

Les Alternarioses (*Alternaria* spp.) des agrumes: Diagnostic et méthodes de lutte

H. ACHETBI¹, S. AMIRI¹, R. LAHLALI¹

(Reçu le 02/01/2021; Accepté le 12/02/2021)

Résumé

Les alternarioses provoquent principalement la maladie des taches brunes et la pourriture noire des fruits d'agrumes et sont causées par *Alternaria alternata* f.sp *citri*, *A. citri* et *Alternaria alternata*. Ces pathogènes sont responsables des dommages aux produits agricoles au champ et en post-récolte. Ils attaquent les feuilles, les tiges et les fruits. Les espèces d'*Alternaria* sont des nécrotrophes. Elles tuent les cellules végétales par la production de toxines. La caractérisation moléculaire par PCR conventionnelle et en temps réel se sont avérées utiles pour identifier les espèces d'*Alternaria*. Afin de contrôler efficacement les alternarioses des agrumes, des mesures prophylactiques ont été adoptés. Ainsi, plusieurs études ont rapporté l'utilisation des cultivars résistants et certains isolats de *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, et certains extraits de plantes comme agents de biocontrôle dans la gestion des alternarioses des agrumes. Cependant, la lutte contre cette maladie dépend encore largement des applications de fongicides à base de difénoconazole, le mancozèbe et les composés de cuivre. L'Imazalil et le Pyriméthanol sont les seuls produits homologués contre *Alternaria* sp. sur agrumes au Maroc.

Mots clés: *Alternaria alternata*, *Alternaria citri*, pourriture noire, tache brune, caractérisation moléculaire, biocontrôle, fongicides

Alternaria diseases of citrus: Diagnosis and control methods

Abstract

Alternaria species causes brown spot disease and black rot in citrus fruits and are mainly due to *Alternaria alternata* f.sp *citri*, *A. citri* and *Alternaria alternata*. These pathogens are responsible for important damage to agricultural products both in the field and in post-harvest. They attack leaves, stems and fruits. *Alternaria* species are necrotrophs. They kill plant cells by producing toxins. Molecular characterization by conventional and real-time PCR have been shown to be useful in identifying *Alternaria* species. To control effectively the brown spot of citrus, prophylactic measures have been adopted. Thus, several studies have reported the use of resistant cultivars and certain isolates of *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, and certain plant extracts as biocontrol agents in the management of brown spot in citrus. However, the control of this disease is still largely dependent on the applications of fungicides based on difenoconazole, mancozeb and copper compounds. Imazalil and Pyrimethanol are the only products registered against *Alternaria* sp. on citrus in Morocco.

Keywords: *Alternaria alternata*, *Alternaria citri*, Citrus, black rot, brown spot, molecular characterization, biocontrol, fungicides

INTRODUCTION

Les agrumes sont des arbres fruitiers largement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales à travers le monde (Liu *et al.*, 2012). Le Brésil, la Chine, les États-Unis et le Mexique sont les pays les plus producteurs d'agrumes dans le monde (USDA, 2020). L'industrie des agrumes joue un rôle socio-économique important au Maroc (Jaouad *et al.*, 2020). Elle participe à l'équilibre de la balance commerciale du pays, grâce à des exportations moyennes au-delà de 600 000 tonnes par an sur les 5 dernières années (Maroc citrus) et qui représente une source importante de devises pour un équivalent de 3 milliards DH par an. Cependant, la production et la commercialisation des agrumes sont gravement affectées par des agents pathogènes fongiques, qui infectent les fruits avant et après la récolte. Les maladies typiques avant la récolte sont la pourriture brune (causée par *Phytophthora citrophthora*), la tache brune (*A. alternata* f. sp. *citri*), et/ou phomosis (*Lasioidiplodia theobromae*, Diaporthe *citri*) et l'antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Piccirillo *et al.*, 2018; Azevedo *et al.*, 2019).

L'agent pathogène *Alternaria* provoque principalement deux maladies sur les agrumes: la maladie des taches brunes et la pourriture noire. Ces deux maladies commencent par des taches nécrotiques d'une coloration brune foncée à noire sur le fruit et se manifestent par des taches

nécrotiques noires sur les feuilles qui peuvent suivre les nervures. Elles peuvent se produire également sur les rameaux sous forme de lésions noires (Timmer, 1998). La pourriture noire d'*Alternaria* infecte surtout l'extrémité pédonculaire des fruits. Elle est considérée comme une maladie mondiale, produisant la pourriture interne de tous les agrumes commerciaux (Akimitsu *et al.*, 2003). La plupart de ces maladies de pré-récolte s'expriment lorsqu'elles trouvent des conditions propices à leur développement dans la période post-récolte (Botina *et al.*, 2019).

L'alternariose est considérée l'une des maladies endémiques et émergentes dont les agents pathogènes sont potentiellement nocifs pour l'industrie des agrumes dans la région méditerranéenne (Khanchouch *et al.*, 2017). La lutte contre cette maladie s'avère difficile vue son occurrence au champ et en post-récolte. Bien que certaines pratiques culturelles puissent réduire la sévérité de la maladie, la lutte contre la tache brune dépend encore largement des applications de fongicides (Vicent *et al.*, 2007). C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente synthèse bibliographique qui a comme principaux objectifs: **i)** Diagnostiquer les principales maladies causées par *Alternaria* spp.; **ii)** Évaluer l'importance des Alternarioses et les dégâts qu'elles engendrent; **iii)** Énumérer les différents agents pathogènes responsables de ces maladies; et **iv)** Établir la protection phytosanitaire des agrumes contre *Alternaria* spp.

¹ Département de Protection des Plantes et de l'Environnement, École Nationale d'Agriculture de Meknès, Maroc

LES ALTERNARIOSES DES AGRUMES

Historique

La maladie des taches brunes a été signalée pour la première fois sur mandarine en Australie en 1903 (Cobb, 1903) et l'agent causal a été identifié comme une espèce d'*Alternaria* en 1959, après qu'un certain nombre d'organismes aient été étudiés comme pathogènes possibles (Kiely, 1964; Pegg, 1966). La maladie est apparue plus tard aux États-Unis (Whiteside, 1976), et se produit également en Israël (Solel, 1991), en Turquie (Canihos *et al.*, 1997), en Espagne (Vicent *et al.*, 2000), au Brésil et en Argentine (Peres *et al.*, 2003).

En raison de la similitude morphologique entre les agents pathogènes de la tache brune et de la pourriture noire, l'ancien a été identifié comme *A. citri* Ellis & Pierce (Pegg, 1966; Whiteside, 1976), un champignon qui avait été décrit pour la première fois comme la cause de la pourriture noire des agrumes. Plus récemment, l'agent pathogène qui affecte les mandarines a été classé comme *A. alternata* et Solel (1991) a désigné l'agent causal comme *A. alternata* f.sp *citri*.

Classification et biologie

Les champignons du genre *Alternaria* sont des Deuteromycètes (syn. Adélomycètes, fungi imperfecti). Cette classe renferme tous les champignons à mycélium cloisonné dont la forme de reproduction est généralement inconnue mais possèdent un mode de multiplication asexuée, par conidies. Certaines espèces d'*Alternaria* ont une reproduction sexuée et leur forme parfaite appartient aux Loculoascomycètes (genre Pleospora ou Lewia) (Erikson et Hawksworth, 1991).

Les *Alternaria* sont classés dans l'ordre des hyphales (Syn. Moniliales), ayant des conidiophores peu différenciés, libres, disséminés sur le substrat et à croissance sympodiale et des conidies qui se forment hors d'un concept spécial. La coloration foncée de leur mycélium et de leurs conidies les classent dans la famille des Dematiaceae (Agrios, 2005).

Les espèces du genre *Alternaria* possèdent des conidies septées avec des cloisons transversales et longitudinales, les cellules sont multi-nucléées (pluricellulaires) de couleur foncée généralement piriformes ou ovotides de tailles variables selon les espèces. Elles possèdent un pigment de type mélanine qui leur servent de protection contre des conditions environnementales défavorables notamment la résistance aux microbes et enzymes hydrolytiques (Rotem, 1994).

Distribution dans le monde

L'alternariose aux taches brunes dont l'agent causal est un pathotype d'*Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., est répandu dans les zones de production d'agrumes humides comme la Floride, le Brésil, l'Argentine, la Colombie, Cuba, le Pérou et la Chine, mais aussi dans les régions méditerranéennes avec des hivers frais et humides et des étés chauds et secs comme l'Espagne, l'Italie, la Grèce, la Turquie et Israël (Tableau 1) (Bassimba *et al.*, 2014).

