

## **VALORISATION AGRONOMIQUE DU COMPOST ET DE SES EXTRAITS SUR LA CULTURE DE LA TOMATE**

**Btissam MOURIA, Amina OUAZZANI-TOUHAMI et Allal DOUIRA\***

*Laboratoire de Botanique et de Protection des Plantes, Faculté des Sciences,  
Université Ibn Tofail, B.P 133, Kénitra, Maroc.*

(Reçu le 15 Mai 2010, accepté le 27 Août 2010)

---

\* Correspondance et tirés à part, e-mail : [labobotanique@gmail.com](mailto:labobotanique@gmail.com)

### **RÉSUMÉ**

Ce travail fut réalisé dans le but d'étudier l'effet du compost d'ordures ménagères et de ses extraits aqueux appliqués en fertigation ou en pulvérisation foliaire sur les paramètres de qualité et de rendement des plantes de tomate ainsi que sur l'incidence des agents phytopathogènes sur cette culture.

Les résultats ont montré que le compost incorporé dans le substrat de culture a eu un effet considérable aussi bien sur les paramètres de rendement qui ont augmenté à des taux fluctuant entre zéro et 22 par rapport au témoin selon la teneur de compost incorporée dans le substrat de culture et le paramètre de rendement évalué, que sur la protection des plantes contre les maladies qui a été optimale à la concentration maximale (100%) et qui a diminué de plus de 90% par rapport au témoin.

De même, la variabilité de la durée d'extraction, du mode d'application et de la concentration des extraits de compost influence nettement les paramètres quantitatifs et qualitatifs, en particulier le rendement commercialisable qui a augmenté de plus de 160% dans le cas de la fertigation, mais surtout l'état phytosanitaire des plants de tomate dont la protection des feuilles contre les maladies a été totale (100%) par les deux méthodes à une concentration de 10% (V/V).

**Mots-clés :** *Compost, Extraits de compost, Fertigation, Pulvérisation, Tomate, Rendement, Protection.*

### **ABSTRACT**

#### **Agricultural use of compost and its extract on a tomato crop**

This work compares the effect of solid waste compost incorporated into soil and compost water extracts applied through fertigation or foliar application on tomato plant growth and on the incidence of plant pathogens.

Our results showed that compost content in substrate had a considerable effect as well on yield parameters with increased rates between zero and 22 compared to control, according to compost content in substrate and to yield parameter, that on plant protection against diseases with decreased of more than 90% compared to control.

In the same way, the extraction time, the mode of application, and the compost water extract concentration clearly influence the quantitative and qualitative parameters of yield, in particular the marketable yield with increased of more than 160% in fertigation essays, but especially tomato plant health whose leaves protection against diseases was total (100%) at 10% (V/V) by the two methods.

**Keywords :** *Compost, Compost Extracts, Fertigation, Foliar application, Tomato, Yield, Protection.*

## I - INTRODUCTION

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 [1].

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 [1] 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 [2]. Au Maroc, la production de déchets solides par habitant et par jour est très variable d'une région à une autre et elle est en moyenne de 0,75kg / habitant / jour (plus de 5 millions de tonnes par an pour tout le territoire national) [3]. Or, une grande partie de ces déchets est fermentescible (65 à 80%) [4] et un recyclage par le biais du compostage permettrait de combler le déficit humique des sols surexploités et d'en réactiver une vie microbiologique équilibrée [5].

C'est ainsi que l'agriculture biologique a été suscitée par l'opposition d'agriculteurs et de scientifiques à la fertilisation minérale et artificielle des plantes. En effet, en 1946 a été créé en Grande-Bretagne la «Soil – Association»

qui est issu du mouvement pour une agriculture organique inspirée par les théories développées par Albert Howard dans son «Testament Agricole», celui-ci opposa aux fertilisants minéraux, le compost [6].

Le compost, par son effet général sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols, crée des conditions favorables pour la croissance des plantes [7].

Les atouts climatiques, agronomiques et géographiques du Maroc permettent de disposer d'un potentiel de production agricole biologique important par rapport aux pays concurrents [8]. Et bien que les premières productions biologiques ne datent que de 1986, l'utilisation des matières organiques prend de plus en plus d'importance surtout suite à l'augmentation rapide des superficies converties en production biologique.

En effet, les superficies consacrées à la production de fruits et de légumes biologiques sont passées de quelques hectares en 1990 à plus de 300 ha en 1999 [9]. Aussi, la forte teneur en matières organiques des déchets ménagers marocains, associée aux conditions climatiques favorables et à la présence d'un marché potentiel des amendements organiques, lié à la vocation agricole du pays, a incité les responsables à mettre en place des unités de compostage [3]. C'est ainsi que l'ONG Enda Maghreb a mis en œuvre des Centres de Co-Traitement (CCT) des déchets ménagers dont celui de la commune de Missouri, créé en 2001 dans le cadre du «Programme de Suivi Expérimental» appuyé par le Ministère Français de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le Fonds Mondial de l'Environnement (PMF-FEM / PNUD) [10].

Le présent travail œuvre pour la détermination des effets *in vivo* de l'utilisation du compost et de ses extraits sur l'amélioration des paramètres de croissance et de rendement de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum*), ainsi que pour rechercher les taux et les méthodes optimales d'application de ces amendements organiques.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

### II-1. Matériel végétal

Les semences de tomate appartenant à la variété Campbell 33 sont désinfectées à l'hypochlorite de sodium dilué à 10% pendant 10 minutes, puis rincées abondamment sous un courant d'eau. Après séchage, les graines sont mises à prégermer dans des plateaux alvéolés à 77 trous remplis de tourbe noire, dont la composition est présentée dans le **Tableau 1**, à raison d'une graine par alvéole. Les plateaux sont couverts d'un film plastique de 20 microns d'épaisseur pendant deux ou trois jours pour assurer une bonne germination.

La plantation s'effectuait lorsque les plants ont atteint trois vraies feuilles soit trois à quatre semaines selon la période de semis dans des pots de 17cm × 14cm (4 litres) en polyéthylène perforés à la base et remplis de sol et de compost à différents taux. Les mesures des plants ont été effectuées juste après plantation à l'aide d'un double décimètre.

## **II-2. Sol**

Le sol utilisé dans tous les essais est celui de la forêt Mamora. C'est un sol très sableux (sable 91,1%) à structure meuble, de pH légèrement basique [11], présentant une faible capacité d'échange cationique (7 meq / 100 g) et une très faible salinité (*Tableau 1*).

## **II-3. Compost et extraits**

Le compost utilisé dans tous les essais est produit par le (CCT) de Missouri, les paramètres chimiques du compost sont présentés dans le tableau 1. La région de Missouri est un site non industriel (moins de rejets spécifiques aux métaux lourds). Les déchets destinés à cette décharge sont essentiellement domestiques et du bâtiment, ce qui minimise la présence de métaux lourds dans le produit final [12].

### ***II-3-1. Incorporation du compost dans le substrat de culture***

Afin de déterminer la dose optimale de compost dans le substrat pour la culture de tomate, le compost est mélangé avec le sol à des taux variables à savoir : 20%, 25%, 50%, 75% et 100%, les mélanges sont réalisés en volumes. Les témoins sont constitués uniquement de sol.

### ***II-3-2. Préparation des extraits de compost***

Les extraits de compost sont préparés en se référant à la méthode d'extraction par fermentation de Weltzien (1990) [13]. Les jus de compost sont obtenus en couvrant le compost avec l'eau de robinet à des proportions de 10%, 20% et 25%. Les mélanges sont réalisés en volumes, dans des bacs en polyéthylène de 10 litres à col ouvert. Le mélange est ensuite remué manuellement pendant deux minutes et laissé macérer à la température du laboratoire.

Après une période d'absorption marquée comme le «temps d'extraction», à savoir deux jours ou encore quatre jours, les extraits sont filtrés à travers quatre couches de gaze juste avant leur utilisation en traitement par pulvérisation ou par fertigation.

