



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Toxicologie et sécurité alimentaire

Présenté par :

Mouloued Aicha.

Moussa Asmaa Nour Elhouda.

Nacer Ahlem.

Thème

**Étude *in vivo* de l'effet des extraits du jujubier
spontané (*Ziziphus lotus*) sur le développement du
champignon mycotoxinogène *Fusarium* spp.**

Soutenu le 22/09/2021.

Jury :

Grade

Président :	Dr. BOUFARES K.	M.C.B. Faculté SNV
Encadrant :	Dr. DAHLIA F.	M.C.A. Faculté SNV
Co-encadrant :	Dr. YEZLI W.	M.C.A. Faculté SNV
Examineur :	Dr. ALINEHARI A.	M.C.A. Faculté SNV

Année universitaire 2020-2021



Remerciements

Nous remercions Dieu Le Tout Puissant Qui nous a donné la force et le courage de réaliser ce modeste travail.

Tout d'abord un grand merci à notre chère promotrice Mme Dahlia et notre Copromoteur Mr Yezli. Merci pour votre présence et votre disponibilité permanente, pour vos conseils et votre soutien, et pour nous avoir fourni les idées nécessaires, ayant permis la réalisation sans difficulté du présent travail.

Nos remerciements s'adressent à Mr. Boufares qui nous a fait l'honneur de présider ce jury et à Mr Alinahari pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont également à l'encontre de toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

En fin, nous exprimons nos remerciements à nos familles et nos amis qui nous ont aidé pour le bon achèvement de ce travail.



Dédicace

Au nom d'Allah Le plus Grand Qui nous a guidé vers le droit chemin et nous avoir aidé tout au long de nos années d'étude.

Il y a certaines satisfactions que les mots et les phrases parviennent difficilement à exprimer. Cela nous arrive lorsqu'il faut visualiser une émotion profonde afin d'être à la délicatesse des êtres qui nous sont très chers.

De ce fait : -À la femme qui m'a porté toute ma vie et qui m'a enveloppé de gentillesse. À la femme la plus extraordinaire et la plus douce du monde : à ma mère, j'exprime mon profond amour.

À celui qui a été et qui est toujours pour moi le modèle, la référence : mon père ; je lui exprime mon profond respect et j'espère que j'ai été à la hauteur de ses espérances. Ma joie est que tu sois fier de moi.

- À mes frères : Oussama, Yassine, Mouad.

- À mes sœurs : Hadil, Assia.

- À mes oncles.

- À mes tantes.

- À mes cousines : Asmaa, Ibtissem, Sabrina, Ines, Kheirour, Nihed, Sara, Karima, Imen, Souad.

- À mes amies : Nada, Sara, Luiza, Fatima, Chaimaa, Hanane.

- À ma deuxième famille, la promotion master II en Toxicologie et sécurité alimentaire.

- À tous ceux que je porte dans mon cœur.



Asmaa Nour Elhouda



Dédicace

*A ma chère maman, pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien
et ses prières tout au long de mes études,*

*A ma chère sœur Khouloud pour ses constants encouragements et son soutien
moral.*

A mes oncles.

A mes tantes.

A mes cousins et mes cousines.

*Mes chers amies Asmaa, Ahlem, Bouchra et Kawther, pour leurs soutiens et
leurs encouragements*



Dédicace

Avec un cœur ouvert, une joie immense et des remerciements à Dieu Le Tout-Puissant pour avoir eu la force et le courage d'accomplir ce modeste travail que je dédie :

À mes chers parents en gage de mon affection. Permettez-moi de leur exprimer, toute ma gratitude et mon salut ainsi que mon amour. À qui je dois tout mon respect et que je ne remercierai jamais assez pour leurs sacrifices, et tout ce qui a été offert durant mes années d'études.

À mes chères sœurs : Fatima, Zohra, Nihed, Israa.

À mes frères : Baderddine, Abderrahmane, Azzedine, Imad, Mouad, Oussama.

À toute ma famille sans exception. Je leur souhaite beaucoup de réussite dans la vie.

À tous les professeurs qui m'ont enseigné toutes ces années.

À mes amies qui m'aiment : Radjaa, Imane, Ikram, Chaimaa, Fatima et Hanane.

À tous ceux qui me connaissent et m'aiment et à tous ceux qui m'ont soutenu et m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.



Liste des abréviations

ANOVA:	Analyse de variance.
CM:	Carré moyen.
ddl:	Degrés de liberté.
F:	Fusarium.
F:	Test de <i>Fischer</i> .
f. sp:	Forme spéciale.
FAO:	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
nm:	Nanomètre.
ns	Non significatif.
P.	Probabilité ou signification.
PDA:	Potato Dextrose Agar.
Pi:	Poids initial.
PS:	Poids sec.
SCE :	Somme des carrés des écarts.
* :	Significatif au niveau 5% (0,05).
** :	Significatif au niveau 1% (0,01).
*** :	Significatif au niveau 0,1% (0,01).

Liste des figures

Figure 1 : Les quatre souches fongiques utilisées : (A) <i>Fusarium solani</i> (Wy14), (B) <i>Fusarium oxysporum</i> (Wy18), (C) <i>Fusarium equiseti</i> (Wy11) et (D) <i>Fusarium redolens</i> (Wy5).	6
Figure 2 : Les graines de tomate utilisées. (Photo originale prise le 6 Juillet 2021).	6
Figure 3 : Les fruits (A), feuilles (B) et racines (C) du jujubier spontané utilisés	7
Figure 4 : Zone d'étude prospectée pour la collecte des fruits, feuilles et racine du jujubier. ..	7
Figure 5 : Etape de préparation des extraits aqueux du jujubier spontané : (A) fruits, (B) feuilles et (C) racines.	8
Figure 6 : Etape de préparation du test antifongique <i>in vitro</i>	12
Figure 7 : Germination des graines et transplantation des plantules de la tomate.....	13
Figure 8 : Etapes du test antifongique <i>in vivo</i>	14
Figure 9 : Etapes de traitement des photos par le logiciel Image J afin de déterminer les surfaces foliaires.....	15
Figure 10 : Etapes de traitement des photos par le logiciel Image J afin de déterminer les longueurs des racines.....	16
Figure 11 : Variation des rendements d'extraction des différents extraits aqueux de jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	18
Figure 12 : Variation des teneurs en composés phénoliques des différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	19
Figure 13 : Variation d'inhibition de la croissance des quatre souches de <i>Fusarium</i> par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	21
Figure 14 : Résultats des différents traitements appliqués pour inhiber la croissance des quatre champignons phytopathogènes utilisés : (A) eau distillée (témoin négatif), (B) fongicide (témoin positif), (C) extrait aqueux des fruits, (D) extrait aqueux des feuilles, (E) extrait aqueux des racines.	22
Figure 15 : Réponse des plantes de tomate aux différents traitements, appliqués <i>in vivo</i> , contre les quatre champignons phytopathogènes utilisés : (A) Plantes non inoculées, (B) Plantes inoculées et traitées avec le fongicide, (C) Plantes inoculées et non traitées, (D) Plantes inoculées et traitées avec l'extrait aqueux des fruits de jujubier, (E) Plantes inoculées et traitées avec l'extrait aqueux des feuilles de jujubier, (F) Plantes inoculées et traitées avec l'extrait aqueux des racines de jujubier.	24
Figure 16 : Variation des longueurs des racines de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de <i>Fusarium</i> et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	26

Figure 17 : Variation des pourcentages d'infection des racines par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	29
Figure 18 : Variation des hauteurs des tiges de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	32
Figure 19 : Variation des surfaces foliaires de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	36
Figure 20 : Variation des aspects des feuilles de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	38
Figure 21 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate intactes en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	40
Figure 22 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate partiellement jaunes en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	41
Figure 23 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate nécrosées en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	43
Figure 24 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate mortes en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de Fusarium et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	44

Liste des tableaux

Tableau 1: Le matériel, appareil et produits utilisé dans les différentes expérimentations.....	5
Tableau 2: Analyse de variance des teneurs en composés phénoliques des différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).....	18
Tableau 3: Analyse de variance des pourcentages d'inhibition de la croissance des quatre souches de <i>Fusarium</i> par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	20
Tableau 4: Classification des moyennes, par le test <i>Tukey</i> , des pourcentages d'inhibition de la croissance des quatre souches de <i>Fusarium</i> par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (<i>Ziziphus lotus</i>).	21
Tableau 5: Analyse de variance longueur des racines des plantes de tomate,	25
Tableau 6: Classification des moyennes, par le test <i>Tukey</i> , des longueurs des racines par les souches de <i>Fusarium</i> et en fonction du traitement utilisé.	27
Tableau 7 : Analyse de variance des pourcentages d'infection des racines par les champignons phytopathogènes.	28
Tableau 8 : Classification des moyennes, par le test <i>Tukey</i> , des pourcentages d'infection des racines par les souches de <i>Fusarium</i> et en fonction des traitements utilisés.	31
Tableau 9: Analyse de variance hauteur des tiges des plantes de tomate.	31
Tableau 10 : Classification des moyennes, par le test <i>Tukey</i> , des pourcentages d'infection des racines par les souches de <i>Fusarium</i> et en fonction des traitements utilisés.	34
Tableau 11 : Analyse de variance surface foliaire des plantes de tomate.	34
Tableau 12 : Analyse de variance de l'aspect des feuilles des plantes de tomate.....	37

Table des matières

Remerciements	i
Dédicace	ii
Liste des abréviations	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Table des matières	ix
Introduction	1
Partie expérimentale	5
Chapitre 1 : Matériel et méthodes	5
1. Matériel	5
1.1. Matériel de laboratoire	5
1.2. Matériel biologique	6
1.2.1. Matériel fongique	6
1.2.2. Matériel végétal	6
2.2. Caractérisation des extraits aqueux	9
2.2.1. Détermination du rendement d'extraction	9
2.2.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	9
2.2.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes	10
2.2.4. Détermination de la teneur en tanins condensés	10
2.3. Evaluation de l'activité antifongique	11
2.3.1. Evaluation de l'activité antifongique <i>in vitro</i>	11
» Test antifongique <i>in vitro</i>	11
2.3.2. Evaluation de l'activité antifongique <i>in vivo</i>	13
3. Analyses statistiques	17
Chapitre 2 : Résultats et discussions	18
1. Caractérisation des extraits aqueux	18
1.1. Rendement d'extraction	18
1.2. Teneurs en composés phénoliques	18
2. Activité antifongique <i>in vitro</i>	20
3. Activité antifongique <i>in vivo</i>	23
3.1. Longueur des racines	24
3.2. Pourcentage d'infection des racines par les champignons phytopathogènes	27
3.3. Hauteur des tiges	31
3.4. Surface foliaire	34

3.5. Aspect des feuilles	37
3.5.1. Feuilles intactes	39
3.5.2. Feuilles partiellement jaunes	40
3.5.3. Feuilles nécrosées	42
3.5.4. Feuilles mortes	43
4. Discussion	45
Conclusion	46
Références bibliographiques	53
Résumé	

Introduction



Introduction

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) est devenue un des légumes les plus importants du monde. Elle appartient à la famille des Solanaceae. Elle est originaire des Andes d'Amérique du Sud. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. 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). La tomate est une culture importante en Algérie. En 2016, la production de tomate en Algérie a atteint 1 286 286 tonnes sur une surface récoltée de 23 977 ha (FAO, 2017). En 2019, elle a atteint 1477878 tonnes (FAO, 2019).

La tomate est attaquée par plusieurs espèces phytopathogènes dont les principaux sont les *Fusarium*, qui appartiennent à un genre de champignons ascomycètes décrit pour la première fois par Link en 1809 sous le nom de *Fusisporium*. Les espèces du genre *Fusarium* sont nombreux et peuvent être récupérés dans les plantes et les sols du monde entier en tant qu'agents pathogènes, endophytes et saprophytes. Ils sont connus par leur capacité à être des agents pathogènes pour les plantes. La plupart des espèces du genre *Fusarium* produisent un ensemble de métabolites secondaires nommées "mycotoxines" qui sont toxiques et/ou cancérigènes pour les humains et les animaux domestiques et qui peuvent jouer un rôle dans les maladies des plantes (Brown et Proctor, 2013).

Les *Fusarium* ont un thalle à croissance généralement rapide, blanc à crème, jaune brunâtre, rose, rouge, violet ou lilas. Les conidiophores parfois très ramifiés forment sur le thalle des coussinets (sporodochies) et portent des masses de spores d'aspects graisseux. Le *Fusarium* est responsable d'importants dégâts durant tout le cycle vital de la plante hôte, est transmis essentiellement par les semences, mais peut aussi provenir du sol où il se conserve sous forme de spores durables (Champion, 1997) ou sous forme de chlamydospores. Il se propage sur de courtes distances par l'eau et le matériel agricole contaminé et sur de longues distances principalement dans les plants infectés ou dans la terre qu'ils transportent. Lorsque des plantes saines poussent dans un sol contaminé, le tube germinatif des spores ou le mycélium pénètre directement dans les extrémités des racines ou pénètre dans les racines par des blessures ou au point de formation des racines latérales. Le mycélium progresse dans le cortex racinaire de manière intercellulaire et, lorsqu'il atteint les vaisseaux du xylème, il y pénètre par les puits. Le mycélium reste alors exclusivement dans les vaisseaux et les traverse, principalement vers le haut, en direction de la tige et de la couronne de la plante. Dans les vaisseaux, le mycélium se ramifie et produit des microconidies, qui sont détachées et transportées vers le haut dans le flux de sève. Les microconidies germent au point où leur mouvement ascendant est arrêté, le

mycélium pénètre la paroi supérieure du vaisseau et d'autres microconidies sont produites dans le vaisseau suivant. Le mycélium avance également latéralement dans les vaisseaux adjacents, les pénétrant à travers les puits. Lorsque les feuilles transpirent plus d'eau que les racines et la tige ne peuvent en transporter vers elles, les stomates se ferment et les feuilles se flétrissent et finissent par mourir, suivies par la mort du reste de la plante. Le champignon envahit alors tous les tissus de la plante de manière extensive, atteint la surface de la plante morte et y sporule abondamment. Les spores peuvent être disséminées à de nouvelles plantes ou zones par le vent, l'eau, etc. (Agrios, 2005).

Plusieurs espèces de *Fusarium* existent et qui peuvent provoquer des dégâts sur la tomate, dont les deux formes spéciales de la morpho-espèce *Fusarium oxysporum* : *F. oxysporum f. sp. lycopersici*, responsable de la maladie du flétrissement vasculaire, et *F. oxysporum f. sp. radialis-lycopersici*, responsable de la pourriture du collet et des racines. Trois autres espèces appartenant au même genre, *Fusarium commune*, *Fusarium redolens* et *Fusarium equiseti* ont également été signalées comme agents responsables de la pourriture du collet et des racines de la tomate (Zeboudj et al., 2019).

Lors de l'infection, les plantes reconnaissent les champignons pathogènes par les éliciteurs de la membrane de l'hyphe qui conduit à une hypersensibilité caractérisée par l'apparition des nécroses autour des points de pénétration (Corbaz, 1990). La plante atteinte développe une série de barrières mécaniques et biochimiques pour lutter contre le parasite (Beckman et al., 1988), quand le parasite pénètre par les racines, un brunissement de quelques cellules du parenchyme ligneux voisin de la partie du vaisseau infecté apparaît. Cette réaction est suivie par la formation de thylls, sécrétion gommeuse permettant à la plante d'isoler l'agent pathogène en obstruant le vaisseau envahit avant que le filament mycélien ne produise des conidies (EL Mahjoub et al., 1984). En cas où le parasite pénètre dans l'hôte, la plante résiste grâce à son système immunitaire et réagit par deux voies ; soit par la mobilisation des substances constitutives de la paroi juste en face de l'hyphe : on parle de paille composé de callose et de cellulose, elle encapsule le parasite et échoue l'infection, soit par la production des substances chimiques tels que les saponines qui forment des complexes avec les stérols fongiques et l'acide chlorogénique qui va être oxydé en présence d'infection et déplace la respiration vers la voie des pentoses conduisant à la production des phénols. En plus de ces deux voies, la plante peut se défendre contre les parasites par la cutine, par les poils ou par la disposition des stomates (Corbaz, 1990).

Dans la plupart des cas, la défense naturelle de la plante ne suffit pas pour faire face aux agents pathogènes. L'avenir de nombreuses cultures importantes pour l'agriculture dépend de la mise en place d'un système efficace de des méthodes de lutte contre les maladies du *Fusarium*.

La méthode la plus utilisée pour contrôler ces maladies est la fumigation du sol par des pesticides de synthèse comme le bromure de méthyle. Ce genre de produit chimique qui a un faible coût d'utilisation, est plus efficace par rapport à l'utilisation du fongicide traditionnel, surtout pour lutter contre les organismes phytopathogènes difficiles à atteindre. Les différents éléments de ces substances ont, pourtant des conséquences néfastes sur l'environnement, dont entre autres, l'accumulation des résidus entraînant la pollution des sols, l'apparition et la généralisation des mécanismes de résistance chez les pathogènes et le déséquilibre écologique dû au fait que beaucoup de ces composés de synthèse ont large spectre d'action, détruisant non seulement les agents nuisibles, mais également les autres populations de l'écosystème. (Rakotoarimanga *et al.*, 2014).

Pour pallier ces inconvénients, les recherches tendent à mettre au point de nouvelles méthodes de lutte moins nuisibles pour l'environnement, c'est la lutte biologique, qui est toute forme d'utilisation d'organismes vivants et de produits naturels ayant pour but de limiter la nocivité des diverses ennemies des cultures (rongeurs, insectes, acariens, nématodes, agents des maladies des plantes et plantes adventices) (Jourdeuil *et al.*, 1991).

Les extraits des plantes sont parmi les produits naturels utilisés dans la lutte biologique. Ils représentent une pratique ancestrale en Afrique. Des travaux antérieurs ont pu démontrer que certains extraits ont la même efficacité des fongicides de synthèse. L'action biocide de ces extraits sur les champignons se manifeste par l'inhibition de la sporulation ou par une réduction de la sévérité de la maladie (Yarou, 2017).

Le jujubier spontané (*Ziziphus lotus* L. Desf.) est un arbuste fruitier, épineux appartenant à la famille des Rhamnacées (Rsaissi et Bouchache, 2002). C'est une espèce méditerranéenne avec une faible concentration dans le Sahara septentrional : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye. (Ghedira, 2013). Il est à usages multiples. Les feuilles, bien qu'elles soient très épineuses, sont broutées par les animaux, les fruits sont consommés par l'homme, le bois sert de combustible d'excellente qualité, et les fleurs sont butinées par les abeilles qui en produisent un excellent miel. Par ailleurs, les graines broyées de cette espèce sont traditionnellement utilisées pour le traitement de nombreuses maladies (El Hachimi *et al.*, 2016). Ses extraits ont aussi des effets inhibiteurs sur la croissance de plusieurs bactéries et de champignons (Ghazghazi *et al.*, 2014). Il a été déjà prouvé l'effet de ses extraits contre le *Fusarium* (Dahlia *et al.*, 2020).

C'est dans ce contexte de la valorisation des ressources naturelles que nous avons mené ce travail qui consiste à évaluer l'activité antifongique des extraits aqueux des fruits, feuilles et racines du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*) contre quatre souches de *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*.

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes



Cette étude s'articule autour de 3 volets :

- ✓ Collecte du matériel végétal (fruits, racines et feuilles du jujubier spontané) ;
- ✓ Préparation des extraits aqueux des fruits, racines et feuilles du jujubier spontané par macération à froid ;
- ✓ Caractérisation des extraits aqueux et évaluation de leur activité antifongique *in vitro* et *in vivo*.

1. Matériel

1.1. Matériel de laboratoire

Le matériel, appareillage et produits utilisés pour la réalisation des différentes expérimentations sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1: Le matériel, appareil et produits utilisé dans les différentes expérimentations.

Verreries et autres	Appareillage	Produits chimiques
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Béchers. ▪ Entonnoirs. ▪ Eprouvettes. ▪ Erlen Meyer. ▪ Etiquettes. ▪ Ance de platine. ▪ Pipettes Pasteur. ▪ Papier filtre. ▪ Papier aluminium ▪ Portoirs. ▪ Tubes à essai. ▪ Spatules. ▪ Boîtes Pétri en verre ▪ Boîtes Pétri en plastique. ▪ Verres à montre. ▪ Seringues. ▪ Flacons. ▪ Alvéoles. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agitateur. ▪ Autoclave. ▪ Bain Marie. ▪ Balance. ▪ Etuve. ▪ Réfrigérateur. ▪ Spectrophotomètre. ▪ Vortex. ▪ Broyeur électrique. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ethanol. ▪ Eau distillée. ▪ Chlorure hydrique (HCl). ▪ Méthanol. ▪ N-butanol. ▪ Sulfate ferreux. ▪ Chlorure d'aluminium (ClAl₃). ▪ Folin-Ciocalteu. ▪ Carbonate de sodium (Na₂CO₃). • Fongicide (FLINT 50g). • Saccharose. • Agar.

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Matériel fongique

Quatre souches fongiques du genre *Fusarium*, fournies aimablement du laboratoire de mycologie de l'université d'Oran, ont été utilisées dans cette étude (Fig. 1). Il s'agit de *Fusarium equiseti* (Wy11), *Fusarium redolens* (Wy5), *Fusarium solani* (Wy14) et *Fusarium oxysporum* (Wy18).

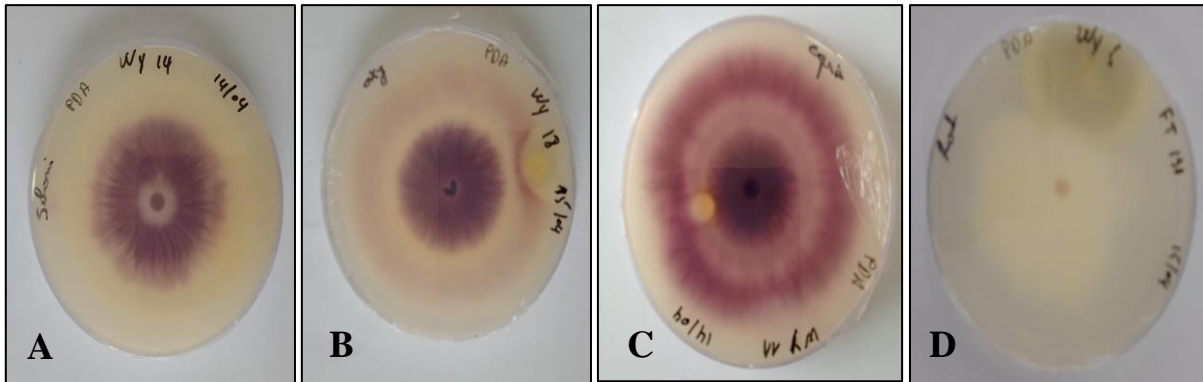


Figure 1 : Les quatre souches fongiques utilisées : (A) *Fusarium solani* (Wy14), (B) *Fusarium oxysporum* (Wy18), (C) *Fusarium equiseti* (Wy11) et (D) *Fusarium redolens* (Wy5).

(Photo originale prise le 22 Avril 2021).

1.2.2. Matériel végétal

Les semences de tomate (Fig. 2) ont été utilisées pour l'évaluation *in vivo* des différents extraits de jujubier sauvage vis-à-vis les quatre souches de *Fusarium*. Il s'agit de la variété hybride « Aicha », originaire de la Chine et sélectionnée par l'organisme "griffaton" en France.



Figure 2 : Les graines de tomate utilisées. (Photo originale prise le 6 Juillet 2021).

