	-2,50000	1,22368	,058
		5	-7,75000*	1,32173	,000
	1	0	2,41667	1,32173	,086
		2	3,16667*	1,32173	,029
		3	,41667	1,32173	,757
		4	-,08333	1,32173	,951
		5	-5,33333*	1,41299	,002
	2	0	-,75000	1,22368	,549
		1	-3,16667	1,32173	,029
		3	-2,75000*	1,22368	,039
		4	-3,25000*	1,22368	,017
		5	-8,50000*	1,32173	,000

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Nbfeuillesparplant

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
LSD	3	0	2,00000	1,22368	,122
		1	-,41667	1,32173	,757
		2	2,75000*	1,22368	,039
		4	-,50000	1,22368	,688
		5	-5,75000*	1,32173	,000
	4	0	-2,50000	1,22368	,058
		1	-,08333	1,32173	,951
		2	3,25000*	1,22368	,017
		3	,50000	1,22368	,688
		5	-5,25000*	1,32173	,001
	5	0	7,75000*	1,32173	,000
		1	5,33333*	1,41299	,002
		2	8,50000*	1,32173	,000
		3	5,75000*	1,32173	,000
		4	5,25000*	1,32173	,001
Dunnnett t (2-sided)*	1	0	2,41667	1,32173	,286
	2	0	-,75000	1,22368	,959
	3	0	2,00000	1,22368	,381
	4	0	2,50000	1,22368	,202
	5	0	7,75000*	1,32173	,000

## Annexe 04 : Analyse de la variance du nombre de bouquets par plante

### ANOVA

NbBouquetparplant

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21,773	5	4,355	7,741	,001
Within Groups	9,000	16	,563		
Total	30,773	21			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NbBouquetparplant

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Tukey HSD	0	1	,00000	,57282	1,000
	2	1	,00000	,53033	1,000
	3	1	-,50000	,53033	,929
	4	1	-1,00000	,53033	,444
	5	1	-3,00000*	,57282	,001
	1	2	,00000	,57282	1,000
	3	2	-,50000	,57282	,948
	4	2	-1,00000	,57282	,524
	5	2	-3,00000*	,61237	,002
	2	3	,00000	,53033	1,000
	4	3	-,50000	,57282	1,000
	5	3	-1,00000	,53033	,929
	1	4	-1,00000	,53033	,444
	5	4	-3,00000*	,57282	,001
	3	5	,50000	,53033	,929
	1	5	,50000	,57282	,948
	2	5	,50000	,53033	,929
	4	5	-,50000	,53033	,929
	5	5	-2,50000*	,57282	,005
	LSD	0	1	1,00000	,53033
1		1	1,00000	,57282	,524
2		1	1,00000	,53033	,444
3		1	,50000	,53033	,929
5		1	-2,00000*	,57282	,030
5		2	3,00000*	,57282	,001
1		2	3,00000*	,61237	,002
2		2	3,00000*	,57282	,001
3		2	2,50000*	,57282	,005
4		2	2,00000*	,57282	,030
0		2	,00000	,57282	1,000
1		2	,00000	,53033	1,000
3		2	-,50000	,53033	,360
4		2	-1,00000	,53033	,078
5		2	-3,00000*	,57282	,000
1		3	,00000	,57282	1,000
2		3	,00000	,57282	1,000
4		3	-,50000	,53033	,360
5		3	-1,00000	,53033	,078
5		3	-3,00000*	,57282	,000

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NbBouquetparplant

	(I) TRAITEMENT	(J) TRAITEMENT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
LSD	3	0	-,50000	,53033	,360
	1	0	,50000	,57282	,396
	2	0	-,50000	,53033	,360
	4	0	-,50000	,53033	,360
	5	0	-2,50000*	,57282	,000
	4	1	1,00000	,53033	,078
	1	1	1,00000	,57282	,100
	2	1	1,00000	,53033	,078
	3	1	,50000	,53033	,360
	5	1	-2,00000*	,57282	,003
	5	2	3,00000*	,57282	,000
	1	2	3,00000*	,61237	,000
	2	2	3,00000*	,57282	,000
	3	2	2,50000*	,57282	,000
	4	2	2,00000*	,57282	,003
Dunnnett t (2-sided)*	1	0	,00000	,57282	1,000
	2	0	,00000	,53033	1,000
	3	0	,50000	,53033	,817
	4	0	1,00000	,53033	,261
	5	0	3,00000*	,57282	,000

