

Table des matières

	Pages
Dédicace	iv
Remerciements	iv
Sigles et abréviations	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des photographies et planches	vii
Résumé	viii
Abstract	ix
Introduction générale.....	1
Première partie :	3
Généralités sur la tomate et sur <i>Fusarium oxysporum</i>	3
Chapitre 1 : Généralités sur les Solanacées et la tomate	3
1.1. Solanacées	3
1.2. Cas de la tomate	3
1.2.1. Origine de la culture	3
1.2.2. Classification botanique de la tomate.....	4
1.2.3. Description botanique de la plante de tomate	4
1.2.4. Cycle de développement	5
1.2.5. Diversité variétale	6
1.2.6. Exigences climatiques et édaphiques	6
1.2.7. Fertilisation et irrigation.....	7
1.2.8. Importance de la tomate	8
1.2.9. Maladies, ravageurs de la tomate et moyens de lutte	9
Chapitre 2 : Généralités sur <i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht. emend. Snyder et Hanse	14
2.1. Taxonomie et biologie.....	14
2.2. Ecologie.....	14
2.3. Cycle biologique	15
2.4. Incidence économique.....	15
2.5. Risques sur la santé	16
2.6. Méthodes de lutte contre <i>Fusarium oxysporum</i>	17
2.6.1. Lutte culturale	17
2.6.2. Lutte génétique	17
2.6.3. Lutte chimique.....	18

2.6.4. Lutte biologique	18
2.6.5. Lutte physique	19
Deuxième partie : Etude expérimentale	20
Chapitre 3: Etude de l'efficacité antifongique des extraits <i>in vitro</i> sur <i>Fusarium oxysporum</i> de la tomate.	20
3.1. Introduction	20
3.2. Matériel et méthodes	20
3.2.1. Matériel	20
3.2.2. Méthodes	21
3.3. Résultats et discussion.....	24
3.3.1. Résultats	24
3.3.2. Discussion	25
Conclusion partielle.....	27
Chapitre 4 : Efficacité d'extraits de plantes sur la transmission de <i>F. oxysporum</i> aux plantes de tomates.....	28
4.1. Introduction	28
4.2. Matériel et méthodes	28
4.2.1. Matériel	28
4.2.2. Méthodes	29
4.3. Résultats et discussion.....	31
4.3.1. Résultats	31
4.3.2. Discussion	33
Conclusion partielle.....	34
Chapitre 5: Effets des extraits de plantes sur l'incidence de la fusariose causée par <i>Fusarium oxysporum</i>	35
5.1. Introduction	35
5.2. Matériel et méthodes	35
5.2.1. Matériel	35
5.2.2. Méthodes	36
5.2.3. Mise en place des essais et entretien	38
5.2.4. Collecte et analyse des données	40
5.3. Résultats et discussion.....	41
5.3.1. Résultats	41
5.3.2. Discussion	45

Conclusion partielle.....	46
Conclusion générale et perspectives.....	47
Références bibliographiques	49
Annexe	A

Dédicace

***Je dédie ce mémoire
A mes parents
Pour tous les efforts
Qu'ils ont consentis
Pour mon éducation.***

Remerciements

Le présent mémoire est le fruit des efforts de plusieurs personnes et nous tenons à leur exprimer ici notre profonde gratitude. Ainsi, nous adressons nos sincères remerciements :

- Au **Professeur Irénée SOMDA**, Enseignant chercheur à l'Université Nazi Boni (UNB), responsable du laboratoire de phytopathologie de l'IDR, Coordinateur du Projet Clinique des plantes ; pour nous avoir proposé ce thème, nous avoir acceptée dans son laboratoire et nous avoir encadrée malgré ses multiples responsabilités et occupations. Nous lui sommes très reconnaissante ;

- Au **Docteur Schémaéza BONZI**, Enseignant-chercheur à l'UNB, notre maître de stage pour le suivi de nos travaux, sa constante disponibilité face à nos différentes sollicitudes, la correction du document et tout le soutien qu'il nous a accordé. Nous l'en remercions très sincèrement ;

- Au **Docteur Mamadou TRAORE** et à **monsieur Béguè DAO**, nos enseignants et membres de notre jury de soutenance pour leurs différents apport et recommandation ayant permis l'amélioration de la qualité scientifique du document final ;

- A tous les enseignants de l'IDR, pour nous avoir offert les compétences nécessaires pour la réalisation de ce travail ;

- A Monsieur **Samuel TIBI**, pour son assistance et son soutien inconditionnel tout au long du stage ;

- A Monsieur **Ollo PALE**, technicien au laboratoire de phytopathologie de l'IDR, à qui nous disons merci pour son soutien et ses conseils permanents dans l'exécution de nos travaux ;

- Aux Messieurs **Diakalia SON** et **Gafar SANOU**, qui malgré leurs multiples occupations dans la préparation de leurs thèses, nous ont soutenue, orientée et prodigué des conseils ;

- A Monsieur **Diakalia SANOU**, pour sa franche collaboration dans la réalisation de nos essais ;

- Nous gardons un bon souvenir de tous les stagiaires du laboratoire de phytopathologie, notamment Messieurs **Alain TIZAMBO**, **Amara HIE**, **Kpierenouor SOME HIEN**, **Hémayoro SAMA**, **Amadou SANOU**, **Bruno SANOU** pour la bonne ambiance entretenue durant tout le stage ;

- Nous ne saurions terminer sans remercier tous les camarades de notre promotion pour la solidarité fraternelle qui a régné entre nous durant ces dures années de formations et leur souhaiter tout le bonheur du monde ;

- A toutes les nombreuses personnes, qui nous ont aidés ou encouragés et que nous n'avons pas pu citer, nous leur témoignons ici notre profonde gratitude.

Sigles et abréviations

ACP : Afrique-Caraïbes-Pacifique ;

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement ;

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture ;

GRET : Groupe de Recherche et d'Échanges Technologiques ;

IDR : Institut du Développement Rural ;

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles ;

JAI : Jour Après Incubation ;

JAS : Jour Après Semis ;

JAR : Jour Avant le Repiquage ;

JR : Jour du Repiquage

MAHRH : Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques ;

MAH : Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique ;

MASA : Ministère de l'Agriculture et de la sécurité Alimentaire ;

PDSA : Projet de Développement des Semences Améliorées ;

PDA : Potato Dextrose Agar ;

UNB : Université Nazi Boni ;

UV : Ultra-Violet.

Liste des tableaux

	Pages
Tableau I : Quelques maladies cryptogamiques de la tomate	10
Tableau II: Quelques maladies bactériennes de la tomate	11
Tableau III: Quelques maladies virales de la tomate	12
Tableau IV: Quelques ravageurs de la tomate	13
Tableau V: Effets des extraits de plantes sur la croissance mycélienne de <i>Fusarium oxysporum</i> à 4, 7 et 10 jours après incubation	25
Tableau VI : Effets des extraits de plantes sur la levée et la mortalité post émergence à 14 et 30 JAS.	31
Tableau VII: Effets des extraits de plantes sur la vigueur des plants à 30 jours après semis ..	32
Tableau VIII : Effet des extraits de plantes sur la transmission de <i>Fusarium oxysporum</i> aux collets des plantes.....	42
Tableau IX : Effets des extraits de plantes sur l'émergence des plantules à 5, 7 et 14 jour après semis.....	43
Tableau X : Effet des extraits de plantes sur l'état sanitaire des plantules et sur le sol naturellement infesté.	44

Liste des photographies et planches

	Pages
Photo 1: Structure simplifiée d'une plante de tomate	5
Photo 2 : Micro et macro conidies de <i>Fusarium oxysporum</i>.....	14
Photo 3: Jaunissement et flétrissement de la tomate causés par <i>F. oxysporum</i>.....	16
Photo 4: Semis dans les alvéoles.....	39
Photo 5 : Inoculation des pots avec du <i>Fusarium oxysporum</i>.....	40
Photo 6 : Méthode d'application des traitements.....	40
 Planche 1 : Espèces végétales testées : <i>Cymbopogon citratus</i> (A) ; <i>Azadirachta indica</i> (B) ; <i>Cassia occidentalis</i> (C).....	 21
Planche 2 : Effets des traitements sur la vigueur des plantes de tomate.....	33
Planche 3 : Flétrissement des plantes de tomate et ré isolement de <i>F. oxysporum</i> à partir du sol artificiellement infesté.....	36
Planche 4 : Flétrissement et dessèchement des plantules observés avec les traitements Ci 10%, Ci 20%, TA, EC et Ci A 30%	43

Résumé

La tomate (*Solanum lycopersicum* (L.)) est l'une des cultures maraichères prometteuses au Burkina Faso. Cependant, sa culture est sujette à de nombreuses contraintes parmi lesquelles on compte les maladies qui pour la plupart causées par les champignons dont *Fusarium oxysporum* qui est à l'origine de dégâts au champ et en post-récolte. Face à ces dégâts, les producteurs ont surtout recours aux produits chimiques de synthèse qui sont nocifs pour l'environnement, les utilisateurs et les consommateurs. C'est en vue de contribuer à limiter l'utilisation de ces produits chimiques par le développement des méthodes de lutte basées sur l'emploi de plantes locales à propriétés fongicides que la présente étude a été réalisée. Elle a consisté dans un premier temps à tester *in vitro* l'efficacité de *Cymbopogon citratus*, de *Azadirachta indica* et de *Cassia occidentalis* sur la croissance mycélienne de *F. oxysporum*. Les résultats montrent que les extraits aqueux de *C. citratus* à 30% et l'huile de *A. indica* à 10% réduisent significativement la croissance de l'agent pathogène. Ces résultats satisfaisants ont conduit à tester l'efficacité de ces extraits en traitement de semences contre *F. oxysporum* sur des substrats naturellement infesté. Les résultats montrent que le trempage des graines de tomate dans l'extrait aqueux de *C. citratus* à 30% permet d'obtenir plus de plantes vigoureuses en termes de hauteur et l'huile de *A. indica* à 10% permet une bonne croissance des racines des plantes. Ces extraits ont été par la suite testés en vase de végétation d'abord sur un sol artificiellement infesté avec un inoculum titré à 10^6 conidies/ml de *F. oxysporum* puis sur un sol naturellement infesté. Les résultats montrent que les plantes issues de substrats infestés artificiellement puis traités avec la poudre de *C. citratus* à raison de 15 g/poquet et de *A. indica* soient 25 g/poquet empêchent la transmission du champignon aux plantes. L'analyse sanitaire des plantules issues du sol naturellement infesté après application de la poudre de *C. citratus* à 15 et 30% ont donné des plantes et des substrats exempts du pathogène. Cette étude confirme l'hypothèse selon laquelle, les extraits de plantes tels que *C. citratus* et l'huile de *A. indica* pourraient être utilisés comme méthode efficace de lutte contre *F. oxysporum* sur la tomate.

Mots clés : *Solanum lycopersicum* (L.), champignons du sol, traitement de semences, extraits de plantes, Burkina Faso.

Abstract

Tomato (*Solanum lycopersicum* (L.)) is one of the promising commercial crops in Burkina Faso. However, its cultivation is subject to many constraints, including diseases caused by fungi, like *Fusarium oxysporum* which cause damage to the field and post-harvested crops. Given the damage caused by this pathogen, producers use chemicals that are harmful to the environment, users and consumers. It is in order to help limit the use of these chemicals through the development of control methods based on the use of environmentally friendly and fungicidally active local plants that the present study was carried out. The study consisted firstly of testing *in vitro* the efficacy of *Cymbopogon citratus*, *Azadirachta indica* and *Cassia occidentalis* against the mycelial growth of *F. oxysporum*. The results show that *C. citratus* at 30% and the oil of *A. indica* at 10% significantly reduce the growth of the pathogen. These satisfactory results led to testing the efficacy of these extracts in seed treatment against *F. oxysporum* on naturally infested substrates. The results show that dipping of the seeds in the *C. citratus* extract at 30% yields more vigorous plants (height) and *A. indica* at 10% oil allows a good growth of the roots of the plants (length). These extracts were subsequently tested in vegetation first on artificially infested soil with an inoculum titrated to 10^6 conidia / ml of *F. oxysporum* and then on a naturally infested soil. The results show that plants originating from the substrates artificially infected and then treated with the *C. citratus* powder for 15 g / poquet and *A. Indica* for 25 g / poquet prevent the transmission of the fungus to the plants. Health analysis of seedlings from naturally infested soil after application of 15 and 30% of powder of *C. citratus* yielded have given plants and substrates free from the pathogen. This study confirms the hypothesis according to which, the extracts of plants as *C. citratus* and the oil of *A. indica* could be used as an effective control method against *F. oxysporum* on the tomato.

Key words: *Solanum lycopersicum* (L.), soil fungi, seed treatment, plant extracts, Burkina Faso.

Introduction générale

La filière fruits et légumes occupe une place de choix parmi les filières porteuses retenues par les autorités burkinabè et figurent dans le Document de stratégie de développement rural à l'horizon 2015 (FAO & MAHRH, 2007). Les cultures maraîchères et fruitières ont connu un essor très important au cours de ces trente dernières années marquées par des sécheresses successives (MAHRH, 2004). Avec son niveau actuel de technologie utilisée et de superficie cultivée (30 000 hectares), cette filière engendre près de 400.000 emplois, dont 100.000 occupés par les femmes sur une population active totale d'environ six millions d'individus (FAO & MAHRH, 2007). En effet, la pratique de cette activité en contre saison, est devenue une occupation de plus en plus importante pour les populations rurales, voire pour celles des villes (DGPSA, 2006), du fait que le pays bénéficie de conditions climatiques et géographiques favorables au développement de l'horticulture (MAHRH, 2004). Cet environnement permet la production de cultures maraîchères toute l'année avec des périodes de pointe se situant entre novembre et mars. En cela elle contribue pour une part très importante dans l'économie nationale et constitue une source de revenus monétaires pour les producteurs (MAHRH, 2011). En 2011 au Burkina Faso, le total des sommes générées par la production maraîchère a été évaluée à plus de 82 milliards de FCFA. Près de 28% de la valeur des ventes est détenu par les provinces du Houet et du Kadiogo. Une répartition de la valeur des ventes par spéculation permet de remarquer que l'oignon bulbe, la tomate, le chou et la laitue rapportent plus de 63 milliards de FCFA soit 77 % de la valeur totale des ventes.

La tomate occupe la deuxième place après l'oignon bulbe mais demeure la culture maraîchère la plus rentable du pays avec une marge brute qui s'élève à 5,5 milliards de FCFA environ (MAHRH, 2011). Par ailleurs, les légumes sont des produits alimentaires de grande valeur commerciale et surtout nutritive qui peuvent considérablement contribuer à l'amélioration du bien-être social et de l'état de santé des populations rurales et urbaines (FAO, 2012). Selon MASA (2013), 2% de la production de tomate est autoconsommé et contribue ainsi à l'amélioration de l'alimentation et à la nutrition de la population. En effet ses fruits sont riches en minéraux, vitamines (B, K, E, C), acides aminés essentiels, sucres, fibres alimentaires, ainsi qu'en pigments (bêta-carotène; le lycopène rouge), fer et phosphore (BLANCARD *et al.*, 2009).

Ce secteur en pleine croissance rencontre néanmoins aujourd'hui d'énormes difficultés d'ordre abiotique et surtout biotique. Malgré les moyens de lutte considérables, les maladies des plantes dues aux champignons, bactéries et virus constituent toujours une cause de perte importante (SCHIFFERS, 2011a). Dans les pays industrialisés, les pertes s'élèvent à près de

40% et concernent toutes les étapes de la chaîne alimentaire depuis la production jusqu'à la transformation industrielle et la commercialisation. Leur niveau est bien plus élevé encore (plus de 50%) dans les pays ACP (Afrique Caraïbes et Pacifique) qui payent le plus lourd tribut à ce gaspillage de ressources alimentaires. BLANCARD *et al.* (2009) affirment la fusariose est l'une des maladies les plus communes que connaissent les producteurs de tomate et qu'elles continuent de s'étendre tout en causant d'énormes pertes. Pour parer à cette situation, les producteurs ont recours aux moyens dont ils disposent notamment les produits chimiques de synthèse à forte rémanence et dont les coûts restent élever (LISAN, 2012). Or ces pesticides chimiques utilisés depuis de nombreuses années sont aujourd'hui l'objet de nombreuses critiques en raison des effets néfastes qu'ils exercent sur l'environnement, les aliments et, au final, sur les consommateurs (GERBORE, 2013). Cette prise de conscience et la volonté politique en matière de réduction des risques associés à une utilisation très forte, parfois abusive, de produits chimiques font que le développement rapide de nouvelles méthodes de protection des végétaux respectueuses de l'environnement est plus que jamais d'actualité. « L'âge d'or » des pesticides chimiques semble donc révolu et la mise au point de méthodes alternatives de lutte, comme l'utilisation des extraits et huiles de plantes suscite un intérêt grandissant. C'est dans l'optique de contribuer à la recherche de méthodes de lutte alternative à la lutte chimique qui soient efficaces, saines vis-à-vis de l'environnement et compatibles avec d'autres méthodes de lutte, que s'inscrit la présente étude. Elle porte sur l'évaluation de l'efficacité d'extraits de plantes contre les champignons en production de tomate. De façon spécifique, il s'agira de :

- 1) Evaluer l'efficacité des extraits de *Cymbopogon citratus*, *Azadirachta indica* et *Cassia occidentalis in vitro* sur les principaux champignons de la tomate ;
- 2) Evaluer l'efficacité d'extraits de plantes sur la transmission de *Fusarium oxysporum* aux plantes de tomates ;
- 3) Evaluer l'effet des extraits de plantes sur l'incidence de la fusariose causée par *Fusarium oxysporum*.

