

COMPARAISON DE L'EFFICACITE ANTIFONGIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE D'*Ocimum gratissimum* L. ET DU FONGICIDE DE SYNTHÈSE MANCOZÈBE CONTRE LE MYCOPATHOGENE TELLURIQUE, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici* EN CULTURES DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) SOUS ABRI EN CÔTE D'IVOIRE

S. SORO¹, K. ABO², D. KONE⁴, K. COFFI³, J. Y. KOUADIO¹ et S. AKE⁴

¹Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, Université d'Abobo-Adjamé, 02 BP 801 Abidjan 02. Email : soro_sibiri@yahoo.fr

²Laboratoire de Phytopathologie et de Biologie Végétale, INP-HB, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

³Laboratoire de Chimie organique, 22 BP 582 Abidjan 22, Université de Cocody.

⁴Laboratoire de Physiologie et Pathologie Végétale, 22 BP 582 Abidjan 22, Université de Cocody.

RESUME

Une étude a été menée à la fois *in vitro* et *in vivo* afin d'évaluer l'activité antifongique du mancozèbe et de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* L. sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Forl). Une corrélation positive a été établie entre l'inhibition de la croissance radiale mycélienne du mycopathogène et la concentration de chaque produit. Les concentrations minimales inhibitrices (CMI) ont été significatives à 500 ppm et très significatives à 250 ppm pour le mancozèbe et l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum*, respectivement. Le produit (huile essentielle) a montré des taux d'inhibition nettement supérieurs au seuil de signification (25 %) pour la plus faible dose. Aucune reprise de la croissance mycélienne n'a été observée durant les 7 j d'évaluation à 500 ppm pour l'huile essentielle et 4000 ppm pour le mancozèbe. Par ailleurs, l'application du mancozèbe ou de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* sur les plants de tomate inoculés a entraîné une inhibition de l'expression de la fusariose 30 j après inoculation. La biomasse des plants de tomate inoculés avec l'huile essentielle a augmenté de plus de 30 % par rapport à la biomasse sèche racinaire et de plus de 40 % pour la biomasse foliaire sèche chez Tropimech, variété la plus sensible à Forl.

Mots clés : Activités antifongiques, huiles essentielles, *Ocimum gratissimum*, mancozèbe, Côte d'Ivoire

ABSTRACT

COMPARISON OF ESSENTIAL OIL OF *OCIMUM GRATISSIMUM* L. AND MANCOZEB EFFICACY AGAINST SOIL-BORN *FUSARIUM* F. SP. *RADICIS-LYCOPERSICI* IN FUNGUS IN TOMATO (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.) CULTURES UNDER GREENHOUSE CONDITIONS IN CÔTE D'IVOIRE

A study was conducted to evaluate the efficacy of mancozeb and the essential oil of *Ocimum gratissimum* in both *in vitro* and *in vivo* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Forl). A positive correlation was found between the radial growth of the fungus mycelium and the concentration of each product. The minimal inhibitory concentrations (MIC) were found to be significant at 500 ppm and highly significant at 250 ppm for mancozeb and the essential oil of *Ocimum gratissimum*, respectively. The rates of inhibitions of the essential oil were by far superior to the significant level (25 %) at the lowest rate of the inhibitor. No radial growth was found during the seven days at 500 ppm for the essential oil and 4000 ppm for mancozeb. Furthermore, the application of mancozeb, or the essential oil of *Ocimum gratissimum* on tomato plants inoculated reduced the severity of the disease caused by *Fusarium* 30 days after inoculation. The tomato plants inoculated and treated with the essential oil increased the dry root biomass by more than 30 % and the dry foliar biomass by more than 40 % for the Tropimech cultivar, the most sensitive tomato variety to Forl.

Key words : Antifungal activity, essential oil, *Ocimum gratissimum*, mancozeb, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

La tomate est cultivée aujourd'hui dans presque toutes les contrées du monde bien qu'étant une plante originaire des zones tropicales d'altitude d'Amérique (Jacqueline, 1986). *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae) est une espèce améliorée cultivées en Côte d'Ivoire. L'importance alimentaire et les nombreuses vertus thérapeutiques de la tomate font d'elle, le premier légume-fruit au niveau mondial (Chapuis et Mille, 2001 ; Fumey, 1997 ; Rao et Agarwal, 2000). La production mondiale de tomate s'élève à plus de 120 millions de tonnes par an (Chapuis et Mille, 2001 ; Fumey, 1997). Cependant, les nombreuses attaques parasitaires rendent difficiles la pratique de cette culture maraîchère dans les pays tropicaux (Rose *et al.*, 2003 ; Soro *et al.*, 2008). En effet, la tomate est parasitée, à tous les stades en développement, par les mycopathogènes surtout ceux du sol. La lutte chimique contre les maladies et les ravageurs en vue de limiter les dégâts et obtenir des récoltes de qualité est devenue une nécessité. Cependant, l'utilisation abusive des pesticides a entraîné l'apparition de formes résistantes de virus, de bactéries et de champignons et donc, de méthodes alternatives à la lutte chimique (FAO, 1985 ; Rose *et al.*, 2003 ; Punja et Raymond, 2003). La plupart des travaux en lutte biologique utilisant les huiles essentielles ont été menés en entomologie ou en lutte antimicrobienne *in vitro* (Tchoumboungang *et al.*, 2009). Le travail effectué, dans le cadre de cette étude, a consisté dans un premier temps, à déterminer par un «screening», les concentrations inhibitrices de la croissance radiale mycélienne de Forl *in vitro* des deux produits. Dans un second temps, les extraits ont été évalués *in vivo* pour leur pouvoir inhibiteur sur la manifestation de la fusariose en culture de tomate sous abri. Au cours de l'étude, la croissance végétative des plants de tomate inoculés traités par les deux produits a été suivie sur un mois après inoculation par rapport aux témoins sains et aux témoins positifs.