Importance des Alternarioses des agrumes

Les espèces d'*Alternaria* sont associées à des maladies des plantes provoquant la détérioration des produits agricoles avec des pertes économiques conséquentes. Les aliments végétaux infectés par la pourriture noire ne sont évidemment pas adaptés à la consommation. Étant donné que les consommateurs rejetteront les fruits visiblement moisissés

ou pourris. En plus, les produits végétaux transformés peuvent introduire des quantités élevées de toxines dans l'alimentation humaine si les fruits pourris ou moisissés ne sont pas éliminés. L'accumulation de mycotoxines dans les fruits et légumes peut se produire au champ, pendant la récolte, en post-récolte et pendant le stockage (Patriarca et Pinto, 2018). En plus, la sévérité élevée et la difficulté de contrôler la maladie, en particulier dans les régions à forte humidité, ont conduit à l'abandon des vergers de variétés très sensibles (Timmer *et al.*, 2000).

Pacheco *et al.* (2012) ont affirmé que la forte sensibilité des principales variétés plantées à São Paulo à la tache brune, principalement la mandarine de Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco), et le tangor Murcott [*C. sinensis* (L.) Osbeck × *C. reticulata* Blanco] a rendu leur production non rentable, car des applications fréquentes de produits agro-chimiques sont nécessaires pour contrôler la maladie. En raison de l'augmentation des coûts de production, les producteurs d'agrumes préfèrent éradiquer leurs vergers de mandarines, comme en témoigne le déclin de la production brésilienne de mandarines fraîches, qui est passée de 1 270 108 tonnes en 2006 à 1 079 697 tonnes en 2008 et aussi par le déclin de la superficie plantée totale de 60 993 ha à 54 003 ha au cours de la même période.

Les principales Alternarioses des agrumes: La tache brune et la pourriture noire

Les espèces d'*Alternaria* provoquent deux maladies principales des agrumes: la tache brune des mandarines (*Citrus reticulata* Blanco) et la pourriture noire de plusieurs fruits d'agrumes (Timmer *et al.*, 2003).

Maladie des taches brunes

La tache brune est une maladie grave des mandarines (*Citrus reticulata*) et de leurs hybrides en Floride et dans les régions de croissance les plus humides et semi-arides (Timmer, 1998). Elle est considérée comme la maladie fongique la plus grave dans les vergers de mandarines et

Tableau 1: Distribution d'*Alternaria alternata* dans le monde (Troncoso-Rojas et Tiznado-Hernández, 2014)

Pays	Référence
Pakistan	Fatima <i>et al.</i> , (2009)
Australie	Hartveld <i>et al.</i> , (2013)
Chine	Gao <i>et al.</i> , (2013)
Bangladesh	Bashar <i>et al.</i> , (2012)
Mexique	Espinoza-Verduzco <i>et al.</i> , (2012)
Corée	Kwon <i>et al.</i> , (2011)
Grèce	Elena, (2006)
Oman	Al-Sadi <i>et al.</i> , (2011)
Argentine	Pose <i>et al.</i> , (2010)
Japon	Taba <i>et al.</i> , (2009)
Inde	Hubballi <i>et al.</i> , (2010)
Bulgarie	Mirkova et Konstantinova, (2003)
Espagne	Vicent <i>et al.</i> , (2000)
Iran	Golmohammadi <i>et al.</i> , (2006)
Pérou	Marín <i>et al.</i> , (2006)
Brésil	Peres <i>et al.</i> , (2003)
États-Unis, Colombie, Turquie, Afrique du Sud et Israël	Peever <i>et al.</i> , (2002)

de leurs hybrides. Depuis son apparition au Brésil en 2001, cette maladie a conduit à l'abandon des vergers commerciaux de variétés très sensibles. Il s'est largement répandu et est devenu plus sévère dans les zones de climat humide, où le contrôle est très difficile (Stuart *et al.*, 2009).

Maladie de la pourriture noire

La pourriture noire des agrumes est un problème important en post-récolte qui peut apparaître même dans le champ. La maladie survient le plus souvent sur les oranges (Navel) (*C. sinensis* (L.) Osbeck) au champ et sur les mandarines et leurs hybrides en stockage (Brown et McCornack, 1972). C'est aussi un problème courant sur les citrons stockés (*C. limon* (L.) Burm.) et affecte probablement tous les agrumes dans les conditions appropriées. La maladie est plus répandue dans les zones de production d'agrumes au climat méditerranéen caractérisé par des hivers frais et humides et des étés chauds et secs que dans les zones humides (Brown et Eckert, 2000). L'infection peut se produire par des blessures ou des ouvertures naturelles dans l'extrémité styloïde du fruit.

La pourriture alternarienne se produit également sous forme de pourriture pédonculaire sur les fruits conservés au froid. La maladie peut réduire considérablement le rendement et les pertes annuelles de fruits. En termes de qualité des fruits, cette maladie peut être un problème sérieux pour le marché des fruits frais ainsi que pour l'industrie de transformation. *Alternaria* se trouve sur les agrumes comme pourriture pédonculaire et comme pourriture interne du noyau ou pourriture noire. *Alternaria citri* Ellis & Pierce ou *A. alternata* Fr. (Keissler) provoque ces pourritures (El-sayed et Hagag, 2014).

En post-récolte, les fruits jeunes, verts et physiologiquement affaiblis sont plus sensibles. L'agent pathogène pénètre par l'extrémité styloïde ou par les blessures dans l'écorce (Chakraborty *et al.*, 2014).

Agent causal

La classification phylogénétique des espèces d'*Alternaria* associées aux agrumes n'était pas claire au fil du temps. Les isolats causant la tache brune étaient à l'origine classés comme *A. citri* en raison de leur similitude morphologique avec les isolats causant la pourriture noire (Kiely, 1964; Pegg, 1966). Une analyse plus approfondie, basée sur les descriptions de la morphologie et de la taille des conidies, a révélé leur similitude avec *A. alternata* (Nishimura & Kohmoto, 1983). Ils étaient également appelés *A. alternata* f.sp. *citri* (Solel, 1991) pour les différencier des isolats saprophytes d'*A. alternata* et appelés aussi *A. alternata* f.sp. *citri* des mandarines pour les différencier des isolats qui infectent le citron rugueux (*Citrus jambhiri*). En plus, Simmons (1990) a déclaré que la plupart des champignons *Alternaria* associés aux agrumes qu'il avait examinés ne pouvaient pas être placés dans *A. citri*. Peever *et al.* (2005) ont proposé de classer tous les isolats d'*Alternaria* associés aux agrumes à petites spores dans la seule espèce phylogénétique *A. alternata*.

Cependant, certaines études indiquent que *A. citri* est l'agent pathogène responsable de la pourriture des fruits des agrumes (Shehata *et al.*, 2018). De son côté, Katoh *et al.* (2006) ont déclaré qu'*Alternaria citri* provoque la pourriture noire des fruits en post-récolte sur une large gamme de cultivars d'agrumes. Chakraborty *et al.* (2014) ont également indiqué que cet agent pathogène cause la pourriture de l'extrémité du pédoncule.

Plus récemment, Moosa *et al.* (2019) ont indiqué que l'alternariose attaquant les mandarines (*Citrus reticulata*) est causée par *Alternaria arborescens*.

Morphologie

Des études morphologiques ont montré que les colonies typiques d'*A. Alternata* sont de couleur vert laitue à vert olive et ont généralement une marge blanche proéminente (2–5 mm) lors de la croissance sur PDA (Figure 1). Les

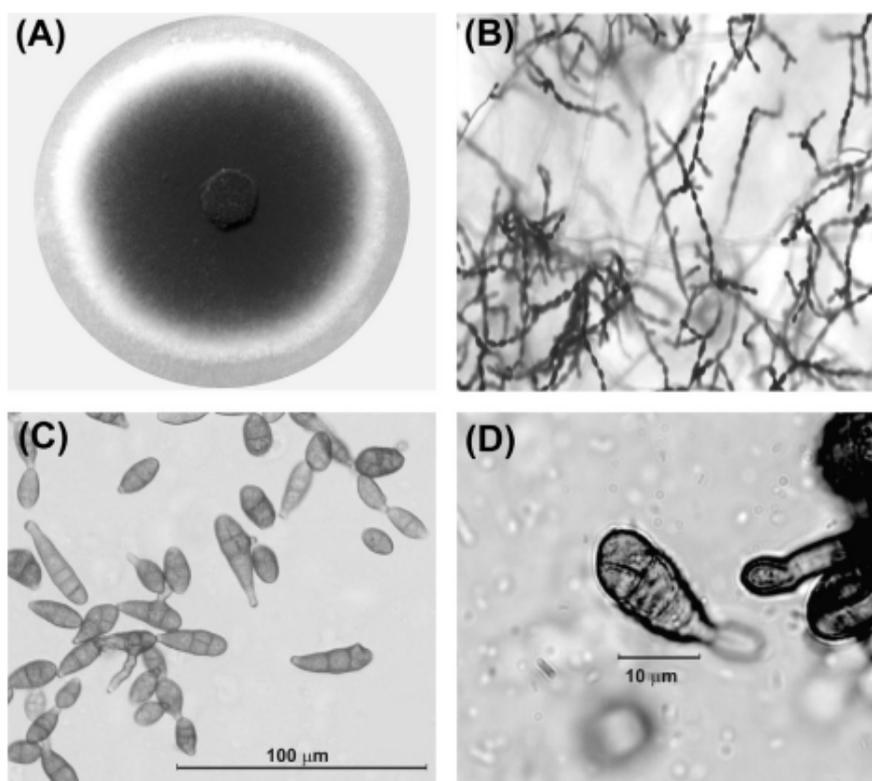


Figure 1: Morphologie d'*Alternaria alternata*. (A) Colonies d'*A. Alternata* poussant sur PDA. (B) Chaînes conidiennes et ramification de chaîne d'*A. Alternata*. (C) Conidies à $\times 40$. (D) Conidies à $\times 100$ (Prof. Barry Pryor, Plant Pathology, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA).