## Résumé :

### **Effet du compost sur les paramètres agro physiologiques de la tomate :**

Ce travail vise à valoriser les déchets de papier d'emballage par compostage et à évaluer leur effet sur la croissance de la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) sous abris. L'étude a été menée en serre sur six substrats : perlite (témoin), compost du papier d'emballage à l'aérobie, compost du papier d'emballage à l'anaérobie, compost aérobie + fumier, compost anaérobie + fumier et fumier seul. Les paramètres mesurés incluent la hauteur, le diamètre, le nombre de feuilles et l'apparition des bouquets floraux. Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur les composts (pH, conductivité, TDS). Les résultats montrent que le compost du papier d'emballage à l'aérobie, seul ou combiné au fumier, améliore significativement la croissance végétative par rapport au témoin et au compost du papier d'emballage à l'anaérobie. Ce dernier présente un pH plus acide et une conductivité plus faible, indiquant une maturation incomplète. Le fumier seul a également montré des effets favorables. L'analyse statistique a révélé des différences significatives entre les traitements. Ces résultats confirment l'intérêt agronomique du compost bien stabilisé et suggèrent que le papier d'emballage, correctement composté, peut être une ressource organique utile en agriculture. Cette approche s'inscrit dans une logique de gestion durable des déchets et de développement de solutions alternatives pour améliorer la fertilité des sols.

**Mots-clés** : *compost, papier d'emballage, tomate, croissance végétative, recyclage, fertilisation organique, paramètre agro physiologique.*

## **Abstract:**

### **Effect of compost on the agro-physiological parameters of tomatoes:**

This study aims to valorize packaging paper waste through composting and to evaluate its effect on the growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) under shelters. The study was conducted in a greenhouse on six substrates: perlite (control), aerobic packaging paper compost, anaerobic packaging paper compost, aerobic compost + manure, anaerobic compost + manure, and manure alone. The measured parameters included height, diameter, number of leaves, and the appearance of flower clusters. Physicochemical analyses were carried out on the composts (pH, conductivity, TDS). The results show that aerobic packaging paper compost, alone or combined with manure, significantly improves vegetative growth compared to the control and anaerobic packaging paper compost. The latter exhibited a more acidic pH and lower conductivity, indicating incomplete maturation. Manure alone also showed favorable effects. Statistical analysis revealed significant differences between treatments. These results confirm the agronomic interest of well-stabilized compost and suggest that packaging paper, properly composted, can be a useful organic resource in agriculture. This approach is part of a sustainable waste management strategy and the development of alternative solutions for improving soil fertility.

**Keywords:** *compost, packaging paper, tomato, vegetative growth, recycling, organic fertilization, agro physiological parameter.*

## ملخص البحث:

### تأثير السماد العضوي على المعايير الزراعية الفسيولوجية للطماطم:

يهدف هذا العمل إلى تثمين نفايات ورق التغليف من خلال التحليل العضوي وتقييم تأثيرها على نمو الطماطم (*Lycopersicon esculentum* L.) تحت الملاجئ. أجريت الدراسة في دفيئة على ستة ركائز: البيرليت (شاهد)، كومبوست ورق التغليف الهوائي، كومبوست ورق التغليف اللاهوائي، كومبوست هوائي + كومبوست عضوي، كومبوست لاهوائي + كومبوست عضوي، وسماد عضوي فقط. شملت المعايير المقاسة الارتفاع، القطر، عدد الأوراق، وظهور التجمعات الزهرية. تم إجراء تحليلات فيزيائية وكيميائية على الأسمدة لأس الهيدروجيني، التوصيلية، إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS).

تظهر النتائج أن كومبوست ورق التغليف الهوائي، بمفرده أو بالاشتراك مع كومبوست العضوي، يحسن بشكل كبير النمو الخضري مقارنة بالشاهد وكومبوست ورق التغليف اللاهوائي. أظهر الأخير درجة حموضة أكثر حمضية وتوصيلية أقل، مما يشير إلى نضج غير مكتمل. كما أظهر السماد العضوي وحده تأثيرات إيجابية. كشف التحليل الإحصائي عن فروق ذات دلالة إحصائية بين المعاملات.

تؤكد هذه النتائج الأهمية الزراعية للسماد المستقر جيداً وتشير إلى أن ورق التغليف، إذا تم تسميده بشكل صحيح، يمكن أن يكون مورداً عضوياً مفيداً في الزراعة. يندرج هذا النهج ضمن استراتيجيات الإدارة المستدامة للنفايات وتطوير حلول بديلة لتحسين خصوبة التربة الزراعية، بما ينسجم مع استراتيجيات إدارة النفايات المستدامة وتحسين خصوبة التربة.

**الكلمات المفتاحية:** السماد العضوي، ورق التغليف، الطماطم، النمو الخضري، إعادة التدوير، التسميد العضوي، المعايير الزراعية الفسيولوجية.