**Tableau 1** : Caractéristiques chimiques de la tourbe<sup>1</sup>, du sol<sup>2</sup> et du compost produit par le CCT de Missour<sup>3</sup>

Paramètres physico-chimiques	Tourbe	Sol	Compost
pH (extrait à l'eau)	5,5 – 6,0	7,53	7,5
Matière organique (%)	90	0,70	25,2
Humidité (%)	50	-	15,2
C/N	-	-	11,5 – 13,5
Azote total (%)	0,2	0,05	2,1
Phosphore total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,1	0,239	2,3
Potassium total K <sub>2</sub> O	-	0,15 (meq/100 g)	1,38 (%)
Magnesium (Mg)	0,1%	0,20 (meq/100 g)	7488,5 (mg/kg)
Calcium (Ca)	0,5%	6,30 (meq/100 g)	7351,5 (mg/kg)

<sup>1</sup>: D'après l'emballage. According to packing

<sup>2</sup>: Analyses faites à L'ORMVAG (Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Gharb).

<sup>3</sup>: [12].

## II-4. Dispositif expérimental

### II-4-1. Valorisation agronomique du compost en substrat

Le premier essai a été réalisé pendant les mois de mars – avril – mai 2004, le semis a été effectué le trois mars et la plantation a eu lieu le 31 mars (28 jours après semis JAS). Le suivi de la culture a pris fin le 11 mai 2004 soit au stade 41 jours après plantation (JAP).

Le deuxième essai a été réalisé en avril – mai – juin 2005, le semis a été effectué le 24 avril et la plantation a eu lieu le 15 mai (21 JAS). La culture a pris fin le 25 juin 2005 (stade 41 JAP).

Le protocole expérimental est conçu en blocs aléatoires avec trois répétitions par traitement. Les lots témoins sont constitués uniquement de sol. L'arrosage s'effectuait à l'aide de l'eau de robinet tous les deux jours pour le premier essai et presque chaque jour pour le deuxième essai en raison de l'évaporation excessive due à la chaleur du mois de juin.

### ***II-4-2. Valorisation agronomique des extraits de compost***

Le premier essai a été réalisé en septembre – octobre 2005, le semi a été effectué le deux septembre et la plantation 21 JAS, soit le 23 septembre.

Le protocole expérimental est conçu en blocs aléatoires avec trois répétitions et quatre traitements :

- Lots pulvérisés par les filtrats de 2 j aux différentes concentrations
- Lots pulvérisés par les filtrats de 4 j aux différentes concentrations
- Lots arrosés par les filtrats de 2 j aux différentes concentrations
- Lots arrosés par les filtrats de 4 j aux différentes concentrations

Les traitements ont commencé le 26 septembre (3 JAP) et ont fini le 29 octobre soit 36 JAP, ils ont eu lieu chaque deux jours, à raison de 30 ml par plant pour les traitements par pulvérisation, qui ont été arrosés par l'eau de robinet, et de 100 ml par plant pour les essais de fertigation qui n'ont reçu aucune pulvérisation.

Le deuxième essai a été réalisé en mars – avril – mai 2006, le semi a été effectué le cinq mars et la plantation dans les pots 25 JAS, soit le 30 mars. Les traitements ont commencé le trois avril (4 JAP) et ont fini le sept mai (38 JAP).

## **II-5. Evaluation des paramètres quantitatifs et qualitatifs**

### ***II-5-1. Paramètres quantitatifs***

A la fin des essais, les pots sont ramenés de la serre et les pousses sont coupées au niveau du collet. La hauteur des pousses est mesurée du collet à l'insertion de la plus jeune feuille à l'aide d'une règle graduée 40 cm.

Le nombre de feuilles, de fleurs et de fruits par plant a été compté et le pourcentage de feuilles présentant des lésions ou des nécroses par plant a été calculé selon la relation suivante :

$$\% \text{ de feuilles attaquées} = \frac{\text{Nombre de feuilles attaquées}}{\text{Nombre total de feuilles}} \times 100 \quad (1)$$

Les racines sont séparées des substrats par un léger mouvement, lavées sous un courant d'eau afin d'éliminer les particules de sol adhérentes et laissées sécher sur du papier absorbant dans les conditions ambiantes du laboratoire pendant une nuit.

### ***II-5-2. Paramètres qualitatifs***

La biomasse végétative et, éventuellement le poids frais des fruits pour les essais du compost en substrat, sont mesurés à l'aide d'une balance le même jour alors que la biomasse racinaire a été mesurée après une nuit pour que l'eau de rinçage ne fausse pas les résultats.

Les poids secs des pousses et des racines sont déterminés après séchage à 80°C [14] pendant 24 heures.

Dans les essais où le compost a été incorporé dans le substrat, un suivi de l'apparition des fleurs et des fruits est effectué en six temps  $T_0$ ,  $T_{15}$ ,  $T_{29}$ ,  $T_{37}$ ,  $T_{45}$  et  $T_{51}$  (JAP) afin de comparer le début de formation des parties fertiles de la plante dans les divers traitements.

### **II-6. Analyses statistiques**

Le traitement des données a porté sur l'analyse de variance et le test PPDS au seuil de 5%.

## **III – RÉSULTATS**

### **III-1. Incorporation du compost dans le substrat de culture**

Les résultats des essais de l'incorporation du compost dans le substrat de culture à différentes concentrations, à savoir les paramètres quantitatifs et qualitatifs, sont rapportés dans les *Tableaux 2* et *3* respectivement.

#### ***III-1-1. Paramètres quantitatifs***

D'après le *Tableau 2*, les paramètres quantitatifs de tous les traitements sont meilleurs que ceux du témoin mais ils diffèrent entre eux selon le paramètre et la concentration de compost incorporée au départ.

Les taux de croissance varient entre 31,5 cm pour le témoin (0% compost) et 50,03 cm pour les plants cultivés dans un substrat constitué uniquement de compost (100%). Entre ces deux valeurs, le taux de croissance varie en fonction de la concentration de compost dans le substrat de culture.

D'après les analyses statistiques, le traitement 50% est le seul qui ne diffère pas significativement du témoin en terme de croissance, alors que le compost incorporé à des concentrations plus faibles 20% et 25% a donné une croissance plus élevée respectivement de 38,40 et 42,63 cm, le traitement 25% étant le plus proche du traitement 100%. Par contre, la croissance obtenue avec la concentration 75% ne diffère pas significativement de celle obtenue à 20%.

Le nombre moyen de feuilles par plant est plus élevé dans le traitement 100%, suivi des deux traitements 25% et 75% qui ne diffèrent pas significativement entre eux, alors que les traitements 20% et 50% ne diffèrent pas significativement du témoin au seuil de 5%.

Les traitements 100% et 75% présentent les pourcentages moyens de feuilles attaquées, montrant des lésions ou des nécroses, les plus bas (seulement 6,70 et 11,34 respectivement), suivis des traitements 50%, 25% et 20% (entre 12,90 et 16,31). Alors que le témoin, avec 70,68% de feuilles attaquées se distingue largement de tous les essais et diffère significativement de ceux-ci. De plus, les feuilles des lots témoins étaient maigres et chétives alors que celles de tous les autres traitements étaient plus ou moins larges, vertes et saines (*Figure 1*).

Les nombres moyens de fleurs et de fruits des essais 100%, 75%, 25% et 20% ne diffèrent pas significativement entre eux et varient entre 6,33 et 7,66 pour les fleurs et entre 2,33 et 2,99 pour les fruits. Le traitement 50% a donné le même nombre moyen de fruits que le témoin alors qu'il se distingue pourtant bien de celui-ci en terme de nombre de fleurs qui n'est que de 0,33 chez le témoin.

### *III-1-2. Paramètres qualitatifs*

Le poids frais moyen des plants témoins (27,06 g) diffère significativement de celui des plants cultivés sur des substrats contenant du compost à toutes les concentrations (*Tableau 3*). Le traitement qui a abouti au plus faible poids frais a été le traitement 50% avec 77,10 g alors que celui qui a produit le poids frais maximal a été le traitement le traitement 100% (150,17 g). Il est à signaler que ce dernier diffère aussi significativement de tous les autres traitements alors que les traitements 20%, 25% et 75% avec des valeurs intermédiaires ne diffèrent pas significativement entre eux.

En ce qui concerne les poids secs moyens, bien qu'ils sont plus élevés que le témoin dans tous les traitements, ils ne diffèrent significativement de celui-ci que chez les lots amendés avec des concentrations élevés de compost à savoir, 75% et 100%. Cependant, il est à noter que le traitement 20% a donné un résultat qui ne diffère pas significativement du traitement 75%.

Le poids frais moyen des racines est maximal chez le traitement 100% (63,9 g) et minimal pour les concentrations 0%, 25% et 50% (entre 9,16 et 10,67 g), les traitements 20% et 75% présentant des valeurs intermédiaires (21,33 et 29,33 g respectivement).

Comme pour le paramètre précédent, le poids sec moyen des racines du traitement 100% se distingue largement des autres traitements avec 9,166 g, suivi des traitements 20 et 75% (avec 3,46 et 3,86 g respectivement), alors que les autres traitements ne dépassent pas 1,93 g.



Deux groupes de traitements ont pu être distingués en tenant compte du poids frais moyen des fruits : un premier groupe constitué par les traitements 25%, 20% et 100% qui ont produit des fruits ayant un poids frais moyen fluctuant entre 16,64 et 21,835 g / fruit et un deuxième groupe représenté par les traitements 75%, 50% qui ne diffèrent pas significativement du témoin non amendé par le compost et dont le poids frais moyen des fruits n'a pas dépassé 8,255 g / fruit. De plus, nous avons remarqué que les fruits de tous les traitements étaient plus ou moins charnus et sains, alors que ceux des témoins étaient durs et attaqués par des nématodes.

Le suivi de l'évolution de la formation des fleurs et des fruits est illustré, respectivement, dans les figures 2 et 3. D'après ces deux figures, la formation des fleurs et des fruits est plus précoce chez tous les lots amendés avec le compost par rapport aux témoins, et en particulier dans les traitements 20%, bien que le nombre final de fruits à T<sub>51</sub> est plus élevé dans les lots 100% et 25%.

**Tableau 2 :** *Variation des paramètres quantitatifs moyens des plantes de tomate en fonction des concentrations de compost incorporées dans le sol.*

Concentration	Croissance (cm)	Nombre de Feuilles	% feuilles attaquées	Nombre de Fleurs	Nombre de Fruits
<b>Témoin 0%</b>	31,50 d	9.665 c	70.668 a	0.333 c	1.333 b
<b>20%</b>	38,40 c	11.665 bc	12.908 b	6.6665 a	2.6665 a
<b>25%</b>	42,63 b	13.33 b	15.037 b	6.6665 a	2.9995 a
<b>50%</b>	33,73 d	11.33 bc	16.319 b	3.6665 b	1.333 b
<b>75%</b>	38,76 c	13.33 b	11.34 bc	6.333 ab	2.333 ab
<b>100%</b>	50,03 a	17.33 a	6.7037 c	7.6665 a	2.9995 a

## III-2. Valorisation des extraits de compost

### III-2-1. Essais de pulvérisation

La comparaison des paramètres de rendement des lots traités par pulvérisation des plants de tomate avec les extraits de compost de 2 ou de 4 j par rapport aux lots témoins est consignée dans le **Tableau 4**.

Chaque valeur est la moyenne de deux expériences indépendantes avec trois répétitions par expérience. Les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le test de PPDS ou de comparaison planifiée.

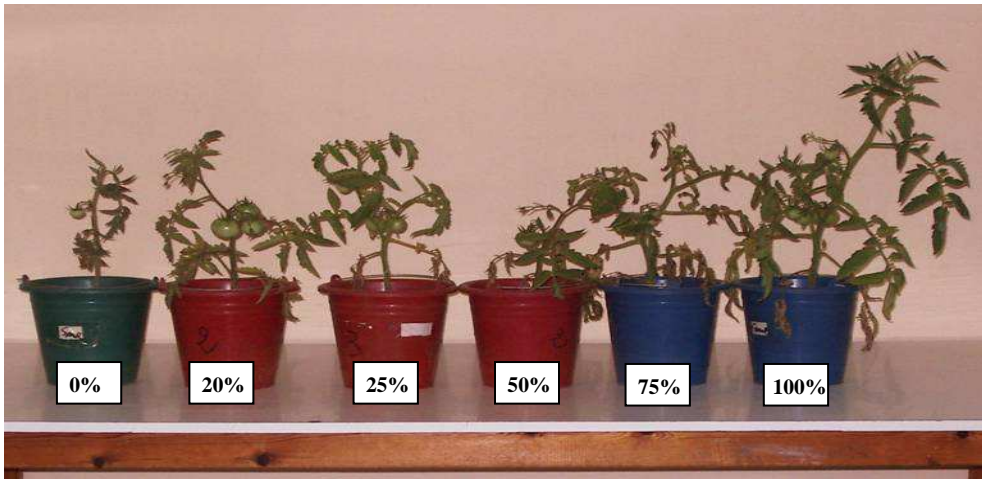
Chaque valeur est la moyenne de deux expériences indépendantes avec trois répétitions par expérience. Les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le test de PPDS ou de comparaison planifiée.

**Tableau 3** : Variation des paramètres qualitatifs moyens des plantes de tomate en fonction des concentrations de compost incorporées dans le sol.

Concentration	PF total (g)	PS total (g)	PF racine (g)	PS racine (g)	*PF Fruits (g)
Témoin 0%	27,06 d	3,83 c	10,50 d	1,00 d	3,5785 c
20%	105,33 b	5,90 bc	21,33 c	3,46 b	18,565 a
25%	93,73 bc	5,43 c	10,67 d	1,93 c	16,64 ab
50%	77,10 c	4,70 c	9,16 d	1,86 cd	7,49 c
75%	112,97 b	8,96 b	29,33 b	3,86 b	8,255 bc
100%	150,17 a	17,60 a	63,90 a	9,166 a	21,835 a

PF : Poids frais ; Fresh weight

\* : Les poids frais moyens des fruits ont été obtenus en divisant la biomasse totale des fruits de chaque plant par le nombre de fruits.

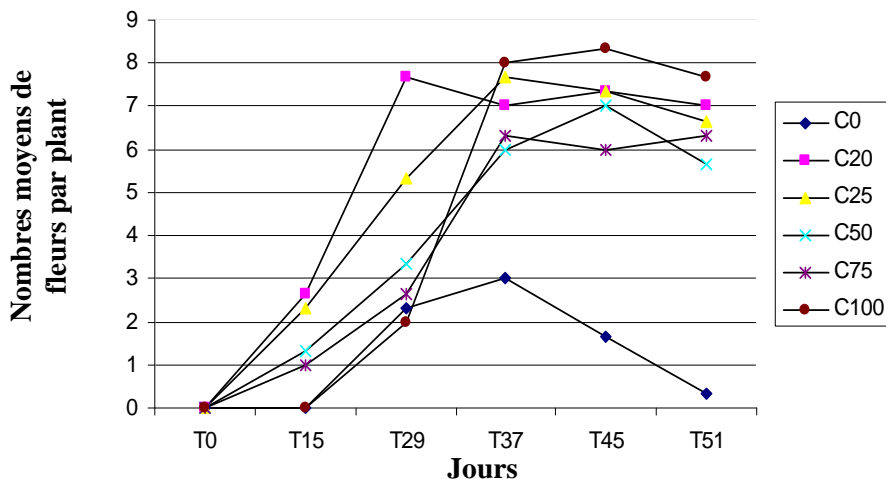
**A****B****C**

**Figure 1 :** *Effet de l'incorporation du compost à différentes concentrations dans le substrat de culture.*

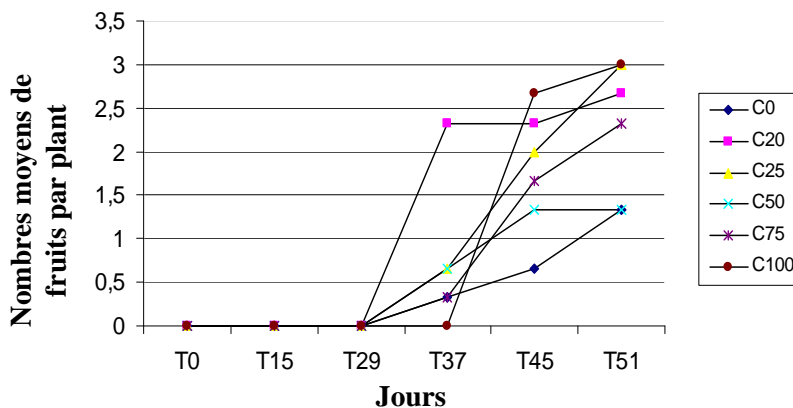
**A :** *sur le développement des plantes de tomate.*

**B :** *sur la surface foliaire. A gauche, plante témoin à feuilles maigres, chétives et sévèrement attaquées. A droite, plante cultivée sur un substrat à base de compost à feuilles bien développées et saines.*

**C :** *sur les fruits. A gauche, fruit témoin de faible calibre et sec. A droite, fruits de l'essai 100% gros, charnus et sains.*



**Figure 2 :** Evolution du nombre moyen de fleurs par traitement en fonction du temps.



**Figure 3 :** Evolution du nombre moyen de fruits par traitement en fonction du temps.

Tous les traitements ont abouti à des paramètres de rendement meilleurs et presque toujours différents significativement de ceux obtenus dans les lots témoins. Cependant, il n'existe pas toujours une proportionnalité entre le temps de l'extraction et la concentration de l'extrait appliquée.

En effet, le taux de croissance et le poids frais total les plus élevés ont été observés chez les lots pulvérisés avec un extrait de 2 j à des concentrations de 20% et 25% alors que ce taux n'est obtenu pour l'extrait de 4 j qu'avec une concentration de 25% (voir photos annexe 2)

Le poids sec total des plants de tomate a été meilleur chez les lots pulvérisés avec un extrait de 2 j à 20% et ceux pulvérisés avec un extrait de 4 j à 25%.

Les poids frais des racines de tous les traitements se sont montrés similaires et diffèrent significativement de celui du témoin, alors que les poids secs des racines ont été plus élevés chez les lots pulvérisés avec des extraits de 4 j à 10 et 20%, les autres traitements ne différant pas significativement du témoin.

Le nombre de feuilles maximal par plant a été observé dans les lots pulvérisés avec un extrait de 4 jours à la plus faible concentration, alors qu'une concentration de 25% pour le même temps d'extraction a donné un nombre de feuilles comparable à celui du témoin.

En revanche, le nombre de feuilles attaquées maximal par plant a été observé chez le témoin, tandis qu'aucune feuille ou presque n'a présenté de lésions ou de jaunissement chez les plants des traitements par pulvérisation des extraits de 2 j à 10 et 20%.

Le nombre de fleurs et de fruits confondus a été plus élevé dans le traitement E<sub>2</sub> à 20% (11,66). Cette valeur est en rapport avec le nombre de fleurs obtenu dans ce traitement mais pas avec le nombre de fruits de celui-ci. En effet, le nombre de fruit maximal a été observé chez les plants du traitement E<sub>2</sub> à 25%.

Il paraît donc que la formation des fleurs est plus favorable chez les plants du traitement E<sub>2</sub> à 20% mais la transformation des fleurs en fruits est plus rapide dans les traitements E<sub>2</sub> à 25% et E<sub>4</sub> à 20%. Il est à signaler aussi qu'aucun fruit n'a été formé chez les plants témoin et ce dans les deux essais entretenus.

Ainsi, la concentration 20% de l'extrait 2 j est la plus favorable d'une part, à l'amélioration de presque tous les paramètres de rendement et d'autre part à la protection des feuilles de tomate.

### ***III-2-2. Essais de fertigation***

Les paramètres de rendement des plants de tomate arrosés avec les extraits de compost de 2 ou 4 j sont illustrés dans le **Tableau 5**.

D'une manière générale, l'arrosage avec les extraits de compost a amélioré les paramètres de rendement des plants de tomate par rapport à ceux des plants témoins.

Cette amélioration s'est même avérée supérieure à celle observée chez les lots pulvérisés avec les extraits de compost pour certains paramètres à savoir : le taux de croissance, le poids frais total, le poids sec total, le poids frais des racines, le poids sec des racines et le nombre de fruits.

Le nombre de feuilles, par contre, a diminué dans les essais de l'arrosage par rapport à ceux de pulvérisation, la valeur maximale observée étant de 11,495

feuilles / plant, tandis que la surface foliaire a augmenté (**Figure 4**) à en juger par la biomasse végétative qui est plus élevée.

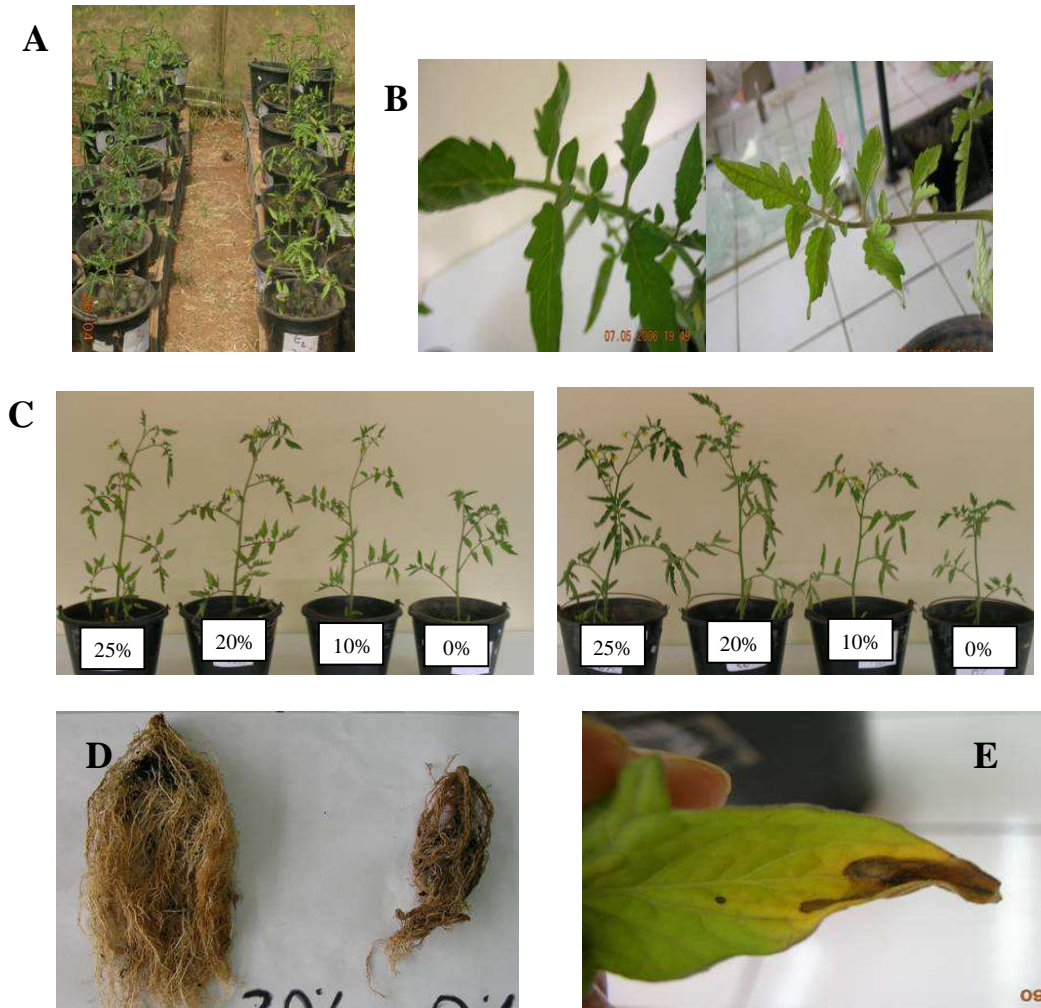
Les témoins ont été pulvérisés avec la même quantité d'eau au lieu de l'extrait de compost.