isolats produisent généralement des colonies de plus de 70 mm de diamètre après 7 à 10 jours. Sur la base de l'habitude de sporulation des colonies à spores simples, *A. alternata* se distingue par la formation de chaînes conidiennes de six à 14 conidies de long et le développement de nombreuses chaînes secondaires, et parfois tertiaires, de deux à huit conidies de long. La ramification des chaînes se produit de manière sympodiale par l'allongement des conidiophores secondaires à partir des cellules conidiales terminales distales et la formation subséquente de conidies. Les petites conidies (20–50 µm de long) sont une caractéristique importante de cette espèce. Les conidies sont de forme ovale, divisés par des parois transversales et verticales, avec un développement minimal des extensions apicales. Les hyphes et les conidiophores sont brun clair et cloisonnés (Pryor et Michailides, 2002).

Symptômes

Maladie des taches brunes

Sur les jeunes fruits, la maladie apparaît sous la forme d'éruptions liégeuses et de taches nécrotiques qui sont souvent associées à une abscission prématurée et à des pertes de rendement substantielles. Sur les fruits mûrs, les taches nécrotiques ont un diamètre de 1 à 10 mm et, bien

que ces lésions ne provoquent pas de pourriture des fruits, la qualité externe du fruit est sérieusement réduite (Tsuge *et al.*, 2012) (Figure 2).

Selon Khanchouch *et al.* (2017), les infections printanières sur les jeunes fruits peuvent entraîner une chute prématurée des fruits. La chute précoce des fruits est courante, surtout si l'infection s'est produite peu de temps après la chute des pétales. Les symptômes sur les fruits sont des lésions circulaires brunes nécrotiques dont la taille peut varier. Les lésions matures ont un aspect liégeux et, dans les lésions plus anciennes, le centre peut se déloger en laissant des traces (Figure 3).

Sur les jeunes feuilles, elle provoque une nécrose avec une défoliation sévère et un dépérissement des rameaux (Tsuge *et al.*, 2012). Dewdney (2013) a également montré que la maladie cause des lésions de brun à noir entourées d'un halo jaune (Figure 4) sur les jeunes fruits, les feuilles et les rameaux. Ces lésions peuvent apparaître dès 36 à 48 heures après l'infection. Les lésions s'agrandissent à mesure que les feuilles mûrissent et peuvent varier en taille de 1 à 10 mm et seront plus grandes si l'infection s'est produite plus tôt dans la saison. La sensibilité des cultivars est également un facteur qui détermine la taille ultime des lésions. Un cultivar moins sensible que Minneola, comme la manda-



Figure 2: Tache brune sur les fruits de la mandarine (Nova) (Myrian Rybak)



Figure 3: Symptômes typiques de la tache brune d'*Alternaria* sur la mandarine «Fortune» (Khanchouch *et al.*, 2017)



Figure 4: Lésions de taches brunes sur (A) les feuilles et sur (B) rameau et jeunes feuilles de tangelo Minneola (Dewdney, 2013)

rine Dancy, aura des lésions plus petites. Si la maladie est sévère, les feuilles peuvent tomber et des pousses entières peuvent flétrir et mourir.

Maladie de la pourriture noire

La pourriture noire se produit principalement sous forme de pourriture centrale où le champignon envahit et colonise la columelle du fruit. Il y a souvent peu de signes externes d'infection, sauf que le fruit est généralement plus intense que les fruits sains (Figure 5).

La pourriture noire du cœur des oranges et des citrons apparaît comme un noircissement interne du fruit. Deux types de pourriture centrale se distinguent dans les mandarines en fonction de la couleur des tissus affectés (gris ou noir). La couleur grise est associée au mycélium gris feutre et la couleur noire à la sporulation (Patriarca et Pinto, 2018). En post-récolte, de petites taches de couleur ocre apparaissent dans les fruits. Le tissu interne du fruit devient mou et noir. La tige et la zone pourrie subissent une décoloration (Chakraborty et al., 2014).

Cycle infectieux

Le processus infectieux mis en place par les champignons du genre *Alternaria* pour infecter leur plante hôte peut se diviser en plusieurs stades: la conservation, la pénétration et l'invasion, la sporulation puis la dissémination.

Source d'inoculum et conservation

Le cycle de la maladie est considéré simple car aucun téléomorphe n'a été associé à *A. alternata*. L'inoculum est largement distribué dans les vergers affectés (Reis et al., 2006). Des souches pathogènes d'*A. Alternata* ont également été détectées dans les feuilles fraîches et sèches des mauvaises herbes appartenant au genre *Sonchus*. En plus, Bassimba et al. (2014) ont déclaré que l'agent pathogène a survécu dans des feuilles symptomatiques immatures tombées sur le sol du verger pendant toute la période d'étude (63 à 76 jours). Les conidiophores émergent à travers les lésions et/ou les stomates des feuilles infectées (Figure 6G-F) qui restent sur l'arbre ou sont tombées sur le sol du verger. Les conidies

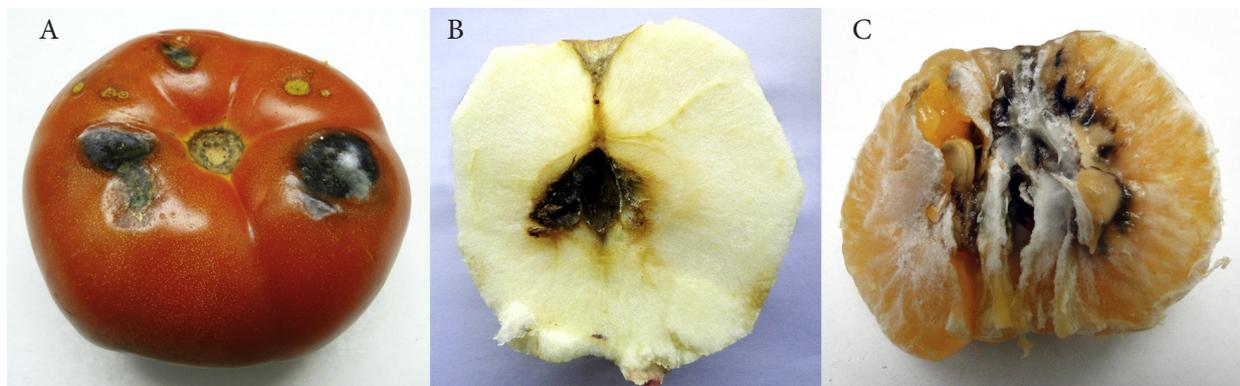


Figure 5: Fruits infectés par *Alternaria* spp (A) Moisissure noire de tomate, (B) pourriture du cœur de la pomme, (C) pourriture noire du cœur de mandarine (Patriarca et Pinto, 2018)

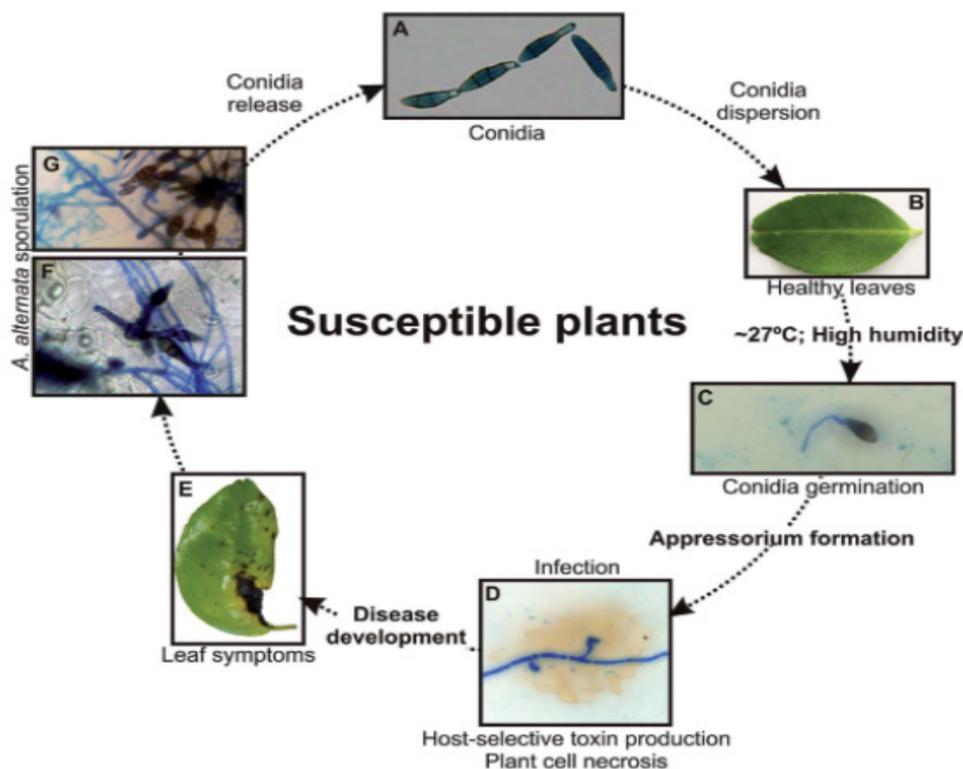


Figure 6: Cycle de la maladie de la tache brune d'*Alternaria*. (A) Conidies d'*A. Alternata*, (B) feuilles sensibles, (C) germination des conidies, (D) formation d'appressorium et production de toxines, (E) symptômes foliaires et (F-G) sporulation des champignons (Stuart et al., 2009)