Les fruits, feuilles et racines du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*) ont été utilisés pour la préparation des extraits aqueux (Fig. 3). Ce matériel végétal a été collecté de la région de « Meghila », wilaya de Tiaret. Les fruits ont été récoltés à maturité durant le mois de septembre 2020. Alors que, les feuilles et les racines ont été récolté durant le mois d’avril 2021.



Figure 3 : Les fruits (A), feuilles (B) et racines (C) du jujubier spontané utilisés
(Photo originale prise le 28 Avril 2021).

La région de Mghila est localisée au nord de la wilaya de Tiaret à une altitude de 463 m, une latitude de 1,4137 N et une longitude de 35,5964 N (Fig. 4). Elle est caractérisée par un climat méditerranéen avec un été chaud.

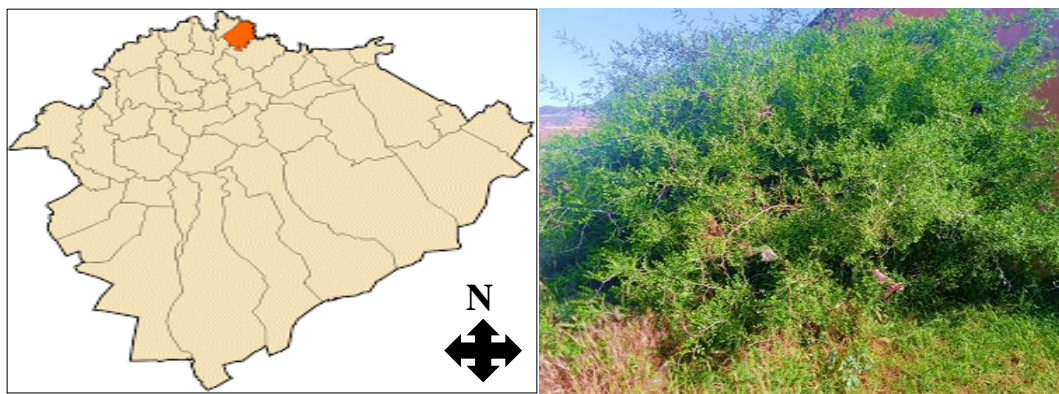


Figure 4 : Zone d’étude prospectée pour la collecte des fruits, feuilles et racine du jujubier.
(Sources : la carte : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Meghila> ; b) l’arbuste de jujubier : photo originale prise le 22 Avril 2021).

2. Méthodes

2.1. Préparation des extraits aqueux

Les fruits du jujubier ont été décortiqué pour récupérer la pulpe. La pulpe des fruits, les feuilles et les racines ont été séchées à l’aire libre et à l’ombre pendant 15jours. Elles ont été, par la suite, broyées à l’aide d’un broyeur électrique et tamisées afin d’obtenir une poudre fine et homogène.

Les extraits aqueux ont été préparés, à partir des pulpes des fruits, des feuilles et des racines de jujubier spontané (*Zizyphus lotus*), par macération à froid pendant 72 heures selon la méthode décrite par Housseinzadeh et Younssi, (1995). Les solutions aqueuses ont été préparées (macération) en mélangeant 150 grammes de l'échantillon (pulpe, feuilles ou racines) avec 1500 millilitres d'eau distillée stérile dans des Erlens mayer (Fig. 5). Ces solutions ont été agitées, ensuite, pendant 72 heures successives. Après la récupération des extraits, une première filtration a été effectuée en utilisant des bas fins et une deuxième en utilisant le papier filtre. Après, les solutions ont été versées dans des verres à montre propres et ont été condensée à une température de 40°C dans une étuve ventilée jusqu'à l'évaporation totale de l'eau et l'obtention d'une poudre sèche. Cette dernière a été mise dans un dessiccateur et puis conservée à l'obscurité dans un endroit sec.



Figure 5 : Etape de préparation des extraits aqueux du jujubier spontané : (A) fruits, (B) feuilles et (C) racines.

(Photo originale prise le 19 Mai 2021).

2.2. Caractérisation des extraits aqueux

2.2.1. Détermination du rendement d'extraction

Le poids de l'extrait sec (PS), a été calculé par la différence entre le poids du verre à montre contenant l'extrait et le poids du verre à montre vide. Le rendement de l'extraction est le rapport entre le poids de l'extrait sec et le poids initial, est calculé par la formule suivante :

$$\mathbf{R\% = (PS/PI) \times 100}$$

Avec : **R%** : Rendement d'extraction.

PS : Poids sec de l'extrait.

PI : Poids initial des fruits, feuilles et racines de jujubier macéré.

2.2.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

» Principe

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé par la méthode décrite par Singleton et Rossi (1965) en utilisant le réactif Folin-Ciocalteu. Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstène ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdène ($H_3PMO_{12}O_{40}$) de couleur jaune. Son principe est basé sur l'oxydation des composés phénoliques en milieu alcalin par le réactif Folin-Ciocalteu. Cette réaction entraîne la formation d'un nouveau complexe molybdène-tungstène de couleur bleu présentant un maximum d'absorption à une longueur d'onde =760 nm et dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de composés phénolique présent dans l'échantillon. Le dosage des composés phénoliques a été effectué par la comparaison de la densité optique observé à celle obtenue par un étalon d'acide gallique de concentration connue.

» Technique

Dans des tubes à essai, 0,5 ml de chaque extrait a été ajouté à 2,5 ml de Folin-Ciocalteu (dilué dix fois). Après incubation de 3 minutes, 1 ml de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à (20%) a été ajouté, le mélange ainsi obtenu a été incubé de nouveau pendant 15 minutes à température ambiante et à l'obscurité (Singleton et Rossi, 1965).

La lecture des absorbances a été faite à longueur d'onde $\lambda = 760$ nm contre un blanc sans extrait. La concentration en composés phénoliques totaux a été déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard d'étalonnage (Singleton et Rossi, 1965).

» **Expression des résultats**

La teneur en composés phénoliques est exprimée en milligramme d'équivalent acide gallique par 100 grammes d'extrait (mg EAG/ 100 g MS) selon la formule suivante (Gaouar, 2011) :

$$T = [(C \times V \times D) / P] \times 100$$

Dont :

T : Teneur en polyphénols totaux (mg GAE /100g d'extrait) ;

C : Concentration des polyphénols en équivalent d'acide gallique déduite de la courbe ;

D : Facteur de dilution ;

P : Poids de l'échantillon (g) ;

V : volume de la solution analysée (ml).

2.2.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes

» **Principe**

La quantification des flavonoïdes a été effectuée par une méthode basée sur la formation de complexes entre les composés phénoliques et le trichlorure d'aluminium. Ceci traduit le fait que le métal perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygènes de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons. Les complexes produits sont de couleur jaune absorbant dans le visible à 415 nm (Alyafi, 2007).

» **Technique**

1,5 ml de la solution de chaque extrait ont été ajoutés à 1 ml de chlorure d'aluminium (AlCl₃) à 2% (dissout dans le méthanol pur). Le mélange a été vigoureusement agité, puis l'ensemble a été incubé à température ambiante et à l'abri de la lumière pendant 10 minutes. L'absorbance a été lue à une longueur d'onde de 430 nm.

La quantification des flavonoïdes se fait en fonction d'une courbe d'étalonnage réalisée avec un flavonoïde de référence (la Quercitrine). La teneur en flavonoïde est exprimée en milligramme équivalent de Quercétine / 100 grammes de matière sèche (mg EQ/100 g MD).

2.2.4. Détermination de la teneur en tanins condensés

» **Principe**

Le principe de ce dosage est basé sur la fixation du groupement aldéhydique de vanilline sur le carbone 6 du cycle A d'acide gallique pour former un complexe chromophore rouge à l'absorbance de 500 nm (Schofield et *al.*, 2001).

» **Technique**

A 250µl de chaque extrait, sont ajoutés 2,5 ml de la solution de sulfate ferreux (77 mg de sulfate d'ammonium ferrique $Fe_2(SO_4)_3$ dissous dans 500 ml de (3 :2 n butanol : HCl)). Après une incubation à 95 °C dans un bain marie pendant 50 min, l'absorbance est mesurée à 530 nm.

La concentration des tanins condensés (pro anthocyanidines) est déduite à partir de la courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique et sont exprimées en milligramme d'équivalent acide gallique par 100 grammes d'extrait (mg EAG/ 100 g MS) (Schofield *et al.*, 2001).

2.3. Evaluation de l'activité antifongique

2.3.1. Evaluation de l'activité antifongique *in vitro*

» **Purification des souches**

La purification des quatre souches fongique (*F. equiseti*, *F. solani*, *F. redolens* ou *F. oxysporum*) a été effectuée avec un matériel stérile et sur une pailleuse bien désinfectée autour du bec benzène. Avant d'entamer la purification, le milieu de culture PDA, préalablement préparé, a été coulé dans les boîtes de Pétri et laissé se solidifier. La purification a été procédé à l'aide d'une série de repiquage. Un prélèvement, au bord de la colonie, d'un fragment du mycélium du champignon phytopathogène a été effectué à l'aide d'une pipette pasteur stérile et a été déposé au centre de la nouvelle boîte de pétrie. Les boîtes ont été recouvertes par un film alimentaire pour éviter la contamination et incubées à 28°C pendant 7 jours (Fig. 6).

» **Test antifongique *in vitro***

Dans des boîtes de Pétri stérile, 14ml du milieu de culture PDA avec 1 ml d'extrait aqueux (à une concentration de 0,1 g/ml) ont été coulés et laissés se solidifier. Par la suite, un disque fongique (*F. equiseti*, *F. solani*, *F. redolens* ou *F. oxysporum*) a été déposé au centre de chaque boîte. Le diamètre de la croissance du disque fongique a été déterminé après une incubation de 7 jours à 28°C (Fig. 6).

La lecture s'effectue en comparaison avec des boîtes de témoin négatif et de témoin positif qui contiennent, respectivement, 1 ml d'eau distillée et 1 ml du fongicide FLINT (0,025g/ml) à la place de l'extrait aqueux. Ces boîtes témoins ont étéensemencées en même temps que les autres boîtes et dans les mêmes conditions. Le pourcentage d'inhibition de la croissance fongique ont été calculé selon la formule suivante :

$$I \% = \frac{Dc - De}{Dc} * 100$$

Avec : **I %** : Pourcentage d'inhibition.

Dc : Diamètre des colonies dans les boîtes témoins.

De : Diamètre des colonies dans les boîtes qui contiennent l'extrait.

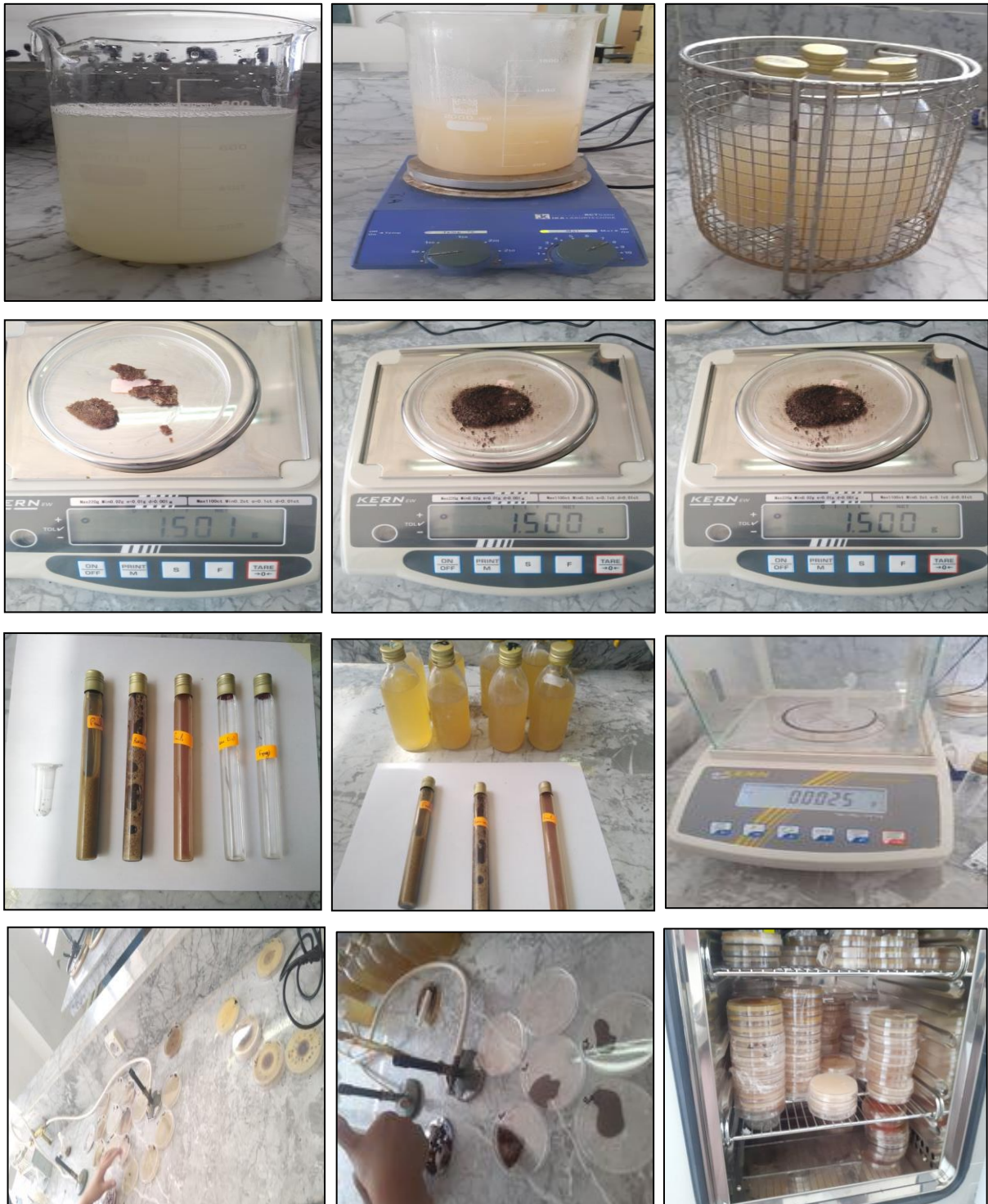


Figure 6 : Etape de préparation du test antifongique *in vitro*.

(Photo originale prise le 7 Juin 2021).

2.3.2. Evaluation de l'activité antifongique *in vivo*

» Préparation des plantules

Les graines de tomate ont été rincées avec l'eau distillée puis prétraitées à l'éthanol pendant 3 minutes et enfin rincées plusieurs fois avec l'eau distillé.

Trois couches du papier filtre ont été placées dans chaque boîte de Pétri. Le papier filtre a été imbibé avec de l'eau distillée. 20 graines de tomate ont été placées dans chacune des boîtes de Pétri qui ont été incubées dans l'étuve à 28 C pendant quelques jours jusqu'à germination des graines (Fig. 7). Les semences prégermées ont été transplantées dans des gobelets en papier contenant un mélange de terreau et sable stérilisés (1v : 1v) pendant 3 heures à 120°C, à raison de deux graines par gobelet. L'arrosage des plantes a été effectué quotidiennement avec de l'eau distillée.



Figure 7 : Germination des graines et transplantation des plantules de la tomate.

(Photo originale prise le mois de mai 2021).

» Test antifongique *in vivo*

Les plantules de tomate ont été récupérées, leurs racines ont été bien rincées avec de l'eau distillée stérilisée. Avec un scalpel stérile, des blessures sur les racines ont été provoqué en coupant les racines au niveau de la coiffe. Ces racines ont été, immédiatement immergées dans une suspension fongique (de la dilution de 10^{-6}) du champignon phytopathogène correspondant (*F. equiseti*, *F. redolens*, *F. oxysporum* ou *F. solani*) pendant 30 minutes.

Par la suite, les plantules ont été transplantées à raison d'une plantule par gobelet, dans de nouveaux gobelets contenant les mêmes quantités d'un substrat composé de terreau et sable stérilisés (1v : 1v) pendant 3 heures à 120 °C. Une première irrigation avec la suspension fongique a été effectuée juste après la transplantation. A partir, du troisième jour de la

transplantation, des irrigations avec les extraits aqueux (concentration 0.1g/ml) ont été effectuées. Les autres irrigations ont été effectuée avec l'eau minérale Djurdjura (Fig. 8).

Des plantules dites témoins standards, positifs et négatifs ont été préparé en même temps et dans les mêmes conditions. Pour les témoins standards, il s'agit de plantules non inoculées par les champignons phytopathogène et irriguées avec l'eau minérale. Les témoins positifs sont les plantules inoculées par une souche fongique et irriguées par l'eau minérale. Les témoins négatifs sont les plantules inoculées par une souche fongique et irriguer par une solution du fongicide (concentration 0,025g/ml). Les plantules ont été maintenues 21 jours dans ces conditions.



Figure 8 : Etapes du test antifongique *in vivo*.

(Photo originale prise le 15 Juillet 2021).

» **Détermination des paramètres de croissance**

Les hauteurs des tiges, les surfaces foliaires ainsi que les longueurs des racines ont été déterminé à la fin de l'expérimentation.

Les tiges ont été coupées, avec une pince stérile, au niveau du collet. Les hauteurs ont été déterminées à l'aide d'un double décimètre. Par la suite, les feuilles de chaque plante ont été soigneusement coupées, dressées sur une feuille blanche en présence d'une unité de mesure (double décimètre), étiquetées et photographiées. Ces photos ont été traitées par la suite par le

logiciel Image J (153-win-java8) afin de déterminer la surface foliaire totale des feuilles de chaque plante (Fig. 9).

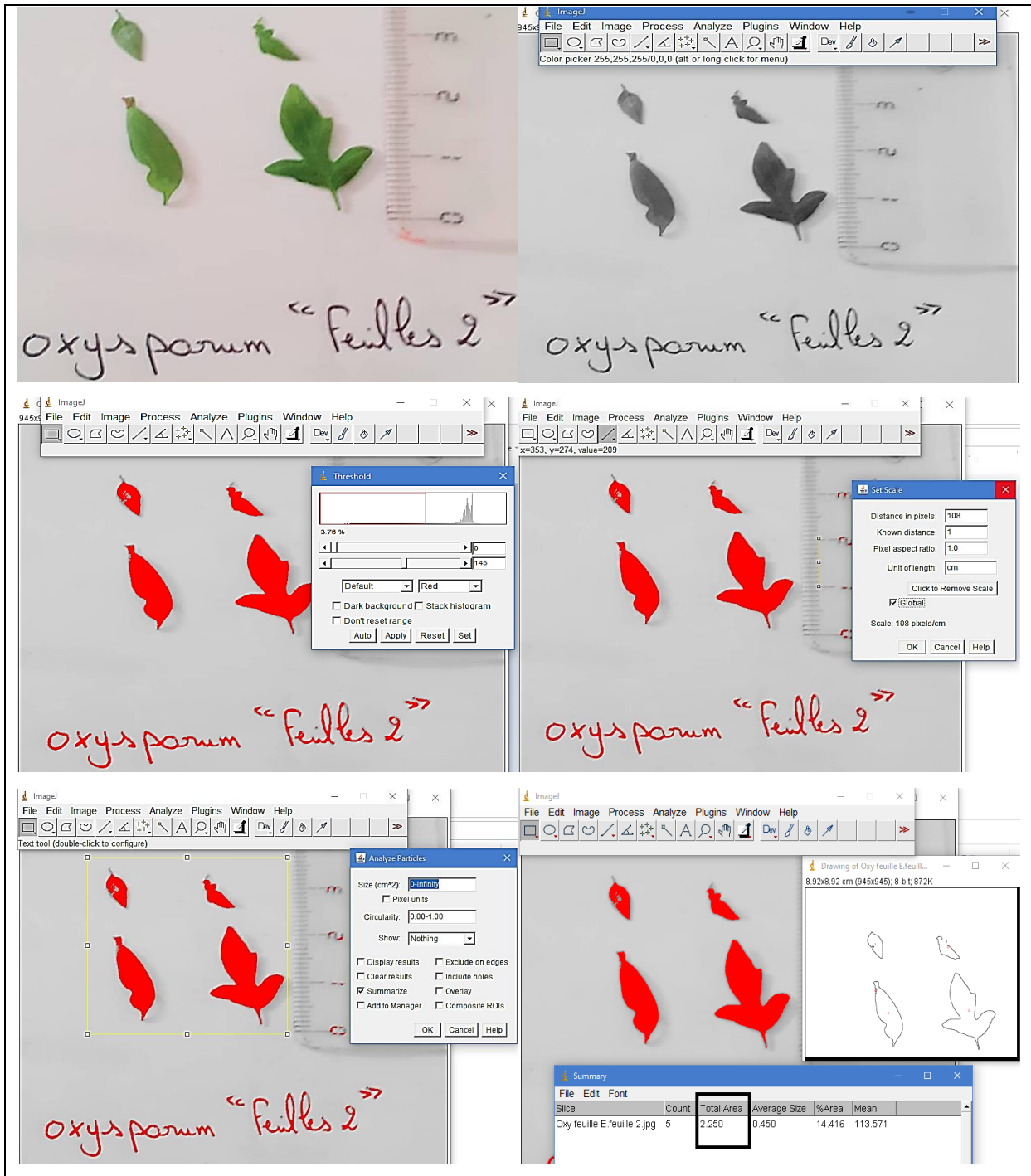


Figure 9 : Etapes de traitement des photos par le logiciel Image J afin de déterminer les surfaces foliaires.

Les racines ont été récupérées des gobelets avec leur substrats, elles ont été immédiatement placées dans un récipient contenant une quantité suffisante d'eau. Cette étape a permis de décompter le substrat sans abimer ou casser les racines. Les racines ont été ensuite

récupérées, rincées, soigneusement séchées avec un papier absorbant et placées dressées sur une feuille blanche en présence d'une unité de mesure (double décimètre), étiquetées et photographiées. Ces photos ont été traitées, par la suite, par le logiciel Image J (153-win-java8) afin de déterminer la longueur totale des racines (Fig. 10).