Cette étude vise à comparer l'activité de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* à celle d'un fongicide de synthèse, le mancozèbe, *in vitro* et *in vivo*, en vue de déterminer l'effet antifongique le plus efficace sur ce mycopathogène tellurique des cultures de tomate. Ces travaux ont été les premiers à s'intéresser aux extraits de plantes dans la lutte contre les

champignons, en cultures de tomate, en Côte d'Ivoire. L'objectif final de ce travail est de mettre en place une formulation fongicide, avec une huile essentielle dans les zones de cultures de tomate en Côte d'Ivoire. De façon spécifique, ce travail vise à évaluer le pouvoir fongicide de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum in vitro* et son efficacité à inhiber la fusariose de la tomate *in vivo*.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL VEGETAL

Les variétés de tomate, Caraïbo (C), Mongal (M) et Tropimech (T) utilisées sont reconnues pour leur sensibilité différentielle vis-à-vis de *Fusarium* (Soro *et al.*, 2008). Elles appartiennent toutes, à l'espèce *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae).

MATERIEL FONGIQUE

La souche de *Fusarium oxysporum f. sp. radicle-lycopersici* (Forl) utilisée est âgée de 7 j et a été fournie par le Laboratoire de Physiologie et Pathologie Végétale de l'Université de Cocody-Abidjan en Côte d'Ivoire (Soro *et al.*, 2008).

MATERIEL DU TEST BIOLOGIQUE

Les produits utilisés pour lutter contre *Fusarium* sont la poudre mouillable du pesticide mancozèbe et l'huile essentielle extraite des feuilles d'*Ocimum gratissimum* L. Cette plante serait originaire d'Asie et elle est cultivée aujourd'hui dans le monde entier pour ses feuilles ou pour son arôme. Il s'agit d'un arbuste touffu, érigé, aromatique pouvant atteindre 150 cm de hauteur. Les feuilles sont opposées, ovales, acuminées et légèrement pubescentes sous les nervures (Adjanohoun et Aké-Assi, 1979 ; Téré, 1998).

METHODES

EXTRACTION DE L'HUILE ESSENTIELLE

Les feuilles fraîches d'*Ocimum gratissimum* L. ont été récoltées pendant la première semaine du mois de septembre 2007. L'extraction de l'huile essentielle des feuilles de la plante a été réalisée par hydrodistillation à l'aide du dispositif

de Clevenger pendant 3 h pour l'obtention d'huile essentielle (Oussou *et al.*, 2004). Cette huile essentielle est de couleur blanchâtre, d'odeur piquante et brûlante au contact de la muqueuse.

TEST D'INHIBITION DE LA CROISSANCE RADIALE MYCELIENNE ET DE LA REPRISE DE LA PASTILLE MYCELIENNE

Cinq concentrations (250, 500, 1000, 2000 et 4000 ppm) pour le fongicide de synthèse et l'huile essentielle (Oxenham *et al.*, 2005 ; Neri *et al.*, 2006) ont été retenues dans cette étude. Chaque produit (poudre ou huile) est émulsionné dans le milieu de culture (PDA) juste avant de le couler dans les boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre. Un disque mycélien de 5 mm de diamètre a été prélevé sur la croissance périphérique du champignon et placé comme elle était dans la boîte mère dans les nouvelles boîtes de Pétri contenant 20 ml du milieu PDA. Six boîtes de Pétri ont été repiquées par concentration et incubées à 25 ± 2 °C à la photopériode de 12 h. La croissance radiale mycélienne a été mesurée en millimètres sur deux diamètres perpendiculaires tracés sur le fond de la boîte de Pétri. Cette mesure a été effectuée juste avant que les filaments mycéliens atteignent la périphérie de la boîte dans les lots témoins sur 7 j. Cette expérience a été répétée 3 fois dans le temps. Quand une croissance mycélienne n'a pas été observée pour une concentration donnée, alors les boîtes de Pétri sont ouvertes et le disque mycélien est repiqué dans une nouvelle boîte de Pétri contenant du milieu PDA. L'ensemble de ces boîtes est conservé à la même température (25 ± 2 °C) et à la même photopériode (12 h) durant le même nombre de jours (7). A la fin du 7^e j, chaque extrait a été évalué comme étant un fongicide s'il n'y a pas de repousse mycélienne. Dans le cas contraire, l'extrait végétal a été déclaré fongistatique. Cette expérience a été répétée 3 fois (Neri *et al.*, 2006 ; Oxenham *et al.*, 2005).