sont libérées lors des pluies ou des changements soudains d'humidité relative (Timmer, 1998). Ils sont facilement dispersés par les courants de vent et les gouttes de pluie, déposés à la surface des fruits et des feuilles sensibles. Les conidies germent en présence d'humidité (Figure 6C) et l'infection est aussi intense que la durée d'humidité des feuilles (Canihos *et al.*, 1997).

Pénétration

La façon dont le champignon pénètre dans la feuille dépend de différents hôtes, des conditions environnementales et/ou des isolats du pathogène. La pénétration se produit par les stomates ou avec la formation d'appressorium des deux côtés de la feuille. Des études en Floride ont signalé la pénétration uniquement à travers des stomates sans formation d'appressorium (Akimitsu *et al.*, 2003). Cependant, d'autres travaux ont rapporté que la pénétration n'a été signalée qu'avec la formation d'appressorium (Solel et Kimchi, 1997). Stuart *et al.* (2009) ont observé la pénétration exclusivement par la formation d'appressorium sur les côtés adaxiaux et abaxiaux des feuilles du *Citrus reticulata* (Figure 6D).

Sporulation et dissémination

La sporulation commence environ 10 jours après l'apparition des symptômes notamment sur les vieilles lésions sur les feuilles matures (Reis *et al.*, 2006). Les spores asexuées du champignon sont à parois épaisses, multicellulaires et pigmentées et tolèrent donc des conditions défavorables comme le temps sec. La production de spores se poursuit jusqu'à 50 jours après l'infection (Dewdney, 2013) et était abondante entre 20 à 40 jours (Reis *et al.*, 2006). La production de conidies était beaucoup plus importante sur les feuilles que sur les lésions des fruits ou des rameaux. Les spores sont véhiculées par l'air et leur libération dans l'air est déclenchée par les précipitations ou par une forte variation de l'humidité relative (Dewdney, 2013). Les conidiophores produisent des conidies qui sont libérées et déposées à la surface des fruits et des feuilles sensibles, amorçant un nouveau cycle de maladie (Reis *et al.*, 2006).

Période d'infection

Bassimba *et al.* (2014) ont déclaré qu'en 2011 en Espagne, les infections se sont principalement propagées au printemps et en automne, certaines infections également en été. Cependant, en 2012, les infections se sont concentrées presque exclusivement en automne, avec une seule période d'infection au printemps. En plus, l'analyse de l'arbre de classification a indiqué que pratiquement toutes les infections se sont produites pendant des semaines avec des précipitations $\geq 2,5$ mm et une température moyenne $\geq 12,5$ °C. Cela est en opposition avec le scénario décrit dans les zones humides de Floride, où les plantes-pièges ont été infectées toute l'année et l'été a été considéré comme la période critique de l'infection (Timmer, 1998; Timmer *et al.*, 2000).

Conditions favorables

Climat

La tache brune d'*Alternaria* est une maladie grave dans les zones humides et des cultivars souvent très sensibles ne peuvent pas être cultivés dans ces régions. Cependant, même dans les zones semi-arides, cette maladie peut être un problème important. Dans une grande partie de la région

méditerranéenne, les pluies sont rares après la floraison et la nouaison. Néanmoins, les rosées prolongées fournissent apparemment suffisamment d'humidité pour permettre l'infection (Canihos *et al.*, 1997).

La sévérité de la maladie pendant les jours de pluie était presque le double de celle durant les jours sans pluie, mais une infection considérable s'est produite pendant les jours avec une durée supérieure à 10 h d'humidité foliaire et sans pluie. L'infection était plus élevée pendant les jours avec des températures de 20 à 28 °C et légèrement moins à des températures inférieures ou supérieures (Timmer *et al.*, 2000). Les conidies sont produites à la surface de la lésion, puis libérées par la pluie (Timmer, 1998). Les mandarines peuvent être plus sujettes aux infections que les oranges si elles sont conservées au-dessus de 8°C pendant plusieurs semaines (Hall, 1973). Les oranges douces conservées à 1°C pendant 4 à 12 semaines se sont révélés présenter une faible incidence de pourriture à *Alternaria* (Smoot, 1969). Le pamplemousse développe une incidence élevée de pourriture de s'il est soumis à des températures glaciales (Shiffman-Nadel *et al.*, 1975).

Pratiques culturales

Comme l'ont rapporté Troncoso-Rojas et Tiznado-Hernández (2014), les pratiques culturales peuvent être liées à l'infection par les agents pathogènes à *Alternaria*. Parmi ces pratiques culturales, l'humidité du sol qui est un facteur majeur affectant les conditions de croissance des plantes. En effet, la prédisposition aux maladies à *Alternaria* est affectée par un approvisionnement en eau qui est soit déficient ou abondant. L'effet d'une faible humidité se traduit par un développement accru de certaines maladies alternariennes pendant les années sèches plutôt que pluvieuses.

Un autre facteur culturel qui affecte les conditions de croissance des plantes et a également un effet sur le développement des maladies à *Alternaria* est la nutrition du sol. Divers rapports décrivent l'action d'un engrais ou d'un autre et sont souvent contradictoires. Des plantes bien fertilisées et peu fertilisées ont montré des niveaux de sensibilité différents dans les expériences en pot, mais les résultats n'ont pas toujours été confirmés par des essais sur le terrain.

La mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella*)

Les observations sur le terrain ont révélé des lésions de la tache brune sur les feuilles attaquées par la mineuse des feuilles d'agrumes. C'est pour cela, Azevedo *et al.* (2015) ont évalué la relation entre l'alternariose aux taches brunes et la mineuse. Ils ont conclu que la présence des dégâts de la mineuse aggrave la sévérité des infections par le champignon *Alternaria alternata* chez les variétés sensibles de mandarine.

Caractérisation moléculaire

Les approches moléculaires par PCR conventionnelle et en temps réel se sont avérées utiles pour distinguer et identifier les espèces d'*Alternaria*. Les résultats de la PCR conventionnelle basés sur les deux gènes d'*A. Alternata*, à savoir le gène de la bêta tubuline et la région ITS ont donné des fragments d'amplification de 184 pb et 340 pb, respectivement.

Par défaut, l'identification d'*A. Alternata* sur la base de ces deux gènes par les deux amorces indiquées dans le tableau 2 devrait donner ces tailles de fragments. Sur la base de cette comparaison authentique, ce champignon a été identifié et confirmé comme *A. alternata* (Basim et al., 2017). Ces résultats ont été confirmés par des études similaires telles que rapportées par (Kang et al., 2002; Kordalewska et al., 2015) qui ont identifié plusieurs espèces d'*Alternaria* et des champignons apparentés sur la base des séquences du gène de la tubuline bêta et de la région ITS de ces agents pathogènes fongiques.

MÉTHODES DE LUTTE

Plusieurs stratégies de gestion ont été proposées pour lutter contre les alternarioses des agrumes. Les pratiques culturales, la thérapie, la résistance des plantes hôtes, l'utilisation des extraits des plantes, la lutte biologique et l'utilisation de fongicides synthétiques sont les principales méthodes adoptées pour lutter contre cette maladie.

Pratiques culturales

Plusieurs pratiques culturales peuvent réduire le risque d'infections à l'alternariose et la gravité de la maladie (Timmer et al., 2003). En pépinière, il est recommandé de cultiver les cultivars sensibles d'agrumes à l'intérieur, pour éviter les infections sur les jeunes pousses et empêcher la dissémination de l'inoculum dans les nouvelles plantations d'agrumes. De nouvelles plantations de cultivars sensibles devraient être établies dans des sites ventilés où les conditions environnementales sont défavorables aux infections et à la sporulation de l'agent causal sur les jeunes feuilles (Khanchouch et al., 2017).