Le présent mémoire est subdivisé en deux grandes parties. La première fait cas de la synthèse bibliographique structurée en deux chapitres. La deuxième partie porte sur les expérimentations réalisées et comprend trois chapitres et une conclusion et des perspectives.

Première partie :
Généralités sur la tomate et sur *Fusarium oxysporum*

Chapitre 1 : Généralités sur les Solanacées et la tomate

1.1. Solanacées

La famille des Solanacées comprend entre 3 000 et 4 000 espèces, réparties en 90 genres aux morphologies variées: arbres, arbustes, lianes, herbes vivaces ou annuelles. Bien qu'elle soit présente presque dans le monde entier, la plupart des espèces croissent dans les régions tropicales, et plus spécialement en Amérique du Sud ainsi qu'en Afrique (BUREAUX, 2008 ; SAMUELS, 2015). Son nom provient du genre *Solanum* (morelles), qui viendrait du latin « solari » signifiant « soulager », du fait des propriétés médicinales de certaines espèces. Cette famille revêt une grande importance économique car beaucoup de plantes ornementales (pétunia, datura, tabac...), industrielles (tabac), et surtout bon nombre de fruits et légumes (tomate, aubergine, piments et poivrons, pomme de terre...) en sont issus. A celles-ci s'ajoutent des plantes officinales, toxiques, voire hallucinogènes, que le folklore associe à des histoires mythologiques et aux rituels de sorcellerie, telles que la belladone, la jusquiame, la stramoine et la mandragore (BUREAUX, 2008). Les fruits de cette famille sont des baies charnues, possédant une grande variété de couleurs et de formes (BOUCHE, 2012).

1.2. Cas de la tomate

1.2.1. Origine de la culture

Le genre *Lycopersicon* est originaire du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, d'une zone allant du Sud de la Colombie à l'Équateur, au Pérou et au Nord du Chili, de la côte pacifique aux contreforts de la Cordillère des Andes (PHILOUZE, 1993). L'ancêtre de la tomate serait *L. esculentum* var. *cerasiforme*, qui aurait migré de sa zone d'origine vers le Sud de l'Amérique du Nord, où elle a été domestiquée. De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient (NAIKA *et al.*, 2005).

Au Burkina Faso, la production maraîchère en général et celle de la tomate en particulier a débuté depuis la période coloniale dans les années 1920. Initialement, elle était destinée à l'alimentation des missionnaires et autres colons qui détenaient le monopole de la production. Puis progressivement, elle a été adoptée par les populations locales. C'est surtout à la faveur des grandes sécheresses des années 1970 que la production maraîchère a connu une croissance avec le soutien de l'Etat et des Organisations Non Gouvernementales (ONG) qui y percevaient une autre forme d'atteinte de l'autosuffisance alimentaire (KABORE, 1994 cité par COMBARY, 2016).

1.2.2. Classification botanique de la tomate

La tomate cultivée, *Lycopersicon esculentum*, appartient à la famille des Solanacées (PHILOUZE, 1993). Le nom scientifique « *Solanum lycopersicum* L. » a été proposé pour remplacer « *Lycopersicon esculentum* Mill. » utilisé depuis de nombreuses décennies. En effet, les éléments historiques montrent que « *Solanum lycopersicum* » a été proposé par Linné en 1753, un an avant la proposition de Miller d'associer la tomate au genre *Lycopersicon* (BLANCARD *et al.*, 2009). Des études phylogéniques appuient l'idée que la tomate et ses cousins les *Lycopersicon* sauvages doivent être placés dans le genre *Solanum*. Les deux noms continuent d'être utilisés dans la littérature mais « *S. lycopersicum* » est de plus en plus fréquent. Selon DUPONT & GUIGNARD (2012) et SPICHIGER *et al.* (2004) cités par BOURAS & BENHAMZA (2013), la tomate appartient à la classification suivante :

Règne : *Plantae*

Sous règne : *Trachenobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous classe : *Asteridae*

Ordre : *Solanales*

Famille : *Solanaceae*

Genre : *Lycopersicon*

Espèce : *Solanum lycopersicum*

1.2.3. Description botanique de la plante de tomate

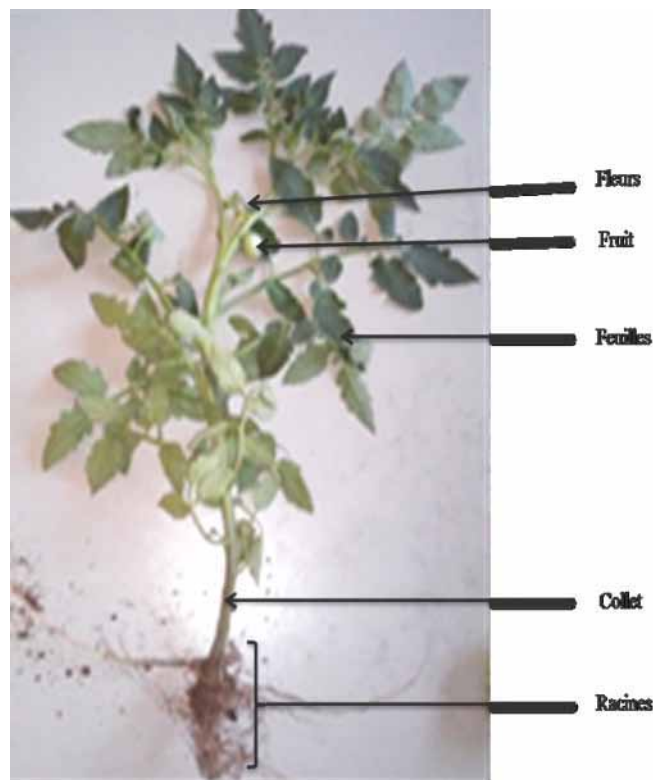
La tomate est une plante annuelle buissonnante, poilue et aux tiges plutôt grimpantes. Elle est aromatique lorsqu'on la froisse. Cette plante potagère herbacée voit sa taille varier de 40 cm à plus 5 mètres selon les variétés et le mode de culture (DUMORTIER, 2010).

NAIKA *et al.* (2005) l'ont décrite de la façon suivante :

- **Racine** : forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une forte densité de racines latérales et adventices (Photo 1);
- **Tige** : le port de croissance varie entre érigé et prostré. La tige pousse jusqu'à une hauteur de 2 à 4 m. Elle est pleine, fortement poilue et glandulaire. Sa croissance peut être déterminée ou indéterminée ;
- **Feuillage** : les feuilles sont disposées en spirale avec 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les

grandes folioles sont parfois pennatifoliées à la base. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm ;

- **Fleurs** : bisexuées, régulières et mesurent entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées ou entre les feuilles. L'inflorescence est formée de 6 à 12 fleurs. La plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu ;
- **Fruit** : c'est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général, les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés ;
- **Graines** : nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, et mesurent 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. Le poids de 1000 graines donne approximativement 2,5 à 3,5 g.



Source : Photo (HSM)

Photo 1: Structure simplifiée d'une plante de tomate

1.2.4. Cycle de développement

Bien qu'elle soit vivace sous les climats tropicaux, on la cultive comme annuelle en Amérique du Nord (Anonyme, 2006). Le cycle de la tomate, de la graine à la graine est d'environ 110 à 160 jours dont 20 à 30 jours dans la pépinière (VABI et CHIKOYE, 2008 ; BLANCARD *et*

al., 2009). Ce cycle donne des rendements qui varient de 10 à 150 t/ha en fonction du type de culture (sous abri, hors-sol) et de la longueur du cycle (CIRAD-GRET, 2002). La multiplication se fait par graines (environ 300 graines par gramme) (BLANCARD *et al.*, 2009) et les besoins en semences pour un hectare s'élèvent à 200 g sur 100 m² de pépinière (FAO, 2012). La plantule produit sept à quatorze feuilles composées avant de produire sa première inflorescence ou bouquet, cinquante à soixante-cinq jours après le semis. Cependant selon le nombre de feuilles qui sépare deux bouquets, on distingue les variétés à croissance « déterminée » et les variétés à croissance « indéterminée » (MESSIAEN, 1989 cité par GOUBA, 2002). Les variétés à croissance indéterminée produisent un bouquet toutes les trois feuilles durant toute la vie de la plante tandis que chez les variétés à croissance déterminée, un bouquet terminal apparaît après deux à quatre inflorescences, et plusieurs bourgeons axillaires se développent (CIRAD-GRET, 2002).

1.2.5. Diversité variétale

La tomate cultivée est diploïde ($2n = 24$), autogame, d'introduction récente, phénotypiquement assez diversifiée, mais d'une diversité génétique très réduite (PHILOUZE, 1993). Les biologistes moléculaires ont montré qu'il n'y a que très peu de polymorphisme au niveau de l'ADN chez *L. esculentum*. En contrepartie, les espèces sauvages de *Lycopersicon* représentent un énorme réservoir de variabilité génétique pour les sélectionneurs, qui les ont déjà beaucoup exploitées (PHILOUZE, 1993). Les espèces sauvages sont le plus souvent largement allogames, voire auto-incompatibles. Les croisements avec *L. esculentum* sont possibles, à condition de prendre la tomate cultivée comme parent femelle.

Il existe plusieurs variétés de tomate qui ont été développées pour s'adapter aux conditions des différents milieux. Mais les variétés adaptées aux régions tropicales sont, entre autres, les variétés Rossol, Mongal, Pétomech, Roma, Lindo, Panther 17, Cobra, Savana et Jaguar (COMBARY, 2016).

1.2.6. Exigences climatiques et édaphiques

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité (NAIKA *et al.*, 2005). La croissance de la plante est favorisée par des températures de 15°C pendant la nuit et de 25°C pendant la journée. Cette différence entre la température diurne et nocturne est importante pour la floraison de la tomate (FAO, 2012). La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C. Les plantes peuvent surmonter un certain intervalle de températures, mais en-dessous de 10°C et au-dessus de 38°C les tissus

des plantes seront endommagés. La tomate est peu sensible au photopériodisme, mais est exigeante en énergie lumineuse (CIRAD-GRET, 2002). Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation. Combiné à de fortes températures diurnes et à des nuits tièdes (écart jour/nuit < 10°C), il conduit à l'avortement des fleurs et des fruits. Celle-ci préfère les terres limoneuses profondes (15 à 20 cm) ayant une bonne aération, bien drainées où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8 et où l'approvisionnement en éléments nutritifs est adéquat et suffisant (NAIKA *et al.*, 2005). La salinité provoque une sensibilité de la tomate vis-à-vis de *Verticillium dahliae* Reinke & Berthier (BOUKHARTA *et al.*, 2012).

1.2.7. Fertilisation et irrigation

La tomate est une plante qui aime la chaleur et qui épuise le sol; elle exige beaucoup d'engrais, sans quoi sa pousse est languissante et sa production laisse à désirer (SCHIFFERS, 2011a). En général l'on donne à la tomate une combinaison de fertilisants organiques et chimiques (NAIKA *et al.*, 2005). Dans les pays tropicaux, les quantités d'application des fertilisants chimiques varient entre 40 et 120 kg/ha pour l'azote, 30 et 90 kg/ha pour le phosphate et 30 et 90 kg/ha pour la potasse (NAIKA *et al.*, 2005). Les apports en N doivent être la moitié des apports en K₂O, pour assurer un bon équilibre entre le développement végétatif et la floraison (FAO, 2012). Les exportations pour les fruits, tiges et feuilles, pour une récolte de 50 T, correspondent à 130 unités N, 50 unités P₂O₅, 250 unités K₂O, 200 unités CaO et 35 unités MgO (CIRAD-GRET, 2002). Il est préférable de fractionner les apports d'engrais de la manière suivante :

- apport avant plantation de la totalité du phosphore, du calcium et du magnésium, plus 50 kg/ha d'azote et 100 kg/ha de potassium ;
- apports en cours de culture, tous les quinze jours, du complément en azote et potassium.

Un apport de fumure de fond sous forme de matière organique est nécessaire, à raison de 30-50 T/ha et d'une fumure minérale NPK (200-100-200) avant plantation. Après deux mois de culture, l'azote complémentaire (30g/m²) est apporté sous forme minérale en 2-3 applications (FAO, 1999 cité par GOUBA, 2002).

La tomate est très sensible au stress hydrique (SALTER, 1954 cité par YOUCH, 2010). Ses besoins en eau se situent entre 4000 et 5000 m³/Ha (CHAUX, 1972 cité par SNOUSSI, 2010). Il faut maintenir la plante à la limite de ses besoins. Toute irrégularité entraîne au moment de la maturation des éclatements de fruits. Si l'irrigation est souvent indispensable

pour obtenir une production maximale, la tomate est une plante également très sensible à l'asphyxie racinaire, qui même sporadique et peu accentuée, peut provoquer des carences en magnésium, phosphore, et en azote (SCHIFFERS, 2011a). Les résultats de telles pratiques sont des flétrissements importants entraînant parfois des mortalités, une faible production (couleur de fleurs, éclatement des fruits) de basses qualités (nécrose apicale, taches internes). L'apport d'eau doit surtout être régulier, spécialement aux moments critiques (floraison, nouaison et grossissement des fruits) mais il faut diminuer les apports en fin de culture.

1.2.8. Importance de la tomate

1.2.8.1. Importance économique de la tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est devenue un des légumes les plus importants du monde (NAIKA *et al.*, 2005). Selon la FAO (Food and Agriculture Organization), plus de 170 pays produisent de la tomate ce qui en fait le premier légume cultivé dans le monde avec environ 160 millions de tonnes produites en 2013. La production mondiale est en augmentation constante avec 40 millions de tonnes supplémentaires en 10 ans (FAOSTAT, 2013). L'Asie assure 45 % de cette production suivie de l'Europe (22 %), l'Afrique (12 %), l'Amérique du Nord (11 %) et l'Amérique du Sud et centrale (8 %) (CIRAD-GRET, 2002). Comme c'est une culture à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie cultivée s'agrandit de jour en jour. Aussi, elle est produite pour deux marchés distincts : la tomate de marché pour la consommation en frais et la tomate d'industrie pour la transformation et la conserve.

La tomate fait partie des légumes-fruits les plus communément cultivés en Afrique de l'Ouest (JAMES *et al.*, 2010). Dans cette même lancée, le Burkina Faso produit près 157.086 tonnes dont la valeur totale des ventes est estimée à 17.469.073.587 FCFA soit 21 % du chiffre d'affaires du maraîchage (MAHRH, 2011).

1.2.8.2. Importance alimentaire et nutritionnelle de la tomate

La consommation de la tomate a fortement évolué depuis l'époque, il y a une centaine d'années, où cette espèce était considérée comme toxique du fait de son appartenance à la même famille que la belladone (BLANCARD *et al.*, 2009). Elle est appréciée pour sa fraîcheur et constitue la base ou la garniture de toute sorte de plats, qu'elle soit crue en salade ou cuite dans des sauces, des soupes ou des plats de viande ou de poisson. Il est possible de les transformer en purée, en jus et en ketchup. Les fruits séchés et les fruits mis en conserve sont des produits transformés qui ont également une importance économique (NAIKA *et al.*,

2005). Du fait de son niveau de consommation relativement élevé, la tomate intervient pour une part importante dans l'apport en vitamines et en sels minéraux dans l'alimentation humaine (BLANCARD *et al.*, 2009). C'est l'espèce légumière la plus cultivée en Afrique car elle entre dans la composition de nombreux plats traditionnels (COURCHINOUX, 2008). En effet ses fruits sont riches en minéraux, en vitamines B, K, E, C (18 à 25 mg/100g de fruits frais), en acides aminés essentiels, en sucres ainsi qu'en fibres alimentaires, en pigments (bêta-carotène jaune orange = provitamine A ; le lycopène rouge), en fer et en phosphore.