Le taux d'inhibition (Ti) dû à chaque extrait a été évalué par rapport à la croissance mycélienne dans les boîtes témoins selon la formule modifiée de Hmouni *et al.* (1996) :

$$Ti (\%) = (D_0 - D / D_0) \times 100 \quad \text{où}$$

D_0 est le diamètre moyen du lot témoin et D le diamètre moyen des lots en présence de l'extrait

(les essais). Par ailleurs, la concentration minimale inhibitrice (CMI) a été déterminée à partir de la plus petite concentration inhibitrice (à 25 % au moins) de la croissance mycélienne du champignon, aussi bien pour la poudre que pour l'huile essentielle. La concentration suffisante pour empêcher la reprise de la croissance mycélienne est déterminée par la concentration minimale fongicide (CMF). Les concentrations inhibitrices à 50 % (Ci50) et à 90 % (Ci90) ont été calculées pour chaque extrait. Les taux d'inhibition de la croissance radiale mycélienne ont été convertis en valeurs Probit. Les droites de régression ont été établies comme suit :

$$Y = a \log X + b,$$

a étant le coefficient de régression, b une constante, X la concentration en fongicide, Y le probit, \log le logarithme décimal. Cette droite de régression a permis de déterminer Ci50 et Ci90, les concentrations en fongicide, réduisant de 50 et de 90 % la croissance radiale mycélienne du champignon (Finney, 1971 ; Paranagama *et al.*, 2003). L'extrait est conservé comme suit :

- très actif, lorsqu'il possède une inhibition comprise entre 75 et 100 %, la souche fongique est dite très sensible ;
- actif, lorsqu'il possède une inhibition comprise entre 50 et 75 %, la souche fongique est dite sensible ;
- moyennement actif, lorsqu'il possède une inhibition comprise entre 25 et 50 %, la souche est dite limite ;
- peu ou pas actif, lorsqu'il possède une inhibition comprise entre 0 et 25 %, la souche est dite peu sensible ou résistante.

Cette expérience a été répétée 3 fois dans le temps.

PREPARATION ET TRAITEMENT DES PLANTS A INOCULER

La pépinière de tomate est réalisée dans les mêmes conditions que celles de Soro *et al.* (2008). Les plants produits sont repiqués à 25 jours après semis. La transplantation des plants a été réalisée dans des pots de 500 ml remplis de la terre tourbeuse prélevée à Songon.

Six plants par traitement élémentaire ont été utilisés dans cet essai. Des plants de chaque cultivar de tomate transplantés dans le substrat inoculé avec *Fusarium oxysporum f. sp. radicle-lycopersici* à 106 spores ml⁻¹ ou dans du substrat préalablement autoclavé ont servi, de témoin inoculé non traité et de témoin sain, respectivement.

EVALUATION DE LA CROISSANCE VEGETATIVE ET DE LA BIOMASSE DES PLANTS DE TOMATE

La croissance végétative des différentes variétés de tomate a été évaluée sur 30 j après l'inoculation (Hibar *et al.*, 2006). La croissance en hauteur et le nombre de feuilles fonctionnelles ont été évalués le 30^e j après repiquage. Les biomasses sèches foliaire et racinaire ont été obtenues après passage des plants à l'étuve à 105 °C pendant 3 j jusqu'à l'obtention d'un poids constant (Woo *et al.*, 1996). L'indice du rendement (IR) des biomasses sèches foliaire et racinaire a été calculé selon la formule ci-dessous :

$$I_R = Ts \times It / Tp \times 100$$

I étant le plant inoculé, Ts le témoin sain, It le plant inoculé et traité, Tp le témoin positif.

Pour un indice du rendement (IR) supérieur ou égal à 50 %, le fongicide est déclaré significativement efficace et recommandable à la dose utilisée.

RESULTATS

INHIBITION DE LA CROISSANCE RADIALE MYCELIENNE ET DE LA REPRISE DE LA PASTILLE MYCELIENNE

Les taux d'inhibition ont varié en fonction des produits (huile essentielle et mancozèbe) et des doses (Figure 1). L'huile essentielle d'*O. gratissimum* a présenté un taux d'inhibition significativement supérieur à celui du fongicide de synthèse. Le seuil d'efficacité (50 %) a été largement atteint avec le fongicide naturel, *O. gratissimum* à la concentration de 250 ppm, alors que ce même seuil (50 %) a été atteint par le fongicide de synthèse, mancozèbe à la concentration de 2000 ppm. La croissance radiale mycélienne a été totalement inhibée par les deux extraits à la concentration de

4000 ppm. Aucune reprise de la pastille mycélienne n'a été observée à cette dose (4000 ppm) pour le mancozèbe, tandis que l'huile essentielle a atteint sa dose létale à 500 ppm.

Les concentrations inhibitrices de 50 et à 90 % ont été relevées à 1500 ppm et 3000 ppm, pour le mancozèbe et à 50 ppm et 200 ppm pour l'huile essentielle, respectivement.

CROISSANCE VEGETATIVE DES PLANTS DE TOMATE

La croissance végétative des plants de tomate a été évaluée à travers le nombre de feuilles fonctionnelles (Figure 2) et la croissance en hauteur (Figure 3). Le nombre de feuilles a varié en fonction du cultivar et du traitement. Tous les traitements témoins ont été significativement supérieurs aux traitements inoculés qui ont eu un nombre de feuilles fonctionnelles inférieur à 7. Par ailleurs, tous les témoins positifs (plants traités uniquement avec le biofongicide ou le pesticide) des 3 variétés ont eu un nombre de feuilles significativement supérieur aux inoculés traités avec l'huile essentielle ou le mancozèbe. La différence d'efficacité entre les deux produits a été significative chez les cultivars Mongal et Caraïbo. En effet, les plants de Mongal et Caraïbo inoculés et traités avec l'huile essentielle ou le mancozèbe ont produit 9 et 11 feuilles ou 9 et 10 feuilles, respectivement. L'effet du mancozèbe s'est donc montré plus expressif que celui de l'huile essentielle sur la production de feuilles chez les plants de tomate inoculés avec Forl.

La croissance en hauteur des plants de tomate traités avec l'huile essentielle et le mancozèbe a montré une sensibilité variétale liée aux traitements (Figure 3). Tous les cultivars inoculés ont présenté une hauteur inférieure à 20 cm, à la fin des 30 j d'observation. Par contre, quand les produits ont été traités avec l'huile essentielle ou le mancozèbe, ils ont présenté une hauteur largement supérieure à 25 cm. La hauteur des plants inoculés traités avec l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* a été significativement supérieure à celle des plants traités avec le mancozèbe chez toutes les variétés. La croissance en hauteur la plus élevée a été observée chez la variété Tropimech au niveau de tous les traitements par les deux produits.

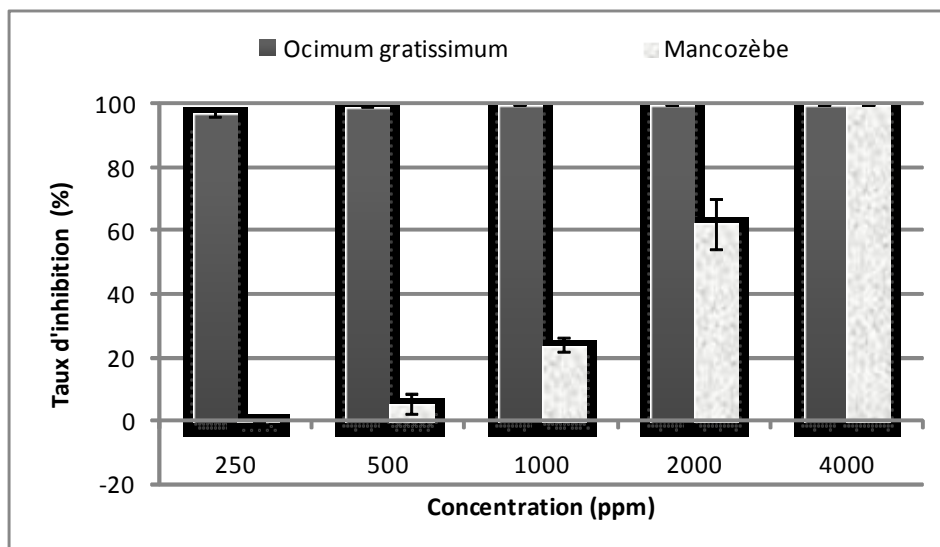


Figure 1 : Evolution du taux d'inhibition de la croissance radiale mycélienne de *F. oxysporum* f. sp. *radicyl-copersici*, avec l'huile essentielle, en fonction de la concentration d'*Ocimum gratissimum* et de mancozèbe.

Changes in inhibition rate of mycelium radical growth of F. oxysporum f. sp. radicyl-copersici with essential oil extracts from Ocimum gratissimum mancozeb.

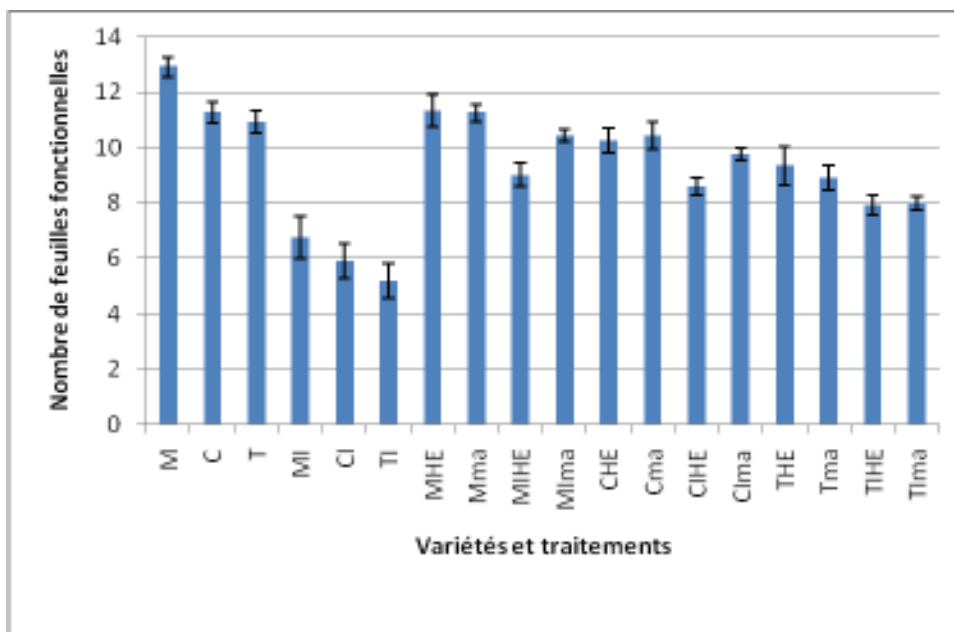


Figure 2 : Nombre de feuilles fonctionnelles des variétés de tomate traités avec l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* comparé a mancozèbe.