La plantation de nouveaux vergers avec du matériel de pépinière indemne d'alternariose a été utile pour réduire les taches brunes dans les premières années (Timmer et al., 2003). Les vergers initiés à l'aide de souches saines en Floride sont restés relativement indemnes de maladie pendant une durée longue, parfois jusqu'à 6 à 8 ans, même en présence d'inoculum à proximité.

L'évitement de l'irrigation par le haut et l'utilisation de systèmes d'irrigation sous les arbres en Floride ont réduit la sévérité des maladies dans certains vergers. Un espace et une bordure plus larges des arbres permettent une meilleure ventilation et semblent réduire la sévérité de la maladie. Il est recommandé depuis longtemps d'éviter les excès d'irrigation et de la fertilisation azotée pour éviter la production de grandes quantités de tissus sensibles (Whiteside, 1976; Timmer et al., 2000).

Selon Azevedo (2019), l'application de la taille d'hiver a réduit la sévérité et l'incidence de la tache brune d'*alternaria*, sur le fruit de tangor Honey Murcott [*Citrus reticulata* Blanco x *C. sinensis* (L.) Osbeck]. Cette technique a

également entraîné une diminution de la chute des fruits et une augmentation de la productivité.

Thermothérapie

El-sayed et Hagag (2014) ont étudié l'effet des traitements à l'eau chaude sur les pourritures des agrumes y compris la pourriture à *Alternaria*. Les traitements à l'eau chaude à 45, 50 et 55 °C pendant 5 minutes se sont révélés réduire considérablement le pourcentage de viabilité des spores (%) avec tous les champignons testés par rapport aux spores non traitées (témoin). L'effet le plus important a été enregistré avec 55 °C suivi de 50 °C, tandis que 45 °C était moins efficace. Tous les traitements à l'eau chaude ont permis de protéger les fruits inoculés et d'augmenter considérablement la durée de conservation des oranges Navel pendant 30 jours par rapport au témoin non traité. Ils ont constaté que les traitements à l'eau chaude diminuaient considérablement le pourcentage de pourriture des fruits (incidence de la maladie%) ainsi que la sévérité de la maladie (%) dans les fruits inoculés.

Lutte génétique

Le contrôle des alternarioses est principalement basé sur l'application de fongicides. Selon le climat de la région et la sensibilité du cultivar, entre quatre et dix pulvérisations de fongicide par an sont nécessaires pour produire des fruits de qualité pour le marché frais. Même avec ce grand nombre de pulvérisations, la réduction des dommages n'est pas toujours satisfaisante. Ces contraintes obligent les producteurs à supprimer les cultivars sensibles tels que les mandarines «Fortune» ou «Nova» (Cuenca et al., 2016). C'est pour cela, la résistance génétique reste la meilleure option pour le contrôle des maladies (Vicent et al., 2004).

En général, la clémentine (*Citrus clementina* Hort. Ex Tan.) et la mandarine Cléopâtre (*C. reshni* Hort. Tanaka), les limes (*C. latifolia* Tanaka), les citrons (*C. lemon* Burmann) et les oranges douces (*C. sinensis* L. Osbeck) résistent à la tache brune d'*Alternaria* au champ. Cependant, dans des conditions de laboratoire, certains symptômes ont été induits sur les oranges Valencia, Shamouti et Navel «Washington» ainsi que sur le citronnier Volkameriana après l'inoculation par «pathotype» d'*A. alternata* obtenu à partir de tangelo Minneola (Solel et Kimchi, 1997). Des études menées par Cuenca et al. (2016) ont rapporté que la mandarine Dancy est le parent de la plupart des hybrides et des tangelos qui sont sensibles à la maladie (Figure 7).

L'utilisation des composés naturels et des extraits de plantes

Les composés naturels ont montré des résultats très prometteurs dans la lutte contre les agents pathogènes des plantes. L'effet antifongique dépend de leurs caractéristiques chimiques, des espèces de champignons, de la nature de l'hôte et des conditions de stockage des fruits et légumes

Tableau 2: Amorces spécifiques à *Alternaria alternata*

	Amorces spécifiques	Référence
Amorce AAF2 / AAR3	AAF2 (5'-TGCAATCAGCGTCAGTAACAAAT-3'),	Konstantinova et al., (2002)
	AAR3 (5' - ATGGATGCTAGACCTTTGCTGAT- 3')	
Amorce AaltFor / AaltRev	AaltFor (5'-GTGC CTTCCCCCAAGGTCTCCG-3')	Kordalewska et al., (2015)
	AaltRev (5'-CGGA AACGAGGTGGTTCAGGTC-3')	

(Phillips *et al.*, 2012; Mahdavi *et al.*, 2013). Certains composés naturels qui avaient été testés pour contrôler *A. alternata* sont décrits ci-dessous.

Perina *et al.* (2019) a montré que l'huile essentielle de cannelle (*Cinnamomum zeylanicum*) CEO a diminué l'incidence de la maladie de la tache brune dans une plus grande mesure qu'un fongicide commercial à base de cuivre et était comparable à un activateur de plante commercial. Une étude menée par Mahdavi *et al.* (2013) a conclu qu'à 25 °C, les huiles essentielles de séné (*Cassia angustifolia*) et du basilic (*Ocimum basilicum*) à 200 ppm et celles de la menthe pouliot (*Mentha pulegium*) à 200 et 400 ppm ont provoqué des pourcentages d'infection minimum par *A. alternata*. D'autres travaux publiés par Feng et Zheng (2007) avaient pour but d'évaluer l'activité antifongique des huiles essentielles de cinq plantes. Ils ont constaté que l'huile de cassia inhibait complètement la croissance d'*A. Alternata* à 300-500 ppm, tandis que l'huile de thym présentait un degré d'inhibition inférieur: 62% à 500 ppm. Un autre exemple de travaux tel que celui de Garganese *et al.* (2019) sur l'efficacité des composés phénoliques *in vitro* et *in vivo* à l'échelle du laboratoire puis pendant la conservation. Ils ont trouvé que l'ombellifère à une concentration de 1000 µg/plaie était le composé phénolique le plus efficace contre les taches brunes d'*Alternaria* sur les mandarines cv. Fortune en réduisant le pourcentage d'incidence de 86% pendant la conservation. Pour l'essai *in vitro*, Hendophyt (à base de chitosane) a donné les meilleurs résultats en inhibant la croissance des colonies de 93%.



Figure 7: Symptômes observés 48 h après l'inoculation *in vitro* de jeunes feuilles détachées de géotypes témoins. (A) Cultivar sensible «Fortune». (B) Cultivar résistant «CXS0-1».
(Cuenca *et al.*, 2016)

Lutte biologique

Il existe de nombreuses études menées sur la lutte biologique contre *A. Alternata* en utilisant des agents de lutte biologique tels que les champignons (Tozlu *et al.*, 2018) et les bactéries (Abbo *et al.*, 2014 ; Abdalla *et al.*, 2014).

Dans des conditions *in vivo*, l'utilisation de *T. harzianum* (10^8 spore/ml), *B. subtilis* (3×10^7 à 3.1×10^7 ufc/g), Bio-ARC (*B. megaterium* 6% (25×10^6 cellules bactériennes/g)) et Bio Zeid (*Trichoderma album* 2.5% (1×10^7 spores /g)) a diminué l'incidence de la pourriture des agrumes. *T. harzianum* et *B. subtilis* ont été pulvérisés sur l'arbre à raison de 10^8 spores/ml et 10^7 ufc/ml respectivement. Tous ces bioagents ont été pulvérisés sous forme de suspensions à raison de 5 g / litre d'eau. En effet, *T. harzianum* a montré l'effet inhibiteur le plus élevé (84%) contre l'agent pathogène de la pourriture des agrumes. En général, tous les bio-agents testés étaient efficaces contre le champignon causal dans les essais *in vitro* et *in vivo*, mais à des degrés différents (Shehata *et al.*, 2018).

Selon Shehata *et al.* (2018), des essais *in vitro* de *Trichoderma harzianum* et *Bacillus subtilis* ont montré un effet d'action antagoniste sur un isolat hautement pathogène d'*Alternaria citri*, avec différents degrés d'inhibition. *T. harzianum* était le plus efficace (86.7%) par rapport à *B. subtilis* (69.4%).

Sempere et Santamarina (2007) ont analysé l'espèce *Trichoderma harzianum* comme agent possible de lutte biologique contre *Alternaria alternata* avec différentes valeurs d'activité de l'eau (0,995, 0,98 et 0,95) à 15°C et à 25°C. *T. harzianum* a montré une dominance par contact sur *A. alternata* à toutes les températures d'essai et activités de l'eau testées, sauf à 0,95 a_w et 15 °C, où *T. harzianum* a inhibé *A. alternata* à distance.

Les isolats bactériens de *B. subtilis* TV-17C, *A. rubi* RK-33 (Tozlu *et al.*, 2019), *B. pumilus* TV 67C, *B. subtilis* TV 6F et *B. megaterium* TV 87A en suspension 10^8 ufc/ml étaient les isolats les plus efficaces contre des isolats d'*Alternaria alternata* *in vitro*. Les isolats de *Trichoderma harzianum* ET 4 et ET 14 l'ont également inhibé *in vitro* avec des pourcentages d'inhibition respectivement 73,9% - 83,3% et 55,8% -74,4% (Tozlu *et al.*, 2018).

Une autre étude menée par Tekiner *et al.* (2019), il s'agit de tester neuf isolats bactériens en double culture [*Bacillus megaterium* (TV 3D), *Bacillus subtilis* (TV 6F, TV 17C, CP 1), *Bacillus cereus* (TV 85D), *Paenibacillus polymyxa* (TV 12E), *Pantoea agglomerans* (RK 79, RK 92), *Pseudomonas fluorescens* (MF 3)] et 3 bioagents fongiques [*Trichoderma harzianum* (ET 4, ET 14, NT 1)] pour leurs propriétés antagonistes contre *Alternaria alternata* dans des conditions *in vitro*. Il a été déterminé que tous les bioagents ont un effet inhibiteur sur la croissance du champignon pathogène dans des conditions *in vitro*. Le RK 79 (79,8%) était l'isolat le plus efficace parmi les isolats de bactéries biologiques. Tous les isolats fongiques de bioagents ont montré un effet hyperparasitaire élevé et l'isolat le plus efficace était ET 4 (67,7%).

Lutte chimique

Bien qu'une telle gestion puisse réduire la sévérité de la maladie, la lutte contre la tache brune dépend encore largement des applications de fongicides (Vicent *et al.*, 2007) et, dans certains cas, en fonction de la sensibilité de l'hôte et des conditions météorologiques, les producteurs peuvent appliquer de 2 à 15 pulvérisations de fongicides au cours de la saison de croissance (Vega et Dewdney, 2015).

Des études menées *in vitro* par Farooq *et al.* (2018) ont montré que le mancozèbe et le métalaxyl + mancozèbe ont présenté une inhibition maximale de la croissance mycélienne d'*A. Citri* avec 84,86 et 100% d'inhibition, respectivement à une concentration de 400 ppm. Alors qu'une combinaison d'azoxystrobine et le difénoconazole a présenté une inhibition maximale de la croissance mycélienne d'*A. Citri* jusqu'à 94,95% à une concentration de fongicide de 300 ppm. En plus, le chlorothalonil, l'hexaconazole, la dodine et le difénoconazole étaient les plus efficaces pour inhiber *A. citri* car aucune croissance mycélienne n'a été observée à toutes les concentrations (25, 50, 100, 200 et 400 ppm) et ils ont produit une diminution de 100% de la croissance des mycéliums par rapport au témoin. L'étude a conclu que le fosétyl aluminium était le fongicide le moins efficace contre *A. citri*.

En outre, Shehata *et al.* (2018) ont étudié l'efficacité de plusieurs produits fongicides contre *Alternaria citri* dans des conditions *in vivo*. Score (250%) EC (Difénoconazole), Montoro (30%) EC (Propaconazole-Difénoconazole) et Iprodione (50%) G (Iprodione) étaient les plus efficaces avec des pourcentages de réduction de 96, 96 et 92% respectivement. Ces fongicides ont été utilisés en suspension et pulvérisés sur de vieilles pousses d'agrumes d'orange navel à leur doses recommandées de 0.5 ml/l, 0.4 ml/l et 1.5 g/l respectivement.

Des travaux menés par Solel *et al.* (1997) ont montré que la pulvérisation sur le terrain de métirame (0,2 g m.a./l) et un mélange de cuivre, de mancozèbe et de cyanure de fer (Tri Miltox forte) (0,35 g de produit/l) ont été efficaces pour prévenir l'infection des fruits du Tangelo Minneola. Ces fongicides, ainsi que l'hydroxyde de cuivre, ont été utilisés avec succès en alternance avec l'iprodione, dans des stratégies de gestion visant à retarder le développement de la résistance à l'iprodione par *A. alternata* pv. *Citri*.

Cependant, la résistance développée à l'Iprodione en Israël (Solel *et al.*, 1997) limite son utilisation dans certains vergers. Les fongicides à base de cuivre sont largement utilisés pour lutter contre *Alternaria* en Floride et lorsqu'ils sont appliqués en temps opportun, ils permettent de bien contrôler la maladie. Cependant, les produits en cuivre provoquent des pointillés sur le fruit lorsqu'ils sont appliqués à des températures élevées et doivent être utilisés avec prudence (Timmer *et al.*, 2003).

Stuart *et al.* (2009) ont rapporté que les pulvérisations foliaires de fongicides à base de cuivre sont recommandées pour contrôler et réduire la sévérité de la maladie de l'alternariose sur le terrain. Les fongicides comme les dithiocarbamates, les dicarboximides, les strobilurines et les conazoles sont également efficaces contre *A. alternata* (Tableau 3).

D'après l'étude menée par Sadowsky *et al.*, (2002), les fongicides à base de Strobilurine ont été évalués et se sont révélés efficaces pour lutter contre les taches brunes. L'Azoxystrobine et la Pyraclostrobine sont généralement plus efficaces que la Trifloxystrobine. Les Strobilurines sont des fongicides à site d'action unique et donc sujettes au développement d'une résistance et doivent être alternées ou mélangées avec d'autres produits.

Un certain nombre de produits chimiques ont été testés sur le terrain pour contrôler la tache brune des mandarines (Miles *et al.*, 2005). Il s'est avéré que l'incidence et la sévérité étaient significativement plus faibles dans les traitements à l'azoxystrobine, au méthoxycrylate, à l'iprodione et au chlorothalonil/pyriméthanol.

En Espagne, les composés du cuivre et le mancozèbe sont les seuls fongicides homologués pour le contrôle de la tache brune des agrumes dans la production conventionnelle, et le cuivre est accepté pour la production biologique tant que la dose totale ne dépasse pas 6 kg/ha par an (Vicent *et al.*, 2007).

Perina *et al.* (2019) ont rapporté que les stratégies de lutte contre l'alternariose sont basées sur l'application des fongicides au cuivre et d'un mélange de fongicides Triazole et Strobilurine homologués pour les agrumes dans les vergers brésiliens, car aucun cultivar résistant n'est disponible et aucun fongicide n'est actuellement spécifiquement homologué pour la lutte contre l'Alternariose.

Tableau 3: Les principales matières actives efficaces contre *Alternaria sp*

Matière active	Référence
Difénoconazole	Farooq <i>et al.</i> , (2018); Schutte <i>et al.</i> , (1994); Eckert et Bretschneider, (1981); Stuart <i>et al.</i> , (2009)
Mancozèbe	Krause <i>et al.</i> , (1999); Farooq <i>et al.</i> , (2018); Stuart <i>et al.</i> , (2009); Swart <i>et al.</i> , (1998)
Composés à base de cuivre	Krause <i>et al.</i> , (1999); Stuart <i>et al.</i> , (2009); Vicent <i>et al.</i> , (2007)
Tebuconazole	Schutte <i>et al.</i> , (1994); Stuart <i>et al.</i> , (2009); Swart <i>et al.</i> , (1998)
Azoxystrobine	Sadowsky <i>et al.</i> , (2002); Farooq <i>et al.</i> , (2018); Miles <i>et al.</i> , (2005).
Procymidone	Krause <i>et al.</i> , (1999); Swart <i>et al.</i> , (1998)
Métalaxyl + Mancozèbe ; Azoxystrobine + Difénoconazole; Chlorothalonil, Hexaconazole et Dodine	Farooq <i>et al.</i> , (2018)
Imazalil, 2,4-D	Eckert et Bretschneider, (1981)
Pyraclostrobine	Sadowsky <i>et al.</i> , (2002)

Au Maroc, l'Imazalil et le Pyriméthanol sont les seules matières actives homologuées contre *alternaria* sp sur agrumes. Il s'agit de deux fongicides utilisés dans les traitements de post-récolte (ONSSA, 2020).

Gestion intégrée

Une approche durable de la lutte contre les maladies consiste à combiner plusieurs stratégies de lutte, appelées également gestion intégrée des maladies (IDM).

Selon Cooley (1996), les concepts de l'IDM comprennent:

- Optimiser la lutte contre les maladies d'une manière écologiquement et économiquement rationnelle;
- Mettre l'accent sur l'utilisation coordonnée de multiples tactiques pour améliorer la production agricole;
- Maintenir les dommages causés par la maladie en dessous des niveaux nuisibles tout en minimisant les risques pour l'homme, les animaux, les plantes et l'environnement;
- Développer des techniques de production économiques et prévenir la résistance des maladies aux produits chimiques.

Comme programme de lutte, Cook (1983) a suggéré d'améliorer l'environnement ou les conditions qui exposent l'hôte à l'agent pathogène.

Dans le cas d'*Alternaria*, ce système pourrait inclure la mise en place des brise-vent et l'utilisation des agents antagonistes, selon leur compatibilité.

Cette stratégie repose sur le principe que le pesticide affaiblit le pathogène ou supprime sa population tout en donnant à l'antagoniste un avantage concurrentiel pour coloniser et se multiplier sur l'hôte. Cela pourrait conduire à l'utilisation d'une concentration plus faible de produits chimiques dans la lutte contre les maladies, un facteur souhaitable en termes de protection de l'environnement et de la santé humaine. La lutte biologique est pratiquée dans de nombreuses situations et elle vise souvent la destruction de l'inoculum existant, la suppression du pathogène après infection et l'exclusion du pathogène de l'hôte.

Étant donné que l'agent pathogène est un opportuniste classique, les pratiques culturales, y compris la fertilisation et l'irrigation adéquates, sont également importantes. Les blessures des fruits et la récolte tardive doivent être évitées car l'infection survient principalement chez les fruits blessés et trop mûrs.

CONCLUSION

Les Alternarioses notamment la tache brune et la pourriture noire, causent des dégâts importants aux agrumes à travers le monde. Elles provoquent des symptômes non seulement sur les fruits mais également sur les feuilles et les rameaux. Pour contrôler ces maladies, il est recommandé d'utiliser des plants indemnes de maladie, d'éviter les excès d'irrigation et la fertilisation azotée et d'appliquer la taille d'hiver. Quant à la lutte génétique, la clémentine et les oranges douces sont les plus résistants à la tache brune au champ. En plus, plusieurs études ont rapporté l'utilisation de certains extraits de plantes comme agents de biocontrôle de ces maladies tels que l'huile essentielle de cannelle et de cassia ainsi que le chitosane. La lutte biologique a aussi fait l'objet de plusieurs études. Plusieurs antagonistes

potentiels sont signalés dans la littérature: des bactéries (*Bacillus* spp.) comme des champignons (*Trichoderma* spp). Cependant, certains auteurs ont rapporté que la lutte contre la tache brune dépend encore largement des applications de fongicides. Le Difenoconazole, le Mancozèbe et les composés de cuivre sont les plus efficaces. Pour avoir un bon contrôle de ces maladies, il est recommandé d'adopter une stratégie de gestion intégrée qui consiste à prendre en considération l'ensemble des méthodes disponibles et veiller à leur intégration.

RÉFÉRENCES

- Abdalla, S., A. A. Algam, S., A. Ibrahim, E., M. El Naim, A. (2014). *In Vitro* Screening of *Bacillus* Isolates for Biological Control of Early Blight Disease of Tomato in Shambat Soil. *World Journal of Agricultural Research*, 2: 47-50.
- Abbo, A. S., Idris, M. O. and Hammad A. M. (2014). The antifungal effects of four tomato rhizosphere *Bacillus* spp. against *Alternaria alternata*. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3: 1324-1328.
- Agrios, GN. (2005). Plant pathology. 5th Ed. Elsevier, London. 922: 455
- Akimitsu, K., Peever, T. L., Timmer, L. W. (2003). Molecular, ecological and evolutionary approaches to understanding *Alternaria* diseases of citrus. *Molecular Plant Pathology*, 4: 435-446.
- Azevedo, F. A. de, Martelli, I. B., Polydoro, D. A., Pacheco, C. de A., Schinor, E. H., Bastianel, M. (2015). Positive relationship between citrus leaf miner and *alternaria* brown spot. *Ciência Rural*, 45: 1160-1163.
- Azevedo, F. A. de, Milaneze, T. F., Conceição, P. M. da, Pacheco, C. de A., Martinelli, R., Bastianel, M. (2019). Winter pruning: Option for management against *alternaria* brown spot (*Alteraria alternata* f. sp. *Citri*) in Honey Murcott tangor [*Citrus reticulata* Blanco x *C. sinensis* (L.) Osbeck]. *Australian Journal of Crop Science*, 13:2019, 1631-1637.
- Basim, H., Basim, E., Baki, D., Abdulai, M., Öztürk, N., Balic, R. (2017). Identification and characterization of *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler causing *Ceratonia* Blight disease of carob (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *European Journal of Plant Pathology*, 151: 73-86.
- Bassimba, D. D. M., Mira, J. L., Vicent, A. (2014). Inoculum Sources, Infection Periods, and Effects of Environmental Factors on *Alternaria* Brown Spot of Mandarin in Mediterranean Climate Conditions. *Plant Disease*, 98:409-417.
- Botina A, B. L., García M, M. C., Romero B, Y. (2019). Pre- and post-harvest factors that affect the quality and commercialization of the Tahiti lime. *Scientia Horticulturae*, 257.
- Brown, G. E., Eckert, J. W. (2000). *Alternaria* rot. Page 37 in: Compendium of Citrus Diseases. L. W. Timmer, S. M. Garnsey, and J. H. Graham, eds. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Brown, G. E., and McCornack, A. A. (1972). Decay caused by *Alternaria citri* in Florida citrus fruit. *Plant Dis. Rep.*, 56:909-912.
- Canihos, Y., Erkilic, A., Timmer, L. W. (1997). First Report of *Alternaria* Brown Spot of Minneola Tangelo in Turkey. *Plant Disease*, 81:1214-1214.
- Chakraborty, N., Gupta, N. S., Basu, S. K., Acharya, K. (2014). Postharvest Damages of Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) and Its Management. In N. Sharma (Ed.), Biological Controls for Preventing Food Deterioration (p. 27-40). John Wiley & Sons, Ltd.

- Cobb N.A., (1903). Letters on the diseases of plants – *Alternaria* of the citrus tribe. *Agricultural Gazette N.S.W.*, 14, 955–986.
- Cook, R.J. (1983). The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens. APS Press, American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota.
- Cooley, D.R. (1996). Integrated pest management programs for strawberries in the North-eastern United States. *Plant Disease*, 80: 228-237.
- Cuenca, J., Aleza, P., Garcia-Lor, A., Ollitrault, P., Navarro, L. (2016). Fine Mapping for Identification of Citrus *Alternaria* Brown Spot Candidate Resistance Genes and Development of New SNP Markers for Marker-Assisted Selection. *Frontiers in Plant Science*, 7:1948.
- Dewdney, M. M. (2013). *Alternaria* Brown Spot. Pages 89-91 in: Florida Citrus Pest Management Guide. Univ. Fla. Inst. Food Agric. Sci. Gainesville.
- Eckert, J.W. & Bretschneider, B. (1981). Investigations on new postharvest fungicides for citrus fruits in California. *Proceedings of the International Society of Citriculture 2*: 804-810.
- Erikson, O E. Hawksworth, DJ. (1991). Outline of the ascomycetes. *Syst. Ascomycet.*, 9: 39- 271.
- El-Sayed, M. E. and Hagag, L. F. (2014). Citrus fruit decay and its control. *International Journal of Agricultural Technology* 10:1273-1288.
- Farooq, M., Siddique, M., Ateeq –Ur-Rehman, Golly, M. K., Zib, B., Khan, I., Khan, S., Khan, I., Bakhtiar, M., & Ilyas, N. (2018). Effectiveness of systemic and contact fungicides against *Alternaria citri* the causal organism of citrus brown spot disease in citrus mangroves of Pakistan. *Journal of Agricultural Science and Practice*, 3: 38-45.
- Feng, W., & Zheng, X. (2007). Essential oils to control *Alternaria alternata* *in vitro* and *in vivo*. *Food Control*, 18: 1126-1130.
- Garganese, F., Sanzani, S. M., Di Rella, D., Schena, L., & Ippolito, A. (2019). Pre- and postharvest application of alternative means to control *Alternaria* Brown spot of citrus. *Crop Protection*, 121: 73-79.
- Hall, E.G. (1973). Storage and market diseases of fruits. Green and blue mould rots. Supplement to CSIRO Food Research 33.
- Jaouad, M., Moinina, A., Ezrari, S., Lahlali, R. (2020). Key pests and diseases of citrus trees with emphasis on root rot diseases: An overview. *J. Agri. Sci.*, 1:149-160.
- Kang, J. C., Crous, P. W., Mchau, G. R., Serdani, M., Song, S. M. (2002). Phylogenetic analysis of *Alternaria* spp. associated with apple core rot and citrus black rot in South Africa. *Mycological Research*, 106: 1151–1162
- Katoh, H., Isshiki, A., Masunaka, A., Yamamoto, H., Akimitsu, K. (2006). A Virulence-Reducing Mutation in the Postharvest Citrus Pathogen *Alternaria citri*. *Phytopathology*, 96: 934-940.
- Khanchouch, K., Pane, A., Chriki, A., Cacciola, S. O. (2017). Major and Emerging Fungal Diseases of Citrus in the Mediterranean Region. In H. Gill & H. Garg (Éds.), *Citrus Pathology*. InTech.
- Kiely T.B. (1964). Brown spot of Emperor mandarin. *Agricultural Gazette of New South Wales*, 75: 854–856 illus.
- Konstantinova, P. P., Bonants, J. M., Van Gent-Pelzer, M., Van Der Zouwen, P., Van Der Bulk, R. (2002). Development of specific primers for detection and identification of *Alternaria* spp. in carrot material by PCR and comparison with blotter and plating assays. *Mycological Research*, 106:23–33.
- Kordalewska, M., Brillowska-Dąbrowska, A., Jagielski, T., Dworecka-Kaszak, B. (2015). PCR and real-time PCR assays to detect fungi of *Alternaria alternata* species. *Acta Biochimica Polonica*, 62: 707-712.
- Krause, M., Nel, L., Van Zyl, K. (1999). A guide to the use of pesticides and fungicides in the Republic of South Africa. Department of Agriculture Government Printer, Pretoria.
- Liu, Y., Heying, E., Tanumihardjo, S. A. (2012). History, Global Distribution, and Nutritional Importance of Citrus Fruits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11: 530-545.
- Mahdavi, S., Zakerin, A., Sadeghi, H., Niazmand, A. R. (2013). Antifungal effects of essential oils of three medicinal plants on post-harvest rot of Valencia oranges at normal and storage temperatures. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 5-5.
- Maroc Citrus (2020). <http://maroc-citrus.com/statistiques-2/>, Consulté le 25/06/2020.
- Miles, A. K., Willingham, S. L., Cooke, A. W. (2005). Field evaluation of a plant activator, captan, chlorothalonil, copper hydroxide, iprodione, mancozeb and strobilurins for the control of citrus brown spot of mandarin. *Australasian Plant Pathology*, 34: 63-63.
- Moosa, A., Farzand, A., Abbas, M. F., Sahi, S. T., Khan, S. A., Gleason, M. L. (2020). First report of *Alternaria* brown spot of *Citrus reticulata* cv. 'Kinnow' caused by *Alternaria arborescens* in Pakistan. *Journal of Plant Pathology*, 102: 235-236.
- Nishimura, S., Kohmoto, K. (1983). Host-Specific Toxins and Chemical Structures from *Alternaria* Species. *Annual Review of Phytopathology*, 21: 87-116.
- ONSSA. (2020). Index Phytosanitaire Maroc.
- Pacheco, C. de A., Martelli, I. B., Polydoro, D. A., Schinor, E. H., Pio, R. M., Kupper, K. C., Azevedo, F. A. de. (2012). Resistance and susceptibility of mandarins and their hybrids to *Alternaria alternata*. *Scientia Agricola*, 69:386-392.
- Patriarca, A., & Fernández Pinto, V. (2018). *Alternaria*. In Reference Module in Food Science, Elsevier.
- Peever, T. L., Carpenter-Boggs, L., Timmer, L. W., Carris, L. M., Bhatia, A. (2005). Citrus Black Rot is Caused by Phylogenetically Distinct Lineages of *Alternaria alternata*. *Phytopathology*, 95: 512-518.
- Pegg, K. G. (1966). Studies of a strain of *Alternaria citri* Pierce, the causal organism of brown spot of Emperor mandarin. *Queensl. J. Agric. Anim. Sci.*, 23: 15–28.
- Peres, N. A. R., Agostini, J. P., Timmer, L. W. (2003). Outbreaks of *Alternaria* Brown Spot of Citrus in Brazil and Argentina. *Plant Disease*, 87: 750-750.
- Perina, F. J., de Andrade, C. C. L., Moreira, S. I., Nery, E. M., Ogoshi, C., Alves, E. (2019). Cinnamomun zeylanicum oil and trans-cinnamaldehyde against *Alternaria* brown spot in tangerine: Direct effects and induced resistance. *Phytoparasitica*, 47: 575-589.
- Phillips, C. A., Laird, K., Allen, S. C. (2012). The use of Citri-V™®-An antimicrobial citrus essential oil vapour for the control of *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger* and *Alternaria alternata* *in vitro* and on food. *Food Research International*, 47: 310-314.
- Piccirillo, G., Carrieri, R., Polizzi, G., Azzaro, A., Lahoz, E., Fernández-Ortuño, D., Vitale, A. (2018). *In vitro* and *in vivo* activity of QoI fungicides against *Colletotrichum gloeosporioides* causing fruit anthracnose in *Citrus sinensis*. *Scientia Horticulturae*, 236: 90-95.

- Pryor, B. M., Michailides, T. J. (2002). Morphological, Pathogenic, and Molecular Characterization of *Alternaria* Isolates Associated with *Alternaria* Late Blight of Pistachio. *Phytopathology*, 92: 406-416.
- Reis, R. F., de Goes, A., Mondal, S. N., Shilts, T., Brentu, F. C., Timmer, L. W. (2006). Effect of Lesion Age, Humidity, and Fungicide Application on Sporulation of *Alternaria alternata*, the Cause of Brown Spot of Tangerine. *Plant Disease*, 90: 1051-1054.
- Rotem, J. (1994). The genus *Alternaria*, biology and pathogenicity. APS Press, St. Paul, Minnesota. 326pp.
- Sadowsky A., M. Kimchi, Y. Oren and Z. Solel, (2002). Occurrence and management of *Alternaria* brown spot in Israel. *Phytoparasitica*, 30: 19.
- Schiffman-Nadel, M., Chalutz, E., Waks, J., Dagan, M. (1975). Reduction of chilling injury in grapefruit by thiazobenzazole and benomyl during long term storage. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 100: 270-272.
- Schutte, G.C., Beeton, K.V., Pelsler, K. (1994). Post-harvest control of *Alternaria* navel-end rot with pre-harvest chemical sprays. *Citrus Journal*, 1: 1-3.
- Sempere, F., Santamarina, M. P. (2007). *In vitro* biocontrol analysis of *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler under different environmental conditions. *Mycopathologia*, 163:183-190.
- Shehata, A., Mohammed, A., Mosa, A., Ali, M. (2018). Evaluation of some fungicides and biocontrol agents for controlling of *alternaria* rot on citrus fruits. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 26: 691-699.
- Simmons, E. G. (1990). *Alternaria* themes and variations (27-53). *Mycotaxon*, 37:79-119.
- Smoot, J.J. (1969). Decay of Florida citrus fruits stored in controlled atmosphere and in air. *Proceedings First International Citrus Symposium*, 3: 285-1293.
- Solel, Z. (1991). *Alternaria* brown spot on *Minneola* tangelos in Israel. *Plant Pathology*, 40: 145-147.
- Solel, Z., Kimchi, M., (1997). Histopathology of infection of *Minneola* tangelo by *Alternaria alternata* pv. *citri* and the effect of host and environmental factors in lesion development. *J. Phytopathol.*, 146: 557-561.
- Solel, Z., Oren, Y., Kimchi, M. (1997). Control of *Alternaria* brown spot of *Minneola* tangelo with fungicides. *Crop Protection*, 16: 659-664.
- Stuart, R. M., Bastianel, M., de Azevedo, F. A., Machado, M. A. (2017). *Alternaria* brown spot. *Citrus Research & Technology*, 30: 29-44.
- Swart, S. H., Wingfield, M. J., Swart, W. J., Schutte, G. C. (1998). Chemical control of *Alternaria* brown spot on *Minneola* tangelo in South Africa. *Annals of Applied Biology*, 133: 17-30.
- Tekiner, N., Kotan, R., Tozlu, E., Dadaşoğlu, F. (2019). Determination of Some Biological Control Agents Against *Alternaria* Fruit Rot in Quince. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 34: 25-31.
- Timmer, L. W. (1998). Diseases of fruit and foliage. Pages 107-115 in: *Citrus Health Management*. L. W.
- Timmer, L. W., Darhower, H. M., Zitko, S. E., Peever, T. L., Ibáñez, A. M., Bushong, P. M. (2000). Environmental Factors Affecting the Severity of *Alternaria* Brown Spot of Citrus and Their Potential Use in Timing Fungicide Applications. *Plant Disease*, 84: 638-643.
- Timmer, L. W., Peever, T. L., Solel, Z., Akimitsu, K. (2003). *Alternaria* diseases of citrus-Novel pathosystems. *Phytopathologia Mediterranea*, 42: 14-14.
- Tozlu, E., Kotan, M. Ş., Tekiner, N., Dikbaş, N., Kotan, R. (2019). Biological Control of Postharvest Spoilage in Fresh Mandarins (*Citrus Reticulata* Blanco) Fruits Using Bacteria During Storage. *Erwerbs-Obstbau*, 61:157-164.
- Tozlu, E., Tekiner, N., Kotan, R., Örtücü, S. (2018). Investigation on the biological control of *Alternaria alternata*. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88: 1241-1247.
- Troncoso-Rojas, R., Tiznado-Hernández, M. E. (2014). *Alternaria alternata* (Black Rot, Black Spot). In *Postharvest Decay* (p. 147-187). Elsevier.
- Tsuge, T., Harimoto, