

**INHIBITION DE *SCLEROTIUM ROLFSII* SACC.
(CORTICIACEAE), AGENT CAUSAL DE LA
POURRITURE DU COLLET DE LA TIGE DE LA
TOMATE (SOLANACEAE), PAR *XYLOPIA
AETHIOPICA* (DUNAL) A. RICH (ANNONACEAE)
ET *TRICHODERMA* SP.**

Bolou Bi Bolou Antoine

Laboratoire d'Agrophysiologie et Pathologie Végétale, UFR Biosciences,
Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouakou Tanoh Hilaire

Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, UFR des
Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouame Gaston Koffi

Kassi Fernand

Tuo Seydou

Cherif Mamadou

Lezin Bomisso

Kone Daouda

Laboratoire d'Agrophysiologie et Pathologie Végétale, UFR Biosciences,
Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Tomato (*Solanum esculentum* Mill) is one of the most consumed in the world with a production of 124 million tons of vegetables. However, the growth of this culture runs into constraints to plant health. To find alternatives to synthetic fungicides which represent the means of control used by most gardeners, a study was conducted on the extracts (essential oils and powders of fruits and leaves) of *Xylopiya aethiopyca* (Dunal) A . Rich. (Annonaceae) and two synthetic fungicides (Banko-plus and mancozebe) to test their antifungal potency of *Sclerotium rolfsii*. Fifteen isolates of *Trichoderma* sp. are also used for quality antibiotic and fertilizer for crops. At the end of the *in vitro* tests, it was revealed that the essential oil of fruits was higher than the other extracts on mycelial growth of *Sclerotium rolfsii* inhibition rate. Four isolates with the best attitudes to mycelial growth were used for *in vivo* testing. After *in vivo* assays, the essential oil of fruits and the

9th isolate of *Trichoderma harzianum* showed a good return on the growth parameters of tomato. The powdered fruit of *Xylopiya aethiopicica* also showed a good response to the incidence of the disease. The impact of the higher disease was 10.66 for the fruit powder and 5.96 for the essential oil of the fruit. This study offers the possibility of using essential oils and powdered fruit of *Xylopiya aethiopicica* in strategies to control *Sclerotium rolfsii*.

Keywords: Biocontrol, Pathogenicity, *Solanum lycopersicum*, *Sclerotium rolfsii*, Tomato, *Trichoderma*, *Xylopiya aethiopicica*

Résumé

La tomate (*Solanum esculentum* Mill) représente l'un des légumes les plus consommés au monde. Cependant, la croissance de cette culture se heurte à des contraintes d'ordre phytosanitaire. En vue de trouver des méthodes alternatives aux fongicides de synthèse qui représentent le moyen de lutte le plus utilisé par les maraîchers en Côte d'Ivoire, une étude a été menée sur les extraits (huiles essentielles et poudres des fruits et des feuilles) de *Xylopiya aethiopicica* (Dunal) A. Rich. et deux fongicides de synthèse (Banko-plus et Mancozèbe) pour tester leur pouvoir antifongique sur *Sclerotium rolfsii*. Quinze isolats de *Trichoderma* sp sont aussi utilisés pour leur qualité d'antibiotique et de fertilisant pour les cultures. A l'issu des essais *in vitro*, les résultats ont montré que l'huile essentielle des fruits a un taux d'inhibition plus élevé que les autres extraits sur la croissance mycélienne de *Sclerotium rolfsii*. Quatre isolats ayant eu les meilleurs comportements face à la croissance mycélienne ont été utilisés pour le test *in vivo*. Au terme des essais *in vivo*, l'huile essentielle des fruits et l'isolat 9 de *Trichoderma harzianum* ont montré un bon rendement sur les paramètres de croissance de la tomate. L'incidence de la maladie la moins élevée a été de 10,66 pour la poudre des fruits et de 5,96 encore inférieure pour l'huile essentielle des fruits. Cette étude offre la possibilité d'utilisation des huiles essentielles et de la poudre des fruits de *Xylopiya aethiopicica* et des isolats de *Trichoderma* sp dans les stratégies de contrôle de *Sclerotium rolfsii*.

Mots clés : Lutte biologique, Pathogénéité, *Solanum lycopersicum*, *Sclerotium rolfsii*, Tomate, *Trichoderma* , *Xylopiya aethiopicica*

Introduction

La microflore et la microfaune telluriques utiles et nuisibles sont très importantes et diversifiées à différents niveaux dans le sol. La plupart de celles-ci sont utiles, bien que d'autres constituent de véritables ennemis et entravent le développement de la plante et de son système racinaire. Certains agents telluriques phytopathogènes sont responsables d'importantes pertes de

récoltes en occasionnant diverses maladies dont : la pourriture des semences, la fonte des semis, la pourriture racinaire et le flétrissement des plantes etc. (Agrios, 1988 ; Anonyme 1, 1992). Les pertes moyennes occasionnées par les microorganismes nuisibles sur les racines sont estimées à environ 15% de la production agricole (Agrios, 1988) et, dans le cas de complexe d'agents pathogènes, ces pertes vont jusqu'à 60% (Sippell *et al.*, 1985). Ainsi, les producteurs ont souvent recours à un arsenal de pesticides (Lumsden et Lewis, 1989 ; Jarvis, 1993 ; Ole-Becker et Schwinn 1993) et de fumigants (Chet et Baker, 1981 ; Larkin et Fravel, 1998) avec souvent des effets secondaires sur l'environnement et les organismes utiles parce que ces produits sont non sélectifs (Besnard et Davet, 1993 ; De Waad *et al.*, 1993 ; Jarvis, 1993). Par conséquent, la politique de produire en vue de réduire l'usage des produits phytosanitaires devient un enjeu primordial dans le souci de mieux préserver la nature et limiter l'accumulation des résidus dans les récoltes (Chèvre, 2004). Aujourd'hui, les moyens chimiques de lutte en maraîchage contre les agents pathogènes du sol correspondent d'après Chellemi (2002) à une « single tactic approach for pathogens management ». C'est-à-dire une tactique dont le but est de se prévenir de parasites éventuels, voire de lutter de façon générale contre toute une gamme d'agents pathogènes déjà présents.

En Côte d'Ivoire, la production des cultures maraîchères a connu un essor dans les années 1970. Toutefois, cette production ne peut pas actuellement satisfaire les besoins des consommateurs (Anonyme 2, 2007). Parmi ces cultures, la tomate (*Solanum lycopersicum*) est beaucoup développée dans les zones urbaines et périurbaines. Sa productivité est fortement limitée par *Sclerotium rolfsii* l'un des parasites telluriques fongiques les plus contraignants à la culture des solanacées à travers le pays (Rose *et al.*, 2003 ; Soro *et al.*, 2008). La lutte contre *Sclerotium rolfsii* est difficile à cause du mode de conservation du champignon dans le sol sous forme de sclérotés. Compte tenu aussi de la manifestation tardive des attaques, il est difficile de prévoir les traitements. Malgré le développement de cultivars résistants à ces agents pathogènes, la lutte contre les champignons telluriques se résume à des mesures prophylactiques et à l'usage de pesticides de synthèse. De plus, leur utilisation suscite actuellement de nombreuses inquiétudes tant au niveau de la santé humaine, de l'environnement que de l'apparition de souches résistantes et de la présence des résidus dans les fruits à la récolte (Ozbay, 2004). Pour réduire les effets de la lutte chimique dans les agroécosystèmes, l'utilisation de la lutte biologique comme méthode alternative s'avère primordiale car salvatrice de la santé des producteurs, des consommateurs et de l'environnement (Punja et Raymond, 2003 ; Rose *et al.*, 2003).

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la lutte contre la pauvreté par l'accroissement des rendements de la culture de tomate en zone urbaine et périurbaine en utilisant la lutte biologique comme alternative de lutte contre la pourriture sèche de la tomate provoquée par *Sclerotium rolfsii*. L'objectif est de réduire l'utilisation des fongicides de synthèse comme le bromure de méthyle, un fongicide à large spectre d'action qui est aussi un gaz à effet de serre. Il s'agit dans ce travail de tester des extraits (huiles essentielles et poudres) de *Xylopiya aethiopica* et les actions prédatrices et régulatrices de croissance des souches de *Trichoderma* sp sur *Sclerotium rolfsii*, agent pathogène responsable de la pourriture sèche de la tomate.

Matériel et méthodes

Cultivar de tomate

L'évaluation *in vivo* de l'activité antifongique des substances naturelles d'origine végétale s'est effectuée sur la variété Tropimech de la tomate (*Solanum lycopersicum*). Les graines ont été achetées à Semivoire à Abidjan (Côte d'Ivoire).

Matériel de lutte biologique

Le matériel de lutte biologique est constitué d'extraits de poudre des fruits et des feuilles de *Xylopiya aethiopica*. Cette plante se rencontre dans toutes les zones tropicales de l'Afrique et à l'état sauvage sur tout le territoire de la Côte d'Ivoire (Adjanohoun et Aké- Assi, 1979). Les fruits matures contenant des graines noires et des feuilles ont été récoltés à Bingerville puis séchés à l'ombre à la température ambiante pendant une semaine. Ils ont été ensuite rendus en poudres grâce à un mixeur. Les graines séchées et des feuilles fraîches sont utilisées pour extraire l'huile essentielle par hydrodistillation avec le dispositif de Clevenger pendant 3 h.

Matériel fongique

Sclerotium rolfsii a été le champignon pathogène utilisé dans cette étude. Il a été isolé sur des plants malades de tomate prélevés à Songon (Dabou) présentant des symptômes de flétrissement et de mycélium blanc au collet (Figure 1). Les souches de *Trichoderma* sp. (15 espèces) proviennent de la mycothèque du Laboratoire de Physiologie Végétale de l'Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire). Ils ont été maintenus sur le milieu PDA (Potatoes Dextrose Agar) par des subcultures.



Figure 1: Feuilles et fruits immatures (A) ; fruits secs (B) de *Xylopiya aethiopica*



Figure 2: Matériel fongique

A, mycélium de *Sclerotium rolfsii* au collet d'un pied de tomate malade ; B, mycélium de *Trichoderma* sp. dans une boîte de Pétri

Fongicides de synthèse

Pour évaluer l'action de certaines matières actives de synthèse sur la croissance mycélienne et sur la virulence des champignons étudiés, le Banko-plus (Chlorothalonil + carbendazime et l'Ivoir 80 (Mancozèbe) ont été utilisés. Ces fongicides de synthèse ont été achetés à Callivoire (Abidjan, Côte d'Ivoire).

Evaluation de la pathogénicité de *Sclerotium rolfsii*

Obtention du champignon

Le pathogène a été isolé à partir des plants de tomate malades. Les boîtes de Pétri contenant le milieu PDA ont été ensemencées par un sclérote ou cinq explants par boîte. Les colonies fongiques produites autour de l'explant sont prélevées pour le repiquage dans de nouvelles boîtes de Pétri. L'extrémité du mycélium est prélevée et transférée sur un nouveau milieu de culture dans des boîtes de Pétri stériles. Le champignon (Figure 3) est ensuite conservé dans la mycothèque du Laboratoire de Physiologie Végétale à l'Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire) sur le milieu PDA.

Obtention de plants de tomate pour l'inoculation

Les graines ont été mises à germer dans des plateaux alvéolés de 77 à 100 trous remplis de terre stérile. Le repiquage des plantules a été effectué lorsque celles-ci ont atteint l'âge d'un mois après le semis dans des pots de polyéthylène perforés à la base. Les plants ont ensuite été inoculés par le champignon et la pathogénicité a été évaluée 30 jours après l'inoculation.

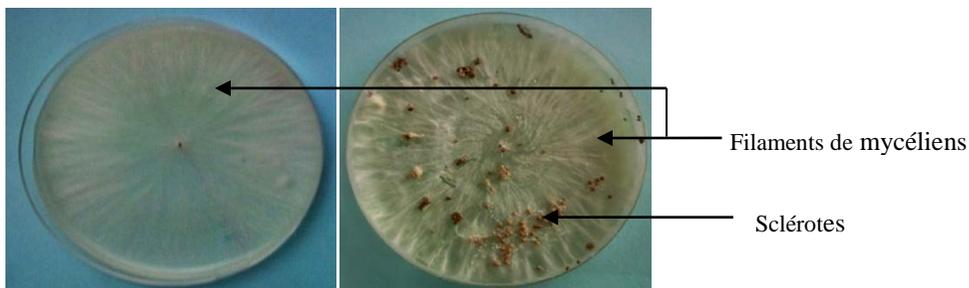


Figure 3: Mycélium de *Sclerotium rolfsii* sur le milieu PDA
A, âgé de quatre jours ; E, formation de sclérotés de 30 jours

Test de la virulence de la souche de *Sclerotium rolfsii*

Douze plants de tomate âgés de 30 jours ont été inoculés par le champignon. Dix sclérotés ont été mis deux à deux dans cinq trous sous la forme d'un pentagone à 2 cm autour des plants. Les sclérotés sont mis à 1 cm de profondeur et refermés de terre. Les plants sont arrosés chaque matin à l'aide d'une pissette. Après deux semaines d'incubation, l'apparition de mycélium et de sclérotés sur certains plants a montré l'agressivité de la souche.

Les plants sains de tomate ont été inoculés par des sclérotés. Les plants ont été cultivés dans des boîtes en polyéthylène. Cinq lots de douze plants de tomates ont été inoculés respectivement par 1, 5, 10, 20 ou 50 sclérotés. Douze autres plants de tomate sains n'ont pas été inoculés et ont servi de témoin.

Pour évaluer l'impact du nombre de sclérotés sur la croissance des plants, des mesures de la hauteur, du nombre de feuilles et du diamètre des plants ont été effectuées chaque semaine. Les plants ont ensuite été récoltés 60 jours après le repiquage et mis à l'étuve à 37°C pendant sept jours. La masse sèche des plants a été enfin évaluée.

Effet des huiles essentielles de *Xylopiya aethiopica* sur la croissance mycélienne de *Sclerotium rolfsii*

Les huiles essentielles des fruits et des feuilles sont utilisées aux concentrations de 50, 100, 200, 250 et 500 µL/L pour amender les milieux de culture de champignon. L'ensemble des boîtes témoins et essais a été incubé à 28°C pendant 96 h, délai requis pour la croissance maximale du pathogène. Le diamètre de croissance des champignons est ensuite mesuré quotidiennement dans les différentes boîtes. Le taux d'inhibition a été calculé selon la formule de Hmouni *et al.* (1996):

$$\text{Taux d'inhibition (\%)} = \frac{(C_0 - C_n)}{(C_0)} \times 100$$

Avec C_n = diamètre moyen des colonies en présence du fongicide ou de l'huile essentielle et C_o =diamètre moyen des colonies témoins.

L'activité fongicide est effective lorsque pour une concentration donnée aucune reprise de croissance mycélienne n'a été observée au terme des quatre jours. La sclérote est reprise et déposée sur un milieu de culture PDA ne contenant aucune huile puis mise dans les mêmes conditions d'incubation décrites comme ci-dessus. Le produit est dit fongicide lorsqu'au bout de quatre jours, la sclérote ne reprend pas sa croissance. Dans le cas contraire, le produit est dit fongistatique.

Effet des souches de *Trichoderma* sp. sur la croissance des plants de tomate

Des spores de *Trichoderma* ont été ajoutées au substrat de terre stérile. L'inoculum est de 10^8 spores quantifié grâce à une lame de Malassez. Le premier essai test a consisté à mettre l'inoculum de *Trichoderma* dans le substrat de terre pendant une semaine avant l'inoculation de *Sclerotium rolfsii*. Dans le second test *Sclerotium rolfsii* est inoculé une semaine avant l'ajout de spores de *Trichoderma* sp à la concentration de 10^8 spores. Douze plants de tomate ont été ensuite repiqués sur les différents substrats pendant 30 jours.

Effet des extraits de poudres et des huiles essentielles de *Xylopiya aethiopica* sur l'incidence de la maladie

a. Préparation du substrat pour le repiquage des plants

L'inoculum a été constitué de 25 sclérotés. Environ 16,5 g d'extrait de poudre des fruits et 33 g d'extrait de poudre des feuilles ont été utilisés. Les poudres ont été mélangées à 500 g de la terre stérile puis incubé à 37 °C pendant une semaine. Ensuite un autre mélange de terre avec 125 et 250 μ L/L des huiles essentielles et des fongicides chimiques (Banko-plus et Ivoiry 80) a été aussi réalisé. Chaque mélange est incubé comme ci-dessus. Quatre traitements ont été effectués au cours de cette étude. Le premier traitement n'a reçu aucun additif et a constitué le témoin. Dans le deuxième traitement, le fongicide ou le biofongicide a été ajouté au substrat de culture. Le troisième traitement est identique au deuxième traitement mais avec un amendement de 25 sclérotés par pot de plant. Enfin dans le quatrième traitement, le substrat de terre stérile est inoculé avec la même quantité de sclérotés que précédemment.

b. Inoculation et repiquage des plants

Neuf plants de tomate âgés de 30 jours utilisés par répétition élémentaire sont repiqués dans le substrat. Les plants ont été arrosés une fois par jour pendant 60 jours après le repiquage. L'évaluation des symptômes est

réalisée en se basant sur une échelle de notation de symptômes proposée par Vakalounakis et Fragakiadakis (1999) :

- 0 : plante saine ;
- 1 : léger jaunissement, légère pourriture du pivot et des racines secondaires et pourriture du collet ;
- 2 : jaunissement des feuilles avec ou sans flétrissement ou rabougrissement des plantes, pourriture importante du collet et brunissement des vaisseaux de la tige ;
- 3 : mort de la plante.

L'incidence de la maladie est calculée selon la formule suivante (Song *et al.*, 2004) :

$$\frac{\sum \text{Valeurs} \times \text{Nombres de plants infectés}}{\text{Valeur la plus élevée} \times \text{Nombre total de plants}} \times 100$$

Le dispositif expérimental utilisé pour cet essai est un bloc de Fisher complètement randomisé.

Analyses statistiques

Les données recueillies ont été soumises à une analyse statistique à l'aide du logiciel Statistica 7.1. Une analyse post ANOVA a été effectuée en utilisant le test de Newman-Keuls au seuil de 5% pour la comparaison de moyennes.

Resultats

Virulence de la souche de *Sclerotium rolfsii*

Le test de la virulence de la souche de *Sclerotium rolfsii* a été effectué à l'aide des sclérotés qui sont des organes de conservation de l'agent pathogène. Cette étude est importante car elle permet de connaître l'état d'agressivité de la souche qui pourrait être non virulente ou en dormance. L'apparition du mycélium et des sclérotés sur les plants de tomates a montré que la souche utilisée est agressive c'est-à-dire virulente (Figure 4).



Figure 4: Manifestation de l'action pathogène de *Sclerotium rolfsii* sur les plants de tomate infectés

A, absence de mycélium sur un plant témoin ; B, présence de mycélium de *Sclerotium rolfsii* au collet d'un pied infecté de tomate ; a, mycélium et début de la formation des sclérotés au collet au collet

Effet du nombre de sclérotés sur la manifestation des symptômes de la maladie

L'apport de sclérotés au substrat de culture n'a pas eu d'incidence significative sur le nombre de feuilles, le diamètre radial et la hauteur des plants de tomate traités comparé aux témoins. Les premiers symptômes ont été observés deux semaines après le repiquage des plants. Deux mois plus tard les derniers plants sont infectés. Des formes de lésions aqueuses de couleurs brun-clair sur la tige ou au niveau du collet sont suivies par la prise en masse du mycélium de couleur blanchâtre. Deux à trois jours plus tard, les sclérotés de couleur blanche au début puis brun-noirâtre en maturité se sont formées au collet des plants de tomates cultivés. La maladie débute par le jaunissement des feuilles âgées qui se généralise quelques jours plus tard à tout le système foliaire. La pourriture de la tige commence par le collet et la plante se dessèche totalement en quelques jours.

Activités antifongiques des huiles essentielles de *Xylopia aethiopica* et de quelques fongicides de synthèse

L'évaluation de l'activité des différentes concentrations des huiles essentielles et des fongicides de synthèse repose sur le calcul des taux d'inhibition de la croissance mycélienne du pathogène. Ces différentes croissances du mycélium de l'agent pathogène sont illustrées aux figures 5 et 6. L'évolution du mycélium aux différentes concentrations est plus distincte. Elle est plus importante sur le milieu de culture amendé d'huiles essentielles de feuilles de *Xylopia aethiopica* que celles provenant des fruits. Aux concentrations de 200, 250 et 500 $\mu\text{L/L}$, les croissances mycéliennes sont plus réduites sur les milieux de culture amendés de Mancozèbe que de Banko-plus. Le taux d'inhibition de la croissance mycélienne de *Sclerotium rolfsii* par les huiles essentielles des feuilles ou des fruits comparé à celui des deux fongicides de synthèse (Mancozèbe et Banko-plus) est consigné dans le tableau 1. Le taux d'inhibition varie en fonction des concentrations d'huiles essentielles, des fongicides (bio ou synthèse) ainsi que des jours. Le pouvoir inhibiteur des extraits et des fongicides de synthèse diminue avec les jours. Au premier jour, Banko-plus et Mancozèbe ont eu un taux d'inhibition de 100 %, de même que l'huile essentielle des fruits.

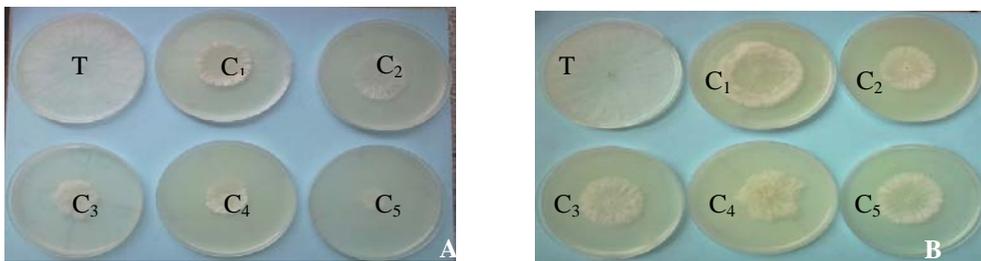


Figure 5: Croissance *in vitro* du mycélium de *Sclerotium rolfsii* en présence d’huiles essentielles de *Xylopiya aethiopica*
Feuille (A) ; Fruit (B) ; Témoin (T) ; C1= 50 µL/L ; C2 = 100 µL/L ; C3 = 200 µL/L
C4 = 250 µL/L ; C5 = 500 µL/L

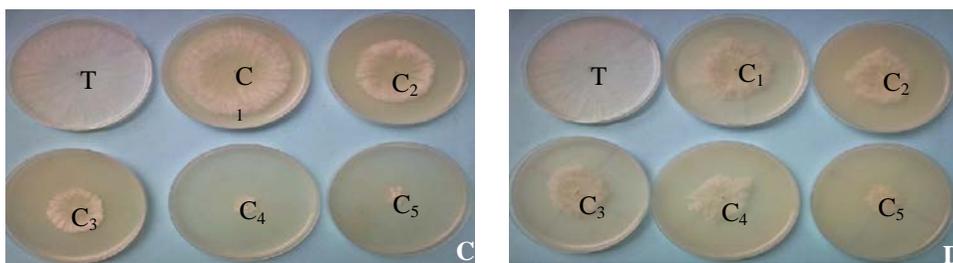


Figure 6: Croissance *in vitro* du mycélium de *Sclerotium rolfsii* en présence de fongicides de synthèse
Mancozèbe (C) ; Banko-plus (D) ; Témoin (T) ; C1= 50 µL/L ; C2 = 100 µL/L ; C3 = 200 µL/L ; C4 = 250 µL/L ; C5 = 500 µL/L

En revanche, l’huile essentielle des feuilles n’a eu qu’un taux d’inhibition de 49,60 % au premier jour avec la concentration de 50 µL/L. Le taux d’inhibition de l’huile essentielle des feuilles est significativement inférieur à ceux de l’huile essentielle des fruits et aussi des deux témoins positifs (Mancozèbe et Banko-plus) aux différentes concentrations 50, 100, 200 et 250 µL/L. L’huile essentielle des fruits présente le taux d’inhibition le plus significatif (83,70 %) au quatrième jour avec la concentration de 500 µL/L. Le fongicide de synthèse Banko-plus a présenté le taux d’inhibition le plus élevé sur la croissance mycélienne de *Sclerotium rolfsii*. L’huile essentielle des fruits de *Xylopiya aethiopica* a par contre été le meilleur biofongicide au cours de cette étude *in vitro*.

Tableau 1 : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne de *Sclerotium rofsii* par les huiles essentielles de *Xylopia aethiopica*, le Mancozèbe et le Banko-plus

Extraits et fongicides	Conc. ($\mu\text{L}/\text{L}$)	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	
Huile essentielle	Feuille	50	49,60 \pm 4,47 f	26,39 \pm 2,78 p	15,83 \pm 1,67 g	4,44 \pm 1,28 s
		100	57,14 \pm 7,14 e	34,72 \pm 2,78 o	27,50 \pm 0,00 fg	13,33 \pm 1,28 r
		200	65,83 \pm 4,87 d	36,11 \pm 1,39 n	40,00 \pm 2,50 de	16,30 \pm 0,74 q
		250	80,95 \pm 5,95 c	63,89 \pm 1,39 m	56,67 \pm 2,20 cd	51,85 \pm 0,74 m
		500	89,29 \pm 3,00 b	76,39 \pm 1,39 l	66,67 \pm 1,67 ab	71,85 \pm 1,48 g
	Fruit	50	100 \pm 0,00 a	79,17 \pm 2,41 k	65,83 \pm 4,17 ab	48,89 \pm 2,22 o
		100	100 \pm 0,00 a	80,55 \pm 1,39 j	71,67 \pm 1,67 ab	49,62 \pm 2,96 n
		200	100 \pm 0,00 a	90,28 \pm 2,78 f	75 \pm 1,44 ab	71,85 \pm 0,74 g
		250	100 \pm 0,00 a	93,06 \pm 3,67 d	89,17 \pm 1,67 ab	81,48 \pm 1,48 b
		500	100 \pm 0,00 a	94,44 \pm 3,67 c	90,83 \pm 2,20 ab	83,70 \pm 2,67 a
Mancozèbe	50	100 \pm 0,00 a	76,39 \pm 3,67 l	53,33 \pm 2,20 de	43,70 \pm 1,96 p	
	100	100 \pm 0,00 a	88,89 \pm 1,39 g	74,17 \pm 3,00 ab	53,33 \pm 3,84 l	
	200	100 \pm 0,00 a	91,67 \pm 0,00 e	79,17 \pm 0,83 ab	67,41 \pm 1,48 i	
	250	100 \pm 0,00 a	95,83 \pm 4,17 b	87,50 \pm 5,00 ab	73,33 \pm 4,63 f	
	500	100 \pm 0,00 a	97,22 \pm 1,39 a	90,00 \pm 1,44 ab	77,03 \pm 1,96 d	
Banko- plus	50	100 \pm 0,00 a	86,11 \pm 1,39 i	77,5 \pm 1,44 ab	58,52 \pm 1,48 k	
	100	100 \pm 0,00 a	87,50 \pm 0,00 h	78,33 \pm 0,83 ab	62,96 \pm 1,48 j	
	200	100 \pm 0,00 a	91,67 \pm 2,40 e	82,50 \pm 2,89 ab	71,11 \pm 1,28 h	
	250	100 \pm 0,00 a	95,83 \pm 2,40 b	83,33 \pm 1,67 ab	75,55 \pm 1,28 e	
	500	100 \pm 0,00 a	97,22 \pm 2,78 a	94,17 \pm 0,83 a	80,74 \pm 0,74 c	

Les valeurs affectées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman-Keuls) dans une même colonne ; conc : concentration

Culture pure des souches de *Trichoderma* sp.

Les différentes souches de *Trichoderma* sp. qui nous ont été données sont purifiées sur le milieu PDA (Figure 7). L'aspect des thalles est filamenteux pour les isolats 1 et 2 de *T. harzianum* mais floconneux pour le reste des isolats de *T. harzianum* et même de *T. virens*.

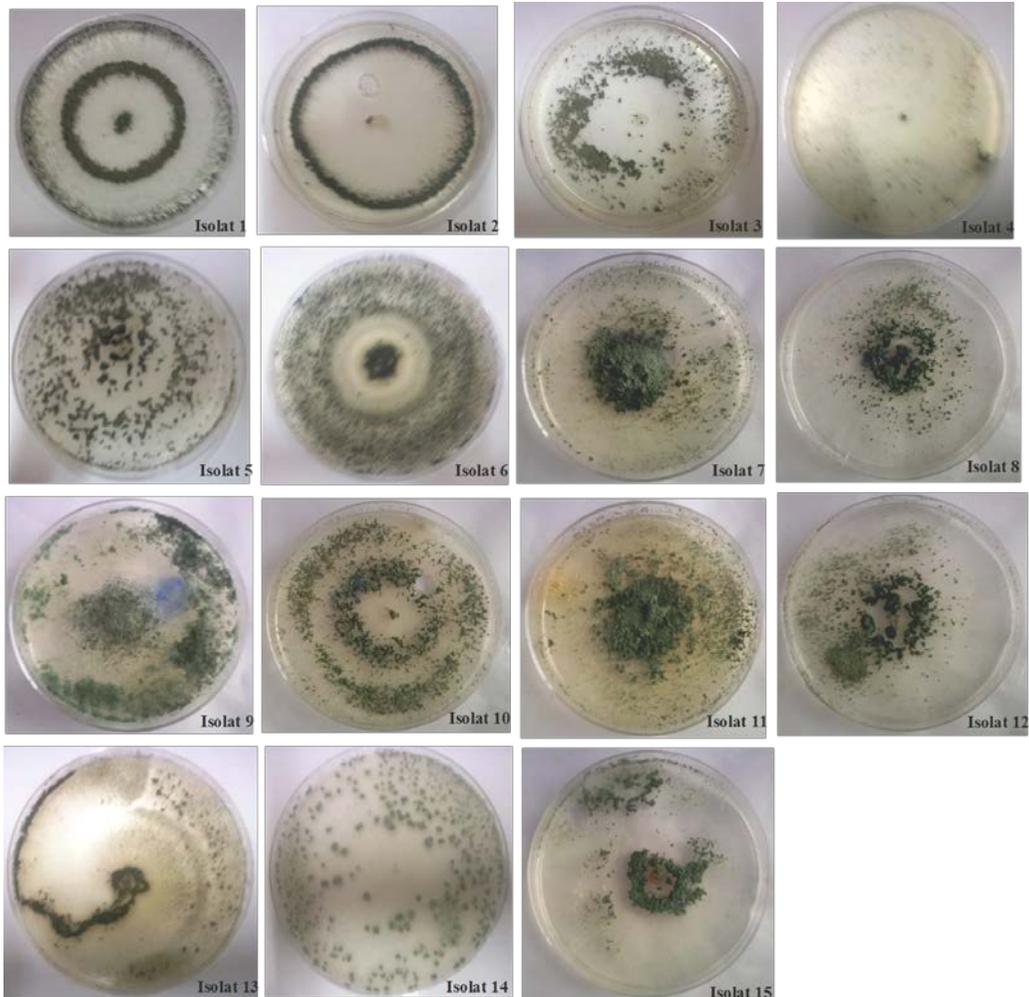


Figure 7: Aspects des colonies de différents isolats de *Trichoderma* sp sur milieu PDA

Isolat 1-12, *Trichoderma harzianum* ; Isolat 13-15, *Trichoderma virens*

Activité antagoniste *in vivo* de *Xylopiya aethiopica* et de *Trichoderma* sur les paramètres morphologiques des plants de tomate inoculés par *Sclerotium rolfii*

Les taux d'inhibition de *Sclerotium rolfii* par les souches de *Trichoderma* sp a permis de classer les différentes souches en cinq classes

(Figure 8). *T. virens* 1 et *T. harzianum* 10 qui sont de classe 1, la classe ayant la plus petite moyenne, ont eu respectivement une inhibition de -0,08 et 2, 50 %. Le taux d'inhibition négatif montre *Sclerotium rolfsii* peut croître fortement en présence de cette espèce. *T. harzianum* 11 est seule dans sa classe avec une inhibition de 17,20 %. Le taux d'inhibition de cette espèce est le quart de celui de l'espèce la plus inhibitrice. Les isolats 5 ; 4 et 1 sont aussi d'une même classe et ont inhibé la croissance mycélienne de la souche de *S. rolfsii* respectivement de 23,42, 24,93 et 27,36 %. La quatrième classe est constituée des isolats de *T. harzianum* 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12 et de *T. virens* 3, leur taux d'inhibition varie de 38,65 à 46,56 %.

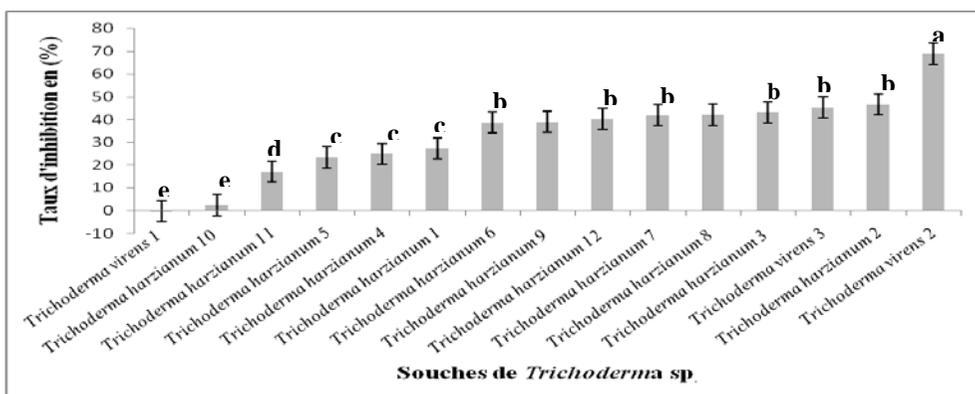


Figure 8: Taux d'inhibition de *Sclerotium rolfsii* en fonction des différentes souches de *Trichoderma* sp

Les valeurs surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

L'isolat *T. virens* 2 est la seule souche qui a eu un taux d'inhibition supérieur à 50 %. Il est le meilleur isolat avec un taux d'inhibition de 68, 95 % dans cette étude *in vitro*. La figure 9 montre le mycoparasitisme des isolats de *T. harzianum* vis-à-vis de *Sclerotium rolfsii*. L'action mycoparasitaire se traduit par une colonisation totale de la souche de *S. rolfsii*. Aussi l'action de la compétition nutritionnelle et de l'espace des souches de *T. harzianum* 7 et 8 est démontrée par une occupation importante de la boîte de Pétri que l'agent pathogène. Par contre des souches comme *T. harzianum* 1 et 11 ont été colonisées totalement par la souche de *Sclerotium rolfsii*.

Effet des extraits de *Xylopi aethiopica*, et des fongicides de synthèse et *Trichoderma* sp. sur les paramètres morphologiques des plants de tomate

L'effet de différentes concentrations de poudre et d'huile essentielle de feuilles et de fruits de *Xylopi aethiopica*, de fongicides de synthèse et

l'inoculation des racines des plants de tomate par les suspensions sporales de *Trichoderma* sp. sur quelques paramètres morphologiques chez la tomate est mentionné au tableau 2. Les résultats ont montré que la souche 9 de *T. harzianum* a induit la meilleure réponse de stimulation des paramètres de croissance des plants de tomate. En effet, les plants inoculés par cette souche ont montré une meilleure croissance axiale (hauteur des tiges) et une meilleure genèse des feuilles. De même, les mesures iso-diamétrales, les masses fraîches des tiges et des racines ont été plus importante que celles des autres lots. Les huiles essentielles des fruits de *X. aethiopica* à 33 µL/L ont été les meilleurs extraits incorporés aux racines. La masse des tiges fraîches du témoin (11,31 g) est statistiquement identique à celle des plants incorporés avec les différents extraits. Seuls les plants incorporés de *Trichoderma* sp. ont eu des masses supérieures à celles du témoin. Les isolats de *Trichoderma* sp. ont permit de développer une meilleure croissance des paramètres morphologiques des plants de tomate comparativement aux extraits de *X. aethiopica* (huiles essentielles et poudres).

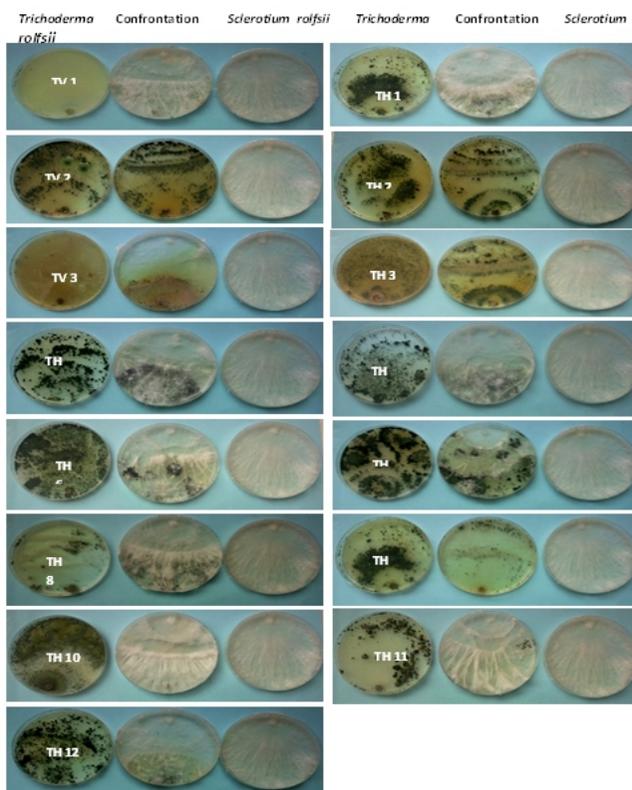


Figure 9: Action des différents isolats de *Trichoderma* vis-à-vis de *Sclerotium rolfisii*
I., isolat ; TH, *Trichoderma harzianum* ; TV, *Trichoderma varens*

Les racines des plants traités avec les isolats de *Trichoderma* sp. ont une longueur, un nombre et une épaisseur supérieurs à celles des plants traités avec les fongicides de synthèse et le témoin. Il est bien visible par l'aspect des racines des plants traités avec les champignons prédateurs que celles-ci ont pu exploiter tous les nutriments et les espaces disponibles (Figure 10 J). Les plants traités avec la poudre et l'huile essentielle de *Xylopiya aethiopica* ont eu un nombre élevé de racines mais ces dernières sont restées courtes à quelques centimètres de la surface du sol. Ces racines n'ont pas pu aller en profondeur pour exploiter tous les nutriments et occuper toute la surface disponible (Figure 10 D et E).

Tableau 2: Variation des paramètres de rendement des plants de tomate

Traitements	Nombre de feuilles/plant	Taille (cm)	Mesure isodiamétrale (cm)	Masse des racines (g)	Masse des tiges (g)
Témoin	7,47 ±0, 13cd	24,04±0,65 gh	3,69±0,58 cd	4,84±0,52 f	11,31±0,27 c
Inoculé	4,36 ± 0,56 g	11,79± 0,35 j	2,69± 0,04 f	2,5± 0,00 g	10,86±0,76 c
Poudre de Feuille à 33 µL/L	5,25±0,02 fg	22,79±0,21 hi	4,00±0,45 ab	5,21±0,54cd	12,94±0,74bc
Poudre de Feuille à 66 µL/L	7,44 ±0, 33cd	30,13±0,06 hi	4,18±0,02 ab	5,19±0,21cd	14,08±0,53bc
Poudre de Fruit à 33 µL/L	6,22±0,25 de	20,39±0,53 b	3,89±0,75 ab	5,3±0,64 cd	12,28±0,54bc
Poudre de Fruit à 66 µL/L	5,94±0,45 ef	26,47±0,76 de	3,98±0,34 ab	5,21±0,76cd	13,28±0,87bc
Huile de Feuille à 33 µL/L	6,47±0,56 de	22,86±0,87 hi	3,742±0,98 de	5,23±0,43cd	11,72±0,64 c
Huile de Feuille à 66 µL/L	6,44±0, 87de	26,58±0,07 de	3,99±0,34 ab	5,22±0,26cd	13,22±0,54bc
Huile Fruit à 250 µL/L	8,69 ±0, 37bc	29,1±0,34 cd	4,05±0,32 ab	5,16±0,42de	13,69±0,49bc
Huile Fruit à 500 µL/L	9,28 ±0, 54bc	33,65±0,21 ab	4,11±0,05 ab	5,41±0,59bc	14,58±0,48bc
Isolat 2 de <i>T. virens</i>	8,72±0, 14bc	33,60±0,46 ab	3,86±0,54 ab	5,09±0,26ef	17,53±0,29ab
Isolat 3 de <i>T. virens</i>	9,17 ±0, 54bc	35,32±0,67 ab	4,07±0,63 ab	5,22±0,54cd	19,08 ±0,06 a
Isolat 3 de <i>T. harzianum</i>	10,28±0,41ab	29,43±0,73 bc	4,13 ±0,48 ab	5,23±0,64cd	17,58±0,17ab
Isolat 9 de <i>T. harzianum</i>	11,315±0,62a	36,32±0,66 a	4,31 ±0,32 a	5,62±0,51bc	19.25±0,53 a
Banko plus à 250 µL/L	8,78±0, 49bc	30,75±0,24 ab	3,33±0,75 e	5,65±0,43 b	11,67 ±0,66c
Banko plus à 500 µL/L	7,81±0, 41cd	31,47±0,32 ab	3,58±0,64 de	5,98±0,43 a	11,94±0,65 c
Mancozèbe à 250 µL/L	8,31±0, 67c	24,81±0,67 gh	3,92±0,54 ab	5,23±0,87cd	14,06±0,37bc
Mancozèbe à 500 µL/L	9,25 ±0, 98bc	28,10±0,54 cd	4,02±0,89 ab	5,24±0,44cd	13,75±0,71bc

Dans une colonne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (test de Newman-Keuls à 5%) ; *T.* = *Trichoderma*

Les plants traités avec les fongicides de synthèse ont eu des racines moins développées par rapport à celles des plants traitées avec les spores de *Trichoderma* sp., la poudre et l'huile essentielle de *Xylopiya aethiopica*. Les plants témoins ont eu des racines les moins développées par rapport aux racines des plants traités avec *X. aethiopica* et les isolats de *Trichoderma* sp (Figure 10 H et I). Plus encore les plants inoculés sans traitement ont perdu

toutes leurs racines du fait de l'action du champignon *Sclerotium rolfsii* (Figure 10 A).



Figure 10. Effet des extraits de *Xylopiya aethiopica* et des souches de *Trichoderma* sp sur l'inoculation les racines des plants de tomate par *Sclerotium rolfsii*

(A) Plant inoculé simple, (B) Plant traité avec la poudre des feuilles de *Xylopiya aethiopica*, Plant traité avec l'huile des feuilles de *Xylopiya aethiopica*, (D) Plant traité avec la poudres des fruits de *Xylopiya aethiopica*, (E) Plant traité avec l'huile des fruits de *Xylopiya aethiopica*, (F) Plant traité avec Mancozèbe, (G) Plant traité avec Banko- Plus, (H et I) Plants témoins et (J) Plants traités avec des souches de *Trichoderma* sp.

Activités antifongiques des huiles essentielles, des poudres des fruits et des feuilles de *Xylopiya aethiopica* et de quelques fongicides de synthèse

L'effet des biofongicides comparé aux fongicides de synthèse sur la sclérotiniose est consigné dans le tableau 3. L'incidence de la maladie est calculée à partir de la notation des symptômes apparus sur les plants de tomate. L'incidence de la maladie varie en fonction des différentes concentrations des produits (biofongicides ou fongicides de synthèse). L'incidence de la maladie est significativement réduite avec l'extrait de poudre des fruits de *Xylopiya aethiopica* (10,66) de plus de 80 % par rapport aux témoins inoculés (92,72). Mieux, l'huile essentielle des fruits a réduit (5,96) de plus de 85 % l'incidence de la maladie par rapport aux témoins inoculés (92,78). Les biofongicides ont présenté une meilleure réduction de la maladie par rapport aux fongicides de synthèse. En effet, cette incidence sur les plants traités avec l'huile essentielle des fruits de concentration 500 µL/L (5,96) % est significativement inférieure à celle de la poudre des fruits (10,66%) de concentration 66 µL/L ainsi que le témoin positif Mancozèbe

(14,81%) de volume identique. Les différentes concentrations des poudres de fruits de *X. aethiopica* ont une meilleure action inhibitrice sur le pathogène par rapport aux poudres des feuilles dont les incidences sont de 20,68 et 36,60%, respectivement pour les concentrations de 66 et 33 $\mu\text{L/L}$. L'incidence de la maladie est plus élevée quand les plants sont traités avec les huiles essentielles des feuilles de *X. aethiopica*. Les concentrations des extraits ont eu des actions différentes les unes des autres face à l'incidence de la maladie. Le fongicide de synthèse Banko-plus a présenté une faible action que Mancozèbe *in vivo*. L'huile essentielle des fruits de *X. aethiopica* a été le meilleur biofongicide au cours de cette étude *in vivo*.

Tableau 3. Effet des fongicides, des huiles et des poudres des fruits et des feuilles de *Xylopi aethiopica*

Concentration des extraits ($\mu\text{L/L}$)	Incidence de la maladie (%)				
	00,0	33	66	250	500
Poudre des fruits	-	31,07 \pm 0,56 i	10,66 \pm 0,69 c	-	-
Poudre des feuilles	-	36,60 \pm 1,67 j	20,68 \pm 0,50 f	-	-
Huile des fruits	-	-	-	17,2 \pm 0,90 e	5,96 \pm 0,83 b
Huile des feuilles	-	-	-	70,53 \pm 0,50 m	43,63 \pm 1,07 k
Mancozèbe	-	-	-	28,4 \pm 0,94 h	14,81 \pm 1,02 d
Banko-plus	-	-	-	51,2 \pm 1,31 l	26,41 \pm 0,46 g
Témoins sains	0,00	-	-	-	-
Témoins inoculés	92,78 \pm 2,11 n	-	-	-	-

(-): Valeurs non déterminées ; Dans une colonne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (test de Newman-Keuls à 5%)

Discussion

Les études menées au cours de ces travaux nous ont permis de déterminer l'activité pathogène de l'isolat de *Sclerotium rolfsii*. En effet, l'isolat a causé l'apparition des symptômes aux collets des plants de tomate inoculés. Ceci confirme le pouvoir infectieux de la souche. Des études antérieures ont aussi révélé le pouvoir pathogène des souches de *S. rolfsii* sur la tomate et d'autres cultures (Punja, 2003 ; Latunde, 2003 ; Davet, 1970). Chaque lot de sclérotés a bien provoqué le flétrissement des plants de tomate. De ce fait, la virulence n'a pas dépendu de la quantité des sclérotés mais plutôt du pouvoir germinatif des sclérotés. Nos travaux ne sont pas conformes à ceux de Doumbouya *et al.* (2010) qui ont montré que le

développement des symptômes est fonction de la quantité des sclérotés chez la variété Tropimèche. Les symptômes ont commencé à apparaître à la floraison des plantes. Cette apparition tardive des symptômes causés par *S. rolfsii* serait due au vieillissement du système racinaire. Nos travaux prouvent ceux de Davet (1972) sur *Colletotrichum cocodes* en culture de tomate. En effet, le développement du système racinaire cesse presque complètement au moment où les fruits commencent à se former. Les réserves nutritives de la plante sont mises à contribution pour le développement des fruits. A ce moment, le vieillissement des racines déjà formées n'est pas compensé par l'apparition de nouvelles racines relativement résistantes à la maladie. Selon Punja *et al.* (1985), *S. rolfsii* sécrèterait dans le milieu des toxines notamment les enzymes pectolytiques, la cellulase, une quantité importante d'acide oxalique, d'endo-polygalacturonase et d'endo-pectin méthylgalacturonase. En effet, Drysdale (1982) a montré que les polyphénoloxydases et les peroxydases impliquées dans la défense des plantes seraient détruits par les toxines secrétées par le champignon. Pour résoudre les problèmes et limites de la lutte chimique contre les champignons telluriques, il a été envisagé d'utiliser des extraits de plantes sur la croissance mycélienne de *S. rolfsii* et sur l'incidence de la pourriture sèche que cause ce dernier.

L'activité fongicide des huiles essentielles des fruits et des feuilles de *Xylopiya aethiopica* (Dunal) A. Rich contre *S. rolfsii* agent causal de la pourriture sèche de la tomate a été étudiée *in vitro* et comparée à celle du Mancozèbe et du Banko-plus. L'huile essentielle des fruits de *X. aethiopica* a fortement réduit la croissance radiale mycélienne de *S. rolfsii* sur le milieu de culture solide PDA en boîte de Pétri. Par contre, aucune activité fongicide n'a été relevée avec les extraits des fruits ou des feuilles de *Xylopiya aethiopica*. Le caractère fongicide des extraits de poudre ou des huiles essentielles de *X. aethiopica* pouvait s'exprimer à des concentrations plus élevées. En effet, Soro *et al.* (2010) ont montré que l'huile essentielle des fruits de *X. aethiopica* était fongicide à 4000 µL/L contre *Fusarium sp* ainsi que l'extrait de poudre à 8 g/L contre le même champignon. Ces études ont montré que le taux d'inhibition des huiles essentielles des fruits de *X. aethiopica* est significativement supérieur à celui des feuilles ainsi que le témoin mancozèbe à la concentration de 50 µL/L. Elles ont montré aussi l'action bénéfique des huiles essentielles et de la poudre des fruits sur l'incidence de la pourriture sèche de la tomate. L'action inhibitrice des huiles essentielles de *X. aethiopica* (Dunal) A. Rich serait due à la présence de deux composés : le β-pinène et le terpinène 4-ol et ces composés sont oxydables en quinones, inhibiteurs des enzymes hydrolytiques des champignons (Kouninki, 2007). Selon Fransworth et Bingel (1977), les sesquiterpénoides et leurs dérivés auraient une diversité d'action. Ils auraient une activité

antiasmatique, antibactérienne, antifongique et anti-inflammatoire. L'analyse phytochimique des extraits aqueux de *X. aethiopica* révélerait la présence de la saponine, des tanins, stéroïdes, des flavonoïdes et des alcaloïdes. Beaucoup de ces composés seraient à la base des activités physiologiques contre les microorganismes pathogènes (Okigbo et Ajalie, 2005). Nos travaux concordent avec ceux d'Okigbo *et al.* (2005) qui ont montré l'activité antifongique des feuilles de *X. aethiopica* sur les microorganismes pathogènes de l'homme. Ceci pourrait être attribué à la forte capacité inhibitrice de ses composés chimiques et leur aptitude à être métabolisé dans le milieu de culture en produits inhibant plus fortement l'activité des enzymes hydrolytiques. Pour Lopez- Malo *et al.* (2005), les terpènes phénoliques agissent en se fixant sur les groupements amines et hydroxylamines des protéines membranaires microbiennes provoquant l'altération de la perméabilité à la fuite des constituants intramembranaires. Les extraits de poudre de *X. aethiopica* ne sont pas fongicides, cela pourrait s'expliquer d'une part par la présence d'autres substances que l'extrait brut de poudre contiendrait à la différence du composé aromatique que constitue l'huile essentielle (Tra Bi *et al.*, 2007). Selon certains auteurs, les champignons ne réagissent pas de la même manière vis-à-vis des biopesticides (Carlton *et al.*, 1992) ce qui pourrait expliquer le comportement de *S. rolfii* vis-à-vis de la poudre de *X. aethiopica*. De très nombreux auteurs ont démontré l'intérêt d'apport d'amendements organiques déchets ou résidus de plantes. Ainsi, Subbarao et Block (1999) ont observé une réduction nette de la survie de plusieurs champignons telluriques par l'incorporation de broyats de choux ou graminées. L'amélioration du système racinaire sous l'action du compost a été observée par Pharand *et al.* (2002) qui ont montré que le repiquage des plants de tomate, inoculés par *Fusarium oxysporium* f sp *radicis lycopersici*, dans un mélange de tourbe et de compost a engendré une faible attaque de ces derniers en les comparant à ceux repiqués uniquement dans la tourbe et dont les racines présentent des nécroses très importantes. L'effet bénéfique des extraits de compost a été signalé aussi par Scheuerell et Mahaffee (2004) qui ont montré que l'irrigation par l'extrait de compost d'un substrat de culture par *Pythium ultimum* a réduit l'effet de la fonte de semis du concombre causée par ce pathogène. Il en est de même pour Al-Dahamani *et al.* (2003) qui ont montré que la pulvérisation sur des plants de tomate de l'extrait de compost préparé à partir du fumier de bovin composté, 24 heures avant leur inoculation par *Xanthomonas vesicatoria*, a réduit significativement l'intensité de la tache bactérienne en les comparant aux plants témoins traités par l'eau. Ils ont montré aussi que la pulvérisation foliaire des extraits de compost a réduit significativement l'incidence de la tache bactérienne sur les fruits de tomate cultivés en plein champ. De même, Zhang *et al.* (1998) ont montré que la

pulvérisation d'un extrait de compost sur des plants d'*Arabidopsis* inoculés par *Pseudomonas syringae* pv. *maculicola* a réduit significativement la sévérité de la moucheture bactérienne. En effet, le pourcentage des feuilles nécrosées est de 19,9%, pour les plants d'*Arabidopsis* repiqués dans le compost et pulvérisés avec l'extrait de compost alors que cette valeur est de 28,10% dans le cas des plants repiqués dans la tourbe. L'addition d'extraits végétaux au substrat de culture aurait servir de nutriments à d'autres microorganismes qui vont rentrer en compétition pour l'espace, la nutrition carbonée et produire des substances fongitoxiques stimulatrices des réactions de défense chez la plante (Picard *et al.*, 2000).

Le traitement de *Sclerotium rolfsii* en culture de tomate sous abri avec les extraits de *Xylopiia aethiopica* a montré l'efficacité de l'huile essentielle des fruits par rapport à celle de la poudre des fruits et des extraits des feuilles. L'efficacité relevée *in vitro* avec l'huile essentielle des fruits de *X. aethiopica* a été observée *in vivo*. En effet, l'incidence de la maladie est moins marquée sur les plants traités à l'huile essentielle des fruits à celles obtenues avec les autres extraits. Les résultats avec les souches de *Trichoderma* sp montrent qu'elles sont parvenues à stimuler les paramètres de croissance des plants de tomate à des degrés variables. Cette stimulation s'est traduite essentiellement par une meilleure protection des plants face aux attaques du champignon pathogène et une biomasse plus importante. Ceci est en accord avec les travaux de Hibar *et al.* (2005) qui ont comparé l'état des plants de tomate inoculés et non traités. Ils ont constaté que les plants traités par le pathogène et l'antagoniste présentaient un développement végétatif et racinaire plus important que les plants témoins. Bien que les mécanismes de stimulation de la croissance des plantes ne soient pas encore bien élucidés, ceux-ci sont souvent attribués à leur aptitude à combattre les maladies des plantes. Dans ce sens, Hibar *et al.* (2005) ont expliqué que la stimulation du développement d'une culture de melon à la suite de l'application du *T. harzianum* (Yedidia *et al.*, 1999) par une activation du système de défense de la plante, une augmentation de l'activité chitinase et peroxydase et un accroissement de l'activité enzymatique dans les feuilles induisant une résistance systémique chez ces plants. Par contre, Ousley *et al.* (1993) attribuent ce phénomène à l'inhibition des pathogènes mineurs, induisant ainsi une forte croissance et un meilleur approvisionnement des nutriments. Dans cette étude, toutes les souches de *Trichoderma* inoculées ont réduit le pourcentage de lésions sur les racines de tomate par rapport aux témoins, ce qui confirme que cette réduction est en partie responsable de la stimulation de croissance chez ces plantes. Cependant, d'autres travaux ont mis en évidence l'aptitude des espèces de *Trichoderma* sp à stimuler la croissance des plantes indépendamment de tout agent pathogène (Chang *et al.*, 1986 ; Kleifeld et Chet, 1992 ; Mackenzie *et al.*, 1995 ; Paulitz *et al.*,

1986), ce qui est d'ailleurs montré dans cette étude. Ceci indique que ces souches influencent le métabolisme et l'activité enzymatique des plantes et non pas seulement les systèmes de défense. Une des caractéristiques essentielles chez un agent de lutte biologique est son aptitude à survivre dans un milieu différent de son milieu d'origine et à coloniser les racines des plantes afin de les protéger contre les pathogènes (Nemec *et al.*, 1996). Dans cette étude, toutes les souches de *Trichoderma* ont pu coloniser les racines des plantes inoculées. Cependant, leur aptitude à la compétition avec les autres microorganismes du sol a différencié d'une souche à une autre. Les souches 9 et 3 de *T. harzianum* ont semblé plus compétitives vis-à-vis des microorganismes du sol que les autres souches 2 et 3 de *Trichoderma virens*. Ces travaux confirmeraient les travaux de Kleifeld et Chet (1992) qui ont rapporté que la stimulation de croissance des plantes par les souches de *Trichoderma* sp serait due à l'augmentation du transfert des nutriments à partir du sol jusqu'aux racines grâce à la colonisation de celles-ci par *Trichoderma* sp. Hmouni *et al.* (2006) ont démontré dans leurs travaux que les effets de *Trichoderma* sp sur les plantes incluent l'introduction d'une résistance systémique ou localisée. Ces champignons colonisent l'épiderme des racines et les couches corticales externes et libèrent des molécules bioactives. En conséquence, en plus de l'induction de la résistance chez les plantes, la croissance des plantes et l'approvisionnement en nutriments sont améliorés. Toutefois, seule l'identification de composés responsables de la stimulation de croissance et la démonstration de leur effet sur les plantes cultivées en culture sous abri devraient conclure sur le mécanisme mis en jeu (Besnard et Davet 1993). D'autre part, Kleifeld et Chet (1992) ont rapporté que la stimulation des plantes par *Trichoderma* sp dépend de sa capacité à survivre et à se maintenir dans la rhizosphère. Pour cela, l'estimation des populations de *Trichoderma* sp le substrat de culture à la fin des essais a montré leur capacité à se maintenir à un niveau élevé dans la rhizosphère ; cependant, ce niveau varie d'une souche à l'autre.

Conclusion

Les huiles essentielles obtenues à partir des fruits de *Xylopi aethiopica* ont montré plus d'efficacité que celles extraites des feuilles. De même, cette étude a montré que l'effet inhibiteur des extraits de *X. aethiopica* est significativement efficace vis-à-vis de *Sclerotium rolfsii*. Les huiles essentielles des fruits ont eu la meilleure action sur l'incidence de la sclérotiniose ou pourriture sèche de la tomate. Par ailleurs, l'application de souches de *Trichoderma* sp. en agriculture est une approche alternative à l'utilisation des pesticides. En effet, elle permet de réduire l'utilisation des fongicides et des régulateurs de croissance tout en minimisant le coût de la production et les impacts négatifs sur l'environnement.

Il ressort en définitive que l'huile essentielle des fruits a eu le bon comportement *in vitro* et *in vivo* alors que la poudre des fruits est aussi bonne en application *in vivo*. Les souches de *Trichoderma* sp, en plus de leur effet protecteur contre les pathogènes, exercent un effet stimulateur sur la croissance des plants de tomate.

References:

- Adjanohoun E. & Aké-Assi L. 1979. Contribution au recensement des plantes médicinales de Côte d'Ivoire. Centre National de Floristique pp 22-33.
- Agrios G., 1988. Plant Pathology. 3^{ème} Ed. Academic Press, New-York. 803 p.
- Al-Dahmani J., Abbasi P., Miller S. & Hoitink H. 2003. Suppression of bacterial spot of tomato with foliar sprays of compost extract under greenhouse and field conditions. *Plant Disease*, 87, 913-919.
- Anonyme 1. 1992. Noms des maladies des plantes au Canada. Société de Protection des Plantes du Québec. 477 p.
- Anonyme 2. 2007. Economie de la Côte d'Ivoire. Wikipedia.org/wikipedia/Economie de la Côte d'Ivoire. Consulté le 11 janvier 2014.
- Besnard O. & Davet P. 1993. Mise en évidence de souches de *Trichoderma* spp. à la fois antagonistes de *Pythium ultimum* et stimulatrices de la croissance des plantes. *Agronomie*, 13, 413-421.
- Carlton R., Deans S. & Watermann P. 1992. Antifungal activity of the leaf gland volatile oil of sweet gale (*myrica gale*). *Chemoecology*, 3, 55-59.
- Chang Y. Chang C. & Baker R. 1986. Increased growth of plants in the presence of the biological control agent *Trichoderma harzianum*. *Plant Disease*, 70, 145-148.
- Chet I. & Baker R. 1981. Isolation and biocontrol potential of *Trichoderma hamatum* from soil naturally suppressive to *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology*, 71, 286-290.
- Chèvre N. 2004. Evaluation du risque des pesticides dans les eaux en Suisse GWA. *Gas Wasser Abwasser*, 84 (10), 739-751.
- Davet P. 1970. La pourriture brune des racines de tomate au Liban. *Biology*, 12, 65-82.
- Davet P. 1972. Recherches sur *Colletotrichum cocodes* (Wallr.) Hughes. Développement du champignon sur la tomate en fonction de l'âge de la plante et de ses racines. *Annual Phytopathology*, 11, 103-108.
- De Waard M., Georgopoulos S., Hollomon D., Ishii H., Leroux P., Ragsdale N. & Schwinn F. 1993. Chemical control of plant diseases: problems and prospects. *Annual Review Phytopathology*, 31, 403-421.

- Doumbouya M., Koné D., Fondio L., Soro S., Kouadio Y. & Daouda A. 2010. Caractérisation pathogénique de *Sclerotium rolfsii* Saccardo (Corticaceae) sur 3 variétés de tomates et effet du milieu de culture sur le potentiel infectieux du champignon. *International Journal Biology Chemical Sciences*, 4(4), 1294-1309.
- Drysdale R. 1982. The production and significance in phytopathology of toxins produced by species of *Fusarium*. In: MO Moss, JE Smith, eds. *Applied Mycology of Fungi* Cambridge University Press, pp 95-105.
- Fransworth N. & Bingel A. 1977. Problem and prospects of discovering new drugs from high plants. *New Natural products & Plant drugs with Pharmacological Biological*, H. Wagners *et al.* (eds.), Springer-Verlag berlin Heidelberg, pp 1- 22.
- Hibar K., Daami-Remadi M., Khiareddine H. & El Mahjoub M. 2005. Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 9(3), 163-171.
- Hmouni A., Hajlaoui M. & Mlaiki A. 1996. Résistance de *Botrytis cinerea* aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures abritées de tomate en Tunisie. *OEPP/EPPO bulletin*, 26, 697-705.
- Hmouni A., Mouria A. & Douira A. 2006. Biological control of tomato grey mould compost water extracts, *Trichoderma* and *Gliocladium*. *Phytopathol. Mediter.*, 45, 110-116.
- Jarvis W.R. 1993. *Managing diseases in greenhouse Crops*. The American Phytopathological Society, St. Paul. 288 p.
- Kleifeld O. & Chet I. 1992. *Trichoderma harzianum* interaction with plants and effect on growth response. *Plant Soil*, 144, 267-272.
- Kouninki H., Hance T., Noudjou F., Lognay G., Malaisse M., Ngassoum M., Mapongmetsem P., Ngamo L. & Haubruge E. 2007. Toxicity of some terpenoids of essential oils of *Xylopiya aethiopica* from Cameroon against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *J. Applied. Entomol.*, 131(4), 269 - 274.
- Larkin R. & Fravel D. 1998. Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of *Fusarium* wilt of tomato. *Plant Disease*, 82, 1022-1028.
- Latunde Dada. 1993. Biological control of southern blight disease of tomato caused by *Sclerotium rolfsii* with simplified mycelial formulations of *Trichoderma koningii*. *Plant Pathol.*, 42, 522-529.
- Lopez-Malo A., Alzamora S. & Palou E. 2005. *Aspergillus flavus* growth in the presence of chemical preservatives and naturally occurring antimicrobial compounds. *Inter. J. Food Microbiol.*, 99, 199-128.

- Lumsden R. & Lewis J. 1989. Selection, production, formulation and commercial use of plant disease, biocontrol fungi : problems and progress. J.M. Whipps et R.D. Lumsden (eds.), *Biotechnology of fungi for improving plant growth*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 171-190.
- MacKenzie A., Starman T. & Windham M. 1995. Enhanced root and shoot growth of *Chrysanthemum* cutting propagated with the fungus *Trichoderma harzianum*. *Am. Soc. Hort. Sci.*, 30(3), 496-498.
- Mohamed D., Daouda K., Lassina F., Sibirina S., Yatty Justin K. & Daouda A. 2010. Caractérisation pathogénique de *Sclerotium rolfsii* Saccardo (Corticaceae) sur 3 variétés de tomates et effet du milieu de culture sur le potentiel infectieux du champignon. *Inter. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(4), 1294-1309.
- Nemec S., Datnoff L. & Strandberg J. 1996. Efficacy of biocontrol agents in planting mixes to colonize plant roots and control root diseases of vegetables and citrus. *Crops Protection*, 15, 735-742.
- Ole-Becker J. & Schwinn F. 1993. Control of soil-borne pathogens with living bacteria and fungi : status and outlook. *Pest. Sci.*, 37, 355-363.
- Okigbo R. & Ajalie A. 2005. Inhibition of some human pathogens with tropical plants extracts *Chromolaena odorata* and *Citrus aurantifolia* and some antibiotics. *Inter. J. Mol. Med. Adv. Sci.*, 1(1), 34- 40.
- Ousley M., Lynch J. & Whipps J. 1993. Effect of *Trichoderma* on plant growth; a balance between inhibition and growth promotion. *Microbiol. Ecol.*, 26, 277- 285.
- Ozbay N., 2004. Fusarium crown and root tomato and control methods. *Plant Pathol. J.*, 3, 9-18.
- Paulitz T., Windham M. & Baker R. 1986. Effect of peat: vermiculite mixes containing *Trichoderma harzianum* on increased growth response of radish. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 111(5), 810-816.
- Pharand B., Carisse O. & Benhamou N. 2002. Cytological aspects of compost-mediated induced resistance against *Fusarium* crown and rot in tomato. *Phytopathology*, 92, 424-438.
- Picard K. & Ponchet M. 2000. Oligandrin. A proteinaceous molecule produced by the mycoparasite *Pythium*; oligandrin; induced resistance to *Phytophthora parasitica* infection in tomato plants. *Phytopathology*, 22, 414-418.
- Punja Z. 1985. The biology, ecology, and control of *Sclerotium rolfsii*. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 23, 97-127.
- Punja Z. & Raymond Y. 2003. Biological control of damping-off and root rot caused by *Pythium aphanidermatum* on greenhouse cucumber. *Can. J. Plant Pathol.*, 25, 411-417.

- Rose S., Parker M. & Punja Z.K. 2003. Efficacy of biological and chemical treatments for control of *Fusarium* root and stem rot on greenhouse cucumber. *Am. Phytopathol. Soc.*, 87, 1462-1470.
- Scheuerell S. & Mahaffee W. 2004. Compost tea as a damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, 94, 1156-163.
- Sippell D., Davidson J. & Sadasivaiah R. 1985. Rhizoctonia root rot of raspberry in the peace region of Alberta. *Can. J. Plant Pathol.*, 7, 184-186.
- Song W., Zhou L., Cao X., Zhang L. & Lui X. 2004. Tomato *Fusarium* wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*, 23, 243- 247.
- Soro S., Djakalia O., Guédé Z., Coffi K., N'guessan K., Daouda K., Kouadio Y. & Aké S., 2010. Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* de l'extrait de poudre et de l'huile essentielle de *Xylopiya aethiopica* (Dunal) A. Rich. sur *Fusarium oxysporium* f sp. *radicis-lycopersici* (forl), champignon parasite des cultures de tomate. *Eur. J. Scient. Res.*, 2(39), 279-288.
- Soro S., Doumbouya M. & Koné D. 2008. Potentiel infectieux des sols de culture de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) sous abri avec incidence de l'âge de repiquage sur la vigueur des plants vis- à- vis de *Pythium* sp. à Songon-Dabou en Côte d'Ivoire. *Tropicultura*, 26(3), 173-178.
- Subbaro & Block, 1999. Expertise scientifique collective : Pesticides, agriculture et environnement ; chapitre 4, Stratégies de protection des cultures, 104p.
http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/INRA_CEMAGREF_pesticides-4texte_cle43e81e.pdf. Consulté le 20 novembre 2014.
- Tra Bi F. H., Kouamé N. F., Favel A. & Fallague K., 2007. Activité antifongique de quelques plantes de la flore ivoirienne. *Sci. Nat.*, 4(2), 117-122.
- Vakalounakis D. & Fragakiadakis G. 1999. Genetic diversity of *Fusarium oxysporium* isolates from cucumber differentiation by pathogenicity, vegetative compatibility and RAPD fingerprinting. *Phytopathology*, 89, 161-168.
- Yedidia I., Benhamou N. & Chet I. 1999. Induction of defence responses in cucumber plant (*Cucumis sativus* L.) by biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 1061-1070.
- Zhang W., Han D., Dick W., Davis K. & Hoitink H. 1998. Compost and compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and Arabidopsis. *Phytopathology*, 86, 966 - 972.