1.2.8.3. Importance thérapeutique

La consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré (NAIKA *et al.*, 2005). Une partie de l'engouement récent pour la tomate est due à des rapports dans la littérature médicale, à partir des années 1990, affirmant que le lycopène, le pigment rouge de la tomate, est un puissant antioxydant qui réduit les risques de plusieurs cancers, en particulier le cancer gastro-intestinal (BLANCARD *et al.*, 2009). Aussi, sa richesse en antioxydants, notamment en caroténoïdes constitue une bonne source de potassium, de vitamines C (22 mg 100 g⁻¹), E (0,9 mg 100 g⁻¹) et A (0,117 mg 100 g⁻¹) ainsi que d'acide folique (DORAIS *et al.*, 2001 cité par MAHAMOUD, 2010) lui conférant des propriétés dont la prévention de maladies cardio-vasculaires et différents types de cancer (RAO & AGARWAL, 2000 cités par YOUCH, 2010).

1.2.9. Maladies, ravageurs de la tomate et moyens de lutte

Les tomates sont sujettes à des maladies dues aux agents pathogènes qui provoquent des dommages graves (NAIKA *et al.*, 2005). Elles peuvent être causées par des champignons, bactéries, nématodes ou virus parasites (BERKELEY et RICHARDSON, 1960), soit par des conditions particulières de température, d'humidité ou de rayonnement solaire, par l'absence d'éléments minéraux indispensables dans le sol, la présence de substances toxiques ou une combinaison de ces diverses formulations défavorables de milieu (MESSIAEN, 1974 cité par GOUBA, 2002). Pour cette raison, cette culture consomme les produits phytosanitaires pharmaceutiques en très grandes quantités (PUSSEMIER, 1983). Ces programmes de lutte nécessitent une application régulière de produits sur la partie aérienne des plantes.

A cet effet, dans les tableaux ci-dessous, on pourra trouver un résumé de quelques maladies cryptogamiques (Tableau I), bactériennes (Tableau II), virales (Tableau III) et ravageurs

(Tableau IV) très dommageables à la culture de la tomate ainsi que les méthodes de luttés couramment usitées par les producteurs pour les contrôler.

Tableau I : Quelques maladies cryptogamiques de la tomate

Maladies	Symptôme et dégâts	Moyens de lutte
Mildiou	Grandes taches brunes sur les feuilles et les tiges.	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter les excès d'azote et d'eau, - Bonne aération, - Eliminer les plants malades, - Traitements chimiques préventifs en alternant pour éviter l'accoutumance.
Alternariose	Taches noires de taille variables sur les feuilles.	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des variétés résistantes, - Détruire les résidus, - Rotation culturale adéquate, aération, traitement chimique.
Fusariose	Flétrissement des feuilles avec brunissement des vaisseaux et pourriture des racines	<ul style="list-style-type: none"> - Cultiver des variétés résistantes. - Pratiquer une longue rotation.
Verticilliose	Flétrissement des feuilles accompagné d'un jaunissement unilatéral suivi de dessèchement des feuilles de la base	<ul style="list-style-type: none"> - Bonnes mesures sanitaires : la destruction des débris, rotation de 4 à 5 ans excluant les autres solanacées.
Anthraxnose	Taches circulaires de 05 à 10 mm sur les fruits rouges.	<ul style="list-style-type: none"> - Rotation, pulvérisations au zirame ou au manèbe, - Détruire les fruits atteints et résidus, - Stérilisation du sol (70°-80°F).

Source : (SNOUSSI, 2010 cité par BOURAS et BENHAMZA, 2013) ;(FOR EVER AGRO, 2014)

Tableau II: Quelques maladies bactériennes de la tomate

Maladies	Symptôme et dégâts	Moyens de lutte
Moucheture bactérienne et gale bactérienne	Taches nécrotiques noires sur les feuilles et sur les fruits.	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminer les plants malades, - Appliquer des fongicides à base de cuivre - Désinfecter avant plantation, - Utiliser de semences certifiées
Moelle noire	Tige molle colorée en brun	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des variétés résistantes, - Eliminer les plants malades, - Appliquer des fongicides à base de cuivre.
Chancre bactérien	Tiges spongieuses avec des cavités d'air. Petites taches chancreuses sur les folioles blanc marron.	<ul style="list-style-type: none"> - Employer des graines saines sur sol stérilisé - Pratiquer une rotation aussi longue que possible.
Le flétrissement bactérien (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	Flétrissement des feuilles terminales, suivi après 2 à 3 jours d'un flétrissement soudain et permanent sans jaunissement.	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des variétés résistantes, - Rotations culturales, - Injecter de l'eau bouillante à 100 °C, - Cuivre + zinèbe.

Source : (SNOUSSI, 2010 cité par BOURAS et BENHAMZA, 2013 ; NAIKA *et al.*, 2005, VABI et CHIKOYE, 2008)

Tableau III: Quelques maladies virales de la tomate

Maladies	Symptômes et dégâts	Moyens de lutte
CMV : Cucumber Mosaic Virus	Si l'infection est précoce, on observe une stérilité des plantes ou une malformation des fruits.	- Cultiver des variétés résistantes. - Eliminer les mauvaises herbes.
TMV : Tobacco Mosaic Virus : Virus de la mosaïque du tabac	Présence de mosaïque verte ou blanche sur folioles gaufrées devenant filiformes, plages vertes sur fruits mûrs.	- Utiliser des graines saines et des variétés résistantes, - Détruire les plants malades - Eviter la présence d'autres Solanacées dans les environs du champ.
TSWV : Tomato Spotted Wilt Virus ou virus de la maladie bronzée de la tomate.	Sur les tiges et pétioles, il y a des tâches nécrotiques et sur les fleurs, on observe un nanisme, une déformation et décoloration.	- Eliminer les thrips et les plantes-hôtes pour prévenir la maladie, - Utiliser des variétés résistantes.
TYLCV : Tomato Yellow Leaf Curl Virus ou maladie des feuilles jaunes en cuillères	Les feuilles sont de tailles réduites avec un jaunissement et un enroulement en cuillère.	- Utiliser des variétés tolérantes, - Protéger les semis en pépinière avec un filet, - Lutter contre l'insecte vecteur.

Source : (SNOUSSI, 2010 cité BOURAS et BENHAMZA, 2013)

Tableau IV: Quelques ravageurs de la tomate

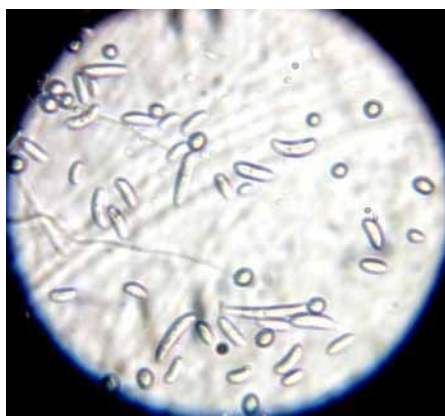
Agents	Symptômes et dégâts	Moyens de lutte
Nématodes	Provoque des galles (des tumeurs cancéreuses) sur racines des plantes. <i>Meloidogyne incognita</i> et <i>M. arenaria</i> .	- Désinfecter avant plantation, - Utiliser les variétés résistantes, - Recours aux portes greffes résistants, - Rotation culturale
Les mouches blanches (<i>Bemisia tabaci</i>)	Lorsqu'on retourne la plante, un groupe de mouches pourra s'envoler. Elles déposent leurs œufs sur le côté inférieur des feuilles. Adulte et larves se nourrissent de la sève.	- Favoriser la présence des prédateurs naturels en plantant entre les lignes des pieds de tomate, - Utiliser des cultivars résistants, - Pulvériser avec du kérosène + savon
Pucerons (Aphidae)	Des dommages directs sur les fruits et indirects sur les feuilles et les tiges les plus tendres. Transmission de différents virus.	- Eliminer les résidus, - Planter des cultures intercalaires - Emploi modéré des fertilisants azotés, - Appliquer des fertilisants organiques.
Les thrips (<i>Thripidae</i>)	Larves et adultes sucent la sève des feuilles causant des taches argentées sur la surface. Vecteurs de la maladie bronzée de la tomate (TSWV).	- Pulvériser une solution de savon, d'urine de vache ou d'extraits de neem (<i>Azadirachta indica</i>). - Couvrir le sol de film plastique gris
Les papillons et les noctuelles (<i>Lepidoptera</i>)	Les larves se nourrissent des feuilles, fleurs, fruits et même des racines.	- Enlever régulièrement les mauvaises herbes - Labourer un mois avant semis ou repiquage. - Faire la rotation des cultures.

Source : (NAIKA *et al.*, 2005 ; RUOCO *et al.*, 2011)

Chapitre 2 : Généralités sur *Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyder et Hanse

2.1. Taxonomie et biologie

Ce champignon appartient à la classe des *Sordariomycetes*, à la sous classe des *Hypocreomycetidae*, à l'ordre des *Hypocreales*, à la famille des *Nectriaceae*, au genre *Fusarium* (MYCOBANK, 2014). Le principal caractère morphologique des *Fusarium* est la présence de macroconidies fusiformes et cloisonnées. Le genre *Fusarium* tire son nom du latin *fusus* car ses spores sont en forme de fuseau. Les colonies mycéliennes (aériennes et cotonneuses) de *Fusarium oxysporum* sur différents milieux de culture varient dans leur aspect et leur couleur varie entre le rose orangé et le violacé (CHAMPION, 1997). Le champignon forme des microconidies d'une ou deux cellules, de forme ovale sur les monophialides (5-12 x 2,2-3,5 µm), et des macroconidies courbes de quatre à six cellules, fusiformes (27-46 x 3-4,5 µm) (BOTH, 1970 cité par DABRE, 2013).



Source : Photo (HSM)

Photo 2 : Micro et macro conidies de *Fusarium oxysporum*

2.2. Ecologie

F. oxysporum est certainement l'espèce de *Fusarium* la plus répandue dans la nature (CHAMPION, 1997), allant des régions tropicales et désertiques aux régions tempérées. Les espèces de *Fusarium* survivent sur les débris végétaux laissés à la surface du sol et peuvent y fructifier, c'est-à-dire produire des spores (particules microscopiques). Ceux-ci ont de nombreuses formes spécialisées qui s'attaquent à de nombreux végétaux (pois, tomate, allium, pastèque, melon). Le parasite est réparti dans le sol de façon très hétérogène, mais il peut exister jusqu'à plus d'un mètre de profondeur (LOUVET *et al.*, 1962), avec une température idéale de croissance située entre 22 et 37°C avec un optimum à 28° C (GAUTHIER, 2016). La fusariose est transmissible par les semences. Bien que l'espèce soit classiquement retrouvée dans les sols, elle est également isolée d'endroits plus insolites : circuit d'eau d'hôpitaux, eau de mer, eau de rivière, eau du robinet, lave-vaisselle (eau, produits

détergents), lentilles de contact ou nourriture (HAGESKAL *et al.*, 2006 cités par LECOMTE, 2016).

2.3. Cycle biologique

Fusarium oxysporum est un parasite tellurique qui démarre son cycle de développement en infectant les racines puis envahissant les tissus conducteurs (MOURICHON, 2003). Une fois introduit dans le sol, le champignon peut y survivre pendant plusieurs années, et se propager par l'intermédiaire du sol, d'outils agricoles, des chaussures, de semences contaminées, de plantules contaminées, ou par des éclaboussements de pluie ou d'eau pendant l'irrigation (JAMES, 2010). Le champignon migre dans les vaisseaux via les flux ascendants. L'infection devient alors systémique et se propage plus rapidement dans les sols chauds à faible taux d'humidité. Ensuite son développement est lié aux modalités d'interaction entre la variété hôte et la race de l'agent pathogène. Dans un hôte résistant, cette progression est stoppée dans les cribles au niveau desquels on observe des tyloses obstruant (MOURICHON, 2003). Mais une fois que la maladie a atteint son stade ultime et que la plante après flétrissement généralisé est complètement sénescence, le champignon colonise les tissus bordant les vaisseaux, puis le mycélium se développe hors de l'hôte au contact directe des tissus nécrosés pour amorcer son développement saprophytique dans le sol (MOURICHON, 2003). Il forme alors des chlamydospores, considérées comme des structures de conservation extrêmement efficaces lui permettant de résister à des conditions environnementales très défavorables (dessiccation, absence d'hôtes...).

2.4. Incidence économique

Le genre *Fusarium* est économiquement très important et regroupe de nombreuses espèces phytopathogènes susceptibles d'attaquer un grand nombre de plantes (BEZUIDENHOUT *et al.*, 1988 cités par MOINE, 2013). *Fusarium* spp. est parmi les champignons telluriques les plus agressifs causant des flétrissements et des pourritures racinaires de plusieurs espèces végétales (HIBAR *et al.*, 2007). De plus, beaucoup d'espèces saprophytes sont capables de se développer en tant que pathogènes secondaires sur des tissus végétaux sénescents. L'impact économique de *F. oxysporum* est important de par la diversité de ses plantes hôtes (LECOMTE, 2016). C'est un contaminant de nombreuses céréales (blé, avoine, orge), de légumes et d'arbres fruitiers (GAUTHIER, 2016) allant jusqu'à causer des cancers au champ et en forêt (LI-JUN MA *et al.*, 2013). Des cultures aussi importantes que la tomate, le coton, la vanille, le lin ou le concombre peuvent être attaquées (LECOMTE, 2016). L'un des

exemples les plus notables est certainement la fusariose du bananier (Panama disease) causée par *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Le marché mondial de la banane n'a été sauvé que par l'introduction du cultivar Cavendish, résistant au pathogène (STOVER, 1962 cité par LECOMTE, 2016).

Le flétrissement qu'il cause est considéré comme l'une des plus importantes maladies et la plus dévastatrice de la tomate dans le monde entraînant des pertes partielles ou totales de récoltes (BLANCARD *et al.*, 2009 ; JAMES, 2010, BAWA, 2016). En effet, celle-ci est sujette à deux maladies fusariennes : la flétrissure fusarienne classique causée par *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) et la pourriture des racines et du collet causée par *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL). Durant la campagne 2000-2001, elle a causé des pertes pouvant atteindre 90% de plantes de tomate dans certaines serres en Tunisie (HIBAR *et al.*, 2007). Il produit également divers métabolites secondaires (mycotoxines) comme les trichothecènes et fumonisines qui peuvent contaminer les produits agricoles les rendant impropres à la consommation, engendrant par conséquent d'énormes pertes.



Source : Photo (HSM)

Photo 3: Jaunissement et flétrissement de la tomate causés par *F. oxysporum*

2.5. Risques sur la santé

De par leur capacité à produire des mycotoxines, les *Fusarium* sont susceptibles de causer des infections et des intoxications graves chez l'Homme et chez les animaux, surtout d'élevage (GAUTHIER, 2016). Ces infections sont réunies sous le terme de fusarioses. L'espèce *Fusarium oxysporum* a à son actif des toxines telles que l'acide fusarique, la moniliformine, l'oxysporine, les naphthoquinones (SINGH *et al.*, 1991). Ces mycotoxines produites résistent

aux températures élevées et aux produits chimiques. Elles peuvent s'accumuler dans les grains et contaminer les produits céréaliers et l'alimentation animale, provoquant un nombre élevé de maladies (CZEMBOR *et al.*, 2010). Bien que les infections chez l'homme et les animaux soient relativement rares, ils montrent typiquement une grande résistance aux traitements antifongiques et sont d'une façon disproportionnée associés aux infections fongiques de la cornée.

2.6. Méthodes de lutte contre *Fusarium oxysporum*

2.6.1. Lutte culturale

C'est l'ensemble des pratiques culturales visant à défavoriser les bio-agresseurs au détriment de la plante cultivée. En pépinière, il faut semer des graines saines et éviter de cultiver de manière continue sur les mêmes pépinières et champs (SUMNER, 1995 cité par KABORE, 2014). Ainsi, la manipulation des plantes et le travail du sol seront effectués avec soin afin d'éviter des blessures aux systèmes racinaires (BLANCARD *et al.*, 2009). Les outils utilisés pour ces interventions dans les parcelles contaminées seront bien nettoyés (formol 3%, eau de javel) avant leur emploi dans des parcelles saines. Des fumures azotées à base de nitrates, moins favorables à la fusariose que les formes ammoniacales, seront utilisées. Le chaulage atténuerait les effets de la maladie. Des rotations culturales d'au moins 3 à 4 ans contribueraient à prévenir l'apparition de la maladie. En cours de culture, lorsqu'apparaît la maladie, l'élimination des plantes avec leur système racinaire et également la bonne gestion des résidus en fin de culture (non enfouissement), limitent le phénomène et contribuent à réduire la quantité d'inoculum dans les parcelles.

2.6.2. Lutte génétique

Comme pour de nombreux pathogènes du sol, les moyens de lutte sont limités et consistent essentiellement en une mise en quarantaine (avec constitution de zones tampons) plus ou moins longue des foyers élargis (MOURICHON, 2003). La méthode de loin la plus efficace contre la fusariose consiste à utiliser les variétés résistantes (BLANCARD *et al.*, 2009) et reste très certainement la voie de lutte la plus prometteuse. Elle est toutefois encore insuffisamment explorée (MOURICHON, 2003). Heureusement, la création de variétés résistantes à ce redoutable champignon a permis de résoudre efficacement ce problème phytosanitaire en France comme dans de nombreux pays (BLANCARD *et al.*, 2009). Au Brésil, plusieurs accessions de *L. hirsutum*, *L. chilense*, *L. peruvianum* combineront un haut niveau de résistance aux 3 races de *Fusarium* très dommageables à la culture de tomate.

Certaines variétés de tomate produites au Burkina Faso, telles que Roma VF, Savana F1, Mongal et Lindo sont résistantes à la fusariose. Mais les variétés sélectionnées et importées ayant des résistances connues ne sont pas nécessairement capables d'exprimer cette résistance dans les conditions locales (KOIKE *et al.*, 2007 cité par COMBARY, 2016) car une résistance peut s'exprimer dans un environnement précis et être limitée ou nulle dans un autre milieu. Ainsi, la stabilité d'une résistance variétale peut être perdue dans le temps et dans l'espace (KOIKE *et al.*, 2007 cités par COMBARY, 2016).

2.6.3. Lutte chimique

Aucune méthode de lutte, aucun produit ne permettent de contrôler efficacement la fusariose en cours de culture (BLANCARD *et al.*, 2009). La lutte chimique est peu efficace voire inopérante (MOURICHON, 2003). Les quelques expériences citées de par le monde font référence sans succès aux tentatives de traitements du sol par fumigation, ou par l'utilisation de matières actives fongicides. Néanmoins, l'apport de thiophanate-méthyl ou de benomyl aux pieds des plantes est parfois préconisé. L'association du 1-3-dichloropropène + chloropicrine donnerait de bons résultats à l'égard du complexe *Meloidogine incognita* + *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Cependant le coût de ces traitements effectués (souvent peu efficaces) est très élevé par rapport aux résultats obtenus (BLANCARD *et al.*, 2009).

2.6.4. Lutte biologique

2.6.4.1. Phénomène d'antagonisme

Dans le sol, l'utilisation de champignons utiles est plus difficile à exploiter pour la lutte contre les champignons pathogènes que pour la lutte contre les insectes pour la raison bien simple que les insectes se déplacent et peuvent entrer facilement en contact avec le champignon inoculé alors que le champignon phytopathogène ne se déplace pas ou peu (FAO, 2012). Cette méthode est utilisée de façon plus ou moins préventive, c'est-à-dire quand le potentiel infectieux du sol est encore faible. Plusieurs micro-organismes ont été rapportés pour leurs effets à l'égard de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (BLANCARD *et al.*, 2009). Comme exemples d'organismes intéressants, on cite les *Fusarium* non pathogènes qui entrent en compétition avec les pathogènes pour l'occupation de la même niche (COUTEAUDIER *et al.*, 1985 ; FAO, 2012). *Trichoderma harzianum*, les mycorhizes arbusculaires sont utilisés de façon plus prometteuse en traitement des semences et il existe d'ailleurs une préparation commerciale qui a été obtenue à partir d'une souche de *T. harzianum* génétiquement. L'étude

menée par COMBARY (2016) révèle que le traitement combiné entre la souche d'inoculum mixte de mycorhizes arbusculaires de Yakouta et la souche de *T. harzianum* de Tabtenga a un effet synergique significatif pour le contrôle de *F. oxysporum* sur la tomate. *Penicillium oxalcum* (apporté sur les plantes avant plantation) serait à l'origine d'une résistance induite chez la tomate assurant une certaine protection.

2.6.4.2. Exploitation des substances actives des plantes

Parmi les méthodes alternatives, signalons que l'usage de substances (extraits aqueux, huiles totales et essentielles) obtenues à partir d'organes de plantes dotées de vertus fongicides n'est plus à démontrer. En effet, le contexte actuel où les nouveaux enjeux environnementaux (réduction des pollutions diffuses, restauration de la biodiversité) fixés par les politiques agricoles et/ou le Grenelle de l'Environnement, conduisent à repenser les pratiques agricoles vers une agriculture moins dépendante de la lutte chimique. A cet effet, de nombreux travaux ont été réalisés sur le *Fusarium oxysporum* sur différentes spéculations (OGECHI *et al.*, 2006 ; HIBAR *et al.*, 2007 ; DAO, 2013 ; KONE, 20014 ; KABORE, 2014 ; SOME, 2016).

2.6.5. Lutte physique

Le traitement du sol à la vapeur est totalement inefficace à lui seul pour lutter contre la maladie. En effet, MAROIS *et al.* (1983) cités par COUTEAUDIER *et al.* (1985) ont démontré que la fumigation des sols est suivie d'une recolonisation très rapide par *F. oxysporum* pathogènes hébergés dans les zones du sol non atteintes par le traitement. Le traitement du sol avec de la vapeur peut réduire les fontes de semis à de très bas niveaux. La solarisation du sol permet également d'éliminer la plupart des propagules des espèces de *Fusarium* (SUMNER, 1995 cité par KABORE, 2014).

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre 3: Etude de l'efficacité antifongique des extraits *in vitro* sur *Fusarium oxysporum* de la tomate.

3.1. Introduction

La lutte contre les maladies des plantes par l'utilisation des fongicides de synthèse, lorsqu'ils sont appliqués sur les fruits et légumes pose le plus souvent des problèmes de toxicité aux consommateurs (DJEUGAP *et al.*, 2011) qui seraient dus au non-respect des doses recommandées et surtout du délais de la période de rémanence (SAKANDE, 2016). Elle donne certes des résultats encourageants dans la lutte contre les agents pathogènes, mais leur utilisation répétée entraîne souvent l'apparition de souches résistantes, la pollution de l'environnement et augmente par conséquent la quantité des résidus sur les produits exposant toute la chaîne trophique. Ainsi, la présente étude a pour objectif de tester l'efficacité *in vitro* des extraits de plantes contre *Fusarium oxysporum* dommageable à la culture de tomate, un légume très consommé. En effet, cet agent pathogène produit des mycotoxines dont les majoritaires sont résistants aux températures élevées. Le flétrissement causé par *Fusarium oxysporum* est considéré comme l'une des plus importantes maladies et la plus dévastatrice de la tomate dans le monde entraînant des pertes partielles ou totales de récoltes (BLANCARD *et al.*, 2009).

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Matériel

3.2.1.1. Variété de tomate

La variété de tomate utilisée est la variété tropimech dont les caractéristiques sont les suivantes selon RECA Niger (2014) :

- adaptée à la saison sèche froide ;
- plante : Croissance déterminée, vigueur moyenne ;
- fruit : Forme allongée, collet légèrement vert, très bonne fermeté pour le transport, très bonne conservation ;
- masse moyenne : 90 à 100 g ;
- précocité : 65 - 70 jours après repiquage ;
- idéale en tomate de transformation.

3.2.1.2. Espèces végétales testées

Les espèces végétales utilisées sont des plantes locales (Planche 1):

***Azadirachta indica* (A.) Juss:** est un arbre de la famille des *Meliaceae* (Planche 1B), originaire d'Inde orientale (ADJANOHOUN, 1995). L'arbre peut atteindre 20 m de hauteur et 2,5 m de circonférence et a été implanté en Afrique et cultivé dans toutes les régions tropicales, pour différentes utilisations, dont les usages médicaux (les feuilles utilisées traditionnellement dans le traitement du paludisme, des œdèmes et des rhumatismes). Des substances chimiques en sont extraites (stérols, terpènes, flavonoïdes).

***Cassia Occidentalis* (L.):** appartient à la famille des *Caesalpiniaceae* et est originaire du Brésil (OKESIE et AGYAKWA, 1989). Communément appelé "faux kinkéliba" (Planche 1C), c'est un sous-arbrisseau annuel ou bisannuel érigé et glabre, pouvant atteindre 100 cm de hauteur et doué d'un grand pouvoir d'expansion par les semences. Il est devenu pantropical, cultivé ou subspontané et produit des alcaloïdes, flavonoïdes et acides gras largement utilisés (ADJANOHOUN, 1995).

***Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf :** encore appelée improprement "citronnelle" à cause de son odeur proche du citron est une *Poaceae* aromatique (Planche 1A). C'est une herbe vivace avec des grandes feuilles atteignant un mètre de hauteur et à odeur citronnée quand on les froisse. Les fleurs sont rares même en saison des pluies (POUSSET, 1970). Elle est cultivée pour ses propriétés médicinales et est aussi utilisée en cosmétique et en parfumerie (OKEZIE et AGYAKWA, 1987).



Planche 1 : Espèces végétales testées : *Cymbopogon citratus* (A) ; *Azadirachta indica* (B) ; *Cassia occidentalis* (C).

3.2.1.3. Matériel fongique

Fusarium oxysporum, isolées à partir d'échantillons de plantes de tomate malades collectés sur le site de kuinima a fait l'objet de notre étude.

3.2.2. Méthodes

3.2.2.1. Préparation des extraits aqueux

- Extrait aqueux de *Cymbopogon citratus*

Les feuilles de citronnelle séchées à l'ombre sont fournies par le laboratoire Phytofla de Banfora. Elles ont été découpées en petits morceaux puis réduites en poudre à l'aide d'un broyeur. Trente (30) grammes de poudre de citronnelle ont été mis en macération dans 100 ml d'eau. Le mélange a été gardé pendant 24 h à la température ambiante du laboratoire. A la fin du temps de macération, l'extrait a été obtenu par pressage puis filtrage à travers un tissu fin. L'extrait aqueux de citronnelle chauffé a été obtenu en mettant respectivement 15 et 20 g de poudre de citronnelle dans 100 ml d'eau. Le mélange a été recouvert puis porté à ébullition sur une plaque chauffante à la température de 100°C pendant 20 minutes. Après refroidissement, l'extrait a été obtenu par pressage puis filtrage à travers un tissu fin.

– **Extrait aqueux de *Cassia occidentalis***

Les feuilles fraîches ont été récoltées, lavées et broyées dans un mortier. Pour chaque kilogramme de ce broyât, on additionne une quantité d'eau égale à un litre. Le mélange a été mis en macération et conservé à la température ambiante du laboratoire pour une durée de 24 heures. Ensuite par pressage et filtrage à travers un tissu fin, on obtient l'extrait à une concentration de 100%. Les autres concentrations de 50 et 75% sont obtenues par dilution en ajoutant les quantités d'eau correspondantes.

– **Extrait de tourteaux de *Azadirachta indica***

Pour cette espèce végétale, nous avons utilisé le tourteau de graines et l'huile. Le tourteau provient des résidus d'extraction de l'huile à partir des graines de neem. Les extraits aqueux de tourteau ont été obtenus en laissant macérer respectivement 70, 80, 90 grammes de poudre dans 1000 ml d'eau stérile à 25 °C pendant 24 heures. A l'issue de cette période, les extraits ont été obtenus par pressage et filtrage à travers un tissu fin donnant des concentrations respectives de 7, 8 et 10%.

3.2.2.2. Préparation des milieux de culture

Les milieux de culture à base des extraits aqueux ont été obtenus en mélangeant 47 g de malt agar dans 1000 ml d'extrait aqueux de tourteau *Azadirachta indica*, de *Senna occidentalis* ou de *Cymbopogon citratus*. Le mélange est stérilisé dans un autoclave à une température d'environ 120°C puis refroidi. Après refroidissement, il est reparti dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre en conditions aseptiques sous une hotte à flux laminaire.

Quant au milieu à base d'huile de *Azadirachta indica*, il est obtenu en mettant 47 g de malt-agar dans 1000 ml d'eau distillée puis stérilisé. Après le refroidissement, on retranche la

quantité de milieu de culture correspondante à la quantité d'huile à ajouter. Le tout est bien mélangé avant répartition dans les boîtes de Pétri en conditions aseptiques sous une hotte à flux laminaire. Les préparations suivant le rapport de 7, 8 et 10 ml d'huile de neem pour 100 ml de préparation sont obtenues.

Les milieux de culture combinés c'est-à-dire extrait de plante plus huile totale sont obtenus en ajoutant de l'huile aux milieux faits à base d'extrait avant refroidissement.

Le témoin est constitué d'un mélange de malt-agar et d'eau suivant le rapport de 47 g de malt-agar pour 1000 ml d'eau distillée.

3.2.2.3. Dispositif expérimental

Chaque produit a été testé sur chaque espèce fongique suivant un dispositif en bloc complètement randomisé à quinze (15) traitements et quatre (04) répétitions par traitement.

Ainsi, les traitements effectués sont les suivants :

- **TE** : milieu malt-agar sans extrait avec de l'eau ;
- **HN 6%** : milieu avec huile de neem à 6% ;
- **HN 8%** : milieu avec huile de neem à 8% ;
- **HN 10%** : milieu avec huile de neem à 10% ;
- **EN 7%** : milieu avec extrait aqueux de neem à 7% ;
- **EN 8%** : milieu avec extrait aqueux de neem à 8% ;
- **EN 10%** : milieu avec extrait aqueux de neem à 10% ;
- **EC 15%** : milieu avec extrait aqueux de citronnelle chauffé ;
- **EC 20%** : milieu avec extrait aqueux de citronnelle chauffé ;
- **EC 30%** : milieu avec extrait aqueux de citronnelle à 30% ;
- **Ca 50%** : milieu avec extrait aqueux de feuilles fraîches de *Cassia occidentalis* à 50% ;
- **Ca 75%** : milieu avec extrait aqueux de feuilles fraîches de *Cassia occidentalis* à 50% ;
- **Ca 100%** : milieu avec extrait aqueux de feuilles fraîches de *Cassia occidentalis* à 100%.

3.2.2.4. Inoculation des milieux et incubation

Pour chaque espèce fongique à tester, des explants mycéliens sont réalisés sur le front de croissance des colonies âgées de 7 jours à l'aide d'un emporte-pièce de 6 mm de diamètre.

Chaque explantât mycélien est déposé au centre d'une boîte de Pétri contenant un milieu de culture gélosé et solidifié, à l'aide d'une aiguille incurvée. La boîte est ensuite scellée avec du parafilm. Une fois l'ensemencement effectué, ces boîtes de Pétri inoculées sont incubées sous 12 h de lumière proche UV alternée avec 12 h d'obscurité à 22° C pendant 10 jours.

3.2.2.5. Collecte et analyse des données

La collecte des données a porté sur la mesure de la vitesse de croissance mycélienne (en cm) des isolats des champignons testés. La croissance mycélienne des colonies est mesurée à quatre (04), sept (07) et dix (10) jours après incubation. Pour ce faire, deux droites perpendiculaires passant par le centre de l'explant mycélien sont tracées sur le couvercle des boîtes de Pétri. La croissance mycélienne de la colonie dans chaque boîte est obtenue en faisant la moyenne des deux diamètres après soustraction du diamètre initial de l'explant. Les données recueillies sont analysées avec le logiciel IBM SPSS Statistics version 22. Les moyennes sont comparées suivant le test de classification multiple de Student Newman et Keuls au seuil de 5%. Les résultats sont représentés sous forme de tableaux.

3.3. Résultats et discussion

3.3.1. Résultats

Effets des extraits de plantes sur la croissance mycélienne de *F. oxysporum* à 4, 7 et 10 jours après incubation

L'analyse de variance de l'effet des extraits de plantes sur la croissance mycélienne de *F. oxysporum* montre des différences hautement significatives entre les traitements au seuil de 5% (Tableau V). Ainsi, on peut remarquer qu'en terme d'efficacité, tous les traitements à base de citronnelle (macéré dans l'eau chaude ou froide) ont un effet réducteur très prononcé mais l'extrait macéré à l'eau froide à 30% s'est révélé le plus efficace. Ils sont suivis par les huiles qui, testées aux différentes concentrations ont eu un effet réducteur plus prononcé sur la croissance mycélienne du champignon qui au contraire est induit par les extraits de tourteaux de neem. Les traitements à base de tourteaux de neem et de *Cassia occidentalis* ont un effet répressif important au début (4 JAI) mais perdent peu à peu cette efficacité au point de devenir stimulant de la croissance du champignon. Quant aux combinaisons des traitements c'est-à-dire extrait plus huile, celle contenant la citronnelle chauffée à 20% se révèle plus efficace par rapport à l'association *Cassia* plus huile.

Tableau V: Effets des extraits de plantes sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* à 4, 7 et 10 jours après incubation

Traitements	Croissance mycélienne		
	4JAI	7JAI	10JAI
Te	4,37g	7,38ef	8,40 ^e
EC15%	2,90b	6,63cde	7,78cde
EC20%	3,11bcd	6,13c	7,68cde
EC30%	1,61a	3,51a	4,61a
Ca50%	3,62ef	7,06def	8,40 ^e
Ca75%	2,97bc	6,17c	7,86cde
Ca100%	2,82b	6,61cde	8,00de
EN7%	3,85f	7,48f	7,90cde
EN8%	4,00f	7,40ef	7,81cde
EN10%	3,96f	7,63f	8,20 ^e
HN6%	3,66ef	6,57def	6,87b
HN8%	3,42de	6,46cd	7,21bcd
HN10%	3,30cde	6,16c	6,93b
Ca100%+HN10%	1,83a	4,26b	8,21 ^e
EC20%+HN10%	1,93a	4,51b	7,07bc
Valeur de F	67,931	38,781	22,971
Probabilité	0,000	0,000	0,000
Signification	HS	HS	HS

Dans la même colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman Student Keuls) ; Te : témoin eau ; EC : extrait aqueux de la Citronnelle ; HN : Huile de neem ; EN : extrait aqueux de Neem ; HN : Huile de neem; Ca : extrait aqueux de *Cassia occidentalis* ; HS : Hautement significatif.

3.3.2. Discussion

De l'analyse, il ressort que tous les traitements testés aux différentes concentrations montrent une certaine efficacité sur la réduction de la croissance mycélienne de *F. oxysporum*. Leurs effets diffèrent significativement en fonction des espèces végétales et de la concentration. L'inhibition de la croissance de l'agent pathogène par les extraits serait due au fait que ces extraits posséderaient des composés organiques naturels ayant des activités antimicrobiennes reconnues comme signalés chez d'autres plantes. Ainsi, les études similaires réalisées par

TIENDREBEOGO (2011) ont montré l'efficacité des extraits de *Eclipta alba*, *Cymbopogon citratus*, *Agave sisalana* et *Lippia multiflora* contre les champignons seminicoles du riz.

L'efficacité antifongique de l'extrait de citronnelle macéré à 30% s'est avérée sur *Fusarium*. A cet effet, les propriétés de pesticide que possède cette essence végétale n'ont cessé d'être mises à rude épreuve et ce depuis de nombreuses années peu importe la forme de son extraction. Cette efficacité s'expliquerait par la présence du citral, composé majeur de l'espèce (PURSEGLOVE, 1975 cité par AWUAH, 1996). Les études de DAO (2013) ont montré une inhibition totale de la croissance mycélienne des isolats de *Fusarium verticillioides* à 4 JAI et 7 JAI avec les traitements fongicides et le neem. Cependant, les extraits de tourteaux de neem qui semblaient efficaces à 4 JAI, deviennent stimulants de la croissance mycélienne du champignon à partir de 7 JAI. Nous pouvons dire à cet effet que cette plante se comporte comme une substance nutritive ou que l'effet de la matière active de l'extrait aqueux se trouve être amenuisé par une autre réaction qui semble stimuler la croissance du champignon. Ce développement mycélien pourrait aussi avoir pour cause la capacité de ces espèces fongiques à s'adapter à l'extrait d'où leur capacité à s'attaquer à plusieurs spéculations (JARCHELOU *et al.*, 2013 ; LECOMTE, 2016).

L'huile totale de neem s'est avérée efficace sur cet agent pathogène en diminuant la capacité de production mycélienne de *Fusarium*. En effet, il a été prouvé que les extraits de plantes obtenus avec différents solvants et les huiles essentielles sont potentiellement riches en composés bioactifs tels que les phytoalexines qui sont connues pour avoir une activité antimicrobienne pour la protection des plantes incluant les alcaloïdes, flavonoïdes, isoflavonoïdes, tannins, cumarins, glycosides, terpènes, phenylpropanes et acides organiques (CABRAL *et al.*, 2013). Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par OGESHI et MARLEY (2006) qui ont testé l'efficacité des extraits de graines de neem et sont arrivés à la conclusion selon laquelle il y a inhibition de la croissance et de la production de spores de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. SOME (2016) a également montré que l'huile totale du *Jatropha* inhibait la croissance de *Phoma lingam* et *Phoma exigua*.

En combinant huile de neem à 10% à la citronnelle à 20% et huile de neem à 10% à l'extrait de *Cassia occidentalis* 100%, nous avons obtenu des effets synergiques sur la répression de la croissance mycélienne. Des résultats similaires ont été trouvés par NIKUMBH et SALER (2011) cités par BESSADAT (2014) sur *Alternaria alternata* de l'oignon qui ont révélé l'efficacité de l'extrait de *Annona squamosa* qui a entraîné l'inhibition de la croissance du champignon à 68,35% et 91,13% aux concentrations de 50 et 100% respectivement. Tandis que les extraits de *Whithania somnifera* l'inhibent à 36,60% et 54,09%. Le mélange de trois

extraits (*Cassia*, Argémone, *Parthenium*) a donné de meilleurs résultats par rapport aux extraits testés individuellement.

Conclusion partielle

Parmi les extraits de plantes utilisés, l'extrait aqueux de citronnelle à 30% a présenté une forte activité antifongique contre *Fusarium oxysporum*. L'association de l'huile de neem à 10% à l'extrait de citronnelle à 20% donne des résultats plus encore probants dus à l'effet synergique des composés entraînant par conséquent une baisse de la croissance mycélienne de l'agent pathogène testé. L'extrait aqueux de tourteaux de neem stimule la croissance mycélienne du champignon testé et n'a pas prouvé une efficacité réelle contre ce dernier. Par contre, son huile à 10% a eu un effet réducteur sur la croissance du champignon.

Chapitre 4 : Efficacité d'extraits de plantes sur la transmission de *Fusarium oxysporum* aux plants de tomates

4.1. Introduction

L'intensification et la modernisation de l'agriculture nécessitent l'utilisation de semences améliorées, certifiées et de bonne qualité qui contribuent pour plus de 40% du rendement (MAH/PDSA, 2012). Le traitement des semences s'avère donc indispensable pour lutter contre les maladies transmises par les semences et pour protéger les jeunes plantes contre les parasites naturellement présents dans le sol. Il assure également une protection contre des attaques précoces de maladies et de parasites en végétation. Une protection efficace des semences nécessite l'application de façon homogène sur toute la surface des semences d'une quantité précise de matières actives capables de protéger la graine et la plante qui proviendrait de la graine contre les micro-organismes pathogènes et les ravageurs (produits de contact, produits systémiques). L'utilisation d'extraits aqueux et leurs dérivés constituent de nos jours une des solutions alternatives couramment utilisées en traitement de semence pour réduire ou éliminer les agents pathogènes (BONZI, 2005). BONZI (2013) a montré que les extraits aqueux de plantes de *C. citratus* et *A. indica* sont efficaces en traitement de semences contre *Phoma sorghina* et *Colletotrichum graminicola* et KONE (2014) a montré que les extraits aqueux de *P. oleracea* et *C. citratus* éliminent complètement *F. solani* et *F. oxysporum* des semences d'oignon. Cet essai a pour objectif de traiter les semences de tomate avec des extraits de plantes antifongiques en vue d'obtenir des plantules saines produites sur un sol naturellement infesté.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Matériel

4.2.1.1. Matériel biologique

- **Variété de tomate utilisée**

La variété utilisée reste la variété tropimech décrite dans le paragraphe 3.2.1.1. du chapitre 3 à la page 20.

- **Espèces végétales et fongiques testées**

Pour la conduite de ce test, les espèces végétales retenues sont la citronnelle et le neem qui ont prouvé leur efficacité *in vitro* contre *Fusarium oxysporum* en réduisant de façon très significative sa croissance mycélienne.

4.2.1.2. Fongicide chimique

Le fongicide utilisé est le Calthio C. C'est un produit à propriétés fongicide et insecticide composé de 25% de chlorpyrifos-ethyl et 25% de Thirame. Il est autorisé au Burkina pour le traitement des semences et les cultures maraichères. Il est sous forme poudreuse et a été utilisé à la dose de 20 g pour 5 Kg de semences.

4.2.1.3. Substrat utilisé

Le substrat utilisé est un échantillon de terre prélevé sur le site maraîcher de Dogona dans le champ du producteur sélectionné. Ce champ a été identifié sur la base du niveau élevé d'infestation par *F. oxysporum*.

4.2.2. Méthodes

4.2.2.1. Préparation des traitements à base d'extraits

Pour la réalisation de ce test, les traitements à base d'extraits formulés sont préparés comme suit :

- Cas de l'extrait aqueux de la citronnelle : Il est obtenu en macérant 30 g de poudre de feuilles séchées à l'ombre dans 100 ml d'eau pendant 24 heures en vue d'avoir une concentration finale de 30%. Après filtrage, la solution est stérilisée l'autoclave avant de tremper les graines de tomate ;
- Cas du mélange l'huile de neem et l'argile: Le mélange argile et huile de neem a été réalisé de sorte que l'huile représente 10% de la masse totale du mélange ;
- La combinaison formée de l'extrait de citronnelle et de l'huile de neem est obtenue en mélangeant les deux préparations ci-dessus à quantités égales.

4.2.2.2. Traitement des semences

Le traitement des semences a consisté à appliquer chacun des traitements ci-dessus à un lot de 100 graines de tomate. Pour ce faire, les lots de semences ont été préalablement désinfectés à l'eau chaude à 50°C pendant 25 minutes. A l'issue de la période de désinfection, les graines sont séchées en conditions aseptiques sous la hotte à flux laminaire sur du papier buvard stérile. Après séchage, chaque lot de 100 graines est trempé séparément pendant 24 heures dans 5 ml de chaque traitement. Après ce trempage, les graines sont recueillies puis séchées pendant 30 minutes avant d'être semées.

Pour le témoin eau, les semences ont été trempées dans 5 ml d'eau stérile, tandis que pour le témoin absolu les graines ont été gardées à l'état sec.

Quant au témoin fongicide, les graines ont été enrobées avec le fongicide Calthio C à la dose de 20 g du produit pour 5 Kg de semences.

4.2.2.3. Semis

Le semis a été effectué dans des poquets de 1 à 2 cm de profondeur disposés en cercles concentriques. Pour chaque pot, 20 poquets sont matérialisés et une graine a été déposée dans chaque poquet. Les poquets ont été recouverts d'une fine quantité de terre.

4.2.2.4. Dispositif expérimental

L'essai a été réalisé sous le tunnel de la clinique des plantes suivant le dispositif expérimental en bloc complètement randomisé comportant six (06) traitements et chaque traitement a été répété cinq (05) fois. Les traitements appliqués sont :

- **TA** : témoin absolu ;
- **TF** : témoin fongicide ;
- **TE** : témoin eau ;
- **Ci 30%** : extrait aqueux de citronnelle à 30% ;
- **HN 10%** : huile de neem + argile ;
- **Ci + HN** : extrait aqueux de citronnelle à 30% plus huile de neem+ argile.

4.2.2.5. Collecte et analyse des données

Les observations réalisées ont porté sur :

- La levée et les effets des traitements sur la mortalité post émergence (nombre de plants). Ils ont été effectués au 14^{ème} et au 30^{ème} jours après semis par détermination du nombre de plantes vivantes par pot ou répétition ;
- La vigueur des plants: Elle a été appréciée en mesurant à l'aide d'une règle la hauteur des plants, la longueur des racines et avec la balance la masse de 05 plants. Ces mesures ont été effectuées à 30 JAS ;
- Analyse de la mycoflore des organes végétatifs (racine, tige, feuilles) : La méthode utilisée est l'incubation en chambre humide. Des fragments de feuilles de tiges et de racines obtenus à partir de plantes prélevées au hasard par répétition sont disposés dans des boîtes de Pétri contenant deux disques de papier buvard imbibés d'eau stérile et incubées pendant sept (07) jours à 22 °C sous 12 heures de lumière proche ultra-violet alternée avec l'obscurité 12 heures. A l'issue de la période d'incubation, ces

fragments ont été inspectés à la loupe stéréoscopique afin de noter la présence ou l'absence de *F. oxysporum*.

4.3. Résultats et discussion

4.3.1. Résultats

4.3.1.1. Effets des extraits de plantes sur la levée et la mortalité des plantes de tomate à 14 et 30 JAS

Les résultats de l'analyse de variance n'ont pas révélé de différences significatives ($0,205 < p < 0,223$) entre les traitements appliqués aux semences (Tableau VI). D'une manière générale, le traitement des graines de tomates avec l'extrait de citronnelle à 30% tend à améliorer la levée car à 14 JAS il permet d'obtenir plus de plantes comparativement aux autres traitements appliqués. Aussi, ce traitement associé à l'huile de neem ainsi que l'huile de neem seule permettent de réduire les mortalités post émergence. Au 30^{ème} JAS, nous n'avons pas enregistré de mortalités poste-émergence au niveau de ces plantes. Ces traitements qui ont induit les plus faibles niveaux de levée se révèlent plus efficaces dans la protection des plantes contre la fusariose.

Tableau VI : Effets des extraits de plantes sur la levée et la mortalité post émergence à 14 et 30 JAS.

Traitements	Nombre de plants 14 JAS	Nombre de plants 30 JAS
Ci 30%	13,2	11,8
HN 10%	10	10
Ci+ HN	9,2	9,2
TF	11,2	10
TA	12,4	10,4
TE	12,2	9,4
Valeur de F	1,576	0,716
Probabilité	0,205	0,223
Signification	NS	NS

TA : témoin absolu ; TF : témoin fongicide ; TE : témoin eau ; Ci 30% : extrait aqueux de citronnelle à 30% ; HN10%: huile de neem + argile ; Ci + HN : extrait aqueux de citronnelle à 30% plus huile de neem+ argile ; NS : non significatif.

4.3.1.2. Effets des extraits de plantes sur la vigueur des plantes à 30 jours après semis

Trente (30) jours après semis, l'analyse de variance montre des différences hautement significatives entre les traitements pour la hauteur des plantes et la longueur des racines (Tableau VII). Par contre, l'analyse de variance ne révèle pas de différences entre les masses des plantes pour l'ensemble des traitements. D'une manière générale, nous avons noté que les traitements à base d'extrait de plantes tendent à améliorer les paramètres de la vigueur des plantes comparativement aux différents témoins utilisés. Au niveau de la hauteur des plants, les traitements avec la citronnelle à 30% et l'huile de neem à 10% augmentent significativement la hauteur des plantes par rapport au témoin absolu (Tableau VII et Planche 2). Aussi, ces deux traitements améliorent significativement la longueur des racines par rapport au témoin absolu. L'huile de neem à 10% en plus du témoin absolu se distingue significativement des autres témoins en induisant un développement plus important de la racine.

Tableau VII: Effets des extraits de plantes sur la vigueur des plants à 30 jours après semis

Traitements	Hauteur des plantes (cm)	Longueur des racines (cm)	Masse des plantes (g)
Ci 30%	14,40a	3,60ab	1,52
HN 10%	14,20a	4,30a	1,34
Ci+ HN	12,90ab	3,20b	1,34
TF	11,90ab	2,80bc	1,07
TA	10,50b	2,00c	0,86
TE	12,70ab	2,76bc	0,85
Valeur de F	4,462	6,764	2,093
Probabilité	0,005	0,000	0,101
Signification	HS	HS	NS

Dans la même colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman Student Keuls) ; TA : témoin absolu ; TF : témoin fongicide ; TE : témoin eau ; Ci 30% : extrait aqueux de citronnelle à 30% ; HN10%: huile de neem + argile ; Ci + HN : extrait aqueux de citronnelle à 30% plus huile de neem+ argile ; S : significatif ; HS : hautement significatif ; NS : non significatif.

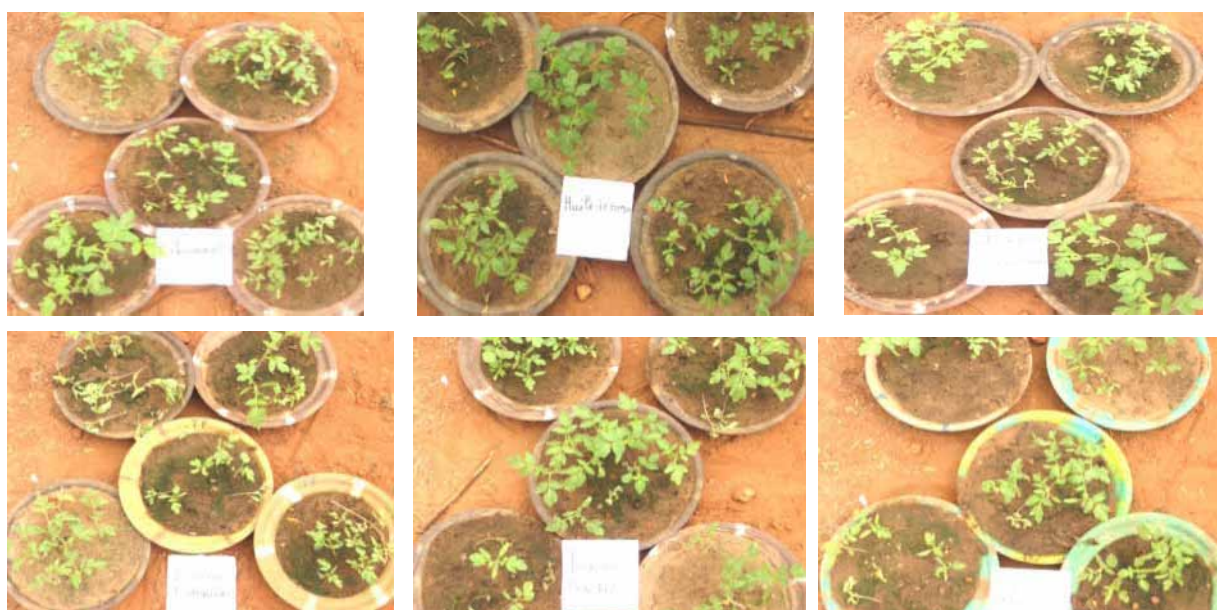


Planche 2 : Effets des traitements sur la vigueur des plantes de tomate

4.3.2. Discussion

Le semis des graines traitées sur un substrat infesté naturellement par *Fusarium oxysporum* a induit non seulement une réduction du nombre de graines germées mais a entraîné également des mortalités post-levée ce qui explique le faible nombre moyen des plantes au 30^e jour après semis. L'abondance du pathogène dans ce sol lui permet d'exercer une pression parasitaire sur les graines empêchant ainsi leur levée et la pourriture du collet des plantules. Selon CHAMPION (1997), les *Fusarium* sont responsables des fontes de semis et de manques à la levée des semences de plusieurs spéculations agricoles. De l'étude du taux de germination du niébé en présence de plusieurs espèces fongiques menée par GBOGBO *et al.* (2005), il est de même ressorti que le plus fort taux d'inhibition de la germination a été provoqué par *Fusarium oxysporum* suivi de *Aspergillus niger*. DISSANAYAKE *et al.* (2009) observent aussi une réduction de la germination des graines de Ciboule de 50 à 65% et une fonte de semis atteignant 100 % après leur inoculation avec des souches de *Fusarium*.

Il ressort également des résultats que le trempage des semences dans les traitements à base d'extrait surtout la citronnelle à 30% améliore non seulement le nombre moyen de plantules mais aussi certains paramètres de croissance mesurés (taille, racine) et ce par rapport aux témoins. Tous les extraits utilisés en traitement des semences n'ont présenté aucune inhibition du pouvoir germinatif des graines de tomate mais ont au contraire été parfois plus efficaces que le fongicide chimique. Ainsi, l'huile de neem améliore significativement le

développement racinaire des plantules comparativement au témoin fongicide. Cela s'expliquerait par le fait que les graines en s'imbibant de ces extraits, absorbent en même temps les substances actives qui s'accumulent durant le temps de macération (24h). De tels faits viennent encore démontrer le pouvoir fongicide de ces extraits en termes de protection à long terme des graines et plantules et par conséquent créent des conditions favorables pour la croissance des plantules. AKLADIOUS *et al.* (2015) parviennent à induire *in vivo*, une résistance à la flétrissure fusarienne chez des plantes de tomate issues de graines préalablement trempées dans de l'extrait aqueux de *Ocimum basilicum* en abaissant l'incidence de la maladie de 94,70 à 18,00%. Ces derniers ont constaté une amélioration des paramètres agronomiques due à la production de nouvelles bandes protéiques durant le stade végétatif. Aussi l'examen des différentes parties des grains de sorgho par BONZI (2013) après traitement avec les extraits de *Cymbopogon citratus* et de *Azadirachta indica* sont efficaces dans la réduction du taux d'infection des différentes parties des grains par *Phoma sorghina*. DABIRE *et al.* (2016) ont obtenu la réduction de plus de 50% du taux d'infection des semences d'oignon contaminées par les espèces fongiques du genre *Fusarium* et *Aspergillus* en les traitant avec les extraits aqueux de *Cymbopogon citratus* et de *Portulaca oleracea*. L'étude menée par OGECHI et MARLEY (2006) montre clairement qu'en plus de l'utilisation du neem contre les insectes et comme produit amendement du sol, ces produits constituent de potentiels traitements dans le control du flétrissement fusarien chez la tomate.

Conclusion partielle

Cette étude montre que les extraits de citronnelle et du neem utilisés en traitement de semences permettent une protection efficace contre *Fusarium oxysporum*. En effet, ils permettent non seulement de favoriser une bonne levée (cas de la citronnelle 30%), de réduire la mortalité poste émergence sur substrat infesté (cas de l'huile de neem et le mélange huile de neem citronnelle) mais aussi d'améliorer le développement de la plante (hauteur et racine). Fort de ces résultats, il serait nécessaire d'entreprendre des investigations sur les modalités d'utilisation de ces extraits de plantes en traitement d'un sol infesté.

Chapitre 5: Effets des extraits de plantes sur l'incidence de la fusariose causée par *Fusarium oxysporum*

5.1. Introduction

Pour plusieurs ravageurs et maladies, une fois établie sur une culture ou dans un sol, leurs contrôles requièrent l'emploi de méthodes de lutte qui sont d'un accès difficile à nos producteurs. Pour réduire les pertes liées à la présence de ces bio-agresseurs, nos producteurs sont pour la plupart contraints d'utiliser des pesticides de synthèse. Même si l'utilisation de produits chimiques permet d'obtenir une efficacité immédiate et perceptible sur les maladies et ravageurs, l'emploi massif de ces produits n'est nullement pas sans conséquences parfois irréversibles sur leur propre santé, celle des consommateurs mais aussi sur l'environnement dans sa globalité.

Dans ce nouveau monde soucieux de la santé des consommateurs et de la préservation de l'équilibre des écosystèmes, l'idéal serait que les pesticides de l'avenir soient des produits naturels biodégradables et capables d'interférer directement ou indirectement avec le métabolisme des agents pathogènes (DJEUGAP *et al.*, 2011). Il est de surcroît nécessaire de connaître le comportement d'un agent pathogène avant d'entreprendre une méthode de lutte biologique contre celui-ci. Ainsi, dans la précédente expérience nous avons testé l'efficacité des extraits en traitement de semence, ce qui a permis de déceler les propriétés antifongiques de la citronnelle et de l'huile de neem sur *Fusarium oxysporum*. La présente étude consistera à évaluer cette efficacité en traitement de sol artificiellement infesté puis naturellement infesté en vue d'obtenir des plantes saines.

5.2. Matériel et méthodes

5.2.1. Matériel

5.2.1.1. Matériel végétal (voir paragraphe 4.2.1.1. du chapitre 4)

5.2.1.2. Matériel fongique (voir paragraphe 4.2.1.2. du chapitre 4)

5.2.1.3. Présentation du site d'expérimentation en vase de végétation

Le site de l'essai en vase de végétation a eu pour cadre le Centre de Formation et de Recherche (CFR) de l'Université Nazi Boni (UNB). Ce centre est situé au secteur 20 de la commune de Bobo-Dioulasso et regroupe des laboratoires de recherche dont le Laboratoire des Systèmes Naturels, Agrosystèmes et Ingénierie de l'Environnement (SyNAIE) de l'Institut du Développement Rural (IDR) qui possède un Laboratoire de Phytopathologie, une Clinique

des Plantes et un tunnel ayant servi à la mise en place des essais afin de protéger les essais contre les ravageurs.

5.2.2. Méthodes

5.2.2.1. Test préliminaire

Pour s'assurer que la souche de *Fusarium oxysporum* isolée à partir de plantes malades sera à mesure de coloniser le substrat après apport d'une certaine quantité d'inoculum et provoquer les symptômes de la fusariose sur les plantes de tomate repiquées à 21 jours après semis, un test d'inoculation a donc été effectué. Elle a consisté en la préparation d'une suspension conidienne à 10^6 conidies/ ml à partir d'une colonie mycélienne âgée de dix jours. Les volumes de 1,5 et 10 ml de suspension à 10^6 conidies/ml ont été mélangés au terreau stérilisé (4 Kg) à la vapeur. Une semaine après inoculation du substrat, des échantillons de substrat ont été prélevés et analysés au laboratoire. Les échantillons ont été d'abord séchés puis de petites quantités (1 g) obtenues à partir de chaque échantillon ont été étalées sur un milieu de culture PDA et incubé sous 12 heures de lumière proche ultra-violet alternée avec l'obscurité 12 heures. Les inoculations effectuées ont donnés des colonies de *F. oxysporum*. Pendant que le processus de vérification de l'infestation artificielle du substrat par *F. oxysporum* suivait son cours au laboratoire, nous avons procédé au repiquage de trois plantes saines de tomate dans chaque pot en fonction des volumes d'inoculum apportés (Planche 3). Cinq jours après repiquage, les plantes présentaient les symptômes de flétrissement dont le degré était fonction de la quantité d'inoculum apportée.



Planche 3 : Flétrissement des plantes de tomate et ré isolement de *F. oxysporum* à partir du sol artificiellement infesté

5.2.2.2. Culture des plantes

Le bac de semis d'environ 3 m de long et 1 m de large et 50 cm de profondeur a été rempli avec du terreau préalablement stérilisé à la vapeur. Le semis a été fait en lignes espacées de 15 cm. Les graines utilisées ont été désinfectées à l'eau chaude à 50°C pendant 25 mn. Après

séchage sous la hotte à flux laminaire sur du papier buvard stérile, cette semence a été traitée avec du Calthio C (composé de 25% de Chlorpyrifos-éthyl et 25% de Thirame) à la dose recommandée avant d'être semée. Quant à l'entretien, la pépinière a été irriguée à la demande à partir du jour de semis à raison d'un arrosage par jour.

5.2.2.3. Remplissage des pots et alvéoles

Nous avons utilisé des pots en plastique d'environ 4 litres chacun (20 cm de diamètre et 15 cm de hauteur) qui ont été remplis avec un mélange de terre, de sable et du fumier aux proportions 1/3, 1/3 et 1/3 préalablement stérilisé à la vapeur.

Les alvéoles ont été remplis avec de la terre qui a été prélevée dans un champ naturellement infesté par *Fusarium oxysporum*. Cette terre a par la suite été mélangée de façon homogène avec les traitements avant répartition dans chaque alvéole de 45 ml de capacité.

5.2.2.4. Préparation des inocula

La multiplication de l'inoculum a été réalisée en ensemençant des fragments d'isolat pur dans des boîtes de Pétri contenant chacune un milieu malt-agar. Après dépôt des fragments, les boîtes de Pétri sont scellées avec du parafilm et mises en incubation sous 12 h de lumière proche UV alternée avec l'obscurité à une température comprise entre 22 et 25°C pendant 11 jours. Pour la préparation de la suspension conidienne, 10 ml d'eau stérile sont versés à la surface de chaque colonie de 11 jours. À l'aide d'une pipette Pasteur coudée, la surface mycélienne est raclée légèrement afin de libérer les conidies. Les suspensions obtenues sont filtrées et la concentration conidienne a été ajustée à l'aide de la cellule de Fuchs-Rosenthal à 10^6 conidies/ml.

5.2.2.5. Protection des plantes par apport d'extraits de plantes et formulations à base d'argile et huile de neem

La poudre de citronnelle a été obtenue en découpant en petits morceaux les feuilles de citronnelle séchées à l'ombre. Ces fragments de feuilles sont ensuite réduits en poudre à l'aide d'un broyeur fourni par le laboratoire Sol-eau-plante de la station de Farako-bâ. La quantité apportée au poquet est de 15 g.

L'application directe dans le sol de l'huile de neem n'étant pas favorable au développement racinaire des plants (problème respiratoire), nous avons d'abord mélangé l'huile de neem avec de l'argile blanche. Dans ce mélange, l'huile occupe 10% de la masse totale du mélange. La quantité du produit apportée au poquet est de 25 g.

Quant à la combinaison de l'huile de neem plus la poudre de citronnelle, le produit est obtenu en additionnant 15 g de poudre de citronnelle à 25 g du mélange huile de neem et argile.

5.2.2.6. Traitements du sol naturellement infesté dans les alvéoles

Les traitements à base de citronnelle ont été utilisés sous deux formes : le premier est sous forme de poudre et le second sous forme d'extrait aqueux en fonction de la quantité de terre que peut contenir un alvéole. Par exemple pour le traitement à base de citronnelle en poudre à 30%, nous avons d'abord estimé la quantité totale de terre nécessaire pour remplir les six alvéoles de 45 ml de capacité chacun, puis nous avons ajouté la quantité de produit correspondant aux 30% après avoir déduit la même quantité de terre.

L'huile de neem a été appliquée au sol sans autre apport d'émulsifiant à raison de 10% du volume de terre à remplir les alvéoles.

Le mélange citronnelle et huile de neem a été fait en mélangeant d'abord la poudre citronnelle au sol avant application de l'huile correspondant à 10% du total.

Le traitement du sol à l'eau chaude est réalisé en apportant de l'eau bouillante à 50°C sur le sol contenu dans les alvéoles.

L'eau salée à 1% a été appliquée sur un mélange de terre infestée + fumier + argile à quantité égale avant répartition dans les alvéoles.

5.2.3. Mise en place des essais et entretien

5.2.3.1. Dispositif expérimental en traitement du sol par apport localisé d'extraits de plantes

Le dispositif expérimental est un bloc complètement randomisé composé de huit (08) traitements et chaque traitement ayant été répété quatre (04) fois. Dans notre contexte la répétition est un pot comportant une (01) plante de tomate. Les traitements observés sont les suivants :

- **TP** : témoin positif inoculé;
- **TA** : témoin absolu sain;
- **Ci1** : citronnelle apportée quatre (04) jours avant le repiquage des plants (JAR) ;
- **Ci2** : citronnelle apportée le jour du repiquage des plants (JR) ;
- **HN1** : mélange huile de neem plus argile apportée 04 JAR ;
- **HN2** : mélange huile de neem plus argile apportée le JR ;
- **C1+HN1** : citronnelle plus huile de neem plus argile apporté 04 JAR;

- **C2 + HN2** : citronnelle plus huile de neem plus argile apporté le JR.

5.2.3.2. Dispositif expérimental pour le traitement du substrat naturellement infesté

Le dispositif expérimental est un bloc complètement randomisé composé de dix (10) traitements en 6 répétitions. Chaque alvéole a reçu dix graines (Photo 4). Une répétition étant constituée par un alvéole de 45 ml de capacité dans lequel cinq graines sont semées. Les traitements sont les suivants :

- **Ci 30%** : Substrat constitué de 30% de poudre de citronnelle ;
- **Ci 20%** : Substrat constitué de 30% de poudre de citronnelle ;
- **Ci 15%** : Substrat constitué de 30% de poudre de citronnelle ;
- **Ci 10%** : Substrat constitué de 30% de poudre de citronnelle ;
- **Ci A 30%** : Substrat constitué d'extrait aqueux de citronnelle à 30% ;
- **Ci + HN** : Substrat constitué de 30% de poudre de citronnelle plus huile de neem à 10% ;
- **HN 10%** : Substrat constitué d'huile de neem à 10% ;
- **EC** : eau chaude à 50°C ;
- **ES 1%** : eau salée à 1% ;
- **TI** : témoin infesté.



Photo 4: Semis dans les alvéoles

5.2.3.3. Infestation du substrat par *Fusarium oxysporum*

L'infestation du terreau par *Fusarium oxysporum* a été faite suivant deux approches. La première a consisté à apporter au niveau du poquet 10 ml de l'inoculum à la concentration 10^6 conidies/ml puis à appliquer les traitements quatre (04) jours après l'infestation du substrat

(Photo 5). Dans la deuxième approche, l'opération a consisté à inverser l'ordre observé au niveau de la première approche.



Photo 5 : Inoculation des pots avec du *Fusarium oxysporum*

5.2.3.4. Repiquage

L'application des traitements s'est faite quatre (04) jours après infestation des pots de sorte à ce que l'application des traitements dans les pots infestés suivant la deuxième approche coïncide avec le jour du repiquage soit le 21^e jour, âge des plants (Planche 6). Ainsi dans la première approche, les pots ont reçu leurs traitements quatre jours avant le repiquage et ceux de la deuxième approche ont reçu les leurs le jour du repiquage. Les plants ont été repiqués dans les poquets traités après avoir remué le terreau au niveau du poquet.



Photo 6 : Méthode d'application des traitements

5.2.4. Collecte et analyse des données

Elle a consisté à prélever des plantes de l'essai sur le sol infesté artificiellement en début de floraison afin de faire une évaluation de la transmission de *Fusarium oxysporum* selon la méthode de la chambre humide. Les plantes collectées sont disséquées au collet et des fragments sont disposés dans une boîte de Pétri contenant trois papiers buvards imbibés dans de l'eau stérile. Ensuite les échantillons de substrats ont été prélevés puis déposés sur un

milieu de culture malt-agar afin de vérifier la présence du champignon en fin d'expérimentation.

S'agissant du sol naturellement infesté, nous avons effectué une évaluation de l'émergence des plantules à 5, 7 et 14 JAS. Elle consiste à compter le nombre de plantules émergées par traitement et par alvéole. Les plantules âgées de 14 jours ont été prélevées et incubées en chambre humide pour vérifier la transmission du champignon tandis que la terre ayant subi les différents traitements a été également déposée sur milieu de culture afin de vérifier la présence du champignon. L'évaluation a été faite 7 JAI à l'aide d'un microscope optique.

Toutes les données ainsi recueillies sont analysées avec le logiciel IBM SPSS Statistics version 22. Les moyennes sont comparées suivant le test de classification multiple de Student Newman et Keuls au seuil de 5%. Les résultats sont représentés sous forme de tableaux.

5.3. Résultats et discussion

5.3.1. Résultats

5.3.1.1. Efficacité des extraits de plantes sur la transmission de *Fusarium oxysporum* aux plantes de tomate et analyse de sa présence après traitement

L'analyse de variance révèle des différences hautement significatives entre les traitements (Tableau VIII). La poudre de citronnelle (Ci1 et le Ci2) ainsi que le mélange huile de neem et argile appliqués à 4 JAR protègent les plantes de tomate contre l'infection par *F. oxysporum*. Ces traitements se distinguent significativement du témoin positif dont toutes les plantes sont infectées par *F. oxysporum*. Les autres traitements même s'ils réduisent moins la transmission du champignon aux plantes de tomate, sont néanmoins significativement différents du témoin positif. Les échantillons de sol évalués à l'issue de l'expérimentation montrent l'absence du champignon dans les substrats traités avec la poudre de citronnelle et le mélange huile de neem notamment Ci1, Ci2 et HN1 contrairement aux autres traitements.

Tableau VIII : Effet des extraits de plantes sur la transmission de *Fusarium oxysporum* aux collets des plantes

Traitements	Infection de la plante	Etat sanitaire du sol
Ci1	0a	-
Ci2	0a	-
HN1	0a	-
HN2	0,75ab	+
Ci1+ HN1	0,5ab	+
Ci2+ HN2	0,5ab	+
TA	0,25ab	+
TP	1b	+
Valeur de F	3,918	
Probabilité	0,006	
Signification	HS	

Dans la même colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman Student Keuls) ; Ci1 : citronnelle apportée quatre jours avant le repiquage ; Ci2 : citronnelle apportée le jour du repiquage ; TA : témoin absolu ; TP : témoin positif ; HN1 : mélange huile de neem plus argile apportée 4 JAR ; HN2 : mélange huile de neem plus argile apportée le JR; Signe (-) : absence de *F. oxysporum* ; (+) : présence de *F. oxysporum*.

5.3.1.2. Effets des extraits de plantes sur l'émergence des plantules de tomate

L'analyse des données relevées indique des différences hautement significatives entre les traitements à toutes les dates d'évaluation (Tableau IX). A 5 JAS, on observe une bonne levée dans la majeure partie des traitements surtout avec l'application de poudre de citronnelle à 10, 15, 20 et 30%, exception faite de ceux à base du mélange huile de neem plus extrait aqueux de citronnelle, l'huile de neem seule ainsi qu'avec l'eau salée à 1%. A 7 JAS, c'est la même tendance qui se dégage avec la citronnelle mais l'extrait aqueux de citronnelle (Ci A 30%) enregistre le plus fort nombre de plantes levées comparativement aux autres traitements. A 7 JAS, nous avons observé au niveau du témoin positif des mortalités post levée (Planche 4). Au 14^{ème} JAS, seules les poudres de citronnelle à 15 et 30% semblent meilleures en termes de protection des plantules car aucune mortalité n'a été notée au niveau de ces traitements. Avec l'huile de neem, nous n'avons pas enregistré de mortalités mais elle présente une phytotoxicité sur les graines de tomate.

Tableau IX : Effets des extraits de plantes sur l'émergence des plantules à 5, 7 et 14 jour après semis.

Traitements	Nombre de plantules		
	5 JAS	7 JAS	14 JAS
Ci 30%	6,83c	8,67c	10,00c
Ci A 30%	3,33b	9,17c	7,00bc
Ci 20%	7,67c	8,50c	7,67bc
Ci 15%	7,83c	8,67c	10,00c
Ci 10%	8,00c	8,17c	5,50bc
Ci + HN	0,17a	1,67ab	3,33ab
HN 10%	0,33a	3,00b	4,83abc
TP	5,83c	7,17c	3,67ab
ES 1%	0,00a	0,00a	0,00a
EC	5,67c	7,33c	6,67bc
Valeur de F	22,349	16,488	5,446
Probabilité	0,00	0,00	0,00
Signification	HS	HS	HS

Dans la même colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman Student Keuls); Ci 10%: citronnelle à 10%, idem pour Ci 15 20 et 30%; CiA30% : extrait aqueux de citronnelle à 30% ; HN 10%: huile de neem à 10%; Ci + HN : citronnelle 30% plus huile de neem 10%; ES1% : eau salée à 1% ; EC : eau chaude à 50°C ; TA : témoin absolu.



Planche 4 : Flétrissement et dessèchement des plantules observés avec les traitements Ci 10%, Ci 20%, TA, EC et Ci A 30%

5.3.1.3. Effets des extraits de plantes sur l'état sanitaire des plantules de tomate et du sol naturellement infesté

Les données issues de l'analyse sanitaire des plantules et du sol naturellement infesté montrent des différences hautement significatives (Tableau XI). La présence de *F. oxysporum* sur les plantules ainsi que dans le sol varie d'un traitement à l'autre. La tendance est que, plus la présence du champignon est détectée dans le sol traité, plus la probabilité de le retrouver sur les plantules est élevée. Les traitements à base de poudre de citronnelle à savoir Ci 30%, Ci 20%, Ci 15%, Ci + HN ainsi que l'huile de neem (HN 10%) se sont révélées plus efficaces en termes de protection des plantules et de désinfection du sol comparativement aux autres traitements. Le meilleur traitement reste la citronnelle à 30% pour lequel les analyses effectuées ne révèlent pas la présence du champignon ni dans le sol ni sur les organes de plantes.

Tableau X : Effet des extraits de plantes sur l'état sanitaire des plantules et sur le sol naturellement infesté.

Traitements	Analyse de la présence de <i>F.oxysporum</i> sur plantules	Analyse de la présence de <i>F. oxysporum</i> dans le sol
Ci 30%	0,00a	0,00a
Ci A 30%	2,75b	0,75ab
Ci 20%	1,00a	0,75ab
Ci 15%	0,00a	0,50ab
Ci 10%	3,25bc	1,00b
Ci + HN	0,75a	0,25ab
HN	0,00a	0,25ab
TP	3,25c	1,00b
ES 1%	4,00c	1,00b
EC	4,00c	1,00b
Valeur de F	41,111	4,25
Probabilité	0,000	0,001
Signification	HS	HS

Dans la même colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman Student Keuls); Ci 10%: poudre de citronnelle à 10%, idem pour Ci 15 20 et 30%; CiA30% : extrait aqueux de citronnelle à 30% ; HN 10%: huile de neem à 10%; Ci + HN : citronnelle 30% plus huile de neem 10%; ES1% : eau salée à 1% ; EC : eau chaude à 50°C ; TA : témoin absolu.

5.3.2. Discussion

Les résultats de l'analyse de la mycoflore sur les plantes repiquées sur des substrats infestés artificiellement, suivis de l'application des extraits de plantes avant repiquage permettent de montrer à nouveau que tous les traitements à base de citronnelle et d'huile de neem sont efficaces dans la protection des plantes contre *F. oxysporum*, de façon individuelle et même en combinaison. Aussi, lorsqu'on traite de la terre naturellement infestée avec ces extraits (Ci 15% et 30%), on obtient non seulement des plantules saines mais le sol est débarrassé du pathogène. Ainsi, l'apport de poudre de citronnelle à ces concentrations arrive à assurer la protection des plantes. Ce bouclier protecteur permettrait donc à la culture mise en place de mieux croître et de se développer comparativement au témoin absolu non traité, à l'eau chaude et à l'eau salée. Cela vient confirmer à nouveau le pouvoir fongicide très marqué que posséderaient ces espèces végétales auparavant démontré *in vitro* dans la première activité où ces extraits ont inhibé très significativement la croissance mycélienne de *F. oxysporum*. SAGITOV *et al.* (2011) ont obtenu également une réduction de 100% de l'incidence du flétrissement fusarien après le trempage des plantules suivi d'une pulvérisation foliaire avec successivement les extraits d'ail et de piment à 4% et constatent une augmentation de la longueur et du poids des plantes traitées. BOLOU *et al.* (2015) ont testé l'efficacité de l'huile essentielle des fruits de *Xylopia aethiopica* *in vitro* contre *Sclerotium rolfsii* et réalisent aussi que la poudre des fruits est aussi bonne en application *in vivo*. Selon BLANCARD *et al.* (2009), l'enfouissement de certaines plantes du riz, du soja et de la laitue réduirait l'incidence de la fusariose et que des substrats à base de fibre d'écorce de *Chamaecyparis obtusa* ou de *Cryptomeria japonica* ralentiraient le développement de *F. oxysporum* dans le sol.

Les traitements à base de citronnelle poudreuse dosée à 10 et 20% ainsi que de l'extrait aqueux de citronnelle (Ci A 30%) semblent favoriser une bonne levée mais finissent par perdre au fil du temps leur efficacité protectrice. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la matière active libérée dans le sol ne soit pas suffisante pour contrer efficacement sur une longue durée la pression permanente exercée par le champignon qui très agressif sur le système racinaire de la tomate occasionnant des symptômes de flétrissement et de dessèchement mortels. A cet effet, BLANCARD *et al.* (2009) disait que la lutte contre *Fusarium oxysporum* n'est pas aisée car ce champignon se conserve très longtemps dans le sol et les substrats, et qu'il les recolonise très rapidement lorsque ceux-ci ont été désinfectés.

L'application de l'huile de neem ainsi que sa combinaison avec la poudre de citronnelle dans le sol ont permis d'obtenir des plantes saines mais n'ont pas favorisé une bonne levée. Cela

serait dû au fait que le mélange de la terre avec l'huile forme avec l'eau d'arrosage un lit de semis un peu encroûté non favorable à la bonne croissance des plantules.

Conclusion partielle

Les formulations poudreuses de citronnelle et de neem utilisées comme produit de protection de la tomate en cours de culture ainsi qu'en traitement de sol ont démontré l'aptitude de ces essences végétales à remplir cette fonction. Ces résultats concluants sur la poudre de citronnelle poussent à se rendre à l'évidence qu'elle pourrait servir de moyen lutte efficace contre *F. oxysporum*. L'huile de neem est également efficace contre le champignon mais son application directe dans le sol pose des problèmes de développement aux plantes.

Conclusion générale et perspectives

La culture de tomate est une activité importante car elle joue un rôle socio-économique et nutritionnel. Cependant, sa culture fait l'objet d'attaques parasitaires parmi lesquelles les maladies fongiques comme la fusariose est d'une grande importance. C'est par conséquent une activité fortement tributaire des produits phytosanitaires chimiques. Soucieux des conséquences liés à l'usage anarchique de ces produits sur les producteurs, les consommateurs et sur l'environnement, nous nous sommes proposés de rechercher activement des solutions alternatives en testant des extraits de plantes ayant des propriétés antifongiques sans risques de créer des souches résistantes aux produits de traitement.

De l'étude de l'effet des extraits végétaux de *Cymbopogon citratus*, *Cassia occidentalis* et *Azadirachta indica* in vitro, il ressort que ces plantes sont efficaces contre la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum*. Parmi ces espèces végétales testées, la citronnelle à 30% et l'huile de neem à 10% renferment des propriétés antifongiques intéressantes contre *F. oxysporum*. L'efficacité de ces plantes pourrait être évaluée sur d'autres champignons et bactéries dommageables à la tomate et à d'autres spéculations maraichères. La recherche devrait se poursuivre en mettant l'accent sur les espèces du genre *Cymbopogon*.

Protection des plantes par le traitement de semences. Les extraits de citronnelle et du neem sont efficaces contre *Fusarium oxysporum* entraînant non seulement une amélioration de la quantité (nombre de plantules) mais aussi la qualité (hauteur et racine) des plantules produites indépendamment de l'état sanitaire du substrat utilisé. Toutefois, nous proposons que l'efficacité de ces trois plantes soit testée en traitement de semence, en vase de végétation et au champ contre d'autres agents pathogènes du sol.

L'étude de l'efficacité d'extraits de plantes en traitement de sol montre que la citronnelle et le neem sont à mesure de protéger les plantes en cours de culture. Les produits ont été efficaces sur du substrat artificiellement infesté mais de surcroît sur un sol naturellement infesté permettant ainsi la production de plantes saines nécessaires pour une bonne production. L'efficacité obtenue avec l'application de la poudre de citronnelle (15 et 30%) a été plus marquée par rapport à l'huile de neem. Convaincus des potentialités antifongiques de ces plantes en termes de traitements des agents pathogènes du sol, nous suggérons fortement que les expérimentations se poursuivent afin de déterminer le mode d'apport de ces produits dans le sol (pépinière et/ou au champ), la formulation des produits (poudreuse ou liquide) ainsi que sur la quantité de produit non toxique à apporter à la culture et qui puisse assurer sa protection jusqu'à la récolte.

De ces travaux, des formulations commercables à base de citronnelle et d'huile de neem pourraient être mises au point et être préconisées aux maraichers. Les recherches concernant ces plantes pour le traitement des sols donneraient une autre dimension de valorisation des plantes locales et seraient à l'origine d'un renforcement et d'un développement de la recherche dans ce domaine qui prendrait en compte les facteurs environnementaux et la protection de la santé humaine.

Références bibliographiques

- ADJANOHOUN E., 1995.** La biodiversité tropicale face au développement des industries pharmaceutiques. *Pharm. Méd. trad. afro*, 3-18.
- AKLADIOUS S. A., ISAAC G. S., ABU-TAHON M. A.** Induction and resistance against Fusarium wilt disease of tomato by using sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) extract. *Can. J. Plant Sci.* 95: 689-701.
- ANONYME, 2006.** Profil de la culture des tomates de serre au Canada. Ottawa (Ontario), Canada, 50 p.
- ASSIRI P. K., DIALLO A. H., TSCHANNEN A., AKE S., 2009.** Réaction de deux espèces d'igname (*Dioscorea* spp.) traitées avec du vin de palme (*Elaeis guineensis* Jacq.), aux champignons responsables des pourritures d'igname. *AFRICA FOCUS*, Volume 22, Nr. 2, 11-26.
- AWUAH R. T., 1996.** Fungitoxicity of spectra of crude extracts of three Ghanaian medecinal plants. *Ghana Jnl agric. Sci.* 29, 71-74.
- BASSOLE I. H. N., LAMIEN-MEDAB A., BAYALAA B., OBAMEA L.C., ILBOUDOA A.J., FRANZB C., NOVAKB J., NEBIEC R. C., DICKOA M.H., 2011.** Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils alone and in combination. *Phytomedicine* 18, 1070– 1074.
- BASSOLE I. H. N., JULIANI H. R., 2012.** Essential Oils in Combination and Their Antimicrobial Properties. *Molecules*, 17, 3989-4006.
- BAWA I., 2016.** Management strategies of fusarium wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici (sacc.): a review. *International Journal of Advanced Academic Research / Sciences, Technology & Engineering*, 10 p.
- BERKELEY G. H., RICHARDSON J. K., 1960.** Les maladies de la tomate. Publication 759, Agriculture et Agroalimentaire Canada-Agriculture and Agri-Food Canada, 32 p.
- BESSADAT N., 2014.** Isolement, identification et caractérisation des *Alternaria* sp. responsables de la détérioration des plantes maraichères par des systèmes enzymatiques et moléculaires. Thèse de doctorat, université d'Oran, Algérie, 185 p.
- BLANCARD D., LATERROT H., MARCHOUX G. ET CANDRESSE T., 2009.** Les maladies de la tomate: identifier, connaître, maîtriser. Edition Quae C/O INRA, Versailles, 679 p.
- BOLOU B. B. A., KOUAKOU T. H., KOUAME G. K., KASSI F., TUO S., CHERIF M., LEZIN B., KONE D., 2015.** Inhibition de *Sclerotium rolfsii* sacc. (*Corticaceae*), agent

causal de la *pourriture du collet* de la tige de la tomate (solanaceae), par *xylopia aethiopica* (dunal) a. Rich (annonaceae) et *trichoderma* sp. *European Scientific Journal*, 1857 – 7881.

BONZI S., 2005. Efficacité des extraits aqueux de plantes dans la lutte contre les champignons transmis par les semences de maïs (*Zea mays* L.) : Cas particulier de *Bipolaris maydis* (Nisikado et Miyake) Shoem., agent de l'helminthosporiose. Diplôme d'ingénieur du développement rural, Institut du Développement Rural (IDR); Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso ; Burkina Faso, 58 p.

BONZI S., 2013. Evaluation de la mycoflore des semences de sorgho et de Poaceae sauvages : Analyse de la variabilité des isolats de *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema Dorenbosch et Van Kest. et recherche de méthodes de lutte alternatives. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso ; Burkina Faso, 136 p.

BOUCHE M., 2012. Production de semences potagères en Belgique et dans le nord de la France. Extraits, France, 3 p.

BOUKHARTA N., ENNAFFAH B., OUZZANI TOUHAMI A., BENKIRANE R., DOUIRA A., 2012. Effet de la salinité sur la sensibilité de la tomate à la verticilliose. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, Vol. 81, 75– 81.

BOURAS A., BENHAMZA S., 2013. Impact de deux extraits végétaux, le basilic *Ocimum basilicum* et l'ail *Allium sativum*, dans la lutte contre la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* sur six variétés de tomate *Lycopersicum esculentum* sous abris plastique à l'I.T.D.A.S. de Hassi Ben Abdellah-Ouargla. Mémoire de Master académique, université Kasdi Merbah, Ouargla, 60 p.

BUREAUX C., 2008. Une diversité exceptionnelle : Les Solanacées. Histoires de plantes. France, 8 p.

CABRAL L. C., PINTO V. F., PATRIARCA A., 2013. Application of plant derived compounds to control fungal spoilage and mycotoxin production in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 166 ,1–14.

CHAMPION R., 1997. Identifier les champignons transmis par les semences. Techniques et pratiques. Edition INRA, Paris, France, 398 p.

CIRAD, 2013. Cultures maraîchères – Numéro spécial « viroses de la tomate en hors sol et sous abri ». Bulletin de santé du végétal/Ecophyto, Chambre d'Agriculture de La Réunion, France, 20 p.

CIRAD-GRET, 2002 : Mémento de l'agronome, 4^e édition. CIRAD, France, 1700p.

COURCHINOUX J. P., 2008. La culture de la tomate. Fiche technique Tomate ; 8 p.

COUTEAUDIER Y., LETARD M., ALABOUVETTE C., LOUVET J., 1985. Lutte biologique contre la fusariose vasculaire de la tomate. Résultats en serre de production. *Agronomie, EDP Sciences*, 5 (2), 151-156.

CZEMBOR E., ADAMCZYK J., POSTA K., OLDENBURG E., SCHÜRCH S., 2010. Prévention de la fusariose des épis de maïs et de l'accumulation de mycotoxines dues aux *Fusarium spp* : De la Théorie à la Pratique, Étude de Cas sur le Maïs – Guide Numéro 3. ENDURE, 8 p.

DABIRE T. G., BONZI S., SOMDA I., LEGREVE A., 2016. Antifungal activity of *Cymbopogon citratus* (D.C) Staph., *Eclipta alba* (L.) Hassk. and *Portulaca oleraceae* (L.) aqueous extracts against the main seed-borne fungi of onion (*Allium cepa* L.) in Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324 vol.17 No. 3, 804-8012. <http://www.ijias.issr-journals.org/>

DABRE E. E., 2013. Réalisation d'un manuel guide de prospection des maladies et ravageurs de l'oignon pour la clinique des plantes au Burkina Faso. Mémoire de Master complémentaire en Protection des Cultures tropicales et subtropicales, Université Catholique de Louvain, Belgique, 107 p.

DAO K., 2013. Etude de la variabilité de *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg isolé des semences paysannes de maïs au Burkina Faso et recherche de méthodes de lutte alternatives basées sur les extraits de plantes *in vitro*. Diplôme D'études Approfondies En Gestion Intégrée Des Ressources Naturelles (DEA/GIRN), Institut du Développement Rural (IDR); Burkina Faso, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 53 p.

DGPSA, 2006. Le Système des Statistiques Agricoles du Burkina Faso : Rôle et Potentiel dans le Système National de l'Information pour la Sécurité Alimentaire et le suivi de la mise en œuvre du cadre stratégique de lutte contre la pauvreté. Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH), Burkina Faso, Ouagadougou, 42 p.

DIOUF L., DIENG O, 2015. Guide des pratiques agro-écologiques. Projet REFSA (Renforcement des Exploitations agricoles Familiales et Sécurité Alimentaire), Département de Mbour, Sénégal, 40 p.

DISSANAYAKE C.M.L.M., KASHIMA R., TANAKA S., ITO S., 2009. Pathogenic variation and molecular characterization of *Fusarium* species isolated from wilted Welsh onion in Japan. *J. Gen. Plant. Pathol.* 75: 37-45.

DJEUGAP J. F., FONTEM D. A., TAPONDJOU A. L., 2011. Efficacité *in vitro* et *in vivo* des extraits de plantes contre le mildiou (*Phytophthora infestans*) de la morelle noire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(6): 2205-2213.

EDEL-HERMANN V., 2013. Lutte biologique contre les souches pathogènes de *Fusarium oxysporum* du sol. INRA/Université de Bourgogne ; <http://www2.dijon.inra.fr/umrmse/> (consulté le 03/10/2016).

FAO et MAHRH, 2007. Analyse de la filière maraîchage au Burkina Faso. FAO, Burkina Faso, 127 p.

FAO, 2012. La Production et Protection Intégrées appliquée aux cultures maraîchères en Afrique soudano-sahélienne. RADHORT – PUBLICATIONS, Sénégal, 158 p.

FOR EVER AGRO, 2014. Maladies et ravageurs de la tomate ; symptômes et dégâts. <http://www.agroforever.com/maladies-et-ravageurs-de-la-la-tomate-symptomes-degats-et-moyens-de-lutte/> . Consulté le 30/09/2016.

GBOGBO K. A., KOMLAN B., KOUASSI A., PRINCE-DAVID M., GBEASSOR M., BOUCHET P., AKPAGANA K., 2006. Activité antifongique des huiles essentielles de *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) et *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng. (Poaceae) sur des micromycètes influençant la germination du Maïs et du Niébé, Acta Botanica Gallica, 153:1, 115-124. <http://dx.doi.org/10.1080/12538078.2006.10515526>.

GERBORE J., 2013. Lutte biologique contre un champignon pathogène dans l'escape de la vigne, par l'utilisation de l'oomycète *Pythium oligandrum*. Thèse de doctorat, Université de Pau et des pays de l'Adour, France, 270 p.

HAIAT E., HOURIA L., 2003. Biologie et pathologie végétales Mécanismes de bioprotection des plantes de lentille par *Rhizobium leguminosarum* contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lentis*. C. R. Biologies 326, 1163–1173.

HIBAR K., DAAMI-REMADI M., EL MAHJOUB M., 2007. Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. TROPICULTURA 25, (3), 146-152.

JAMES B., ATCHA-AHOWE C., GODONOU I., BAIMEY H., GOERGEN G., SIKIROU R., TOKO M., 2010. Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria. 120 p.

JARCHELOU H. Z., GHOSTA Y., REZAEI, 2013. Identification and pathogenicity study of *Alternaria* spp. On potato in west Azerbaijan province. Iran. J. Plant Path., vol. 49, No. 3: 101-104.

KABORE S. J., 2014. Etude de la pathogénicité de trois principaux agents fongiques sur l'oignon (*Allium cepa* L.) et évaluation des effets antagonistes de cinq isolats de *Trichoderma* spp. contre ces agents in vitro. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

d'Ingénieur d'Agriculture, Centre Agricole Polyvalent de Matourkou (CAPM), Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 55 p.

KONE S. M. 2014. Évaluation de la mycoflore des semences d'oignon et recherche de méthodes de lutte basées sur l'utilisation des extraits aqueux de plantes locales (*Eclipta alba* L., *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf et *Portulaca oleracea* L.). Master en production végétale, Institut du Développement Rural (IDR); Burkina Faso, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 54 p.

LARKIN R. P., FRAVEL D. R, 1999. Mechanisms of action and dose-response relationships governing biological control of Fusarium wilt of Tomato by non-pathogenic *Fusarium* spp. *Phytopathology*, 89: 1152-1161.

LECOMTE C., 2016. Fusariose du cyclamen : détection préventive du risque et contrôle biologique. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Discipline: Sciences Vie, France, 240 p.

LI-JUN MA, GEISER D. M., PROCTOR R. H., ROONEY A. P., O'DONNELL K., TRAIL F., GARDINER D. M., MANNERS J. M., KAZAN K., 2013. *Fusarium* Pathogenomics. *Annu. Rev. Microbiol.* 67:399–416.

LISAN B., 2012. Protection des cultures contre les parasites, ravageurs et maladie par les moyens naturels: lutte biologique. <http://www.Devdurable.htm>, consulté 23/08/2016.

LOUVET J., BULIT J., TOUTAIN G., RIEUF P., 1962. Le bayoud, fusariose vasculaire du palmier dattier : symptômes et nature de la maladie, moyens de lutte. Coopération entre INRA France, la Direction de la Recherche Agronomique du Maroc et l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie, 161-181.

MAH/PDSA, 2012. Manuel: Pathologie des semences (maïs, sorgho, mil, riz, niébé, arachide, soja, sésame). Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, Ouagadougou ; Burkina Faso, 77 p.

MAHRH, 2004. Etude pour l'élaboration du plan de développement de la filière fruits et légumes. Ouagadougou, Burkina Faso, 164 p.

MAHRH, 2011. Rapport d'analyse du module maraîchage. Ouagadougou, Burkina Faso, 214p.

MATHUR S. B., KONGSDAL O., 2003. Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi. International Seed Testing Association, Denmark, 425 p.

MISHRA P., SINGH P., TRIPATHI N. N., 2014. Evaluation of plant extracts against *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Lycopersici*, wilt pathogen of tomato. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences*, Vol. 4 (2), pp. 163-167.

- MOINE L., 2013.** Identification et détection d'une nouvelle espèce de *Fusarium* pathogène sur la tomate de serre en Amérique du Nord. Maîtrise en biologie végétale, Université Laval, Québec, Canada, 59 p.
- MOURICHON X., 2003.** Analyse du Risque Phytosanitaire (ARP): Organisme nuisible : *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*. CIRAD BAN-c4, 26 p.
- NAIKA S., JOEP V. L. D. J., DE GOFFAU M., HILMI M., BARBARA V. D., 2005.** Agrodok 17 : La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation. Wageningen, Pays-Bas, PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), 105 p.
- OGECHI N. A., MARLEY P. S., 2006.** In-vitro assay of some plant extracts against *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* causal agent of tomato wilt. *Journal Of Plant Protection Research* Vol. 46, No. 3, 215-220.
- OKEZIE A. I., AGYAKWA C. W., 1989.** Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest. Institut international d'agriculture tropicale, Ibadan, Nigéria, 522 p.
- PHILOUZE J., 1993.** Les tomates. INRA, station d'Amélioration des plantes maraîchères. *Sauve qui peut !* n°6-7, INRA, 84143, Montfavet 4 p.
- PONCHET J., 1982.** Réalités et perspectives de la lutte biologique contre les maladies des plantes. *Agronomie*, EDP Sciences, 2 (4), pp.305-314. <hal-00884386>.
- POUSSET J-L., 1970.** Plantes médicinales africaines. Utilisation Pratique. Agence de coopération culturelle et technique, Université de POITIERS, France, 160 p.
- PUSSEMIER L., 1983.** Les nouvelles tendances dans les traitements phytopharmaceutiques en culture de tomates au Maroc. I.A.V. H.II, Office de Commercialisation et d'exportation (OCE), Maroc, 25-29.
- RAMAIAH A. K., H. GARAMPALLI R. K., 2015.** In vitro antifungal activity of some plant extracts against *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 5(1):22-27.
- RAO V. A., AGARWAL S., 2000.** Role of Antioxidant Lycopene in Cancer and Heart Disease. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 19, No. 5, 563–569.
- RECA Niger, 2014.** Les semences de tomate disponibles au Niger (troisième version). Technisem, Niger, 17 p.
- RUOCCO M., GIORGINI M., ALOMAR O., BLUM B., KOHL J., NICOT P., 2011.** Lutte biologique. Numéro 2: Tomate. ENDURE, INRA, France, 10 p.
- SAGITOV A. O., ELL-HABBAA G. M., ELL-FIKI I. A., 2011.** Studies on tomato wilt caused by *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* in kazachestan. 1b: effect of exogenous application of garlic and black pepper extracts as resistance inducer treatments on the wilt

disease incidence and some plant growth parameters. Исследования Результаты (КазНАУ), г. Алматы, - № 1(049), С. 113-119.

SAMUELS J., 2015. Biodiversity of food Species of the Solanaceae Family: A preliminary Taxonomic Inventory of Subfamily Solanoideae. *Resources*, 4, 277-322.

SCHIFFERS B., 2011a. Itinéraire technique, tomate cerise (*Lycopersicon Esculentum*). PIP/ COLEACP, Brussels, 44 p.

SCHIFFERS B., 2011b. Manuel 7 : Fondements de la protection des cultures. PIP/ COLEACP, Brussels, 294 p.

SINGH K., FRISVAD C. J., THRANE U., MATHUR S. B., 1991. An illustrated manual on identification of some seed-borne Aspergillus, Fusaria, Penicillia and their mycotoxins. Danish government Institute of Seed Pathology for Developing countries. Denmark, edition, 133 p.

SYNGENTA, 2016. Lutte contre l'alternaria en pommes de terre. <https://www.syngenta.be/fr/article/pomme-de-terre/lutte-contre-lalternaria-en-pommes-de-terre>, consulté le 19/11/16.

TIENDREBEOGO A., 2011. Efficacité des extraits de plantes locales (*Eclipta alba* L., *Cymbopogon citratus* (D.C.) Staph, *Agavae sisalana* Perr. et *Lippia multiflora* Moldenke) contre les principaux champignons seminicoles du riz. Diplôme d'ingénieur du développement rural, Institut du Développement Rural (IDR); Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 67p.

VABI M. B., CHIKOYE D., 2008. Production et conditionnement de la tomate (*Lycopersicum esculentum*). Guide pratique N°4, IITA, 17 p. www.Faostat.fao.org du 30 septembre 2016.

YOUCH M. K., 2010. Amélioration de la distribution de l'eau d'irrigation pour la culture biologique de la tomate de serre. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans la cadre du programme de maîtrise en biologie végétale pour l'obtention du grade de maître des sciences (M. Sc.), 90 p.

ZEHHAR G., TOUHAMI A.O., BADO A., DOUIRA A., 2006. Effet des *Fusarium* des eaux de rizière sur la germination et la croissance des plantules de riz. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 145 :7-18.

Annexe

Fiche technique de la variété de tomate Tropimech



Caractéristiques de la variété :

Origine : Technisem ;

Plante : Croissance déterminée ;

Vigueur : Moyenne ;

Fruit : Forme allongée, collet légèrement vert, très bonne fermeté pour le transport, très bonne conservation ;

Poids moyen : 90 à 100 g ;

Adaptée saison sèche froide.

Pépinière

Semis en pépinière : la pépinière peut se faire toute l'année ;

Quantité de semences : 3g de graines semés sur 3m² pour repiquer 100m² de cultures ;

Ecartement entre les lignes : 15-20cm ;

Durée de la pépinière : 4 semaines.

Plantation

Période de culture : avril à septembre pour la production d'hivernage ; octobre à mars pour la production de saison sèche et fraîche ;

Travail du sol : labour profond (50cm environ), concassage, planage, traçage ;

Fumure de fond : épandre 20 à 30kg de fumier bien décomposé pour chaque parcelle ou planche de 10m² ;

Repiquage : les plants vigoureux de 10 à 15 cm de haut avec 5 à 6 feuilles ;

Ecartements : 0,8 m entre les lignes et 0,50 m entre les plants sur la ligne ;

Densité au repiquage : 20 000 à 25.000 pieds à l'hectare ;

Profondeur de repiquage : enterrer la plantule jusqu'à la première feuille ;

Moment de repiquage : entre 16 H et 18H pour repiquage des plants à racines nues.

Entretien

Arrosage : en saison sèche, apporter l'eau à la capacité au champ et en saison pluvieuse, apporter l'eau lors des poches de sécheresse ;

Fumure d'entretien : apporter 300 kg/ha de NPK (12-22-22 ou 14-23-14) et 100kg/ha d'urée 2 à 3 semaines après repiquage et en début de floraison ;

Sarco-binage : régulièrement pour éviter l'enherbement ;

Tuteurage : dès la fructification pour éviter le pourrissement des fruits dû à leurs contacts avec le sol humide.

Tolérances / résistances

Résistance à *Fusarium oxysporum* sp. *lycopersici* (race 0) ;

Tolérance à *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici* ;

Tolérance à *Stemphyllium* sp.

Récolte

Période de récolte : 65 - 70 jours après repiquage ;

Variété est idéale en tomate de transformation.