Les témoins ont été arrosés avec la même quantité d'eau au lieu de l'extrait de compost.

Chaque valeur est la moyenne de deux expériences indépendantes avec trois répétitions par expérience. Les valeurs de la même ligne suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le test de PPDS ou de comparaison planifiée.

**Tableau 4** : Paramètres moyens de rendement des plants de tomate pulvérisés avec des extraits de compost à deux temps d'extraction et à différentes concentrations

Paramètres de Rendement	Témoin	E <sub>2</sub>			E <sub>4</sub>		
		10%	20%	25%	10%	20%	25%
<b>Croissance (cm)</b>	44,56 c	52,16 ab	55,13 a	55,16 a	50,33 b	52,30 ab	54,10 a
<b>PF<sup>1</sup> Total (g)</b>	13,31 c	26,16 b	30,90 a	30,56 a	26,66 b	28,76 ab	30,13 a
<b>PS<sup>2</sup> Total (g)</b>	4,16 d	8,80 b	10,40 a	7,90 bc	7,23 c	8,73 b	10,50 a
<b>PF<sup>1</sup> Racine (g)</b>	4,16 b	5,10 a	5,13 a	5,26 a	5,40 a	5,46 a	5,20 a
<b>PS<sup>2</sup> Racine (g)</b>	1,23 b	1,56 ab	1,53 ab	1,50 ab	1,70 a	1,63 a	1,40 ab
<b>Nombre de Feuilles</b>	8,83 d	12,165 b	9,165 d	10,83 c	13,165 a	11,165 c	9,33 d
<b>Pourcentage de Feuilles attaquées</b>	77,341 a	0,00 e	3,601 d	13,783 b	3,744 d	7,413 c	15,98 b
<b>Nombre de Fleurs</b>	5,165 e	6,83 d	10,83 a	6,495 d	9,495 b	8,83 c	8,83 c
<b>Nombre de Fruits</b>	0,00 d	0,83 c	0,83 c	1,83 a	1,165 bc	1,495 ab	1,165 bc
<b>Fleurs + Fruits</b>	5,165 d	7,66 c	11,66 a	8,325 c	10,66 ab	10,325 b	9,995 b



**Figure 4 :** *Effet de l'application des extraits de compost à différentes concentrations en pulvérisation ou en fertigation sur les plantes de tomate.*

**A :** *Comparaison entre les essais de fertigation et les essais de pulvérisation*

**B :** *A gauche feuilles d'un vert foncé (fertigation) et à droite feuilles d'un vert plus clair (pulvérisation).*

**C :** *Plantes traitées par des extraits de 2 j appliqués à des concentrations croissantes en pulvérisation (à gauche) et en fertigation (à droite).*

**D :** *Effet de la fertigation par l'extrait de compost sur l'augmentation de la biomasse racinaire.*

**E :** *Exemple de lésions sur feuille nécrosée d'un plant témoin.*

**Tableau 5 :** Paramètres moyens de rendement des plants de tomate arrosés avec des extraits de compost à deux temps d'extraction et à différentes concentration.

Paramètres de Rendement	Témoïn	E 2			E 4		
		10%	20%	25%	10%	20%	25%
croissance (cm)	45,30 c	51,66 b	56,70 a	52,66 ab	53,26 ab	51,60 b	50,83 b
PF <sup>1</sup> Total (g)	17,16 d	28,70 c	37,46 a	32,76 b	38,53 a	40,16 a	29,93 bc
PS <sup>2</sup> Total (g)	4,43 c	6,53 b	10,76 a	6,60 b	11,43 a	7,43 b	6,23 b
PF <sup>1</sup> Racine (g)	3,63 cd	4,13 c	4,03 cd	3,23 d	6,86 b	8,06 a	4,46 c
PS <sup>2</sup> Racine (g)	1,01 b	1,30 b	1,16 b	1,03 b	1,33 b	1,80 a	1,30 b
Nombre de Feuilles	8,83 e	9,495 d	11,495 a	10,83 b	11,16 ab	10,165 c	10,165 c
Pourcentage de Feuilles attaquées	35,82 a	0,00 d	10,116 c	9,235 c	0,00 d	14,684 b	16,334 b
Nombre de Fleurs	4,165 d	9,165 bc	9,165 bc	8,83 c	9,495 b	10,165 a	9,495 b
Nombre de Fruits	0,00 c	0,00 c	0,165 bc	2,165 a	0,00 c	0,495 b	0,00 c
Fleurs + Fruits	4,165 c	9,165 b	9,33 b	10,995 a	9,495 b	10,66 a	9,495 b

<sup>1</sup>: Poids Frais. <sup>2</sup>: Poids Sec.

Une protection totale des feuilles de tomate a été assurée par les deux extraits à la plus faible concentration.

Il convient aussi de signaler que l'arrosage avec les extraits de compost de 2 j, à la plus faible concentration, donne généralement des résultats similaires à ceux obtenus en arrosant avec des extraits de compost de 4 j à la plus forte concentration, notamment pour le taux de croissance, la biomasse totale et racinaire et le nombre de fruits par plant.

Ainsi, la concentration 20% des deux extraits (2 j et 4 j) est la plus favorable à la croissance et le rendement des plants de tomate. Toutefois, elle ne permet pas une protection optimale des feuilles.

#### IV - DISCUSSION

Le compost introduit dans le sol joue un double rôle : amendement, car il renferme des composés organiques précurseurs de l'humus et engrais, par sa teneur en éléments fertilisants [5]. Il améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols amendés [15-18] en particulier dans les systèmes de production végétale intensive [19, 21].



En effet, le compost influence les conditions de vie, améliore le complexe humique stable, la structure du sol, l'aération et la minéralisation des éléments fertilisants [22]. Ces éléments nutritifs affectent le rendement et la qualité de production.

Les essais d'incorporation du compost dans le substrat de culture de tomate à différents taux ont induit une nette amélioration des paramètres quantitatifs mais surtout qualitatifs des plantes. Ceci est en accord avec les travaux de Gamliel et Stapleton [23] sur la laitue et de Abbasi *et al.* [24] sur la tomate concernant les effets du compost incorporé au sol sur la croissance des plantes.

Cependant, aucune corrélation évidente n'a été observée entre le taux d'incorporation du compost et l'influence sur les paramètres de rendement des plants de tomates, quoique les rendements maximaux aient été obtenus chez les taux élevés, ceci s'accorde avec les constatations de Steffen *et al.* [25] qui ont montré que les éléments nutritifs sont libérés lentement à partir du compost à des taux qui répondent strictement aux besoins de la culture.

Le compost peut affecter la libération des éléments nutritifs aux plantes directement, par ses propres éléments nutritifs ou indirectement par son effet sur la CEC [15]. Dans les expériences réalisées, il est probable que les deux effets soient mis en jeu.

En se basant sur les paramètres quantitatifs, c'est le traitement 25% qui donne des valeurs se rapprochant de celle obtenues pour les fortes concentrations (75% et 100%) en particulier pour le taux de croissance. Abbasi *et al.* [24] ont également rapporté dans leur étude qui a duré deux ans que tous les composts utilisés ont stimulé la croissance des plants de tomate par rapport aux témoins.

En revanche, le compost incorporé à 20% dans le substrat de culture améliore nettement les paramètres qualitatifs des plants de tomate dont les rendements ne diffèrent, généralement, pas significativement de ceux obtenus à un taux de 75% et parfois même de 100% (cas du poids frais moyen des fruits). Ce traitement permet donc à la fois un rendement élevé par rapport au témoin et voisin de celui obtenu pour les taux élevés et une économie de la matière organique en évitant l'utilisation excessive de compost. Ceci est en accord avec plusieurs études sur des effets similaires du compost sur les paramètres qualitatifs des cultures.

En effet, un compost de déchets verts appliqué au sol dans une culture d'orge a augmenté de plus de 25% la matière sèche des plantes et aussi, de façon nette, le nombre de talles par plant par rapport aux témoins non amendés [26].

De même, McCallum *et al.* [27], ont observé une augmentation de l'émergence au 20<sup>ème</sup> jour dans une culture de blé de printemps et une amélioration du rendement suite à l'application d'un compost stable.

Une autre étude qui a porté sur des cultures organiques de tomate et de pomme de terre a conduit à des rendements meilleurs des deux cultures ainsi qu'à des effets significatifs du compost sur le pH et l'acidité des fruits de tomate [28].

Bullock et Ristaino [29] ont même obtenu dans certains essais des rendements de tomate en amendement organique supérieurs à ceux en présence des fertilisants synthétiques (cas d'un compost à base de déchets d'égrenure de coton et d'un fumier porcin). De même, la comparaison d'un compost de déchets d'agriculture avec un régime fertilisant équivalent sur une période de six ans a mis en évidence l'effet positif du compost par rapport aux autres alternatives [30].

Togun *et al.* [31] ont étudié durant deux saisons le potentiel de différents composts de résidus de plantes comme fertilisants organiques sur la croissance, l'approvisionnement en éléments nutritifs, le rendement ainsi que sur la performance économique des tomates. Leurs résultats ont révélé que les types de compost ainsi que les taux appliqués (2, 4 et 6 tonnes/ha) ont des effets significatifs sur le nombre de feuilles et de branches, la matière sèche ainsi que sur l'approvisionnement en éléments nutritifs de la culture de tomate.

Au niveau des rendements commercialisables, il est important de noter que d'un côté, le compost dans tous les essais a empêché l'attaque des fruits de tomate par les nématodes, des résultats similaires ont été obtenus par Gamliel et Stapleton [23] sur la suppression d'un nématode (*Meloidogyne* spp.) par un compost de volaille.

D'un autre côté, le nombre de fruits a augmenté dans les lots amendés avec le compost par rapport aux témoins, ce qui rejoint l'étude de Abbasi *et al.* [24] qui ont montré que, en plus de la stimulation de la croissance des plants de tomate, le rendement commercialisable de tomate a été augmenté par le compost dans les systèmes de production organique.

De même, la formation des fruits a été plus précoce chez les plants amendés avec le compost par rapport aux témoins, ce qui pourrait sans doute induire également une précocité de la récolte. Ceci rejoint l'étude réalisée par Steffen *et al.* [25] qui ont démontré que le début de la récolte des fruits de tomate dans les systèmes organiques a eu lieu au moins une semaine avant celui dans les systèmes de production conventionnelle.

Paradoxalement, une teneur de 50% en compost du substrat de culture a abouti à des paramètres de rendement médiocres et souvent voisins de ceux des lots témoins, ceci est probablement dû à l'augmentation de la salinité dans le substrat. Stamatiadis *et al.* [32] ont montré que l'augmentation du taux de salinité pourrait limiter l'utilisation du compost.

Les taux élevés de salinité dans les substrats constitués de 75% et de 100% de compost, seraient compensés par les fortes teneurs en matière organique et

par l'amélioration du drainage et l'augmentation de la capacité de rétention de l'eau qui permettent une croissance plus favorable des plantes [33].

D'après Gamliel et Stapleton [23], l'amendement de compost pourrait contribuer à augmenter la croissance et le rendement par amélioration de la capacité de rétention de l'eau du sol, ce qui a permis dans les essais réalisés une tolérance aux manques d'eau, en particulier en 2005 où juin a été souvent chaud et sec.

Toutefois, les microorganismes stimulant la croissance des plantes et les agents de lutte biologique qui ont été stimulés dans la rhizosphère par l'amendement de compost ont probablement contribué aussi en rendant les plantes résistantes aux pathogènes telluriques, notamment ceux qui affectent la croissance des plantes (*Fusarium*, *Verticillium*, *Pythium*...). En effet, Alvarez *et al.* [14] ont montré que le compost augmente les activités des agents de lutte biologique et des microorganismes produisant des sidérophores, qui contribuent à l'inhibition des pathogènes telluriques [34], dans la rhizosphère des plants de tomate, en réduisant ainsi la sévérité des maladies.

Dans le même contexte, Gamliel et Stapleton [23] ont également trouvé que l'application du compost au sol après solarisation a eu un effet négatif sur la croissance et le rendement de laitue, ils ont expliqué cet effet par une décomposition plus lente du compost dans le sol en raison de la réduction des bactéries nitrifiantes après solarisation.

Les résultats présentés ont montré également que l'apport de compost à 20% a permis une protection du système foliaire des plants de tomate similaires à celle produite par un apport de 75% de compost. Le compost peut aussi réduire la sévérité des maladies causées par les pathogènes foliaires des plantes [35, 36].

Il a été montré récemment, que le compost peut améliorer l'aptitude des plantes à résister aux maladies causées par les pathogènes aussi bien telluriques que foliaires en induisant une résistance systémiques aux plantes [37-39]. Les constituants de compost responsables de cette activité induite peuvent être de nature biologique ou chimique [38].

Plusieurs organismes antagonistes aux pathogènes telluriques ont été isolés à partir des composts [40-42]. Ces constatations suggèrent que ces organismes peuvent être, au moins partiellement, responsables de la diminution de l'incidence des maladies observée sur des plants cultivés sur un substrat constitué de compost.

Chen *et al.* [43] suggèrent que l'activité microbienne élevée cause une diminution des éléments nutritifs essentiels pour la survie et la multiplication des pathogènes, empêchant ainsi l'infection de la plante hôte.

D'après Boehm *et al.* [44], bien que le compost ne stimule pas la croissance des microorganismes dans la rhizosphère, mais il affecte la composition des

espèces causant ainsi un changement au profit de certains groupes spécifiques de microorganismes, tels que les antagonistes de pathogènes [45] et/ou des groupes fonctionnels de (PGPR) rhizobactéries stimulant la croissance des plantes [46].

Les résultats révèlent également que l'augmentation de la biomasse racinaire a été assurée d'une façon très nette par l'incorporation de compost à 20% dans le substrat de culture. Ceci est en accord avec l'étude de Chen *et al.* [47] qui ont rapporté que la stimulation de la croissance des racines est généralement plus apparente que celles des pousses.

Contrairement à l'effet du compost comme amendement de substrat, qui a fait l'objet de plusieurs études dans la littérature [7, 14, 23-30], très peu de travaux ont porté sur l'effet des extraits de compost sur la croissance et le rendement des plantes.

Les résultats montrent aussi que la concentration optimale des extraits de compost varie selon le temps d'extraction mais aussi selon le mode d'application de ces extraits.

Dans les traitements en pulvérisation, les extraits de 2 j apportés à 20% ont fortement amélioré la croissance des plants de tomate, leur poids frais et secs ainsi que le nombre de fleurs et de fruits confondus, comme ils ont assuré une bonne protection des feuilles, alors que les extraits de 4 j utilisés à 10% ont plutôt favorisé la formation des racines et des feuilles.

Par contre, l'arrosage des extraits de 4 j à 20% a favorisé la biomasse totale et racinaire ainsi que le nombre de fleurs et de fruits confondus, alors que les extraits de 2 j à 20% ont amélioré la croissance et le nombre de feuilles par plant.

L'amélioration des paramètres de croissance par les extraits de compost pourrait être attribuée à l'accumulation de carbone organique dans les fractions d'acides humiques et fulviques [5, 48, 49]. Ces acides humiques peuvent influencer positivement la croissance des plantes [47, 50-52]). En effet, l'application d'acides humiques provenant d'un extrait aqueux de compost de fumier et de marc de raisin a conduit à des résultats similaires sur les racines et les pousses de melon[47].

Cet effet pourrait être dû entre autres à une amélioration de la disponibilité de la plupart des oligoéléments nutritifs suite à l'application des substances humiques. Ils divisent les raisons de l'effet bénéfique des substances humiques sur la croissance des plantes en deux classes : les effets directs (influence de la perméabilité des membranes, stimulation de la synthèse des protéines, effet hormonal, accroissement de la photosynthèse, influence des activités enzymatiques) et les effets indirects (solubilisation des oligoéléments, réduction de la toxicité de certaines molécules, stimulation de l'activité microbienne) [50].

L'extrait de compost, de par les substances humiques qu'il contient, est considéré comme un bon engrais foliaire. En effet, Chen *et al.* [47] ainsi que Pettit [7] ont rapporté que les acides humiques et fulviques en combinaison avec d'autres éléments nutritifs appliqués sur les feuilles peuvent améliorer la croissance des plantes.

Les résultats montrent que la concentration 25% des extraits améliore les paramètres de rendement mais souvent moins que 20%, ceci pourrait s'expliquer par le fait que plus la quantité de compost mélangée avec l'eau d'extraction est grande, plus le taux de microorganismes est élevé, ce qui entraîne une compétition pour l'oxygène dissout dans l'eau au cours de l'extraction, notamment pour un séjour de 4 j, et au niveau de la rhizosphère ce qui entraîne un suivi de la décomposition du compost dans le sol.

Dans ce sens, Jimenez et Garcia [53] ont rapporté que la décomposition du compost dans le sol peut causer d'une part une diminution de la concentration d'oxygène et par conséquent réduire l'espace au niveau de la rhizosphère, ce qui inhibe la respiration des racines et d'autre part, une augmentation de la solubilité des métaux lourds ce qui induit la phytotoxicité.

Cependant, malgré leur effet apparent sur les paramètres de rendement de tomate, les concentrations élevées des extraits ne permettent pas une meilleure protection des feuilles. Bien au contraire, les concentrations 25% dans les traitements par pulvérisation et 20% et 25% dans les traitements par fertigation des deux extraits entraînent une augmentation du pourcentage de feuilles présentant des nécroses, sans pour autant atteindre celui des témoins.

Ceci pourrait être expliqué par une libération excessive des éléments nutritifs, associée aux taux élevés de compost, ce qui inhibe le mécanisme d'antagonisme par compétition pour les éléments nutritifs, ou encore par la production de phytotoxines [14] qui pourraient inhiber l'approvisionnement en élément nutritifs et par conséquent la croissance des plantes [54].

## V - CONCLUSION

L'amendement du sol avec le compost à des concentrations croissantes a montré dans un premier abord que tous les substrats additionnés de compost ont amélioré les paramètres quantitatifs et surtout qualitatifs de la croissance et de rendement des plantes de tomate à des degrés variables selon la concentration du compost dans le substrat. Cet effet est dû à l'apport de la matière organique et à l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol qui ont influencé l'approvisionnement des plantes en nutriments. En effet, le compost a augmenté la capacité de rétention de l'eau, diminué la compacité du sol et apporté des populations élevées de microorganismes dans le sol.

Cependant, aucune corrélation évidente n'a été observée entre le taux d'incorporation du compost et l'influence sur ces paramètres. Bien que les

rendements les plus élevés ont été obtenus pour les taux les plus élevés de compost, une concentration de 20 % a permis d'obtenir des rendements nettement élevés et souvent similaires à ceux obtenus pour les concentrations élevées. L'amélioration du développement racinaire et végétatif des plantes a produit des plantes plus vigoureuses et résistantes aux pathogènes, même à une concentration de 20% de compost dans le sol. Par conséquent, et dans le souci d'économiser la matière organique par utilisation excessive de compost, cette concentration pourrait être retenue pour les essais de lutte biologique.

Par ailleurs, le traitement des plantes de tomate par les extraits aqueux préparés à partir de ce compost par pulvérisation des plantes et surtout par fertigation du sol a montré que ces extraits utilisés à une concentration de 20 % ont amélioré les paramètres de croissance et de rendement des plantes de tomate quelle que soit la période d'extraction. En opposition, les plantes de tomate ont été complètement protégées contre les attaques foliaires suite à leur pulvérisation ou arrosage avec les extraits de compost à une concentration de 10 %.

Par conséquent, la qualité du compost produit par le CCT de Missouri et de ses extraits aqueux en tant qu'amendements de sol et engrais des plantes a été confirmée dans cette étude. C'est une approche qui constitue une alternative prometteuse à l'emploi des engrais de synthèse, qui présente l'avantage d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols et de préserver l'environnement.

## RÉFÉRENCES

- [1]- Moughli L. Les engrais minéraux ; Caractéristiques et Utilisations. Bulletin mensuel d'information et de liaison du Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Septembre N° 72 (2000)
- [2]- Fuchs J., Galli U., Schleiss K., Wellinger A. Directives de l'ASIC : Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Document élaboré par l'Association Suisse des Installations de Compostage (ASIC) en collaboration avec le Forum Biogaz Suisse. CH-3322, Schönbühl, (2001) 11 p.
- [3]- Anonyme a Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques, Rapport sur le Secteur des Déchets Solides : Situation actuelle et perspectives de développement. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (2003).
- [4] - Soudi B., Naaman F. Compostage et valorisation du compost : *Pratiques d'une agriculture durable*. Bulletin mensuel d'information et de liaison du Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Mars N° 54(1999).

- [5] - Gobat JM., Aragno M., Matthey W. Le sol vivant Bases de Pédologie Biologie des sols. Deuxième édition, Presses polytechniques et universitaires romandes, (2003) 568 p.
- [6]- Znaïdi IE. Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Master of Science Degree Mediterranien Organic Agriculture. C.I.H.E.A.M Mediterranien Agronomic Institute of Bari, (2002) 92p.
- [7] - Pettit RE. Organic matter, humus, humic acid, fulvic acid and humin: Their importance in soil fertility and plant health [online] Humate Research and Information. Available <<http://www.humate.info>>. (2002)
- [8] - Anonyme b. Ministère de l'agriculture : Investir en agriculture, Partie II : Le Secteur Agricole (2000)
- [9] - Kenny L., Hanafi A. L'Agriculture Biologique au Maroc *Situation actuelle et perspectives futures*. Bulletin mensuel d'information et de liaison du Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Juillet N° 82 (2001).
- [10]- Anonyme c. Enda Maghreb, Environnement, Développement et Action au Maghreb – Amélioration du Cadre de Vie et de l'Environnement Urbain. Traitement alternatif et durable des déchets urbains [online] Available <<http://www.enda.org.ma>>. (2002)
- [11]- Zidane L. Etude des groupements messicoles dominés par l'avoine stérile (*Avena sterilis* L. spp. *Macrocarpa* Mo.) dans quelques régions du Maroc occidental et de la compétitivité de cette adventice vis-à-vis du blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat Es-Sciences Naturelles. Université Ibn Tofaïl, Faculté des Sciences, Kénitra, Maroc. (2004) 178 pp.
- [12]- Anonyme d Enda Maghreb, Environnement, Développement et Action au Maghreb – Rapport d'analyses du compost produit par le Centre de Co-Traitement de Missouri (2004).
- [13]- Weltzien HC.. The use of composted materials for leaf disease suppression in field crops. *Monograph. Br. Crop Protection Council*, 45 (1990) p. 115-120.
- [14]- Alvarez M. A., Gagné S. et Antoun H. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61 (1) (1995), 194–199.
- [15]- Epstein E., Taylor JM., Chaney RL. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *Journal of Environmental Quality*, 5(1976) p. 422-426.
- [16]- Khaleel R., Reddy KR., Overcash MR.. Changes in soil physical properties due to organic waste application. *Journal of Environmental Quality*, 10 (1981) p. 133-141.
- [17]- Meek B., Graham L., Donovan T. Long-term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter, and water infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*, 46 (1982) p. 1014-1019.

- [18]- Ndayegamiye A., Cote D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 69 (1989) p. 39-47.
- [19]- Dick WA., McCoy EL. Enhancing soil fertility by addition of compost p. 622-644. In Hoitink HAG., Keener HM. *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological, and Utilization Aspects*. Renaissance Publications, Worthington, OH. (1993).
- [20]- Maynard AA. Sustained vegetable production for three years using composted animal manures. *Compost Science and Utilization*, 2 (1994) p. 88-96.
- [21]- Workneh F., Van Bruggen AHC. Microbial density, composition, and diversity in organically and conventionally managed rhizosphere soil in relation to suppression of corky root of tomatoes. *Applied Soil Ecology*, 1 (1994) p. 219-230.
- [22]- Fuchs J. Le coût de qualité au service de la santé des plantes. *Alter Agri*, Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 61 (2003) p. 7-9.
- [23]- Gamliel A., Stapleton JJ. Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease*, 77 (1993) p. 886-891.
- [24]- Abbasi PA., Al-Dahmani J., Sahin F., Hoitink HAJ., Miller SA. Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. *Plant Disease*, 86 (2002) p. 156-161.
- [25]- Steffen KL., Dann MS., Fager K., Fleischer SJ., Harper JK. Short-term and long-term impact of an initial large-scale SMS soil amendment on vegetable crop productivity and resource use efficiency. In *Environmental Agricultural and Industrial uses for spent mushroom substrates*. Edit. Wuest *et al.*. Pub. JG Press, Emmaus, US. (1995).
- [26]- Cook JA., Keeling AA., Bloxham PF. Effect of green waste compost on yield parameters in spring barley (*Hordeum vulgare*) v. Hart. *Acta Horticulturae*, 467 (1998)p. 283-286.
- [27]- McCallum KR., Keeling AA., Beckwith CP., Kettlewell PS. Effects of green waste compost on spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Avans) emergence and early growth. *Acta Horticulturae*, 467(1998) p. 313-318.
- [28]- Senay O., Kleinhenz MD. Influence of compost application and variety on yield and quality variables of organically grown edamame, lettuce, processing tomato and potato. *Report prepared for ohio agricultural research and development center Wooster, Ohio*. (2004).
- [29]- Bullock LR. III, Ristaino JB. Effect of synthetic and organic soil fertility amendments on southern blight, soil microbial communities, and yield of processing tomatoes. *Phytopathology*, 92 (2002) p. 181-189.



- [30]- Baldoni G., Cortellini L., Dal Re L., Toderi G. The influence of compost and sewage sludge on agricultural crops. In De Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B., Papi T. *The Science of composting*. Blackie Academic & Professional, Glasgow, London. (1996) p. 430-438.
- [31]- Togun AO., Akanbi WB., Adediran JA.. Growth, nutrient uptake and yield of tomato in response to different plant residue composts. Food, Agriculture & Environment, *WFL Publisher Science and Technology*. Vol.2 (2004) (1) p. 310-316
- [32]- Stamatiadis S., Werner M., Buchanan M. (1999). Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California). *Applied Soil Ecology*, 12 p. 217-225.
- [33]- Chen Y., Inbar Y. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. In Hoitink HAJ., Keener HM. *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological, and Utilization Aspects*. Renaissance Publications, Worthington, OH (1993).
- [34]- Leong J. Siderophores: Their Biochemistry and possible role in the biocontrol plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 24 (1986) p. 187-209.
- [35]- Tränkner A. Use of agricultural and municipal organic waste to develop suppressiveness to plant pathogens. In Tjamos EC., Papavizas GC., Cook RJ. *Biological Control of Plant Diseases. Plenum Press, New York*, (1992). p: 35-42.
- [36]- Miller SA., Sahin F., Krause M., Al-Dahmani J., Stone A., Hoitink HAJ. (1997). Control of bacterial leaf spot of radish in compost-amended planting mixes. (Abstr.) *Phytopathology* 87 p. 66.
- [37]- Zhang W., Hoitink HAJ. Dick WA. Compost induced-systemic acquired resistance in cucumber to *Pythium* root rot and anthracnose. *Phytopathology*, 86(1996) p. 1066-1070.
- [38]- Zhang W., Han DY., Dick WA., Davis KR., Hoitink HAJ. Compost and compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and *Arabidopsis*. *Phytopathology* 88 (1998)p. 450-455.
- [39]- Han DY., Coplin DL., Bauer WD., Hoitink HAJ. A rapid bioassay for screening rhizosphere microorganisms for their ability to induce systemic resistance. *Phytopathology*, 90 (2000) p. 327-332.
- [40]- Kuter GA., Nelson EB., Koitink HAJ., Madden LV. Fungal populations in container media amended with composted hardwood bark suppressive and conducive to *Rhizoctonia* damping-off. *Phytopathology*, (1983) 73 p. 1450-1456.
- [41]- Nelson EB., Hoitink HAJ. The role of microorganisms in the suppression of *Rhizoctonia solani* in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology*, 73 (1983) p. 274-278.
- [42]- Kwok OCH., Fahy PC., Hoitink HAJ., Kuter GA. Interactions between bacteria and *Trichoderma hamatum* in suppression of *Rhizoctonia* damping-off in bark compost media. *Phytopathology*, 77(1987) p. 1206-1212.

- [43]- Chen W., Hoitink HAJ., Schmitthenner AF., Tuovinen OH. (1988). The role of microbial activity on the suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, 78 p. 314-322.
- [44]- Boehm MJ., Madden LV., Hoitink HAJ. Effect of organic matter decomposition level on bacterial species diversity and composition in relationship to *Pythium* damping-off severity. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59 (1993) p. 4171-4179.
- [45]- Chen W., Hoitink HAJ., Schmitthenner AF. Factors affecting suppression of *Pythium* damping-off in container media amended with composts. *Phytopathology*, 77 (1987) p. 755-760.
- [46]- Pera A., Vallini G., Sireno I., Bianchin ML., de Bertoldi M. Effect of organic matter on rhizosphere microorganisms and root development of sorghum plants in two different soils. *Plant Soil*, 74(1983) p. 3-18.
- [47]- Chen Y., Magen H., Riov J. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. In Senesi N., Miano TM. Elsevier Science, Amsterdam. *Humic substances in the global environment and implications on human health*, (1994) p. 427-445..
- [48]- Chen Y., Chefetz B., Hadar Y. Formation and properties of humic substance originating from composts. In de Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B., Papi T. *The science of composting: part 2*, (1996) p. 382-393.
- [49]- Zinati GM., Li YC., Bryan HH. Utilization of compost increase organic carbon and its humin, humic and fulvic acid fractions in calcareous soil. *Compost Science and Utilization*, 9 (2001) p.156-162.
- [50]- Chen Y., Aviad T Effects of humic substances on plant growth. In MacCarthy P., Clapp CE., Malcom RL., Bloom PR. *Humic substances in soil and crop sciences*, American Soil Science Society, Madison, Wisconsin. . (1990) p. 161-186
- [51]- Avnimelech Y., Chen A., Shkedy D. Can we expect a consistent efficiency of municipal waste compost application? *Compost Science and Utilization*, 1(1993) p. 7-14.
- [52]- Hoitink HAJ., Boehm MJ., Hadar Y Mechanisms of suppression of soilborne plant pathogens in compost-amended substrates. In Hoitink HAJ., Keener HM. *Science and engineering of composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization aspects*, Renaissance Publications, Worthington, Ohio. (1993) p. 601-621.
- [53]- Jimenez EL., Garcia VP. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 38(1992) p. 331-343.
- [54]- Lynch JM. The rhizosphere, In Burns RG., Slaters JM. *Experimental microbial ecology*. Blackwell Scientific Publications, London. (1982). p. 395-411.