Functional leaves on tomato varieties treated with essential oil of Ocimum gratissimum, as compared to mancozeb.

M : Mongal ; C : Caraïbo ; T : Tropimech ; MI : Mongal inoculé ; CI : Caraïbo inoculé ; TI : Tropimech inoculé ; MHE : Mongal traité à l'huile essentielle ; CHE : Caraïbo traité à l'huile essentielle ; THE : Tropimech traité à l'huile essentielle ; Mma : Mongal traité au mancozèbe ; Cma : Caraïbo traité au mancozèbe ; Tma : Tropimech traité au mancozèbe ; MIHE : Mongal inoculé traité à l'huile essentielle ; CIHE : Caraïbo inoculé traité à l'huile essentielle ; TIHE : Tropimech inoculé traité à l'huile essentielle ; Mlma : Mongal inoculé traité au mancozèbe ; Clma : Caraïbo inoculé traité au mancozèbe ; Tlma : Tropimech inoculé traité au mancozèbe.

M : Mongal ; C : Caraïbo ; T : Tropimech ; MI : Mongal inoculated ; CI : Caraïbo inoculated ; TI : Tropimech inoculated ; MHE : Mongal treated with essential oil ; CHE : Caraïbo treated with essential oil ; THE : Tropimech treated with essential oil ; Mma : Mongal treated with mancozeb ; Cma : Caraïbo treated with mancozeb ; Tma : Tropimech treated with mancozeb ; MIHE : Mongal inoculated and treated with essential oil ; CIHE : Caraïbo inoculated and treated with essential oil ; TIHE : Tropimech inoculated and treated with essential oil ; Mlma : Mongal inoculated and treated with mancozeb ; Clma : Caraïbo inoculated and treated with mancozeb ; Tlma : Tropimech inoculated and treated with mancozeb.

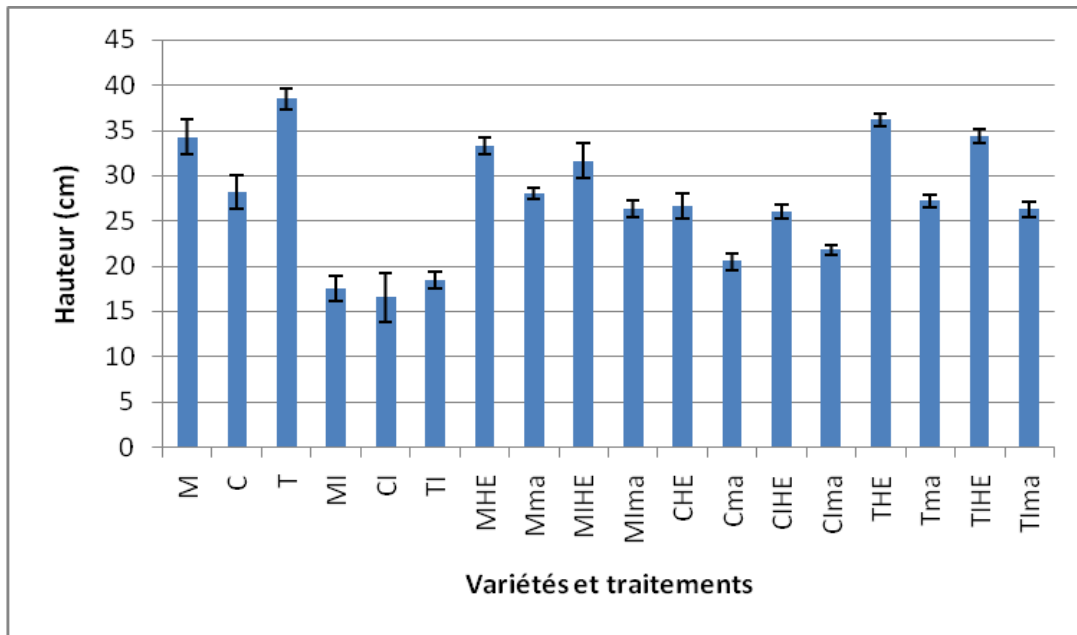


Figure 3 : Hauteur des variétés de tomate traitées avec l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* comparé au fongicide de synthèse (mancozèbe).

*High of tomato plants treated with essential oil of *Ocimum gratissimum* as compared to mancozeb fungicide.*

M : Mongal ; C : Caraïbo ; T : Tropimech ; MI : Mongal inoculé ; CI : Caraïbo inoculé ; TI : Tropimech inoculé ; MHE : Mongal traité à l'huile essentielle ; CHE : Caraïbo traité à l'huile essentielle ; THE : Tropimech traité à l'huile essentielle ; Mma : Mongal traité au mancozèbe ; Cma : Caraïbo traité au mancozèbe ; Tma : Tropimech traité au mancozèbe ; MIHE : Mongal inoculé traité à l'huile essentielle ; CIHE : Caraïbo inoculé traité à l'huile essentielle ; TIHE : Tropimech inoculé traité à l'huile essentielle ; Mlma : Mongal inoculé traité au mancozèbe ; Clma : Caraïbo inoculé traité au mancozèbe ; Tlma : Tropimech inoculé traité au mancozèbe.

M : Mongal ; C : Caraïbo ; T : Tropimech ; MI : Mongal inoculated ; CI : Caraïbo inoculated ; TI : Tropimech inoculated ; MHE : Mongal treated with essential oil ; CHE : Caraïbo treated with essential oil ; THE : Tropimech treated with essential oil ; Mma : Mongal treated with mancozeb ; Cma : Caraïbo treated with mancozeb ; Tma : Tropimech treated with mancozeb ; MIHE : Mongal inoculated and treated with essential oil ; CIHE : Caraïbo inoculated and treated with essential oil ; TIHE : Tropimech inoculated and treated with essential oil ; Mlma : Mongal inoculated and treated with mancozeb ; Clma : Caraïbo inoculated and treated with mancozeb ; Tlma : Tropimech inoculated and treated with mancozeb.

INDICE DU RENDEMENT DE LA BIOMASSE SECHE FOLIAIRE ET RACINAIRE DES PLANTS DE TOMATE

L'indice du rendement en biomasse sèche foliaire et racinaire des plants de tomate traités montre une sensibilité variétale liée aux produits (huile essentielle et mancozèbe). L'huile essentielle d'*O. gratissimum* a induit l'indice du rendement en biomasse racinaire le plus élevé chez Caraïbo et Tropimech. La variété Tropimech

a eu l'indice du rendement en biomasse foliaire le plus élevé (47,34 % et 47,13 %) et l'indice du rendement en biomasse racinaire le plus faible (36,46 % et 32,45 %) avec l'huile essentielle et le mancozèbe, respectivement. Par ailleurs, le cultivar Mongal a présenté l'indice du rendement en biomasse racinaire le plus élevé (47,94 % et 46,83 %) pour l'huile essentielle et le mancozèbe respectivement. L'indice du rendement de la biomasse sèche a varié négativement chez les cultivars Mongal et Tropimech (Figure 4).

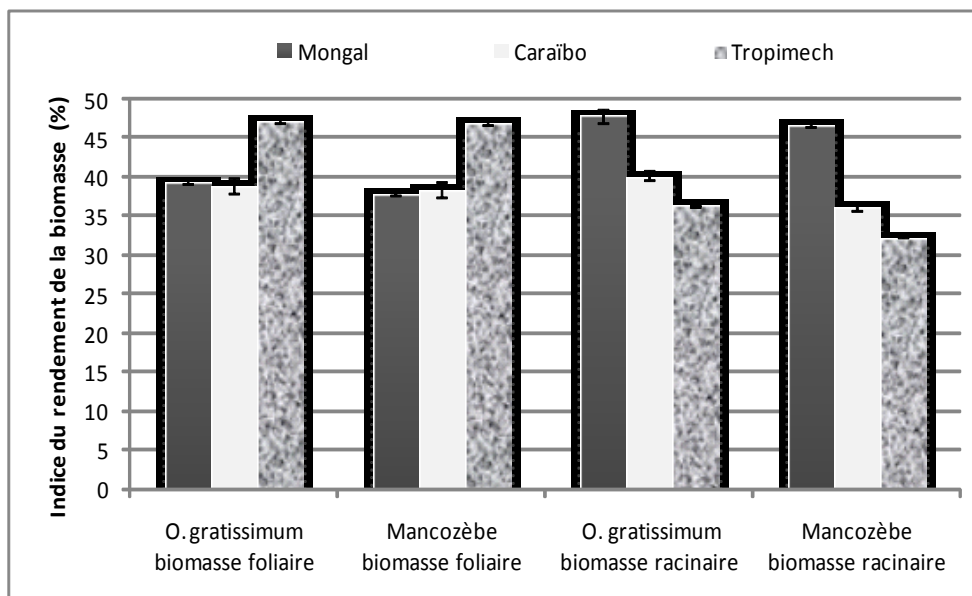


Figure 4 : Biomasse sèche des plants de tomate traités avec l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* comparé au fongicide de synthèse (mancozèbe).

*Dry biomass of tomato plants treated with essential oil of *Ocimum gratissimum* compared to the fungicide mancozeb.*

DISCUSSION

La croissance radiale mycélienne de *Fusarium oxysporum f. sp. radicles-lycopersici* a été significativement inhibée par l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* à 250 ppm. Cette inhibition a été largement très supérieure à celle du fongicide de synthèse, mancozèbe. L'huile essentielle d'*O. gratissimum* a présenté une activité fongicide *in vitro* plus efficace que celle du mancozèbe.

Le thymol étant le composé chimique le plus représenté dans l'huile essentielle, il pourrait être responsable de cette efficacité chez *Ocimum gratissimum*. En effet, le thymol a été déterminé à plus de 43 %, le gamma-terpinène à 18,77 % et le para-cymène à 6,77 % dans l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* (résultats non publiés), alors que le mancozèbe fait partie du groupe chimique des dithiocarbamates à action inhibitrice multi-site.

L'évaluation de la croissance végétative et de la biomasse sèche foliaire et racinaire des cultivars de tomate (Mongal, Caraïbo et Tropimech) au cours du test *in vivo* effectué avec l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum*, comparativement au mancozèbe, a montré que le

fongicide naturel a présenté des propriétés fongicides aussi intéressantes que celles du fongicide de synthèse. Des travaux antérieurs effectués sur ces mêmes cultivars de tomate inoculés avec le *Fusarium* ont relevé des indices de maladie supérieurs au seuil de signification de 25 % (Zirih *et al.*, 2008 ; Soro *et al.*, 2008). Le mancozèbe a eu un impact plus efficace sur la production de feuilles fonctionnelles, alors que l'huile essentielle a stimulé plus la croissance en hauteur des plants de tomate. Quant à la biomasse sèche produite, le fongicide naturel a donné le résultat le plus significatif chez les 3 variétés de tomate. L'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* s'est présenté ainsi comme le meilleur fongicide, par rapport au mancozèbe, vis-à-vis du mycopathogène *Fusarium*.

Nos résultats corroborent ceux d'autres travaux qui ont démontré que le thymol et le carvacrol ont été parmi les composés des huiles essentielles les plus actifs contre le champignon. En effet, beaucoup de travaux ont souligné l'efficacité antifongique des phénols terpéniques et plus particulièrement celle du thymol et/ou du carvacrol (Chebli *et al.*, 2003 ; Hammer *et al.*, 2003 ; Ajjouri *et al.*, 2008). Ces deux molécules possèdent un très large spectre d'action antimicrobienne (Bounatirou, 2007).

Dorman et Deans (2000) ont montré que le thymol est le composé qui possède le plus large spectre d'activité antibactérienne suivi du carvacrol et de l' α -terpineol. Les terpènes phénoliques agissent sur les champignons grâce à divers mécanismes basés, d'une part, sur l'inactivation des enzymes fongiques qui contiennent le groupement SH dans leur site actif et d'autre part en se fixant sur les groupes amine et hydroxylamine des protéines membranaires microbiennes provoquant ainsi une altération de la perméabilité et une fuite des constituants intracellulaires (Cowan, 1999 ; Lopez-Malo *et al.*, 2005). Selon ces observations, on peut déduire que la forte activité antifongique observée avec l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* peut être uniquement au thymol. Celui-ci interviendra dans l'inhibition de la synthèse de la trehalase, une enzyme impliquée dans la transformation du glucose chez les champignons (Cowan, 1999 ; Dorman et Deans, 2000 ; Lopez-Malo *et al.*, 2005).

Des tests effectués *in vitro* et *in vivo* sur chaque composant chimique de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum*, permettront de mieux apprécier son efficacité sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* en cultures de tomate.

CONCLUSION

Les trachéomycoses causées par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* se manifestent durant toute la phase phénologique de la plante de tomate ; ce qui provoque d'énormes pertes chez les maraîchers. Les pesticides, utilisés dans la protection de ces cultures font souvent les frais des limites maximum de résidus dans les récoltes. Le secteur maraîcher souffre de cette image. L'utilisation de formulations volatiles à base de plantes aromatiques et médicinales peut présenter de nombreux avantages par rapport aux produits de synthèses actuels. En effet, les huiles essentielles sont faiblement toxiques pour l'environnement et ne posent pas de problème de résidus. L'analyse de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* a permis d'identifier que cette essence est plus riche en α -terpinène (18,77 %) et en thymol (43,14 %). La forte

activité antifongique observée avec cette huile est attribuée principalement à sa teneur élevée en phénols terpéniques (thymol). L'ensemble des résultats obtenus montre qu'il est possible d'envisager une formulation fongicide contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* au moyen de l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum*, à condition toutefois, de respecter une méthodologie bien adaptée. Ensuite, il faut signaler qu'un certain nombre de facteurs limitent l'optimisation du potentiel fongicide de l'huile essentielle. Il s'agit, entre autres, du caractère volatile de cette dernière, qui peut contribuer à réduire son efficacité ; la nature de l'émulsifiant et surtout les conditions de son application. Par ailleurs, l'effet de l'huile essentielle n'a pas été progressif, puisque son arôme se dissipe avec le temps. Par contre, elle a eu une action fongicide totale sur le champignon. Il en résulte que la lutte fongique au moyen de cette essence conduit à une éradication immédiate du mycopathogène comme le ferait le traitement chimique. Ces résultats montrent que l'étude pourtant que, l'huile essentielle d'*Ocimum gratissimum* doit être plus approfondie en vue d'exploiter ses propriétés antifongiques en matière de protection phytosanitaires des cultures de tomates.

REFERENCES

- Adjanohoun . E. et L. Aké-Assi. 1979. Contribution au recensement des plantes médicinales de Côte d'Ivoire, Centre national de la floristique, 32 p.
- Ajjouri M. E., B. Satrani, M. Ghanmi, A. Aafi, A. Farah, M. Rahouti, F. Amarti et M. Aberchane. 2008. Activité antifongique des huiles essentielles de *Thymus bleicherianus* Pomel et *Thymus capitatus* (L.) Hoffm. & Link contre les champignons de pourriture du bois d'œuvre. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12 (4) : 345 - 351.
- Belitz H. D. and W. Grosch. 1999. Food chemistry. Second edition, Springer-verlag, Berlin Heidelberg, Allemagne, 992 p.
- Bounatirou S. 2007. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of the essential oils isolated from Tunisian *Thymus capitatus* Hoffm. & Link. Food Chem. 105 : 146 - 155.

- Chapuis R. et P. Mille. 2001. Systèmes et espaces agricoles dans le monde. Collection U. Armand Colin, 51 p.
- Chebli B., M. Achouri, L. M. Idrissi Hassani and M. Hmamouchi. 2003. Chemical composition and antifungal activity of essential oils of seven Moroccan Labiatae against *Botrytis cinerea* Pers : Fr. J. Ethnopharmacology. 89 : 165 - 169.
- Conner D. E. and L. R. Beuchat. 1984. Sensitivity of heat-stressed yeasts to essential oils of plants. Appl. Environ. Microbiol. 47 : 229 - 233.
- Cowan M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. Clin. Microbiol. Rev. 12 : 564 - 582.
- Dorman H. J. D. and S. G. Deans. 2000. Antimicrobial agents from plants : antimicrobial activity of plant volatile oils. J. Appl. Microbiol. 88 : 308 - 316.
- FAO 1985. Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides, FAO, Rome, 136 p.
- Ferhout H., J. Bohatier and J. Guillot. 1999. Antifungal activity of selected essential oils, cinnamaldehyde and carvacrol against *Malasseria furfur* and *Candida albicans*. J. Essent. Oil Res. 11 : 119 - 129.
- Finney D. J. 1971. Probit analysis. Cambridge University Press, 3^e ed. 33 p.
- Fumey G. 1997. L'agriculture dans la nouvelle économie mondiale. Collection Major. Presses Universitaires de France : pp 306 - 307.
- Hammer K. A., C. F. Carson and T. V. Riley. 2003. Antifungal activity of the components of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil. J. Appl. Microbiol. 95 : 853 - 860.
- Hibar K., D. R. Mejda, K. Haifa et M. Mohamed El. 2005. Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, Biotech. Agro. Soc. Environ. 9 (3) : 163 - 171
- Hmouni A., hajlaoui M. R. et A. Mlaiki. 1996. Résistance de *Botrytis cinerea* aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures abritées de tomate en Tunisie. OEPP / EPPO bull. 26 : 697 - 705.
- Jacqueline P. 1986. La diversité des plantes légumières : hier, aujourd'hui et demain. Journal d'agriculture traditionnelle et botanique appliquée (JATBA), Paris - France : pp 33 - 38.
- Lopez-Malo A., S. M. Alzamora and E. Palou. 2005. *Aspergillus flavus* growth in the presence of chemical preservatives and naturally occurring antimicrobial compounds. Int. J. Food Microbiol. 99 : 119 - 128.
- Neri F., M. Mari and S. Brigati. 2006. Control of *Penicillium expansum* by plant volatile compounds. Plant Pathology. 55 : 100 - 105.
- Oussou K. R., C. Kanko, N. Guessend, S. Yolou, G. Koukoua, M. Dosso, Y. T. N'Guessan, G. Figueredo et J.-C. Chalchat. 2004. Activités antibactériennes des huiles essentielles de trois plantes aromatiques de Côte d'Ivoire. C. R. Chimie. 7 : 1081 - 1086.
- Oxenham S. K., K. P. Svoboda and D. R. Walters. 2005. Antifungal activity of essential oil Basil (*Ocimum basilicum*). Phytopathology. 153 : 174 - 180.
- Paranagama P. A., K. H. T. Abeysekera, K. Abeywickrama and L. Nugaliyadde. 2003. Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citrates* (DC.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. Isolated from stored rice. Letter in Applied Microbio. 37 : 86 - 90.
- Punja Z. K. and Y. Raymond. 2003. Biological control of damping-off and root rot caused by *Pythium aphanidermatum* on greenhouse cucumbers. Can. J. Plant Pathol. : pp 411 - 417.
- Rao A. and S. Agarwal. 2000. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. J. Am. College Nutr. 19 : 563 - 569.
- Rose S., M. Parker and Z. K. Punja. 2003. Efficacy of biological and chemical treatments for control of *Fusarium* root and stem rot on greenhouse Cucumber. The American Phytopathology Society. 87 (12) : 1462 - 1470.
- Soro S., M. Doumbouya et D. Koné. 2008. Potentiel infectieux des sols de cultures de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sous abri et 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.
- Takeoka G. 1998. Flavor chemistry of vegetables. In Flavor chemistry. Thirty years of progress. Teranishi R *et al.* (Eds.), Cluwer Academic / Plenum Publishers, New York : pp 287 - 304.
- Tchoumboungang F., P. M. J. Dongmo, M. L. Sameza, E. G. N. Mbanjo, G. B. T. Fotso, P.

- H. A. Zollo et C. Menut. 2009. Activité larvicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13 (1) : 77 - 84.
- Téré H. G. 1998. Signification des noms vernaculaires des plantes chez les Guérés (Côte d'Ivoire). *Sempervira*, N°7, 96 p.
- Woo S. L., A. Zoina, G. Del Sorbo, M. Lorito, B. F. Nanni Scala and C. Noveiello. 1996. Characterisation of *Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli by pathogenic races, VCGs, RFLPs, and RAPD. *Phytopathology*. 86 : 966 - 972.
- Zirihi G. N., S. Soro, D. Koné et Y. J. Kouadio. 2008. Activité antifongique de l'extrait naturel de *Combretum sp in vitro* sur 3 espèces fongiques telluriques des cultures de tomate en Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.* 11 : 131 - 142.