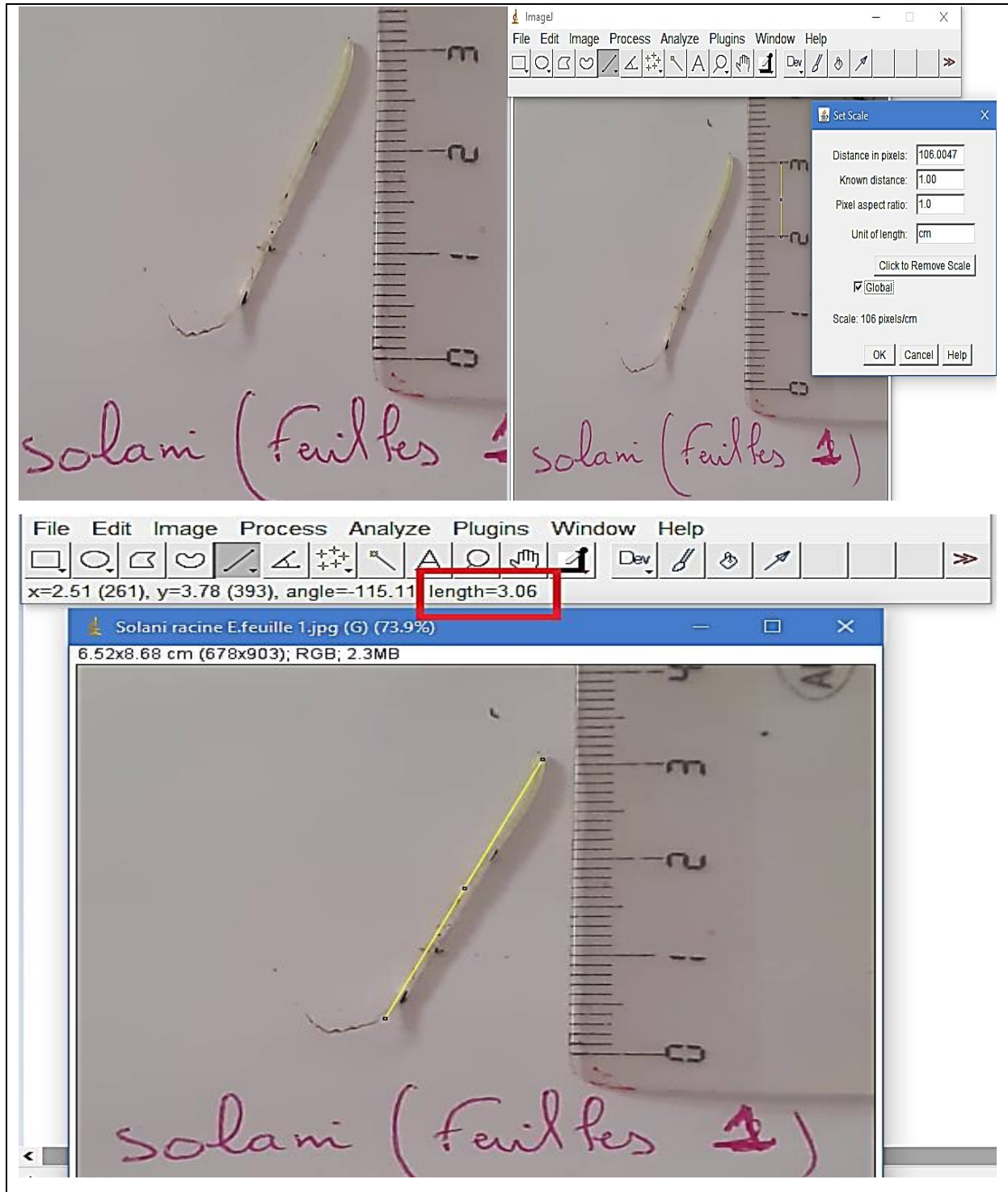


Figure 10 : Etapes de traitement des photos par le logiciel Image J afin de déterminer les longueurs des racines.

» **Détermination du taux d'infection des racines**

La partie infectée des racines, observées sous une loupe binoculaire, a été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse.

Le taux d'infection des racines a été déterminé par le rapport entre la longueur des racines infectées et la longueur totale des racines.

» **Détermination de l'aspect des feuilles**

Les feuilles, récupérées de chacune des plantes, ont été bien observé. Le nombre total des feuilles de chaque plante a été noté ainsi que le nombre des feuilles intacte, le nombre de feuilles partiellement jaunes, le nombre de feuilles nécrosées et le nombre de feuilles mortes.

Les pourcentages des feuilles intactes, des feuilles partiellement jaunes, des feuilles nécrosées et des feuilles mortes ont été calculés par le rapport entre le nombre de ces derniers multiplié par cent et le nombre total des feuilles.

» **Détermination de l'efficacité des extraits**

L'efficacité des extraits a été déterminée par rapport au témoin positif (plantes inoculées et non traitées) selon la formule suivante :

$$\text{Efficacité} = ((E - C) / C) * 100$$

Où

E : Valeur obtenue chez la plante inoculée et traitée par un extrait aqueux ;

C : Valeur obtenue chez la plante inoculée et non traitée.

3. Analyses statistiques

L'étude statistique des résultats obtenus sont exprimés en moyenne \pm écart type. La comparaison entre les teneurs en métabolites secondaires des extraits de jujubier, le test de l'efficacité de ces derniers (*in vitro* et *in vivo*) a été réalisé par le test ANOVA (analyse de la variance). Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel (SPSS V. 21) Type III. Les groupes homogènes de chaque trait mesuré sont séparés par le test de *Tukey*.

Chapitre 2 : Résultats et discussions



1. Caractérisation des extraits aqueux

1.1. Rendement d'extraction

Les résultats obtenus, illustrés dans la figure 11, montrent que l'extrait aqueux des fruits de jujubier spontané présente le rendement d'extraction le plus élevé avec un pourcentage moyen de 9,835% par rapport aux extraits aqueux des feuilles et des racines qui ont des pourcentages respectifs de 5,654 et 1,674%.

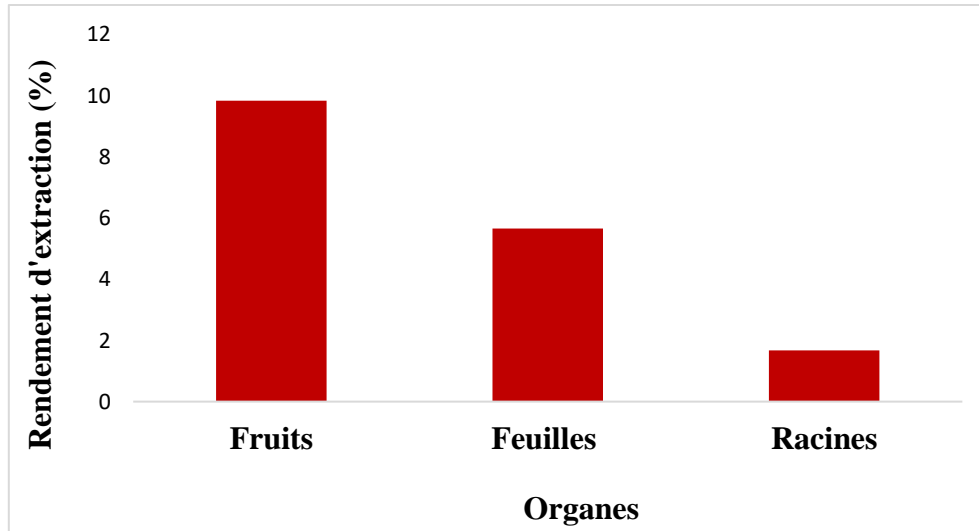


Figure 11 : Variation des rendements d'extraction des différents extraits aqueux de jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

1.2. Teneurs en composés phénoliques

L'analyse de la variance des trois composés phénoliques déterminés (tableau 2) montre qu'il y'a des différences, hautement significatives ($p < 0,01$), entre les extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier pour les teneurs en tanins condensés, à très hautement significative ($p < 0,001$) entre ces extraits pour les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes. Cela indique que les teneurs de chaque composé phénolique déterminé, varient significativement d'un organe à l'autre.

Tableau 2: Analyse de variance des teneurs en composés phénoliques des différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Composés phénoliques	Sources de variation	SCE	Ddl	CM	F.	P.
Polyphénols	Extraits	1854959,147	2	927479,573	17,331	0****
Flavonoïdes	Extraits	156,708	2	78,354	18,035	0****
Tanins	Extraits	72300,597	2	36150,298	7,689	0,007**

La teneur en polyphénols totaux varie considérablement d'un extrait à un autre (Fig.12). Les extraits aqueux des racines de jujubier spontanée (*Ziziphus lotus*) présentent la teneur la plus élevée avec une moyenne de $1466,299 \pm 269,556$ mg EAG/100 g MS. Cette moyenne est individualisée, par le test de comparaison des moyennes de *Tukey*, dans le groupe homogène (b). Les deux autres extraits aqueux des fruits et des feuilles, qui ont enregistré des moyennes respectives de $803,879 \pm 129,32$ et $658,237 \pm 266,759$ mg EAG/100 g MS, sont classés ensemble dans le groupe homogène (a).

Les résultats obtenus (Fig. 12) montrent que les extraits aqueux des feuilles de jujubier spontané présentent les teneurs les plus élevées en flavonoïdes avec $118,374 \pm 1,951$ (b) mg EQ/100 g MS. Les extraits aqueux des fruits et des racines ont enregistré des moyennes proches groupées ensemble dans le groupe homogène (a). Ces moyennes sont de l'ordre de $113,329 \pm 2,705$ et $110,567 \pm 1,381$ mg EQ/100 g MS respectivement.

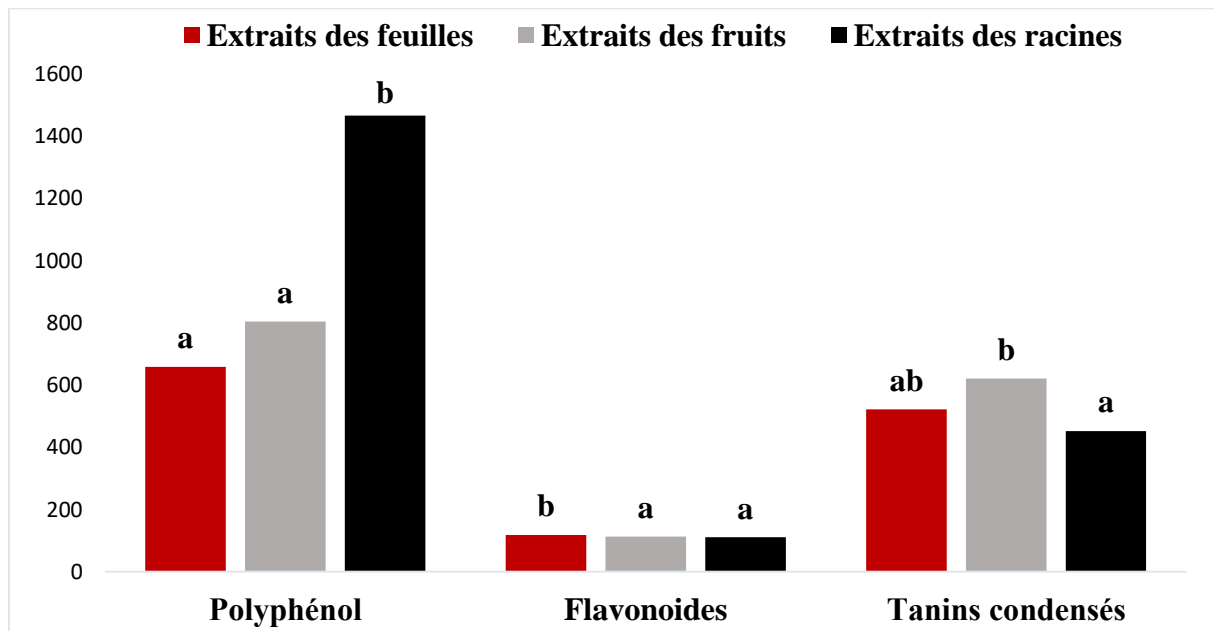


Figure 12 : Variation des teneurs en composés phénoliques des différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Pour les teneurs en tannins condensés (Fig. 12), la moyenne la plus élevée, individualisée dans le groupe homogène (b), est enregistrée chez l'extrait aqueux des fruits de jujubier spontané ($620,881 \pm 103,775$ mg EAG/100 g MS). La moyenne la plus faible, individualisée dans le groupe homogène (a), est enregistrée chez l'extrait aqueux des racines de jujubier spontané ($451,642 \pm 27,212$ mg EAG/100 g MS). L'extrait aqueux des feuilles de jujubier spontané a enregistré une moyenne intermédiaire, classées entre les deux précédente dans le groupe chevauchant (ab), de l'ordre de $521,811 \pm 50,931$ mg EAG/100 g MS.

2. Activité antifongique *in vitro*

Les résultats de l'activité antifongique *in vitro* des extraits aqueux des fruits, feuilles et racines du jujubier spontanée (*Ziziphus lotus*), estimée par le pourcentage d'inhibition de la croissance des quatre souches de *Fusarium*, sont présentés dans les tableaux 3 et 4 et dans les figures 13 et 14.

Les résultats d'analyse de la variance (tableau 3), révèlent une différence significative ($P < 0,05$) entre les quatre souches de *Fusarium* utilisés. Cela indique que les quatre champignons répondent de façon différente à l'égard des traitements utilisés (les extraits aqueux et le fongicide). Des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) sont enregistrés entre les traitement utilisés (fongicide et les extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier spontané). Ces derniers ont des effets variables contre les quatre souches fongiques.

Tableau 3: Analyse de variance des pourcentages d'inhibition de la croissance des quatre souches de *Fusarium* par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Sources de variation	SCE	Ddl	CM	F	P.
Champignons	9453,993	3	3151,331	3,41	0,029*
Traitements	71384,934	3	23794,978	25,749	0***
Champignons * Traitements	14486,795	9	1609,644	1,742	0,12 ns
Résiduelle	29571,893	32	924,122		
Total	124897,615	47			

D'après les résultats, les champignons *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* et *Fusarium solani* sont sensibles vis-à-vis des extraits aqueux des racines de jujubier spontané. Alors que, *Fusarium oxysporum* est sensible vis-à-vis de l'extrait aqueux des feuilles de jujubier spontané. Tous les extraits aqueux de jujubier spontané présentent une efficacité plus importante que celle du fongicide vis-à-vis de l'ensemble des champignons phytopathogènes testé (Fig. 13).

Les résultats de comparaison de moyennes (tableau 4), ont permis de révéler que *Fusarium redolens* est le champignon le plus résistant parmi les champignons utilisés. Ce champignon est caractérisé par les pourcentages d'inhibition de la croissance fongique les plus faibles (76,481% a). *Fusarium solani* est le champignon le plus sensible. Il est caractérisé par les pourcentages d'inhibition de la croissance fongique les plus élevés (111,226% b). *Fusarium oxysporum* et *Fusarium equiseti* sont intermédiaires entre les deux précédents. Les pourcentages de leur inhibition sont de l'ordre de 81,278% (ab) et 79,414% (ab) respectivement.

Tableau 4: Classification des moyennes, par le test *Tukey*, des pourcentages d'inhibition de la croissance des quatre souches de *Fusarium* par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Souches phytopathogènes de <i>Fusarium</i>	Groupes	
	a	b
<i>Fusarium redolens</i>	76,481	
<i>Fusarium equiseti</i>	79,414	79,414
<i>Fusarium oxysporum</i>	81,278	81,278
<i>Fusarium Solani</i>		111,227

La sensibilité du *Fusarium equiseti* est plus importante à l'égard de l'extrait aqueux des racines de jujubier spontané (Fig. 13 ; Fig. 14) où on a enregistré une efficacité de 462,757 % par rapport à celle du fongicide qui a donné le pourcentage d'inhibition de la croissance fongique le plus faible (23,504%).

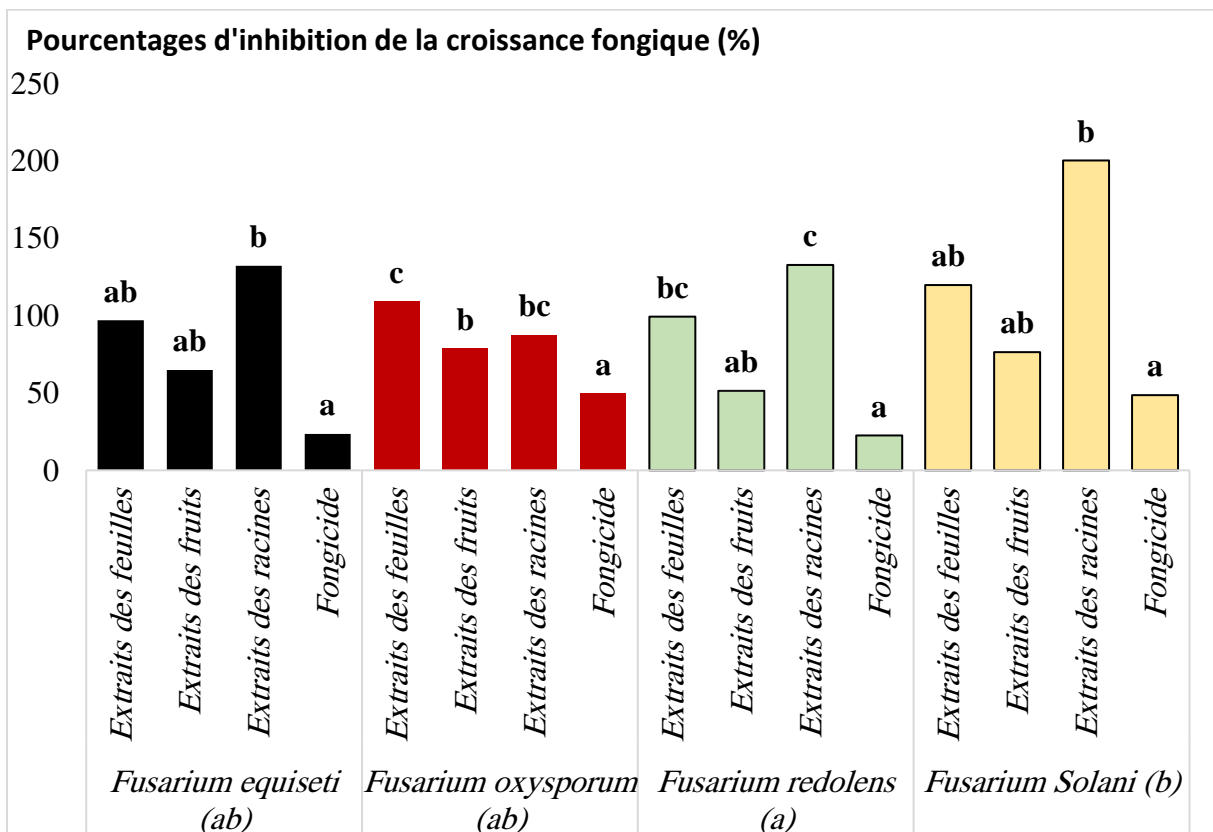


Figure 13 : Variation d'inhibition de la croissance des quatre souches de *Fusarium* par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

A leur tour, les extraits aqueux des feuilles et des fruits sont meilleurs, à l'égard de *Fusarium equiseti*, que le fongicide. Ils présentent des efficacités respectives de 312,551% et 176,138% par rapport à ce dernier (Fig. 13 ; Fig. 14).

Les résultats d'inhibition de la croissance de *Fusarium oxysporum* montrent que l'efficacité de l'extrait des feuilles est la plus importante. Elle est de l'ordre de 120,047% par rapport au fongicide. Les extraits aqueux des racines et des feuilles qui avaient aussi des pourcentages d'inhibition de la croissance fongique supérieurs à ceux du fongicide, présente des efficacités respectives de 75,9% et 58,779% par rapport à ce dernier (Fig. 13 ; Fig. 14).

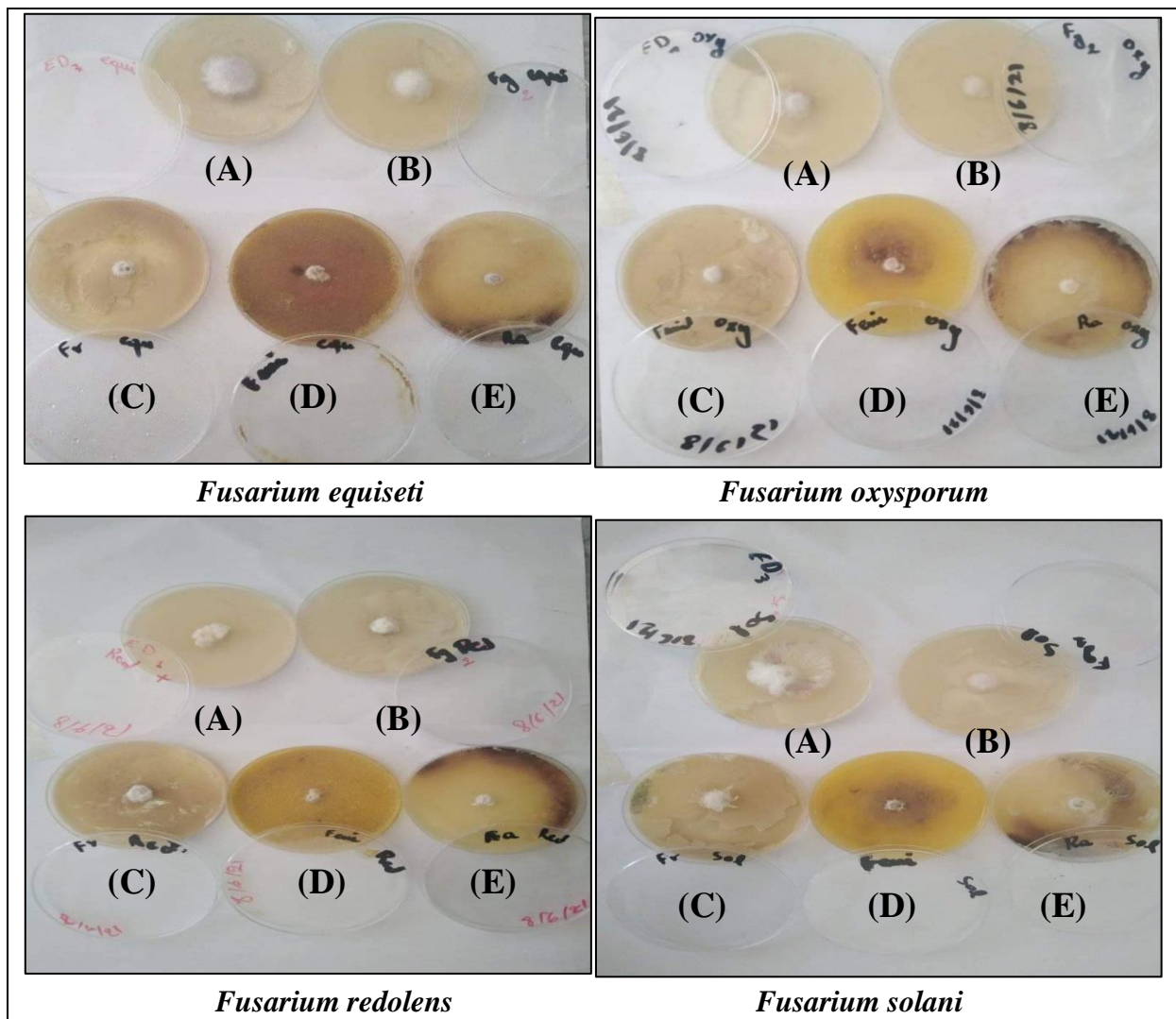


Figure 14 : Résultats des différents traitements appliqués pour inhiber la croissance des quatre champignons phytopathogènes utilisés : (A) eau distillée (témoin négatif), (B) fongicide (témoin positif), (C) extrait aqueux des fruits, (D) extrait aqueux des feuilles, (E) extrait aqueux des racines.

(Photo originale prise le 13 Juin 2021).

Les résultats d'inhibition de la croissance de *Fusarium redolens* montrent une efficacité trop importante des extraits aqueux des racines, feuilles et fruits de jujubier spontané par rapport au fongicide. Ces efficacités sont de l'ordre de 489,055%, 340,779% et 127,963% respectivement (Fig. 13 ; Fig. 14).

L'inhibition de la croissance de *Fusarium solani* par les différents extraits aqueux du jujubier spontané est plus importante que celle du fongicide testé. Les extraits des racines sont les plus efficaces suivi par les extraits aqueux des feuilles et ceux des fruits. Ces extraits ont inhibé la croissance du champignon par 200,23%, 119,727%, 76,368% respectivement, par rapport au témoin négatif. Le fongicide a inhibé la croissance du champignon par 48,582% par rapport au témoin négatif (Fig. 13 ; Fig. 14). Les extraits des racines, des feuilles et des fruits présentent des efficacités respectives de 312,149%, 146,444% et de 57,195% par rapport au fongicide.

3. Activité antifongique *in vivo*

L'essai *in vivo*, réalisé pour évaluer l'effet des extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier spontanée contre quatre souches de champignons phytopathogènes du genre *Fusarium*, a révélé une variation dans la réponse de la tomate (Fig. 15).

Les plantes de tomate témoins non inoculées par les champignons phytopathogènes avaient le meilleur état, la croissance de la plante était meilleure, les tiges bien dressées et les feuilles étaient intactes. Cependant, les plantes de tomate témoins inoculées par les champignons phytopathogènes et non traitées n'ont pas résisté aux champignons où des taux de mortalité importants de plantes ont été enregistrés. Les plantes de tomate inoculées par les champignons phytopathogènes et traitées par les différents extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier spontané ont montré une certaine résistance à l'égard des champignons (Fig. 15). Les plantes de tomate inoculées et traitées par le fongicide ont montré des résultats meilleurs que ceux des plantes inoculées et non traitées mais leur effet était moindre par rapport à l'effet du traitement avec les différents extraits aqueux du jujubier spontané.

Afin de mieux visualiser l'effet des différents traitements sur le comportement de la tomate à l'égard de quatre souches fongiques phytopathogènes du genre *Fusarium*, les paramètres de croissance, le taux d'infection des racines ainsi que l'aspect des feuilles ont été soigneusement analysés.

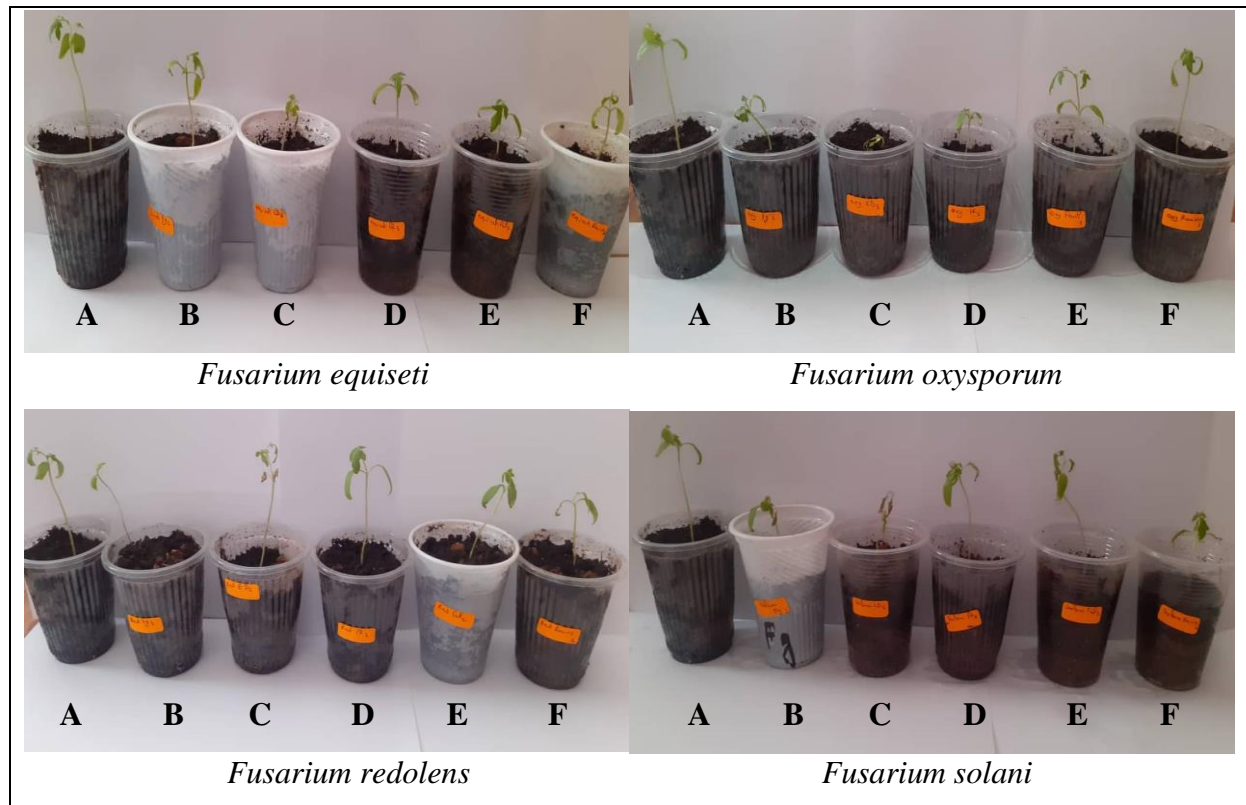


Figure 15 : Réponse des plantes de tomate aux différents traitements, appliqués *in vivo*, contre les quatre champignons phytopathogènes utilisés : (A) Plantes non inoculées, (B) Plantes inoculées et traitées avec le fongicide, (C) Plantes inoculées et non traitées, (D) Plantes inoculées et traitées avec l'extrait aqueux des fruits de jujubier, (E) Plantes inoculées et traitées avec l'extrait aqueux des feuilles de jujubier, (F) Plantes inoculées et traitées avec l'extrait aqueux des racines de jujubier.

(Photo originale prise le 31 juillet 2021).

3.1. Longueur des racines

Les résultats d'analyse de la variance (tableau 5) révèlent une différence très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les quatre souches de *Fusarium* utilisés, Cela indique que les quatre champignons répondent de façon différente à l'égard des traitements utilisés (les extraits aqueux et le fongicide), Des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) sont enregistrés entre les traitement utilisés (fongicide et les extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier spontané). Ces derniers ont des effets variables contre les quatre souches fongiques.

Les histogrammes de la figure 16 illustrent la variation des longueurs des racines de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Tableau 5: Analyse de variance longueur des racines des plantes de tomate,

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F,	Sig,
Champignons	7,879	3	2,626	8,119	0,001***
Traitements	59,774	5	11,955	36,958	0***
Champignons * Traitements	12,257	15	0,817	2,526	0,021*
Résiduelle	7,763	24	0,323		
Total	87,673	47			

A partir de la figure 16, on remarque que les plantes témoins non inoculées par les souches de *Fusarium* avaient les racines les plus longues avec une moyenne de $5,75 \pm 0,345$ cm. Les racines des plantes inoculées par *Fusarium equiseti* avaient les racines les plus courtes quelque-soit le traitement appliqué, alors que les racines des plantes inoculées par *Fusarium redolens* avaient des longueurs plus importantes.

Les racines des plantes de tomate inoculées par *Fusarium equiseti* non traitées avaient les racines les plus courtes ($0,53 \pm 0,226$ cm). Les racines des plantes de tomate inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées respectivement par le fongicide, les extraits aqueux des fruits, les extraits aqueux des racines et des extraits aqueux des feuilles étaient plus longs que ceux des plantes inoculées et non traitées (Fig. 16). Ces traitements ont amélioré la croissance des racines des plantes inoculées traitées, respectivement par 228,302%, 358,491%, 379,245% et 506.604% par rapport aux racines des plantes inoculées et non traitées. On peut conclure que les extraits aqueux des feuilles étaient les plus efficaces contre *Fusarium equiseti*, suivi des extraits aqueux des racines, des extraits aqueux des fruits et puis du fongicide.

Les racines des plantes inoculées par *Fusarium oxysporum* non traitées et ceux traitées par le fongicide avaient les longueurs les plus courtes ($2,28 \pm 0,268$ et $2,325 \pm 0,757$ cm respectivement). Ces racines sont classées, selon le test de classification de *Tukey*, dans le même groupe (a) avec les racines des plantes inoculées et traitées par les extraits aqueux des fruits qui avaient des longueurs moyennes de $2,805 \pm 1,252$ cm. On peut conclure de ce résultat que le fongicide et les extraits aqueux des fruits de *Ziziphus lotus* ne sont pas efficace contre le *Fusarium oxysporum* (Fig. 16). Par contre, il semble que les extraits aqueux des feuilles et des racines étaient efficaces contre ce champignon parce que plantes inoculées et traitées par les extraits aqueux des feuilles est des racines avaient des racines plus longues que celles des plantes inoculées non traitées. La croissance des racines des plantes de tomate inoculées par *Fusarium oxysporum* et traitées par les extraits aqueux des feuilles et des racines de *Ziziphus*

lotus était améliorée par 63.815% et 70.614% par rapport aux racines des plantes inoculées non traitées.

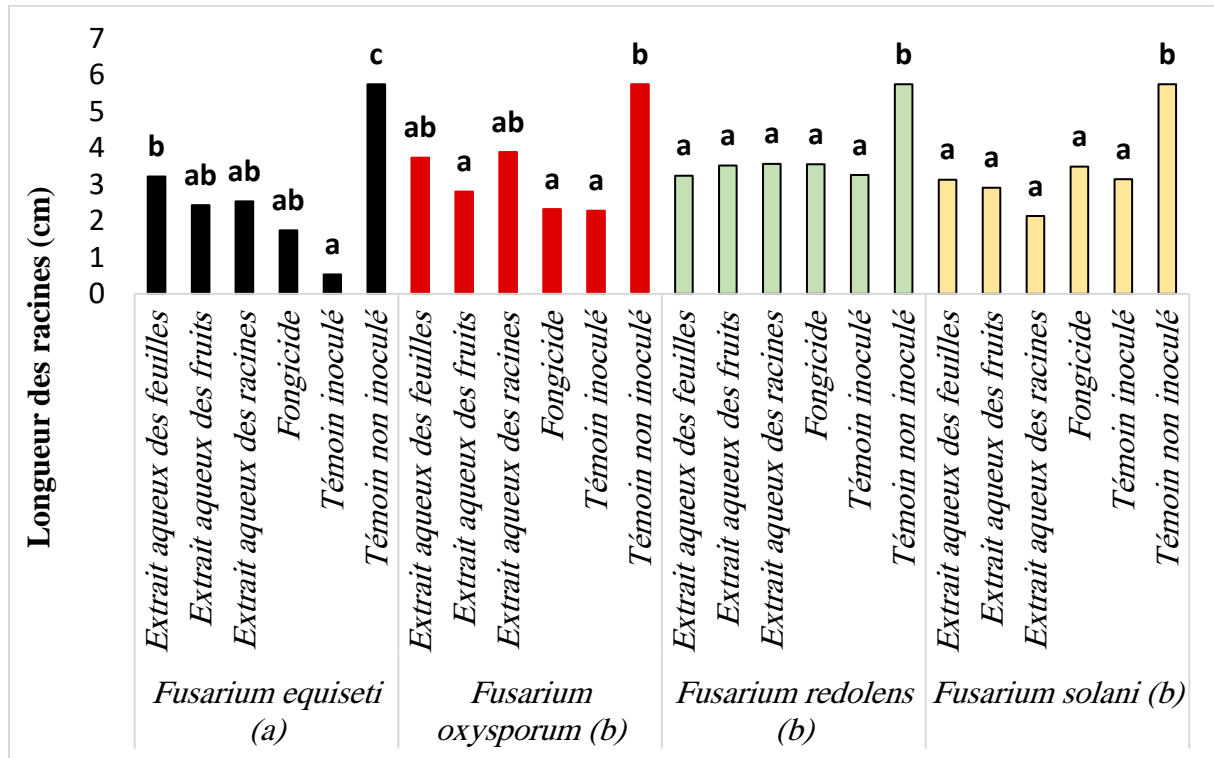


Figure 16 : Variation des longueurs des racines de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

A partir de la figure 16, on remarque aussi que les plantes témoins inoculées par *Fusarium redolens* non traitées et celles traitées par le fongicide et les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines de *Ziziphus lotus*, avaient des racines de longueurs moyennes proches et classées tous dans le groupe homogènes (a). Ces moyennes sont nettement inférieures à celles enregistrées chez les racines des plantes témoins non inoculées classées seules dans le groupe (b). Les traitements contre le *Fusarium redolens* semble être sans efficacité car il n'a pas permis une amélioration de la croissance des racines des plantes inoculées par ce champignon par rapport au témoin non traité (Fig.16). Les extraits aqueux des feuilles ont donné même des racines plus courtes que celles des plantes de tomate inoculées non traitées (-0.613%). Le fongicide ainsi que les extraits aqueux des racines et des fruits avaient des effets positifs sur la croissance des racines qui n'ont pas dépassé les 10%.

Pratiquement le même constat est enregistré pour *Fusarium solani* où les plantes de tomate inoculées par ce champignon et non traitées et celles traitées par le fongicide et les

extraits aqueux des feuilles, fruits et racines de *Ziziphus lotus* ont des moyennes de longueurs des racines voisines et sont classées, selon le test de comparaison de moyenne de *Tukey*, dans le même groupe homogène (a), contrairement aux plantes de tomate non inoculées qui avaient les racines les plus longues. Les racines des plantes témoins inoculées non traitées avaient une longueur moyenne de $3,145 \pm 1,054$ cm. Le fongicide a amélioré la croissance des racines des plantes inoculées par *Fusarium solani* par 10,97%, tandis que les extraits aqueux des racines, fruits et feuilles de *Ziziphus lotus* n'avaient aucun effet sur la croissance des racines qui avaient des moyennes inférieures (-32,114%, -7,472% et -0,477%) par rapport à celles des racines des plantes témoin inoculées non traitées.

Les résultats de comparaison de moyennes (tableau 6), ont permis de révéler que *Fusarium equiseti* est le champignon le plus virulent parmi les quatre champignons utilisés. Ce champignon est caractérisé par les longueurs des racines les plus faibles (2,7 cm a). On peut conclure que la plante était sensible à l'agar ce champignon surtout que les longueurs des racines des plantes inoculées par ce champignon et non traitées avaient les moyennes les plus faibles par rapport aux autres champignons (Fig. 16). *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium redolens* classés ensemble dans le groupe homogène (b) sont ceux qui étaient sensibles à l'effet des traitements car les moyennes de longueurs des racines étaient les plus importants chez les plantes de tomates infectées par ces trois champignons phytopathogènes.

Tableau 6: Classification des moyennes, par le test *Tukey*, des longueurs des racines par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement utilisé.

Champignons	Sous-ensemble	
	a	b
<i>Fusarium equiseti</i>	2,70083	
<i>Fusarium solani</i>		3,42667
<i>Fusarium oxysporum</i>		3,46417
<i>Fusarium redolens</i>		3,815

3.2. Pourcentage d'infection des racines par les champignons phytopathogènes

Les résultats d'analyse de la variance (tableau 7), révèlent une différence très hautement significative ($P \leq 0,001$) entre les quatre souches de *Fusarium* utilisés. Cela indique que les quatre champignons répondent de façon différente à l'égard des traitements utilisés (les extraits aqueux et le fongicide). Des différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$) sont enregistrés entre les traitement utilisés (fongicide et les extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier spontané). Ces derniers ont des effets variables contre les quatre souches fongiques.

Tableau 7 : Analyse de variance des pourcentages d'infection des racines par les champignons phytopathogènes.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F.	Sig.
Champignons	2891,865	3	963,955	8,439	0,001***
Traitements	14397	5	2879,4	25,207	0***
Champignons * Traitements	1871,045	15	124,736	1,092	0,412 ns
Résiduelle	2741,543	24	114,231		
Total	21901,45	47			

Les histogrammes de la figure 17 illustrent la variation des pourcentages d'infection des racines par les souches de *Fusarium* en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

D'après les résultats, Les plantes inoculées par les souches de *Fusarium* et non traitées avaient les pourcentages d'infection des racines les plus importants. Les traitements par le fongicide ou les différents extraits aqueux du jujubier spontané utilisés ont diminué considérablement le taux d'infection des racines par le champignon. Les champignons *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* étaient sensibles vis-à-vis des extraits aqueux des fruits de jujubier spontané. Alors que, *Fusarium oxysporum* étaient sensible à l'extrait aqueux des feuilles de jujubier spontané. *Fusarium solani* étaient sensible à tous les extraits aqueux utilisés (Fig. 17).

A partir de la figure 17, on remarque que les racines des plantes témoins non inoculées par *Fusarium equiseti* n'étaient pas infectées, elles étaient intactes (0% d'infection) et elles sont classées, par le test de comparaison des moyennes de *Tukey* dans le groupe homogène (a). Les racines des plantes inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées par le fongicide et les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines de *Ziziphus lotus*, avaient des pourcentages d'infection moyennes proches et classées tous dans le groupe intermédiaire (ab), ces traitements ont donc des effets similaires contre ce champignon. Les moyennes enregistrées pour les quatre traitements ont été nettement inférieures à celles enregistrées chez les racines des plantes témoins, inoculées et non traitées, classées seules dans le groupe homogène (b). Les traitements des racines des plantes de tomate inoculées par le fongicide, les extraits aqueux des feuilles, les extraits aqueux des fruits et des extraits aqueux des racines a considérablement diminué l'infection par -70,007 %, -68, 317%, -77,110%, % et -69,988% respectivement par rapport aux racines des plantes inoculées et non traitées.

Pour *Fusarium oxysporum*, les plantes de tomate inoculées par ce champignon et non traitées avaient aussi les pourcentages d'infection des racines les plus importants et sont individualisées, par le test de Tukey, dans le groupe homogène (b). Les plantes inoculées et traitées par le fongicide et les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines de *Ziziphus lotus* avaient des pourcentages d'infection des racines voisins et sont classées, selon le test de comparaison de moyenne de Tukey, dans le même groupe intermédiaire (ab) indiquant que leurs effets sur le *Fusarium oxysporum* sont similaires. Les moyennes, enregistrées chez les racines des plantes de tomate inoculées sont nettement supérieures à celles enregistrées chez les racines des plantes témoins non inoculées où le pourcentage d'infection était nul. Les moyennes de ces racines sont classées dans le groupe homogène (b). Les racines des plantes de tomate inoculées par *Fusarium oxysporum* et traitées respectivement par le fongicide, les extraits aqueux des feuilles, les extraits aqueux des fruits et des extraits aqueux des racines étaient plus résistants que ceux des plantes inoculées et non traitées (Fig. 17). Ces traitements ont diminué l'infection des racines des plantes inoculées traitées, respectivement par -67,418%, -64,355%, -39,528% et -54,288% par rapport aux racines des plantes inoculées et non traitées.

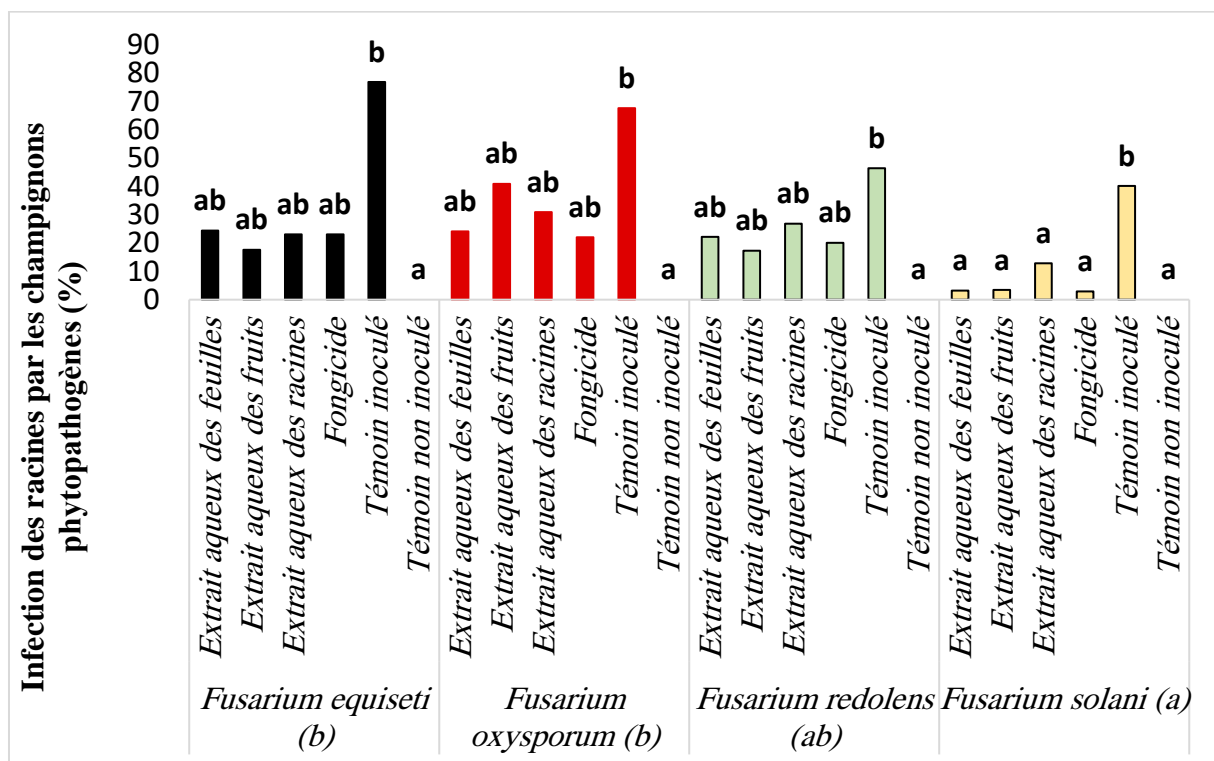


Figure 17 : Variation des pourcentages d'infection des racines par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Pour *Fusarium redolens*, les racines des plantes de tomate non inoculées par ce champignon avaient les pourcentages d'infection les plus faibles (0% a) et celles traitées par le fongicide et les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines de *Ziziphus lotus* avaient des pourcentages d'infection faibles et proches et sont classées, selon le test de comparaison de moyenne de *Tukey*, ensemble dans le même groupe (ab). Ces moyennes sont nettement inférieures à celles enregistrées chez les racines des plantes témoins inoculées, non traitées et classées seules dans le groupe homogène (b). Les racines des plantes de tomate inoculées par *Fusarium redolens* et traitées respectivement par le fongicide, les extraits aqueux des fruits, des feuilles et des racines étaient plus résistants que ceux des plantes inoculées et non traitées (Fig. 17). Ces traitements ont diminué l'infection des racines des plantes inoculées, respectivement par -56,753%, -62,760 %, -52,213%, -42,200% par rapport aux racines des plantes inoculées et non traitées.

Pour *Fusarium solani*, les plantes de tomate non inoculées par ce champignon et celles traitées par le fongicide et les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines de *Ziziphus lotus* avaient des pourcentages d'infection des racines faibles et proches et sont, de ce fait, classées, selon le test de comparaison de moyenne de *Tukey*, dans le même groupe homogène (a). Ces moyennes sont nettement inférieures à celles enregistrées chez les racines des plantes témoins inoculées et non traitées classées seules dans le groupe homogène (b). Les racines des plantes de tomate, inoculées par *Fusarium solani* et traitées respectivement par le fongicide, les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines du jujubier spontané, étaient moins infectées que celles des plantes inoculées et non traitées (Fig. 17). Ces traitements ont diminué l'infection des racines des plantes inoculées, respectivement, par -92,762%, -92,035 %, -91,422%, -68,023% par rapport aux racines des plantes inoculées et non traitées.

Les résultats de comparaison de moyennes (tableau 8), ont permis de révéler que *Fusarium solani* est le champignon le plus sensible parmi les quatre champignons utilisés. Ce champignon est caractérisé par le pourcentage d'infection des racines les plus faibles (10,413% a). On peut conclure que la plante a eu une certaine résistance vis-à-vis ce champignon surtout que les pourcentages d'infection des racines des plantes inoculées par ce champignon et non traitées avaient les pourcentages les plus faibles par rapport aux autres champignons (Fig. 17). Aussi, on peut conclure qu'il y ait une bonne efficacité des différents extraits aqueux et du fongicide à l'égard de ce champignon du fait que les pourcentages de diminution de l'infection racinaires par les traitements étaient les plus importants. *Fusarium equiseti* et *Fusarium oxysporum*, classés ensemble dans le groupe homogène (b) sont ceux qui ont résisté plus à l'effet

des traitements car le pourcentage d'infection des racines par les champignons a atteint les 30%. *Fusarium redolens* est intermédiaire entre les deux groupes précédents avec un pourcentage d'infection des racines de 22,101%.

Tableau 8 : Classification des moyennes, par le test *Tukey*, des pourcentages d'infection des racines par les souches de *Fusarium* et en fonction des traitements utilisés.

Champignons	Sous-ensemble	
	a	b
<i>Fusarium solani</i>	10,4133	
<i>Fusarium redolens</i>	22,1014	22,1014
<i>Fusarium equiseti</i>		27,4561
<i>Fusarium oxysporum</i>		30,8883

3.3. Hauteur des tiges

Les résultats d'analyse de la variance (tableau 9), révèlent une différence significative ($P < 0,05$) entre les quatre souches de *Fusarium* utilisés. Cela indique que les quatre champignons répondent de façon différente à l'égard des traitements utilisés (les extraits aqueux du jujubier spontané et le fongicide). Des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) sont enregistrés entre les traitement utilisés (fongicide et les extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier spontané). Ces derniers ont des effets variables contre les quatre souches fongiques.

Tableau 9: Analyse de variance hauteur des tiges des plantes de tomate.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F.	Sig.
Champignons	18,521	3	6,174	3,706	0,025 *
Traitements	142,492	5	28,498	17,108	0 ***
Champignons * Traitements	33,167	15	2,211	1,327	0,26 ns
Résiduelle	39,98	24	1,666		
Total	234,16	47			

A partir de la figure 18, qui illustre la variation des hauteurs des tiges de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement utilisé, on remarque que les plantes témoins non inoculées par les souches de *Fusarium* avaient les tiges les plus hautes avec une moyenne de $9,85 \pm 0,495$ cm. Les plantes inoculées par *Fusarium redolens* avaient les tiges les plus courtes quelque-soit le traitement appliqué, alors que les plantes inoculées par *Fusarium equiseti* et *Fusarium oxysporum* avaient des hauteurs des tiges plus importantes.

Les plantes témoins inoculées par *Fusarium equiseti* non traitées et celles traitées par les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines de *Ziziphus lotus*, avaient des tiges de hauteurs moyennes proches (Fig. 18) et classées tous dans le groupe homogènes (a). L'efficacité de ces extraits au développement des tiges a varié de 15% à 25%. Les moyennes enregistrées pour les hauteurs des tiges chez les plantes inoculées et traitées par les différents extraits aqueux sont nettement inférieures à celles enregistrées chez les tiges des plantes témoins non inoculées classées seules dans le groupe homogènes b ($9.85 \pm 0,495$ cm). Les tiges des plantes de tomate inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées par le fongicide avaient des moyennes intermédiaires ($8 \pm 0,707$ cm ab) comprises entre celles enregistrées, d'une part, par les plantes inoculées et traitées par les différents extraits aqueux du jujubier spontané, et d'autres part, par les plantes témoins non inoculées. Ce traitement a amélioré la croissance des tiges des plantes inoculées traitées, par 60% par rapport aux tiges des plantes inoculées et non traitées.

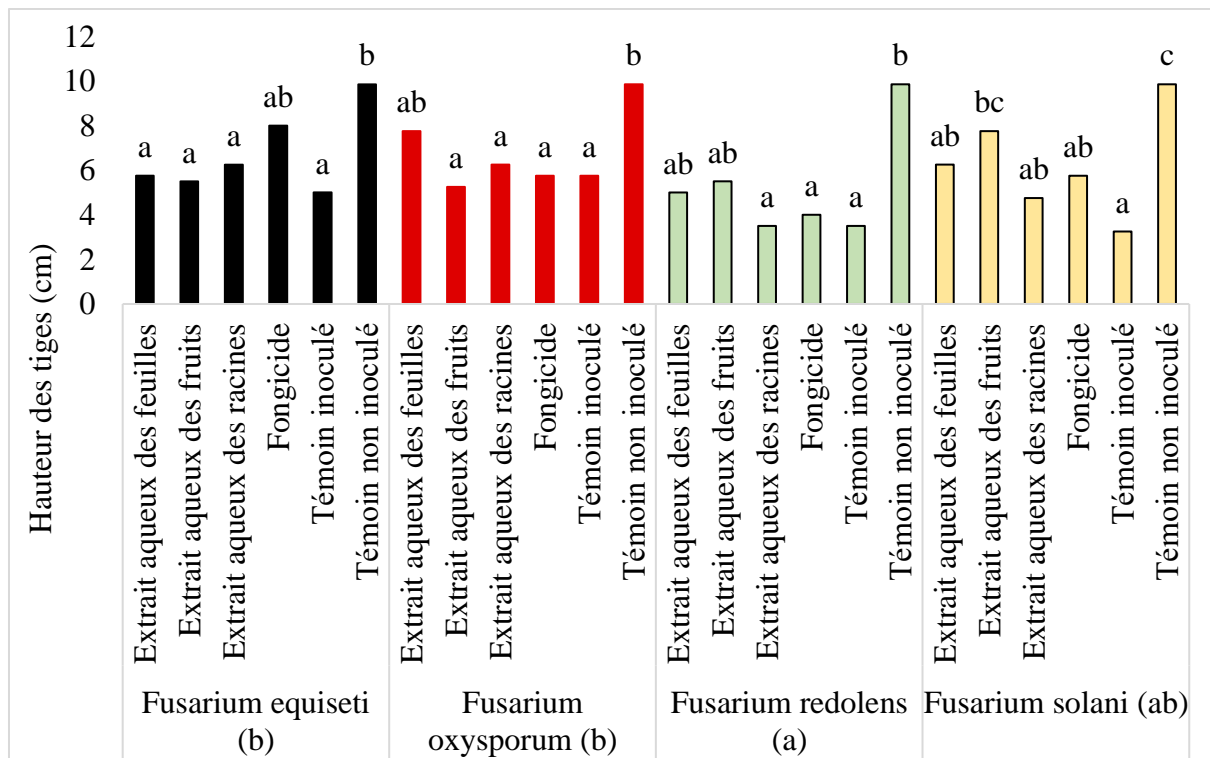


Figure 18 : Variation des hauteurs des tiges de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Pour *Fusarium oxysporum* où les plantes de tomate inoculées par ce champignon et non traitées et celles traitées par le fongicide et les extraits aqueux des fruits et racines de *Ziziphus lotus* ont des moyennes de hauteurs des tiges voisines sont classées, selon le test de comparaison de moyenne de *Tukey*, dans le même groupe homogène (a), contrairement aux plantes de tomate

non inoculées qui avaient les tiges les plus hautes classées dans le groupe homogène (b). Les tiges des plantes témoins inoculées non traitées avaient une hauteur moyenne de $5,75 \pm 2,475$ cm. Le traitement par les extraits aqueux des racines de *Ziziphus lotus* a amélioré la croissance des tiges des plantes inoculées par *Fusarium oxysporum* par 8,696% seulement par rapport aux plantes inoculées et non traitées, tandis que le fongicide et l'extrait aqueux des fruits *lotus* n'avaient aucun effet sur la croissance des tiges (0%, -8,696% respectivement) par rapport aux plantes témoin inoculées non traitées. Le traitement par les extraits aqueux des feuilles de jujubier spontané a abouti à des plantes avec des hauteurs des tiges moyennes de $7,75 \pm 0,768$ cm (ab) supérieures à celles des plantes inoculées non traitées d'environ 35%.

Les tiges des plantes inoculées par *Fusarium redolens* non traitées et celles traitées par l'extrait aqueux des racines de *Ziziphus lotus* et le fongicide avaient les hauteurs les plus courtes ($3,5 \pm 0,707$ cm, $3,5 \pm 0,707$ cm et $4 \pm 1,414$ cm respectivement). Ces tiges sont classées, selon le test de classification de *Tukey*, dans le même groupe (a). On peut conclure de ce résultat que le fongicide et les extraits aqueux des racines de *Ziziphus lotus* ne sont pas efficace contre le *Fusarium oxysporum* (Fig. 18). Par contre, il semble que les extraits aqueux des fruits et des feuilles étaient efficaces contre ce champignon parce que les plantes inoculées et traitées par les extraits aqueux des fruits et des feuilles avaient des tiges plus longues ($5,5 \pm 0,821$ et $5 \pm 0,914$ cm) que celles des plantes inoculées non traitées. La croissance des tiges des plantes de tomate inoculées par *Fusarium redolens* et traitées par les extraits aqueux des fruits et des feuilles de *Ziziphus lotus* était améliorée par 57,143% et 42,857%, respectivement, par rapport aux tiges des plantes inoculées non traitées.

Les plantes de tomate inoculées par *Fusarium solani* non traitées avaient les tiges les plus courtes ($3,25 \pm 0,354$ cm). Cette moyenne est classée, selon le test de comparaison des moyennes de *Tukey*, dans le groupe homogène (a). Les tiges des plantes de tomate inoculées par *Fusarium solani* et traitées respectivement par l'extrait aqueux des racines, le fongicide, l'extrait aqueux des feuilles et l'extraits aqueux des fruits étaient plus longs que ceux des plantes inoculées et non traitées et leurs moyennes sont classées dans le groupe intermédiaire (ab) (Fig. 18). Ces traitements ont amélioré la croissance des tiges des plantes, respectivement par 46%, 76%, 92,308% et 138% par rapport aux tiges des plantes inoculées et non traitées. Les plantes non inoculées avaient les moyennes des hauteurs des tiges les plus importantes ($9,85 \pm 0,495$ cm) qui sont classées dans le groupes homogène (b).

D'après le tableau 10, on remarque que le champignon *Fusarium redolens* est caractérisé par une pathogénicité élevée par rapport aux autres champignons et cela s'explique par le fait

que les plantes inoculées par ce champignon se caractérise par la croissance la plus faible de la partie aérienne (5,225 cm a). On peut conclure que, par rapport aux autres champignons, les plantes de tomate sont sensibles au *Fusarium redolens* et les traitements par les extraits aqueux et le fongicide n'étaient pas aussi efficient pour ce paramètre. *Fusarium solani* est classé, selon le test de *Tukey*, dans le groupe chevauchant (ab) a une pathogénicité moindre que celle du *Fusarium redolens* car les plantes inoculées par *Fusarium solani* ont des tiges plus hautes donc on peut dire que la résistance de la plante à ce champignon ainsi que l'efficacité des traitements sont bonnes mais elles reste comme même faibles devant la résistance de la plante et l'efficacité des traitement à l'égard de *Fusarium equiseti* et *Fusarium oxysporum* car les plantes inoculées par des derniers sont caractérisées par les hauteurs des tiges les plus importants. Ces deux champignons, qui sont les plus sensibles par rapport aux autres, sont classés dans le groupe homogène (b).

Tableau 10 : Classification des moyennes, par le test *Tukey*, des pourcentages d'infection des racines par les souches de *Fusarium* et en fonction des traitements utilisés.

Champignons	Sous-ensemble	
	a	b
<i>Fusarium redolens</i>	5,225	
<i>Fusarium solani</i>	6,26667	6,26667
<i>Fusarium equiseti</i>		6,725
<i>Fusarium oxysporum</i>		6,76667

3.4. Surface foliaire

Les résultats d'analyse de la variance (tableau 11), révèlent une différence non significative ($P > 0,05$) entre les quatre souches de *Fusarium* utilisés. Cela indique que les quatre champignons ont le même effet sur la surface foliaire. Des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) sont enregistrés entre les traitement utilisés (fongicide et les extraits aqueux des fruits, feuilles et racines de jujubier spontané). Ces derniers ont des effets variables contre les quatre souches fongiques pour le caractère surface foliaire.

Tableau 11 : Analyse de variance surface foliaire des plantes de tomate.

Sources de variation	SCE	ddl	CM	F.	Sig.
Champignons	0.259	3	0.086	0.271	0.846 ns
Traitements	30.224	5	6.045	18.997	0 ***
Champignons * Traitements	7.23	15	0.482	1.515	0.177 ns
Résiduelle	7.637	24	0.318		
Total	45.35	47			

Les histogrammes de la figure 19 illustrent la variation des surfaces foliaires des plantes de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement utilisé.

Les feuilles des plantes de tomate non inoculées par les souches fongiques ont les surfaces les plus importantes contrairement aux feuilles des plantes inoculées par les souches fongiques et non traitées qui ont les surfaces les plus faibles. Les feuilles des plantes inoculées par les champignons et traitées par les différents extraits aqueux du *Ziziphus lotus* et par les fongicides ont des surfaces intermédiaires comprises entre celles des plantes témoins non inoculées et des plantes témoins inoculées non traitées (Fig. 19).

Les plantes de tomate inoculées par *Fusarium equiseti* non traitées avaient les moyennes des surfaces foliaires les plus faibles ($0,567 \pm 0,127 \text{ cm}^2 \text{ a}$). Alors que les plantes de tomate non inoculées avaient les moyennes des surfaces foliaires les plus élevées ($3,303 \pm 0,662 \text{ cm}^2 \text{ b}$). Les moyennes des surfaces foliaires des plantes de tomate inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées respectivement par le fongicide, les extraits aqueux des feuilles, des fruits et des racines du jujubier spontané étaient plus importants que celles des plantes inoculées et non traitées (Fig. 19). Ces traitements ont amélioré la surface foliaire des plantes inoculées traitées par 335,097%, 284,039%, 273,810% et 242,593% respectivement, par rapport aux surfaces foliaires des plantes inoculées et non traitées. Les moyennes des surfaces foliaires des plantes inoculées et traitées sont toutes classées dans le groupe intermédiaires (ab).

La surface foliaire des plantes témoins inoculées par *Fusarium oxysporum* et non traitées était la plus faible ($0,944 \pm 0,114 \text{ cm}^2 \text{ a}$). Il semble que les traitements par l'extrait aqueux des feuilles, l'extrait aqueux des racines, le fongicide et l'extrait aqueux des fruits étaient efficaces contre ce champignon. Ces traitements ont conduit à aboutir des plantes qui ont des surfaces foliaires plus importantes que celles des plantes inoculées et non traitées. Les supériorités des surfaces foliaires étaient de l'ordre de 186,501 % (extrait aqueux des feuilles), 111,646 % (extrait aqueux des racines), 59,025% (fongicide) et 52,938% (extrait aqueux des fruits).

La surface foliaire des plantes de tomate non inoculées par *Fusarium redolens* était la plus importante avec une moyenne de $3,303 \pm 0,662 \text{ cm}^2$ individualisée dans le groupe homogène (b). Par contre, les surfaces foliaires des plantes de tomate inoculées par *Fusarium redolens* et non traitées ainsi que celles des plantes inoculées et traitées par le fongicide, étaient les plus faibles avec des moyennes respectives de $0,653 \pm 0,112$ et $0,773 \pm 0,223 \text{ cm}^2$ groupées

ensemble dans le groupe homogène (a). On peut conclure que le fongicide était sans efficacité contre *Fusarium oxysporum* pour le caractère surface foliaire. Le traitement par les différents extraits aqueux du *Ziziphus lotus* était efficace contre *Fusarium oxysporum* (Fig. 19) parce que les surfaces foliaires des plantes inoculées et traitées par les extraits aqueux des fruits, feuilles et racines du jujubier spontané étaient nettement supérieures à celles des plantes inoculées non traitées. Ces traitements ont amélioré la surface foliaire des plantes inoculées par 358,270%, 223,124% et 133,691%, respectivement, par rapport aux surfaces foliaires des plantes inoculées et non traitées. On peut conclure que les différents extraits aqueux du jujubier spontané étaient plus efficaces contre *Fusarium redolens* par rapport au le fongicide.

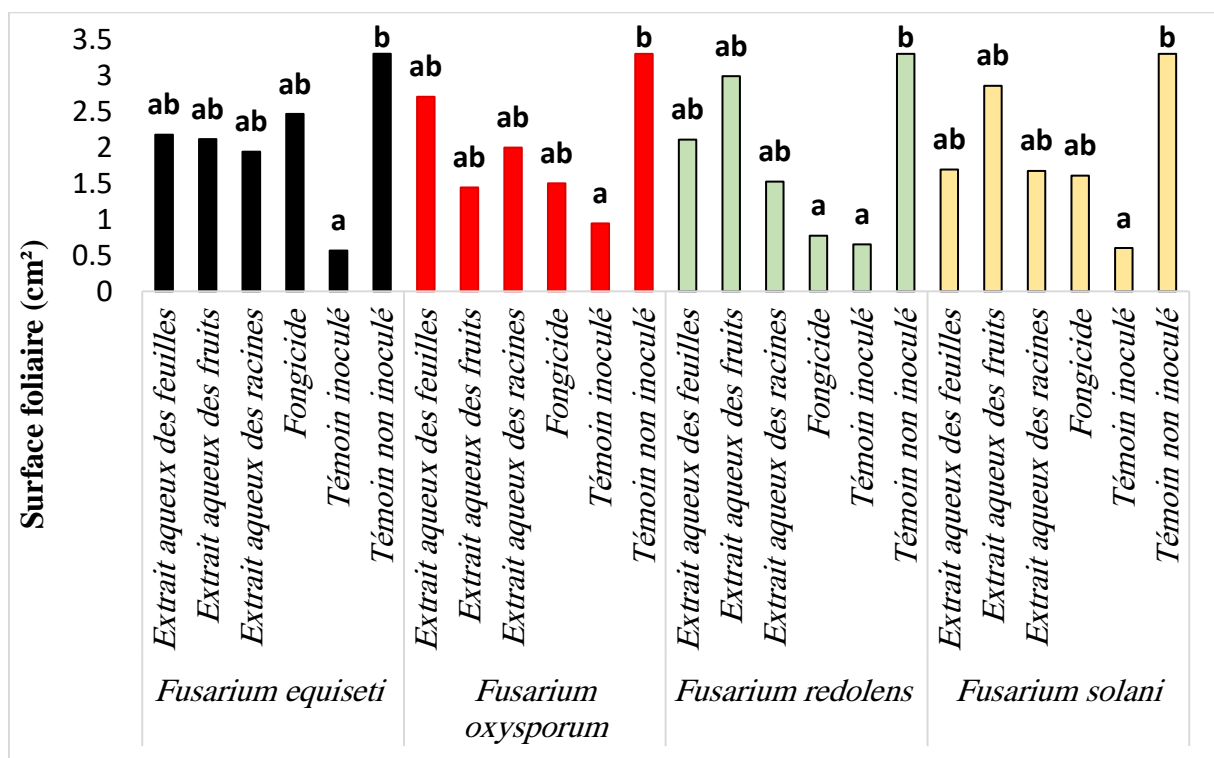


Figure 19 : Variation des surfaces foliaires de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Les plantes de tomate inoculées par *Fusarium solani* non traitées avaient les moyennes des surfaces foliaires les plus faibles ($0,602 \pm 0,308$ cm² a). Alors que les plantes de tomate non inoculées avaient les moyennes des surfaces foliaires les plus élevées ($3,303 \pm 0,662$ cm² b). Les moyennes des surfaces foliaires des plantes de tomate inoculées par *Fusarium solani* et traitées respectivement par les extraits aqueux des fruits, des feuilles, des racines du jujubier spontané et par le fongicide étaient plus importantes que celles des plantes inoculées et non traitées (Fig. 19). Ces traitements ont amélioré la surface foliaire des plantes inoculées traitées par 374,439%,

181,161 %, 177,925 % et 167,053 % respectivement, par rapport aux surfaces foliaire des plantes inoculées et non traitées. Les moyennes des surfaces foliaires des plantes inoculées et traitées sont toutes classées dans le groupe intermédiaires (ab).

3.5. Aspect des feuilles

Pour les souches fongiques, les résultats d'analyse des variances (tableau 12), révèlent des différences très hautement significatives ($P \leq 0,001$) pour le pourcentage des feuilles intactes et des différences non significatives ($P > 0,05$) pour les pourcentages des feuilles partiellement jaunes, feuilles nécrosées et feuilles mortes. Cela indique que les quatre champignons répondent de façon différente à l'égard des traitements uniquement pour le pourcentage des feuilles intactes.

Pour les traitements utilisés, les analyses des variances ont révélé des différences significative ($p < 0,05$) pour le pourcentage des feuilles nécrosées, hautement significatives ($P < 0,01$) pour le pourcentage des feuilles partiellement jaunes et très hautement significatives ($P \leq 0,001$) pour les pourcentages des feuilles intactes et des feuilles mortes. Ces traitements ont des effets variables contre les quatre souches fongiques pour les quatre des caractères étudiés (tableau 12).

Tableau 12 : Analyse de variance de l'aspect des feuilles des plantes de tomate.

Sources de variation		SCE	ddl	CM	F.	Sig.
Pourcentage des feuilles intactes	Champignons	2740,046	3	913,349	7,987	0,001***
	Traitements	46692,82	5	9338,565	81,665	0***
Pourcentage des feuilles partiellement jaunes	Champignons	929,344	3	309,781	1,645	0,205 ns
	Traitements	4345,403	5	869,081	4,614	0,004 **
Pourcentage des feuilles nécrosées	Champignons	1502,547	3	500,849	1,189	0,335 ns
	Traitements	7584,702	5	1516,94	3,601	0,014 *
Pourcentage des feuilles mortes	Champignons	1389,065	3	463,022	2,03	0,136 ns
	Traitements	30264,14	5	6052,828	26,54	0 ***

Les histogrammes de la figure 20 illustrent la variation des aspects des feuilles de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Les plantes de tomates non inoculées par les quatre souches fongiques du genre *Fusarium* utilisées, n'ont que des feuilles intactes à 100% contrairement aux plantes inoculées non traitées où des pourcentages de mortalité des feuilles importants ont été enregistrés. Ces pourcentages sont de l'ordre de 50% pour les plantes non traitées inoculées par *Fusarium*

equiseti, 66,665% pour les plantes non traitées inoculées par *Fusarium redolens*, 75% pour les plantes non traitées inoculées par *Fusarium oxysporum* et 100% pour les plantes non traitées inoculées par *Fusarium solani* (Fig. 20).

Pour les plantes inoculées et traitées par le fongicide, on n'observe des feuilles intactes que chez les plantes inoculées par *Fusarium equiseti* ou *Fusarium oxysporum*. Le pourcentage des feuilles intactes chez les plantes inoculées par ces deux champignons étaient de 41,67% et 25% respectivement contre 29,165% et 25% respectivement de feuilles partiellement jaunes, 16,665% et 37,5% respectivement de feuilles nécrosées et 12,5% chacun de feuilles mortes. Le traitement par le fongicide des plantes inoculées par *Fusarium redolens* ou *Fusarium solani* a abouti à des plantes avec 16,665% et 41,665% respectivement de feuilles partiellement jaunes, 66,665% et 45,835% respectivement de feuilles nécrosées et 16,665% et 12,5% respectivement de feuilles mortes (Fig. 20).

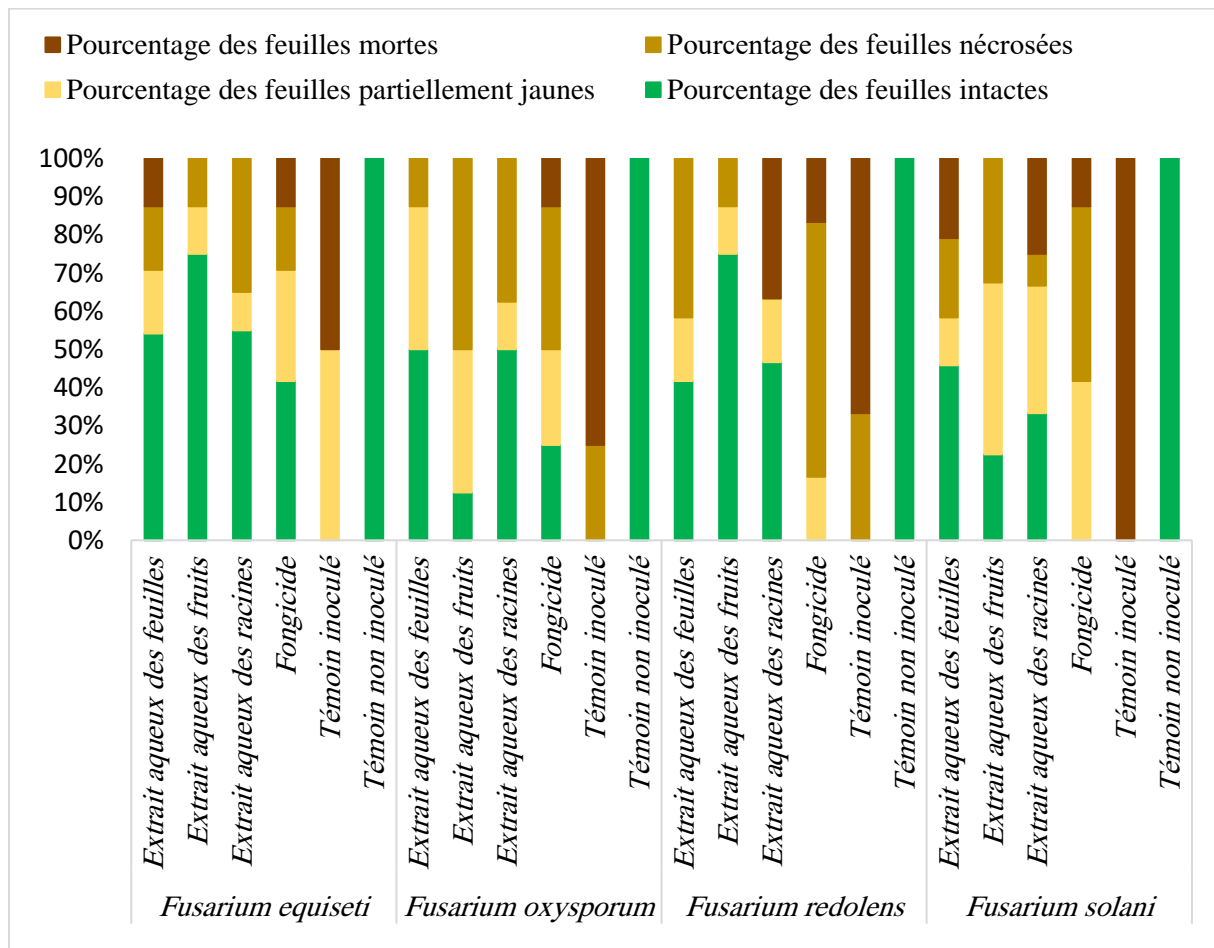


Figure 20 : Variation des aspects des feuilles de tomate en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Les traitements par les différents extraits aqueux de *Ziziphus lotus* des plantes inoculées par les quatre souches du genre *Fusarium* semble être meilleurs que le traitement par le fongicide. Le traitement par les extraits aqueux a maintenu des feuilles intactes chez toutes les plantes inoculées avec des taux de mortalité de feuilles et un nombre de feuilles nécrosés moindres (Fig. 20).

3.5.1. Feuilles intactes

Comme déjà mentionné plus haut, toutes les plantes témoins non inoculées avaient des feuilles intactes à 100% contrairement aux plantes témoins inoculées non traités qui avaient 0% de feuilles intactes. Les plantes inoculées et traitées par les différents extraits de *Ziziphus lotus* et par le fongicide avaient des pourcentages variables des feuilles intactes (Fig. 21).

Les plantes inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées par le fongicide avaient un pourcentage de feuilles intactes de 41,61% (ab) (Fig. 21). Ce fongicide avait un effet moindre que celui des extraits aqueux du *Ziziphus lotus* groupés dans une classe supérieure (bc) et qui avaient des pourcentages de feuilles intactes de 54,17% (extrait aqueux des feuilles), 55% (extrait aqueux des racines) et 75% (extrait aqueux des fruits).

Pratiquement presque le même constat est observé chez les plantes inoculées par *Fusarium oxysporum* où les plantes inoculées par ce champignon et traités par le fongicide avaient un pourcentage de feuilles intactes de 25% (ab). Ce fongicide avait un effet moindre que celui des extraits aqueux des feuilles et des racines du *Ziziphus lotus* groupés dans une classe supérieure (b) et qui avaient des pourcentages de feuilles intactes de 50% chacun (Fig. 21). Cette fois ci, l'extrait aqueux des fruits de jujubier spontané semble avoir un effet moindre que celui du fongicide car il est individualisé dans une classe inférieure (a) et avait un pourcentage de feuilles intactes de 12,5%.

Les plantes de tomates inoculées par *Fusarium redolens* non traitées et celles traitées par le fongicide n'avaient aucune feuille intacte et sont individualisées dans le groupe homogène (a). Les feuilles des plantes de tomate inoculées par ce même champignon et traitées par les extraits des feuilles et des racines avaient donné des résultats meilleurs que ces du traitement avec les fongicides (Fig. 21). Ils sont, de ce fait, groupés ensemble, selon le test de *Tukey*, dans le groupe homogène (b). Ces deux traitements ont pu maintenir intactes 41,67% et 46,67%, respectivement, des feuilles de tomate inoculées. Le traitement par l'extrait aqueux des fruits de *Ziziphus lotus* semble être le plus efficace contre *Fusarium redolens* car il a maintenu intactes environ 75% des feuilles des plantes de tomates inoculées.

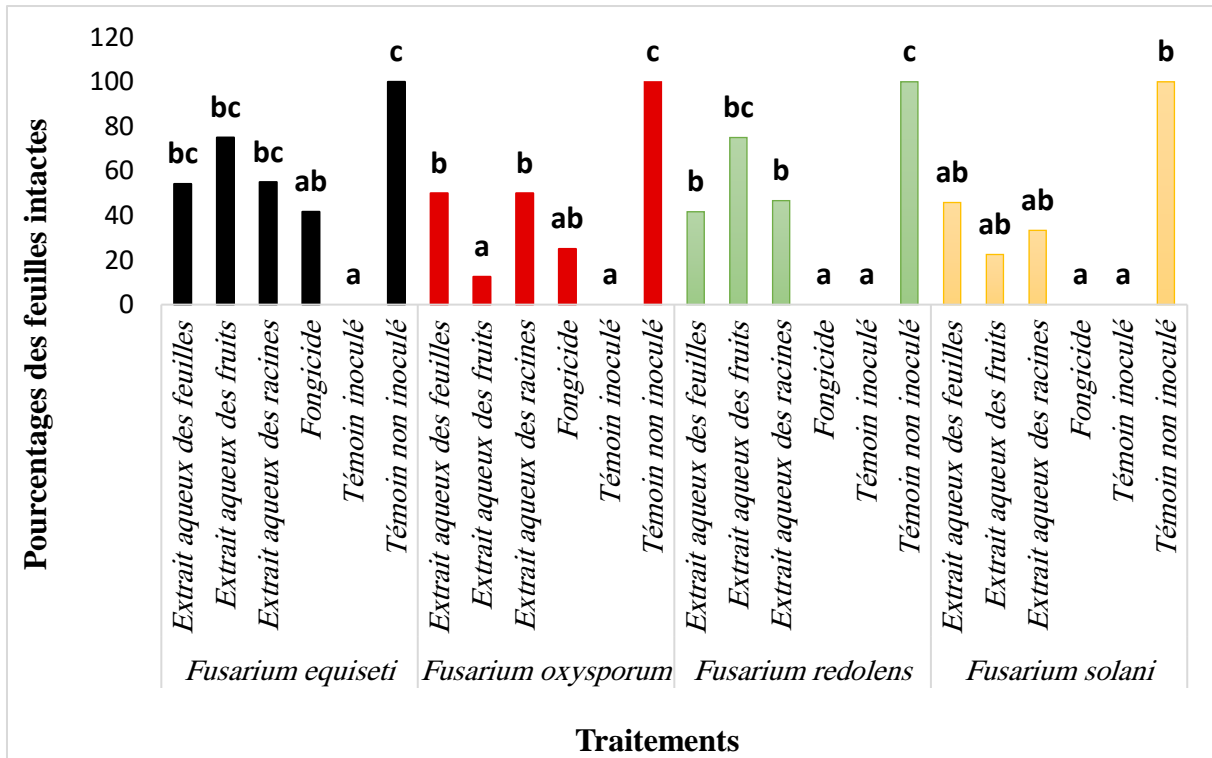


Figure 21 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate intactes en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Aussi, les plantes de tomates inoculées par *Fusarium solani* non traitées et celles traitées par le fongicide n'avaient aucune feuille intacte et sont individualisées dans le groupe homogène (a). Les feuilles des plantes de tomate inoculées par ce même champignon et traitées par les extraits des fruits, des racines et des feuilles avaient donné des résultats meilleurs que ces du traitement avec les fongicides (Fig. 21). Ils sont, de ce fait, groupés ensemble, selon le test de *Tukey*, dans le groupe chevauchant (ab). Ces traitements ont pu maintenir intactes, respectivement, 22,4%, 33,33% et 45,83% des feuilles de tomate inoculées.

3.5.2. Feuilles partiellement jaunes

Les plantes témoins inoculées et non traitées avaient des feuilles partiellement jaunes à 12,5% en moyennes contrairement aux plantes témoins non inoculées qui avaient 0% de feuilles partiellement jaunes, toutes les feuilles sont intactes. Les plantes inoculées et traitées par les différents extraits aqueux de *Ziziphus lotus* et par le fongicide avaient des pourcentages variables des feuilles partiellement jaunes (Fig. 22).

Les plantes inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées par le fongicide avaient un pourcentage de feuilles partiellement jaunes de 29,1665 % (Fig. 22). Ce fongicide avait un effet

proche à celui obtenu par les extraits aqueux du *Ziziphus lotus* qui avaient des pourcentages de feuilles partiellement jaunes de 16,665% (extrait aqueux des feuilles), 10% (extrait aqueux des racines) et 12,5% (extrait aqueux des fruits).

Aussi, les plantes de tomates inoculées par *Fusarium oxysporum* et traitées par les extraits aqueux des feuilles et des fruits avaient un pourcentage de feuilles partiellement jaunes de 37,5% (Fig. 22). Les traitements des plantes de tomate inoculées par le fongicide et les extraits aqueux des racines avaient des pourcentages de feuilles partiellement jaunes de 25% et de 12,5% respectivement.

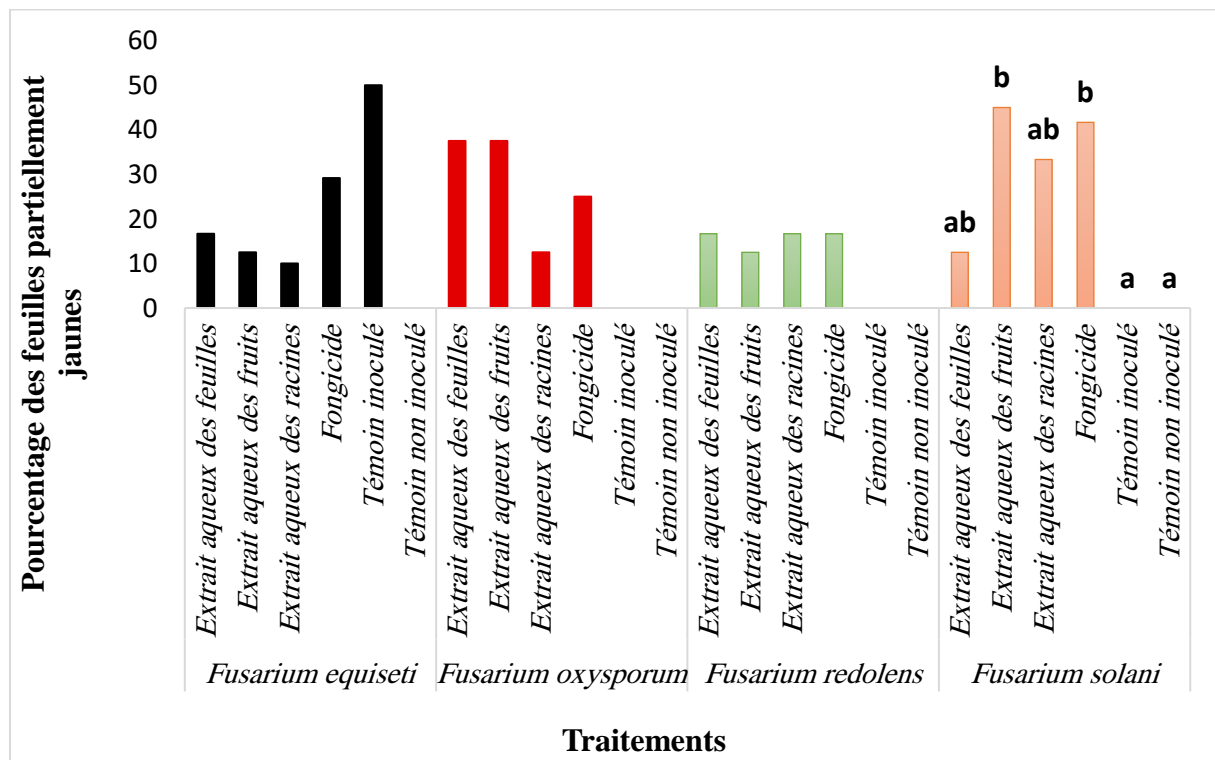


Figure 22 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate partiellement jaunes en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Les plantes de tomates inoculées par *Fusarium redolens* non traitées n'avaient aucune feuille partiellement jaune. Les feuilles des plantes de tomate inoculées par ce même champignon et traitées par le fongicide et les extraits des feuilles et des racines avaient donné des résultats similaires (Fig. 22). Ces 3 traitements des pourcentages des feuilles partiellement jaunes de 16,665% des feuilles de tomate inoculées. Le traitement des plantes de tomates inoculées par l'extrait aqueux des fruits de *Ziziphus lotus* a donné un pourcentage de feuilles partiellement jaunes d'environ 12,5%.

Les plantes non inoculées et celles inoculées par *Fusarium solani* et non traitées n'avaient pas de feuilles partiellement jaunes et sont groupées dans le groupe homogènes (a). Les plantes inoculées par ce champignon et traités par l'extrait aqueux des fruits et par le fongicide avaient les pourcentages de feuilles partiellement jaunes les plus élevés, ils sont de l'ordre de 45% et de 41,665 % respectivement. Ces pourcentages sont classés dans le groupe homogène (b). Les plantes inoculées et traitées par les extraits aqueux des feuilles et des racines de *Ziziphus lotus* avaient des pourcentages de feuilles partiellement jaunes de 12,5% et 33,333% respectivement et sont groupés dans une classe intermédiaire (ab) (Fig. 22).

3.5.3. Feuilles nécrosées

Les plantes inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées par l'extrait des racines avaient un pourcentage de feuilles nécrosées le plus élevé (35%) (Fig. 23). Le traitement par le fongicide et les extraits aqueux des feuilles et des fruits avaient des pourcentages de feuilles nécrosées de 16,665%, 16,665% et 12,5% respectivement.

Les plantes inoculées par *Fusarium oxysporum* et traités par les extraits aqueux des fruits avaient un pourcentage de feuilles nécrosées le plus élevé (50%). Le traitement par le fongicide et les extraits aqueux des racines et des feuilles du *Ziziphus lotus* avaient des pourcentages de feuilles nécrosées de 37,5%, 37,5% et 12,5% respectivement (Fig. 23).

Les plantes de tomates inoculées par *Fusarium redolens* et non traitées avaient un pourcentage moyen de feuilles nécrosées d'environ 33%. Les plantes de tomates inoculées par *Fusarium redolens* traitées par l'extrait des racines n'avaient aucune feuille nécrosée (Fig. 23). Les plantes de tomate inoculées par ce même champignon et traitées par le fongicide et les extraits des feuilles avaient des pourcentages élevés de feuilles nécrosées (66,6665 % et 41,6665% respectivement). Les plantes de tomate inoculées par ce même champignon et traitées par les extraits des fruits avaient des pourcentages faibles de feuilles nécrosées (12,5%).

Les plantes témoins inoculées par *Fusarium solani* non traitées et non inoculées n'avaient pas de feuilles nécrosées. Les feuilles étaient soit intactes (plantes témoins non inoculées) ou mortes (plantes témoins inoculées non traitées). Les plantes inoculées par *Fusarium solani* et traitées par le fongicide avaient le pourcentage de feuilles nécrosées le plus élevé (45,8335%) (Fig. 23). Les pourcentages de feuilles nécrosées étaient de 32,5%, 20,8335 % et 8,3335% respectivement chez les plantes de tomate inoculées et traitées par les extraits aqueux des fruits, des feuilles et des racines.

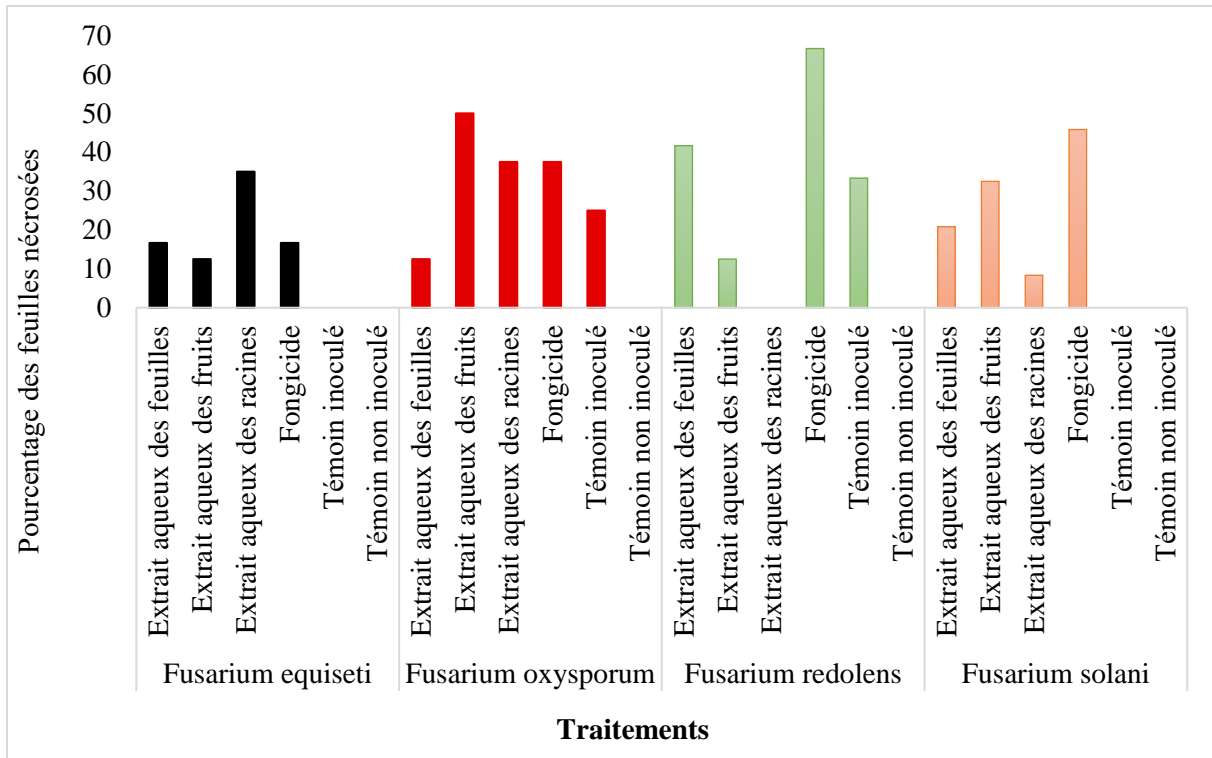


Figure 23 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate nécrosées en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

3.5.4. Feuilles mortes

Comme déjà mentionné plus haut, toutes les plantes témoins inoculées non traitées avaient des pourcentages de feuilles mortes importants (72,91663% en moyenne) contrairement aux plantes témoins non inoculées et celles inoculées par les différents champignons phytopathogène du genre *Fusarium* et traitées par les extraits aqueux des fruits de *Ziziphus lotus* qui avaient 0% de feuilles mortes. Les plantes inoculées et traitées par les différents extraits de *Ziziphus lotus* et par le fongicide avaient des pourcentages variables des feuilles mortes (Fig. 24).

Les plantes de tomates inoculées par *Fusarium equiseti* traitées par les extraits des feuilles et des fruits n'avaient aucune feuille morte et sont classées dans le groupe homogène (a). Ces traitements semblent être les plus efficaces contre *Fusarium equiseti* (Fig. 24). Les plantes témoins inoculées par ce champignon et non traitées avaient les pourcentages les plus élevés de feuilles morte (50%) et sont classées dans le groupe homogène (b). Les plantes de tomate inoculées par *Fusarium equiseti* et traitées par les extraits des feuilles et par le fongicide avaient donné des pourcentages moyens de 12,5% de feuilles mortes et sont classés dans le

groupe intermédiaire (ab). Ces traitements sont moins efficaces que les extraits aqueux des fruits et des racines de *Ziziphus lotus*.

Les plantes de tomates témoins inoculées par *Fusarium oxysporum* et non traitées avaient les pourcentages des feuilles mortes les plus importants (75%) et sont classées dans le groupes homogène (b) (Fig. 24). Le traitement des plantes inoculées par *Fusarium oxysporum* et traités par les différents extraits des aqueux (feuilles, fruits et racines) du jujubier spontané était efficace. Ces traitements ne révèlent pas feuilles mortes et sont classés dans le groupe homogène (a). Le traitement des plantes de tomate inoculées par ce même champignon par le fongicide était moins efficace car les plantes de tomate inoculées et traitées par le fongicide avaient 12,5% (ab) de feuilles mortes.

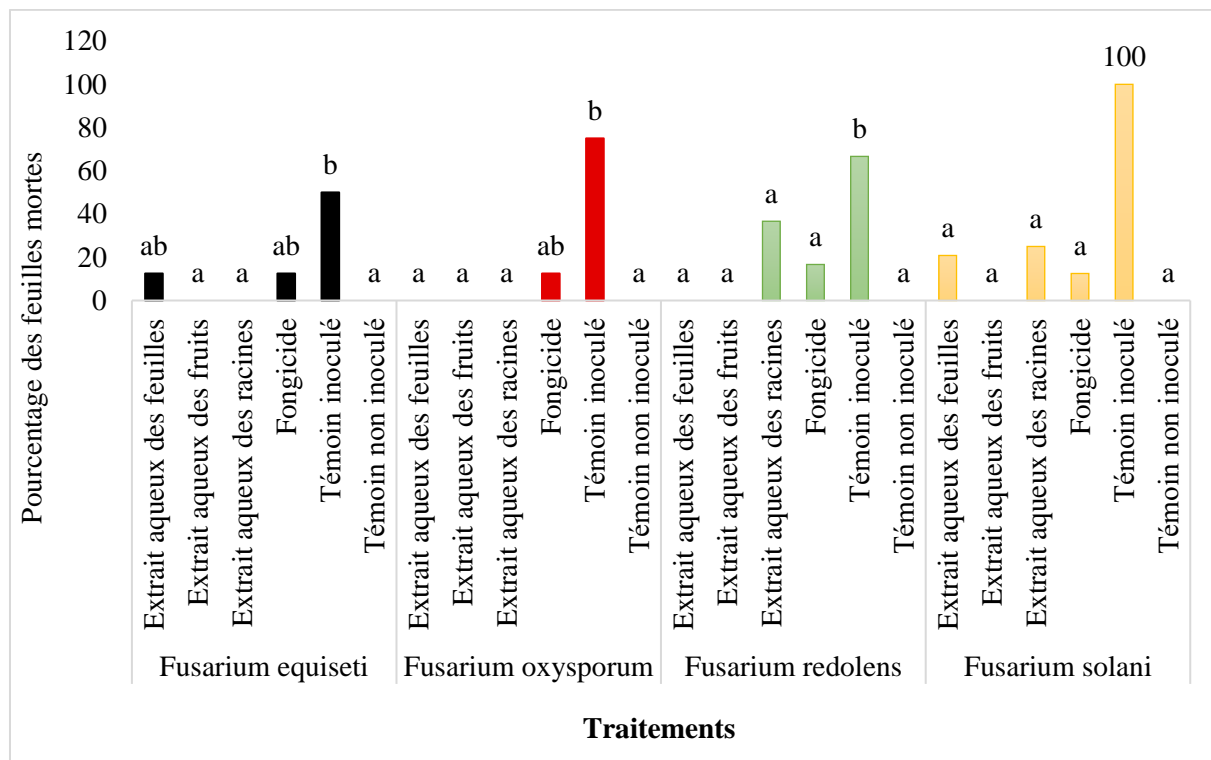


Figure 24 : Variation des pourcentages des feuilles de tomate mortes en fonction de la présence ou l'absence de l'inoculation par les souches de *Fusarium* et en fonction du traitement par les différents extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Les plantes de tomates témoins inoculées par *Fusarium redolens* et non traitées avaient les pourcentages des feuilles mortes les plus importants (66,665%) et sont classées dans le groupes homogène (b) (Fig. 24). Les plantes inoculées par *Fusarium redolens* et traitées par les extraits aqueux des feuilles, les extraits aqueux des fruits, le fongicide et les extraits aqueux des racines avaient des pourcentages faibles en feuilles mortes, ils sont tous classés dans le groupe

homogène (a). On peut conclure que tous les traitements sont efficaces contre *Fusarium redolens* (Fig. 24).

Pratiquement presque le même constat est observé chez les plantes inoculées par *Fusarium solani*. Les plantes de tomates témoins inoculées non traitées avaient les pourcentages des feuilles mortes les plus importants (100%) et sont classées dans le groupe homogène (b) (Fig. 24). Tous les traitements quelque-soit en utilisant le fongicide ou les extraits aqueux des feuilles, fruits et racines du jujubier spontané étaient efficaces contre *Fusarium solani* car les plantes inoculées et traitées ont des pourcentages des feuilles mortes qui varient entre 0 et 25% et sont toutes classées dans le groupe homogène (b).

4. Discussion

Un grand nombre de plantes médicinales représentent une source inépuisable de substances bioactives qui possèdent des propriétés antifongiques très importantes (Hamza et al., 2015). Plusieurs travaux de recherche ont été focalisés sur les extraits des plantes spontanées.

Ce travail nous a permis d'évaluer l'activité antifongique, *in vitro* et *in vivo*, des extraits aqueux des fruits, des racines et des feuilles de jujubier spontané (*Ziziphus lotus*) vis-à-vis quatre souches fongiques référencées du genre *Fusarium* phytopathogènes spécifiques pour la tomate.

Pour se faire, des extraits aqueux ont été préparés à partir des feuilles, des fruits et des racines du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*) poussant dans la région de Mghila, Tiaret. D'après les résultats obtenus, le rendement d'extraction a varié considérablement d'un organe à l'autre. En effet, l'extrait aqueux des fruits a présenté le rendement d'extraction le plus important par rapport aux feuilles et aux racines. Les résultats des rendements d'extraction de l'extrait aqueux de jujubier spontané obtenus dans notre expérimentation (environ 10%) sont faibles par rapport aux résultats obtenus par Bessi (2017) qui enregistré une moyenne de 19,73% pour l'extrait aqueux des fruits de *Ziziphus lotus*, par rapport à ceux de Lahmer et Messai (2017) qui ont enregistré une moyenne de 8,2794% pour le rendement d'extraction des extraits aqueux des racines de *Ziziphus lotus* et par rapport aux résultats de Cheurfa et al. (2017) qui ont trouvé un rendement d'extraction des feuilles de l'ordre de 9,49% pour *Ziziphus lotus*. Rais (2019) a signalé que les rendements d'extraction varient de 8,9 à 19,8% pour les extraits aqueux des fruits de *Ziziphus lotus*.

Zizyphus lotus est connu par son contenu en molécules biologiquement actives tels que les polyphénols (flavonoïdes et tanins) (Borgi et Chouchane, 2006). Les résultats de dosage montrent la présence des quantités importantes de polyphénols totaux, des tanins condensés et des flavonoïdes dans les extraits aqueux des fruits, des feuilles et des racines du jujubier spontané (*Zizyphus lotus*).

Nous avons enregistré des moyennes de polyphénols totaux de 658,237 mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des feuilles du *Zizyphus lotus*, 803,879 mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des fruits et 1466,299 mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des racines.

Nos extraits aqueux des fruits apparaissent plus riches en polyphénols par rapport à ceux obtenues par Brahim et Brahim (2017) qui ont trouvé une moyenne de $436,250 \pm 97,033$ mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des fruits du *Zizyphus lotus*. Nos résultats concordent avec ceux enregistrés par Bakchiche et al. (2013) qui confirment les extraits aqueux des racines de jujubier spontané sont très riches en polyphénols. Rais (2019) a enregistré une variation de 298 à 716 mg EAG /100 g MS au niveau des extraits aqueux des fruit de *Zizyphus lotus*. Si on compare nos résultats avec ceux obtenus par Ghalem et al. (2014) et de Elaloui et al. (2017) qui indiquent que les phénols étaient présents dans les racines et les feuilles de *Zizyphus lotus*, au taux de 2009 mg EAG /100 g MS et 2198, respectivement, on peut dire que les racines de nos échantillons sont moins riches en substances phénoliques. Yahia et al. (2020) ont trouvés des teneurs de 949,87 mg EAG /100 g MS au niveau des extraits méthanoliques des feuilles de *Zizyphus lotus*.

Nous avons obtenu des moyennes des teneurs en flavonoïdes chez le *Zizyphus lotus* de 118,374 mg EQ/100 g MS (extraits aqueux des feuilles), 113,329 mg EQ/100 g MS (extrait aqueux des fruits) et 110,567 mg EQ/100 g MS (extrait aqueux des racines). Nos extraits aqueux des feuilles de jujubier spontané présentent des teneurs plus faibles en flavonoïdes par rapport aux résultats obtenus par Hamza et al. (2015) qui ont enregistré une moyenne de 270 mg EQ/100 g MS. Elaoui et al. (2017) ont aussi enregistré des valeurs trop élevées (780 mg EQ/100 g MS) en flavonoïdes au niveau des feuilles de *Zizyphus lotus*. Tandis que, les résultats obtenus par Yahia et al. (2020) sont proches à nos résultats, ils ont obtenu des moyennes variant de 91,89 à 92,22 mg EQ/100 g MS au niveau des extraits aqueux des feuilles du *Zizyphus lotus* en provenance de Bengardane et Oued Esseder (Tunisie) respectivement. Au Maroc, Rais (2019) a enregistré des moyennes des 62,6, 114,4 et 31,6 mg EQ/100 g MS au niveau des extraits aqueux des fruits du *Zizyphus lotus* en provenance de Immouzer, Fez et Guercif respectivement.

Abdoul-Aziz (2016) a noté une teneur moyenne en flavonoïdes de 120 mg EQ/100 g MS au niveau des extraits aqueux des racines de *Ziziphus lotus*.

Nos extraits aqueux des fruits de jujubier spontané présentent des teneurs élevées en tanins condensés (451,642 mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des racines, 521,811 mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des feuilles et $620,881 \pm 103,775$ mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des fruits). Bessi (2017) a enregistré une moyenne de 510 mg EAG/100 g MS au niveau des extraits aqueux des fruits. Yahia *et al.* (2020) ont trouvé une moyenne, en tanins condensés, beaucoup plus faible (89,08 mg EAG/100 g MS) au niveau des extraits aqueux des feuilles de *Ziziphus lotus* en provenance de Bengardane (Tunisie). Alors que, Elaoui *et al.* (2017) ont enregistré une valeur plus élevée (790 mg EAG/100 g MS) en tanins condensés au niveau des extraits aqueux des feuilles de *Ziziphus lotus*.

Les analyses qualitatives des extraits aqueux des différentes parties (feuilles, fruits et racines) de *Ziziphus lotus* montre sa grande richesse en composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés). Ces résultats concordent avec les travaux de nombreux auteurs (Bakchiche *et al.*, 2013 ; Ghalem *et al.*, 2014 ; Abdoul-Aziz, 2016 ; Bessi, 2017 ; Brahim et Brahim, 2017 ; Elaoui *et al.*, 2017 ; Rais, 2019 ; Yahia *et al.*, 2020).

Au niveau des cellules végétales, les composés phénoliques sont généralement présents dans les vacuoles des tissus colorés tels que les feuilles et/ou les pétales de fleurs (Vermerris et Nicholson, 2006). En outre, des études antérieures ont révélé que les flavonoïdes situés dans l'épiderme et/ou la cuticule des feuilles, en tant que flavonoïdes lipophiles, ont été identifiés parmi les composés phénoliques les plus efficaces pour conférer une résistance aux plantes contre un large éventail d'ennemis des cultures (Pomilio *et al.*, 1992). Les tanins sont abondants dans de nombreuses espèces végétales différentes (*Quercus spp.*, *Castanea spp.*, *Rhus typhina*, *Tellima grandiflora*, etc.) et précisément localisés dans les feuilles, l'écorce et les fruits, offrant une protection contre de nombreux agents pathogènes des plantes (Yahia *et al.*, 2020).

Les substances biologiquement actives, en particulier les composés phénoliques, la composition, le contenu et la fonction des plantes sont affectées par différents facteurs : le fond génétique (variété, génotype), le moment de la récolte (Tomson et Kruma, 2017), l'origine (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008), l'organe (Ksouri *et al.*, 2008), les différentes maladies qui peuvent affecter la plante, la durée de conservation (Park et Cha, 2003). L'altitude, l'illumination, (Liu *et al.*, 2016), l'humidité, les caractéristiques agronomiques (sol, alimentation en eau, utilisation d'engrais ou de fumier), la maturité, la récolte, la méthode de transport, le stockage, le procédé

de séchage (Cezarotto *et al.*, 2017) et/ou les méthodes d'extraction (Khoddami *et al.*, 2013). Le type d'habitat de la plante, la prédominance de certains facteurs abiotiques dans l'habitat, la saison de l'année ainsi que la présence ou non de conditions défavorables dans lequel la plante pousse, influencent le contenu, la qualité et la quantité de ces substances actives (Stanković *et al.*, 2017). Les variations peuvent aussi s'expliquer par le fait que la quantité des composés phénoliques des extraits de la plante étudiée (*Ziziphus lotus*) dépend essentiellement de la solubilité de leurs composés dans les solvants utilisés (méthanol, eau distillée) ainsi que la polarité de ces derniers (Benderradji et Sebbane, 2018 ; Rais, 2019).

Ces substances exercent leurs rôles biologiques, en tant qu'adaptateur plastique de la réponse des plantes à leur environnement. Une telle interaction chimique comprend généralement des variations dans la production de métabolites végétaux (Pavarini *et al.*, 2012). Cette variation de la composition chimique peut influencer directement les activités biologiques de la plante, qui peuvent présenter des effets variables pour une activité similaire (Stanković *et al.*, 2017). Les polyphénols, les flavonoïdes et les tanins sont omniprésents dans les plantes et ont montré des propriétés biologiques efficaces telles que l'action antifongique (Rais, 2019).

Des études antérieures *in vitro*, ont montré que les extraits des fruits de *Ziziphus lotus* possèdent une activité antifongique (Lahlou *et al.*, 2002).

D'après nos résultats, les extraits aqueux des racines de *Ziziphus lotus* ont inhibé la croissance mycélienne des trois souches fongiques : *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens*, *Fusarium solani*. Par contre, l'extrait des feuilles a réagi positivement contre *Fusarium oxysporum*. Cela qui confirme que les extraits aqueux des racines et des feuilles étudiés ont montré une activité antifongique contre les 4 souches de *Fusarium*. En revanche, les extraits des fruits, ont eu une faible inhibition ce qui est en accord avec les résultats obtenus par Dahlia *et al.* (2020) ainsi que par Brahim et Brahim (2017) qui ont trouvé que les extraits aqueux des fruits ont inhibé la croissance mycélienne du *Fusarium* de blé beaucoup plus que celle du *Fusarium* de tomate. Ce dernier été plus résistant à l'application du traitement par les extraits aqueux des fruits de *Ziziphus lotus* car c'est à ce niveau où ont été enregistrés les pourcentages de croissance du champignon les plus faible.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par Abu-Taleb *et al.* (2011) qui ont déclaré que *Fusarium solani* a complètement échoué à produire des spores lorsqu'il est traité, *in vitro*, avec l'extrait éthanolique de *Ziziphus spina-christi* (L.) à une concentration de 20%. Elaoui *et al.* (2017) rapportent que la croissance du *Fusarium solani* a été inhibée, *in vitro*, par les extraits

aqueux des feuilles de *Ziziphus lotus* à une concentration de 0,1 g/ml. Dahlia *et al.* (2020) ajoutent que les extraits aqueux des fruits de *Ziziphus lotus* collectées à partir de neuf régions différentes de l'Algérie, testés *in vitro*, à une concentration de 0,1 g/ml, étaient très efficaces et ont inhibé la croissance de *Fusarium tritici*, *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*, *Penicillium expansum*, *Penicillium italicum*, *Botrytis cinerea* et *Rhizopus*. Les pourcentages d'inhibition de ces souches fongiques ont varié de 43,907 à 53,137%

Cela pourrait s'expliquer par la richesse de ces organes en métabolites secondaires, notamment en phénols, connus pour leurs activités antimicrobiennes (Rojas *et al.*, 1992 ; García-Lafuente *et al.*, 2009). Cette activité était liée surtout aux tanins qui ont une forte activité antimicrobienne (Amri *et al.*, 2013 ; Bukar *et al.*, 2015 ; Elaoui *et al.*, 2017).

De nombreux auteurs suggèrent que l'effet antimicrobien des plantes est dû à la présence de certaines molécules (Behidji-Benyounes *et al.*, 2013). Ces substances comprennent les composés phénoliques, les flavonoïdes et les tanins condensés, ce qui est confirmé par Aziz *et al.* (1998). Globalement, nos extraits ont montré une teneur très élevée en polyphénols, flavonoïdes et tanins. D'après King and Young (1999), les activités antibactériennes et antifongiques étaient très importantes en présence des polyphénols. Aziz *et al.* (1998) ont démontré que l'activité antifongique de *Ziziphus lotus* (L.) semble être influencée par la teneur en composés phénoliques. Sisti *et al.* (2008) ont montré que les composés phénoliques sont actifs contre les microorganismes pathogènes. Nita-Lazar *et al.* (2004) ont suggéré que la synthèse des polyphénols est connue comme un mécanisme de défense contre les microorganismes phytopathogènes.

Aussi Galvan *et al.* (2008) ont confirmé que les métabolites secondaires des plantes ont un grand potentiel comme agents antifongiques efficaces par l'altération des processus enzymatiques impliqués dans la production d'énergie et la synthèse des composants structuraux. Cette destruction a été suggérée par l'affaiblissement ou la destruction de la barrière de la perméabilité de la membrane cellulaire en modifiant l'état physiologiques des cellules ou affectant la synthèse des acides nucléiques.

In vivo, les plantules de tomate âgées de 21 jours, inoculées avec les suspensions des spores ont présenté des symptômes sur les racines et les feuilles avec différents niveaux d'agressivité. Les plantules témoins non inoculées et irriguées avec l'eau minérale n'ont présenté aucuns symptômes après 21jours.

L'inoculation des plantules de tomates par les quatre souches fongiques (*Fusarium equiseti*, *Fusarium oxysporum f.sp lycopersici*, *Fusarium redolens* et *Fusarium solani*) s'est manifesté par l'obtention des plantes avec des tiges courtes, des racines courtes, un nombre réduit de feuilles de petite surface, un taux élevé de feuilles jaunes et nécrosées et même un taux élevé de mortalité des plantes. L'application des traitements par les différents extraits aqueux des feuilles, des fruits et des racines de *Ziziphus lotus* de la région de Mghila ainsi que par le fongicide a amélioré la situation. Les plantes inoculées et traitées avaient des tiges plus hautes, des racines plus longues, des surfaces foliaires meilleures, des taux de feuilles intactes meilleurs et une mortalité moindre. L'efficacité des extraits aqueux était meilleure que celle du fongicide. Cette efficacité a varié en fonction de la partie du végétal utilisé et en fonction du champignon utilisé comme inoculum.

Animashaun *et al.* (2017) et Worku et Sahe (2018) ont démontré que le flétrissement bactérien est une maladie fongique qui s'attaque à la tomate. *Fusarium oxysporum* pénètre par les racines et interfère avec les vaisseaux conducteurs d'eau de la plante. Au fur et à mesure que l'infection se propage dans les tiges et les feuilles, elle restreint l'écoulement de l'eau, entraînant le flétrissement et le jaunissement du feuillage. Les symptômes apparaissent souvent plus tard au cours de la saison de croissance et sont d'abord remarqués sur les feuilles inférieures (plus anciennes). Au fur et à mesure que la maladie progresse, les feuilles plus jeunes sont également touchées et la plante finit par mourir.

Nos résultats concordent avec ceux de Singha *et al.* (2011) qui ont signalé que les plantes de tomate, poussant sur un sol inoculé par *Fusarium oxysporum f.sp lycopersici*, avaient des tiges et des racines courtes par rapport aux plantes non inoculées et par rapport aux plantes inoculées et traitées par les extraits chloroformiques des feuilles de *Piper betle*. Cet extrait a aussi diminué la gravité des symptômes sur la tomate et a diminué le taux de mortalité. Ce même auteur a aussi signalé que la pulvérisation des extraits chloroformiques des feuilles de *Piper betle* a donné de meilleurs résultats par rapport à l'utilisation du fongicide "carbendazime".

Nefzi *et al.* (2017) ont aussi noté que les extraits aqueux de feuilles et de fruits de *Lycium arabicum* utilisés à 30 % (p/v), contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*, ont été les plus efficaces pour induire une réduction de 84,6 et 61,5 % de la gravité des dommages foliaires et une diminution de 84,9 et 82,9 % de l'étendue du brunissement vasculaire, respectivement, par rapport au témoin. Les extraits aqueux de feuilles ont été les plus efficaces

pour augmenter la croissance de 65-70% par rapport au contrôle. De plus, tous les extraits aqueux de *L. arabicum* ont augmenté de manière significative la croissance par rapport au contrôle. La longueur des racines et la hauteur des parties aériennes ont été améliorées de 46 et 60%, respectivement.

D'après les résultats d'aspect des feuilles, on constate que les plantes inoculées par *Fusarium equiseti* présentent le pourcentage le plus élevé des feuilles intactes (54,31%). Alors que les plantes inoculées par *Fusarium solani* présentent les pourcentages les plus importants des feuilles mortes et des feuilles partiellement jaunes (26,3889% et 22,0833% respectivement). Et pour les plantes inoculées par *Fusarium oxysporum*, les résultats ont montré une présence importante des feuilles nécrosées (27,0833%). Les résultats d'infection des racines ont montré que, les champignons *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* sont sensibles vis-à-vis des extraits aqueux des fruits de jujubier spontané. Alors que, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium solani* sont sensibles vis-à-vis de l'extrait aqueux des feuilles de jujubier spontané. Les extraits de *Ziziphus lotus* ont diminué les symptômes sur les plantes de tomates et ont réduit le taux de mortalité.

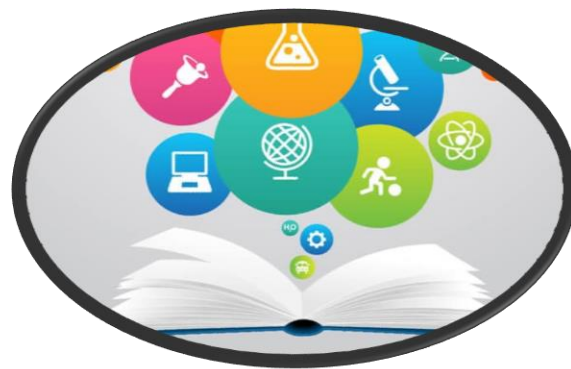
On peut supposer que certains composés aromatiques volatils inconnus, présents sous forme de composés phénoliques dans les extraits aqueux de *Ziziphus lotus*, peuvent contribuer à conférer une résistance aux maladies dans les tissus vasculaires des plants de tomates. Minerdi *et al.* (2009) ont démontré que de petits composés organiques volatils sesquiterpènes, principalement le caryophyllène, émis par la souche de type sauvage influencent négativement la croissance mycélienne de différentes formae spéciales de *F. oxysporum*. Une teneur élevée en substances phénoliques peut être un élément essentiel de la défense contre les divers agents pathogènes qui défient constamment l'organisme végétal. Les substances phénoliques provenant de diverses sources végétales et leur contribution aux réponses antimicrobiennes et autres réponses biologiques sont bien documentées. (Benner, 1993 ; Bennet and Wallsgrove, 1994 ; Singha *et al.*, 2011 ; Nefzi *et al.*, 2017 ; Dahlia *et al.*, 2020).

Les résultats du test *in vivo* montrent qu'il y'a un pouvoir antifongique intéressant des extraits aqueux des fruits et des feuilles utilisées préventivement contre les plantules de tomate inoculées par les 4 souches de *Fusarium*. La réaction des plantes de tomate vis-à-vis les extraits aqueux de *Ziziphus lotus* est variable selon le traitement appliqué.

Si on compare les résultats obtenus *in vitro* et *in vivo*, on constate que, *in vitro*, les extraits aqueux des racines et des feuilles sont plus efficaces que les extraits des fruits. Tandis

que, *in vivo*, les extraits aqueux des feuilles et des fruits sont plus efficaces que les extraits des racines. Cela s'explique, selon Debbab (2017), que les résultats d'inhibition de la croissance et sporulation de *Fusarium in vitro* et *in vivo* varie selon des facteurs extrinsèques (géographiques, climatiques) et des facteurs génétiques. Aussi, l'activité antifongique dépend de trois paramètres qui sont la plante hôte, la plante médicinale (dose et concentration) et le mode d'extraction. (Rakotoarimanga *et al.*, 2014) signalent qu'il y'a quelques années, le seul moyen de lutte contre le *Fusarium* était d'arroser les cultures avec du bénomyl ou encore du bromure de méthyl mais ces produits sont dangereux et peu efficaces et ont été interdits par la suite. Des recherches tendent à mettre au point de nouvelles méthodes de lutte moins nuisibles pour l'environnement, c'est l'utilisation des produits naturels comme extraits aqueux des plantes qu'ils représentent une pratique ancestrale en Afrique. Des travaux antérieurs ont pu démontrer que certains extraits ont la même efficacité des fongicides de synthèse. L'action biocide de ces extraits sur les champignons se manifeste par l'inhibition de la sporulation ou par une réduction de la sévérité de la maladie (Yarou, 2017). L'emploi des extraits de plantes comporte des avantages certains. Avec l'augmentation des prix des produits chimiques et la nature de ces produits sur les marchés locaux. Les produits biodégradables provenant des plantes constituent une bonne alternative qui permet aux producteurs de pouvoir assurer de protection de leurs semences à un coût relativement faible (Bonzi, 2007).

Conclusion



La lutte biologique contre les agents causaux du flétrissement vasculaire et la pourriture racinaire par des champignons phytopathogènes semble être une alternative prometteuse à l'emploi des fongicides. De ce fait pour entreprendre une lutte biologique contre le développement de *Fusarium* chez la tomate, on a choisi les extraits aqueux du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*).

Ce travail nous a permis d'évaluer, *in vitro* et *in vivo*, l'activité antifongique des extraits aqueux des fruits, des racines et des feuilles de jujubier spontané (*Ziziphus lotus*) vis-à-vis de 4 souches fongique du genre *Fusarium* (*Fusarium equiseti* (Wy11), *Fusarium oxysporum* (Wy18), *Fusarium redolens* (Wy5) et *Fusarium solani* (Wy14)).

Les extraits aqueux de *Ziziphus lotus* préparés par macération froide pendant 72 heures avaient des rendements d'extraction variables. L'extrait aqueux des fruits de jujubier spontané (*Ziziphus lotus*) présente le rendement d'extraction le plus élevé par rapport aux extraits aqueux des feuilles et des racines.

L'évaluation des extraits aqueux est représentée par le dosage spectrale des 3 substances bioactives : polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés. Les extraits aqueux du jujubier spontané se sont révélés très riches en composés phénoliques. L'extrait aqueux des racines de *Ziziphus lotus* présente la teneur en polyphénols la plus élevée, l'extrait aqueux des feuilles présente la teneur en flavonoïdes la plus élevée et l'extrait aqueux des fruits présente la teneur en tanins condensés la plus élevée.

L'étude *in vitro* des propriétés antifongiques des extraits aqueux des feuilles et des racines du jujubier spontané (*Ziziphus lotus*), nous a permis d'obtenir des résultats intéressants. Les champignons *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* et *Fusarium solani* sont sensibles vis-à-vis des extraits aqueux des racines de jujubier spontané. Alors que, *Fusarium oxysporum* est sensible vis-à-vis de l'extrait aqueux des feuilles de jujubier spontané. Tous les extraits aqueux de jujubier spontané présentent une efficacité plus importante que celle du fongicide vis-à-vis de l'ensemble des champignons phytopathogènes testé.

In vivo, les plantes inoculées et traitées avaient des tiges plus hautes, des racines plus longues, des surfaces foliaires meilleures, des taux de feuilles intactes meilleurs et une mortalité moindre.

Les résultats d'infection des racines ont montré que, les champignons *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* sont sensibles vis-à-vis des extraits aqueux des fruits de jujubier

spontané. Alors que, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium solani* sont sensibles vis-à-vis de l'extrait aqueux des feuilles de jujubier spontané.

Les plantes inoculées par *Fusarium equiseti* présentent le pourcentage le plus élevé des feuilles intactes. Alors que les plantes inoculées par *Fusarium solani* présentent les pourcentages les plus importants des feuilles mortes.

La réaction des plantes de tomate inoculées vis-à-vis les extraits aqueux est variable. On constate qu'il y'a un pouvoir antifongique intéressant des extraits aqueux des fruits et des feuilles utilisées préventivement contre les plantules de tomate inoculées par les 4 souches de *Fusarium*. Les extraits de *Ziziphus lotus* ont diminué les symptômes sur les plantes de tomates et ont réduit le taux de mortalité.

Le présent travail apporte des données encourageantes sur l'application des extraits naturels comme antifongique.

Références bibliographiques



- Abdoul-Azize S., 2016. Potential Benefits of Jujube (*Zizyphus Lotus L.*) Bioactive Compounds for Nutrition and Health. *Journal of Nutrition and Metabolism*, Id. 2867470: 13 pages.
- Abu-Taleb A.M., EL-Deeb K., AL-Otibi., F.O., 2011. Assessment of antifungal activity of *Rumex vesicarius L.* and *Ziziphus spina-christi (L.) Willd.* extracts against tow phytopathogenic fungi. *African Journal of Microbiology Research*, 5(9): 1001-1011.
- Agrios G.N., 2005. Plant pathology. Ed. Elsevier, Florida. Pp: 523-526.
- Alyafi A.G., 2007. Determination of chemical composition of Prangos and the possibility to use in the applied field. Ed. Damascus University. 54 P.
- Amri I, Hamrouni L., Hanana M, Gargouri S, Fezzani T, Jamoussi B. (2013). Chemical composition, physicochemical properties, antifungal and herbicidal activities of *Pinus halepensis* Miller essential oils. *Biol. Agric. Hortic.* 29:1-16.
- Animashaun B.O., Popoola A.R., Enikuomelin O.A., Aiyelaagbe I.O.O., Imonmion J.E., 2017. Induced Resistance to *Fusarium wilt (Fusarium oxysporum)* in Tomato using Plant Growth Activator, Acibenzolar-S-methyl. *Nig. J. Biotech.* Vol. 32: 83 – 90.
- Aziz N.H., Farag S.E., Mousa L.A.A., Abo-Zaid M.A., 1998. Comparative antibacterial and antifungal effects of some phenolic compounds. *Microbios*, 93: 43–54.
- Bakchiche B., Gherib A., Smail A., Cutodia G. & Graca M., 2013: Antioxidant activities of eight Algerian plant extracts and two essential oils. *Industrial Crops and Products* 46, 85-96.
- Beckman C.H., Muller W.C., Verdier P.A., 1988. A System of defense in depth provider by vascular parenchyma cells of tomato in response to vascular infection with *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*, race 1. *Physio. Mol. Plant Pathol.*, 34 : 227-239.
- Behidji-Benyounes N., Dahmane T., Aknouche F., Demmouche K., 2013. Screening phytochimique et évaluation de l'activité antimicrobienne des alcaloïdes. *Sciences & Technologie*, 38: 27–37.
- Benderradji B., Sebbane R., 2018. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de *Ziziphus lotus*. Mémoire de master. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. Page 21.
- Benner J.P., 1993. Pesticidal compounds from higher plants. *Pest. Sci.*, 39: 95–102.
- Bennet R.N., Wallsgrove R.M., 1994. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New. Phytol.*, 127 : 617–633.

- Bessi A., 2017. Evaluation in vitro de l'activité antimicrobienne des extraits de *Ziziphus lotus*. Mémoire de master. Université Mohamed Ben Abdellah. Page 13.
- Blancard D., 2009. Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser. Ed. Quae, Paris P : 679.
- Bonzi S., 2007. Efficacité des extraits aqueux de quatre plantes dans la lutte contre les champignons transmis par les semences de sorgho (*Sorghum bicolor (L) Moench*) : cas particulier *Colletotrichum graminicola (Ces) Wilson* et *Phoma Sorghina (Sacc.) Bocrema, Dorenbosch et Van Kesteren*. Mémoire de master. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Page 8.
- Brahim A., Brahim D., 2018. Analyse du pouvoir inhibiteur des extraits aqueux des fruits de quelques populations de jujubier sauvage (*Ziziphus lotus L. Desf.*) vis-à-vis des champignons phyto-pathogènes. Mémoire de master. Université Ibn Khaldoune-Tiaret. Page 29.
- Brown D.W., Proctor R.H., 2013. Fusarium, genomics, molecular and cellular biology. Ed. Norfolk, UK. P :10.
- Bukar AM, Kyari MZ. Gwaski M, Gudusu FS, Kuburi PA and Y. I. Abadam (2015). Evaluation of phytochemical and potential antibacterial activity of *Ziziphus spina-christi* L. against some medically important pathogenic bacteria obtained from University of Maiduguri Teaching Hospital, Maiduguri, Borno State-Nigeria. J Pharmacogn Phytochem; 3: 98-101.
- Cezarotto V.S., Giacomelli S.R., Vendruscolo M.H., Vestena A.S., Cezarotto C.S., Cruz R.C., Maurer L.H., Ferreira L.M., Emanuelli T., Cruz L., 2017. Influence of Harvest Season and Cultivar on the Variation of Phenolic Compounds Composition and Antioxidant Properties in *Vaccinium ashei* Leaves. *Molecules*, 22 : 1603 – 1613.
- Champion R., 1997. Identifier les champignons transmis par les semences. Ed. Techniques et Pratiques, INRA, Paris, France. Pp : 166 - 197.
- Cheurfa M., Allem R., Zabel K., Aichouni W., Medjkane M., 2017. Etude des effets des extraits des racines de *Glycyrrhiza globra L. et Ziziphus lotus L.* sur quelques bactéries pathogènes de l'homme. Phytothérapie

- Corbaz R., 1990. Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. Ed. PPUR presses polytechniques, France. 286 p.
- Dahlia F., Barouagui S., Hemida H., Bousaadia D., Rahmoune B., 2020. Influence of environment variations on anti-glycaemic, anticholesterolemic, antioxidant and antimicrobial activities of natural wild fruits of *Ziziphus lotus* (L.). *South African Journal of Botany*, 132 : 215-225.
- Debbab S., 2017. Etude in vitro et in vivo des pouvoirs biofongicides des extraits naturels vis-à-vis de l'agent de la fusariose de la tomate : *Fusarium oxysporum f.s.p radicis lycopersici*. Mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem. Page 45.
- Ebrahimzadeh M.A., Pourmmorad F., Hafezi S., 2008. Antioxidant activities of *Iranian corn silk*. *Turkish journal of biology*, 32 :43-49.
- El Hachimi F., Al Faiz C., Bendriss A., Cherrah Y., Alaoui K., 2017. Activité anti-inflammatoire de l'huile des graines de *Ziziphus lotus* (L) Desf. *Phytothérapie*, 15(3) : 147-154.
- EL Mahjoub M., Le Picard D., Czainski Y. 1984. Couche protectrice et appareil de transfert dans les cellules de contact du xylème primaire du Melon (*Cucumis melo L*). *C. R. Acad. Sc.*, 299 : 809-812.
- Elaloui M., Ennajah A., Ghazghazi H., Ben Youssef I., Ben Othman N., Hajlaoui M.R., Khouja A., Laamouri A., 2017. Quantification of total phenols, flavonoides and tannins from *Ziziphus jujuba* (mill.) and *Ziziphus lotus* (l.) (Desf). Leaf extracts and their effects on antioxidant and antibacterial activities. *International Journal of Secondary Metabolite*, 4 (1):18-26.
- F.A.O 2017. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/fr/#compare>, Consulté le 16/05/2021.
- F.A.O 2019. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>, Consulté le 16/05/2021
- Galvan I.J., Mir-Rashed N., Jessulat M., Atanya M., Golshani A. 2008. Antifungal and antioxidant activities of the phytomedicine pipsissewa, *Chimaphila umbellata*. *Phytochemistry* 69 : 738-746

- Gaouar N., 2011. Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. mémoire de magistère en Nutrition. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen, 95p.
- García-Lafuente A, Guillamón E, Villares A, Mauricio A, Jose R, Martinez A. (2009). Flavonoids as anti-inflammatory agents: implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflamm. Res.* 58: 537
- Ghazghazi H., Aouadhi C., Riahi L., Maaroufi A., Hasnaoui B., 2014. Fatty acids composition of Tunisian *Ziziphus lotus L.* (Desf) fruits and variation in biological activities between leaf and fruit extracts. *Natural Product Research*, 28 (14): 1106-1110.
- Ghedira K., 2013. *Ziziphus lotus (L)* Desf. (Rhamnaceae) : jujubier sauvage. *Phytothérapie*, 11 : 149-153.
- Hamza K., Meziani A., 2015. Etude de l'activité biologique de l'extrait Aqueux des feuilles du *Zizyphus lotus L.* Mémoire de master. Université des Frères Mentouri Constantine. Page 38.
- Jourdheuil P., Grison P., Fraval A., 1991. La lutte biologique : un aperçu historique. *Courrier de la cellule environnement INRA*, 15 (15) : 37-60.
- Khoddami A., Wilkes M.A., Roberts T.H., 2013. Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. *Molecules*, 18: 2328-2375.
- King A.R.D., Young G., 1999. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *Journal of the American Dietetic Association*, 99 (2): 213–218.
- Ksouri R., Megdiche W., Falleh H., Trabelsi N., Boulaaba M., Smaoui A., Abdelly C., 2008. Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *C. R. Biologies*, 331 : 865–873.
- Lahlou M, El Mahi M, Mamamouchi J. 2002. Evaluation of antifungal and molluscicidal activities of Moroccan *Ziziphus lotus (L.)* Desf. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 60 :410-414.
- Lahmer N., Messai S., 2017. Etude phytochimique et biologique des extraits aqueux et méthanolique des écorces des racines de *Ziziphus lotus (L.)*. Mémoire de master. Université des frères Mentouri de Constantine. Page 38.

- Liu W., Yin D., Li N., Hou X., Wang D., Li D., Liu J., 2016. Influence of Environmental Factors on the Active Substance Production and Antioxidant Activity in *Potentilla fruticosa* L. and Its Quality Assessment. *Scientific Reports*, 6: 18 p.
- Minerdi D., Bossi S., Gullino M.L., Garibaldi A., 2009. Volatile organic compounds: a potential direct long-distance mechanism for antagonistic action of *Fusarium oxysporum* strain MSA 35. *Environ Microbiol.*, 11 : 844–854.
- Naika S., De Jeude J.V.L., De Goffeau M., Hilmi M., Vandam B., 2005. La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Wageningen, Pays-Bas. P : 6.
- Naili M, Alghazeer R, Saleh N, Al-Najjar A. 2010. Evaluation of antibacterial and antioxidant activities of *Artemisia campestris* (Astraceae) and *Ziziphus lotus* (Rhamnaceae). *Arabian Journal of Chemistry*, 3 :79-84.
- Nefzi A., Jabnoun-Khiareddine H., Aydi Ben Abdallah R., Ammar N., Medimagh-Saïdana S., Haouala R., Daami-Remadi M., 2017. Suppressing Fusarium Crown and Root Rot infections and enhancing the growth of tomato plants by *Lycium arabicum* Schweinf. Ex Boiss. extracts. *South African Journal of Botany*, 113: 288–299.
- Nita-Lazar M., Heyraud A., Gey C., Braccini I., Lienart Y., 2004. Novel oligosaccharides isolated from *Fusarium oxysporum* L. rapidly induce PAL activity in *Rubus* cells. *Acta Biochimica Polonica*, 51: 625–647.
- Park H.J., Cha H.C., 2003. Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. *Korean journal of biological society*, 7: 327-330.
- Pavarini D.P., Pavarini S.P., Niehues M., Lopes N.P., 2012. Exogenous influences on plant secondary metabolite levels. *Anim. Feed Sci. Technol.* 176, 5–16.
- Pomilio AB, Buschi CA, Tomes CN, Viale AA., 1992. Antimicrobial constituents of *Gomphrena martiana* and *Gomphrena boliviana*. *J. Ethnopharmacol.*, 36: 155–61.
- Rais C., 2019. Antimicrobial and antioxidant activity of pulp extracts from three populations of *Ziziphus lotus* (L.). *Nutrition & Food Science*, 49 (6): 1014-1028.
- Rakotoarimanga N., Zananirina J., Ramamonjisoa D., Ramanankierana H., 2014. Lutte biologique antifongique : actinomycètes du sol rhizosphérique de *Fusarium* isolé du fruit de tomate (*Solanum lycopersicum* L., 1753) pourri. *Afrique Science*, 10 (3) : 243 - 255.

- Rojas A., Hernandez L., Pereda-Miranda R., et Mata R., 1992. Screening for antimicrobial activity of crude drug extracts and pure natural products from Mexican medicinal plants. *J. Ethnopharmacol*, 35 : 275-283.
- Rsaissi N., Bouchache M., 2002. La lutte chimique contre le jujubier. Programme National de transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA). Ed. DERD, Rabat, Maroc. 94 p.
- Schofield P., Mbugua D.M., Pell A.N., 2001. Analyses of condensed tannins: a review. *Animal Food and Technology*, 91:21-40.
- Singha I.M., Kakoty Y., Unni B.G., Kalita M.C., Das J., Naglot A., Wann S.B., Singh L., 2011. Control of Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* using leaf extract of *Piper betle* (L.): a preliminary study. *World. J. Microbiol. Biotechnol*, 7 p.
- Singleton V.L., Rossi J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphor molybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Technology Viticulture*, 16: 44-158.
- Sisti M., De-Santi M., Fraternali D., Ninfali P., Scoccianti V., 2008. Antifungal activity of *Rubus ulmifolius* Schott standardized *in vitro* culture. *LWT Food Science and Technology*, 41: 946–950.
- Stanković M., Čurčić S., Zlatić N. Bojović B., 2017. Ecological variability of the phenolic compounds of *Olea europaea* L. leaves from natural habitats and cultivated conditions, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31:3, 499-504.
- Tomsone L., Kruma Z., 2017. Influence of harvest time on the phenolic content of horseradish leaves. *FOODBALT*: 45 – 50.
- Vermerris W, Nicholson R., 2006. Phenolic compound biochemistry, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Worku M., Sahe S., 2018. Review on Disease Management Practice of Tomato Wilt Caused *Fusarium oxysporum* in Case of Ethiopia. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 9 (11). 4 p.
- Yahia Y., Benabderrahim M.A., Tlili N., Bagues M., Nagaz K., 2020. Bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of extracts from different plant parts of two *Ziziphus* Mill. species. *PLoS ONE* 15(5) : e0232599.

- Yarou B.B., Silvie P., Komlan F.A., Mensah A., Alabi T., Verheggen F., Francis F., 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest. *Revue de Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(4) : 288-304.
- Younesi H.M., Zadah H., 2002. Antinociceptique and anti-inflammatory effect of *Corcus sativas* L. stigma and petrol extracts in mice. *BMC pharmacology*, 2(7) :1-8.
- Zebboudj N., Yezli W., Hamini-Kaddar N., Kihal M., 2020. Antifungal activity of lactic acid bacteria against *Fusarium* species responsible for tomato crown and root rots. *Environnemental and Experimental Biology*, 18 :7-13.

Résumé

Les extraits naturels issus des végétaux contiennent une variété de molécules biologiquement actives. La présente étude a été initiée dans le but d'évaluer l'activité antifongique des extraits aqueux préparés à partir des fruits, racines et feuilles de Jujubier spontané (*Ziziphus lotus*). Le test a été effectué sur quatre souches de *Fusarium* : *Fusarium equiseti*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium redolens* et *Fusarium solani*.

La caractérisation des extraits aqueux est basée sur la détermination du rendement d'extraction et le dosage des composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes, tanins condensés) ainsi par l'évaluation *in vitro* et *in vivo* de leur activité antifongique.

Les résultats ont montré que l'extrait aqueux des fruits de *Ziziphus lotus* avaient les rendements d'extraction les plus importants et que tous les extraits aqueux sont riches en composés phénoliques

Pour l'activité antifongique *in vitro*, les extraits aqueux des racines se sont révélés inhibitrices vis-à-vis de la croissance mycélienne des trois espèces fongiques : *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* et *Fusarium solani*. Par contre, l'extrait des feuilles a réagi positivement contre le *Fusarium oxysporum*.

Le test *in vivo* de l'activité antifongique des extraits aqueux a montré que, les champignons *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* sont sensibles vis-à-vis des extraits aqueux des fruits de jujubier spontané. Alors que, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium solani* sont sensibles vis-à-vis de l'extrait aqueux des feuilles de jujubier spontané. Ce qui confirme que tous les extraits aqueux de jujubier spontané présentent une efficacité importante vis-à-vis de l'ensemble des champignons phytopathogènes testé.

Notre étude apporte des résultats intéressants et satisfaisants sur l'application des extraits aqueux de jujubier (*Ziziphus lotus*) comme solutions alternatives remplaçant les produits chimiques.

Mots clés : Activité antifongique ; Extraits aqueux ; *Fusarium ssp.* ; *In vitro* ; *In vivo* ; Tomate ; *Ziziphus lotus*.

Abstract

Natural extracts from plants contain a variety of biologically active molecules. The present study was initiated to evaluate the antifungal activity of aqueous extracts prepared from fruits, roots and leaves of spontaneous jujube (*Ziziphus lotus*). The test was performed on four strains of *Fusarium*: *Fusarium equiseti*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium redolens* and *Fusarium solani*.

The characterization of the aqueous extracts is based on the determination of the extraction yield and the determination of the phenolic compounds (total polyphenols, flavonoids, condensed tannins) as well as the *in vitro* and *in vivo* evaluation of their anti-fungal activity.

The results showed that the aqueous extract of *Ziziphus lotus* fruits had the highest extraction yields and that all aqueous extracts are rich in phenolic compounds.

For the *in vitro* antifungal activity, Aqueous extract of roots were found to be inhibitory to the mycelial growth of the three species: *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* and *Fusarium solani*. On the other hand, the leaf aqueous extract reacted positively on *Fusarium oxysporum*.

In vivo test of the antifungal activity of the aqueous extracts showed that, the fungi *Fusarium equiseti*, *Fusarium redolens* are sensitive towards the aqueous extracts of spontaneous jujube fruits. While, *Fusarium oxysporum* and *Fusarium solani* are sensitive to the aqueous extract of spontaneous jujube leaves. This confirms that all aqueous extracts of spontaneous jujube show a good efficacy against all tested plant pathogenic fungi.

Our study provides interesting and satisfactory results on the application of aqueous extracts of jujube (*Ziziphus lotus*) as alternative solutions to chemical products.

Key words: Antifungal activity; Aqueous extract; *Fusarium ssp.*; *In vitro*; *In vivo*; Tomato; *Ziziphus lotus*.

المخلص

تحتوي المستخلصات الطبيعية من النباتات على مجموعة متنوعة من الجزيئات النشطة بيولوجيًا. بدأت الدراسة الحالية بهدف تقييم الفعالية المضادة للفطريات للمستخلصات المائية المحضرة من ثمار وجذور وأوراق السدر. تم إجراء الاختبار على أربع سلالات من الفيزاريوم.

يعتمد توصيف المستخلصات المائية على تحديد محصول الاستخراج وتحديد المركبات الفينولية (البوليفينول الكلي، الفلافونويد، التانينات المكثفة) وكذلك التقييم في المختبر وعلى النباتات لنشاطها المضاد للفطريات.

أظهرت النتائج أن المستخلص المائي لثمار السدر كان له أعلى محصول استخراج وأن جميع المستخلصات المائية غنية بالمركبات الفينولية.

بالنسبة للنشاط المضاد للفطريات في المختبر، فقد ثبت أن الجذور تمنع النمو الفطري لثلاثة أنواع: *Fusarium equiseti*، *Fusarium solani*، *Fusarium redolens*. من ناحية أخرى، تفاعل مستخلص الأوراق بشكل إيجابي على *Fusarium oxysporum*.

أظهر الاختبار على النباتات للنشاط المضاد للفطريات للمستخلصات المائية أن الفطريات: *Fusarium equiseti* و *Fusarium redolens* حساسة للمستخلصات المائية لثمار السدر. في حين أن *Fusarium oxysporum* و *Fusarium solani* حساسان للمستخلص المائي لأوراق شجرة السدر. هذا يؤكد أن جميع المستخلصات المائية للسدر تظهر فعالية ممتازة فيما يتعلق بجميع الفطريات الممرضة للنبات التي تم اختبارها.

تقدم دراستنا نتائج مثيرة للاهتمام ومرضية حول تطبيق المستخلصات المائية للسدر كحلول بديلة لتحل محل المواد الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: نشاط مضاد للفطريات؛ مستخلص مائي؛ فطريات الفيزاريوم؛ في المختبر؛ في الجسم الحي؛ طماطم؛ نبات السدر.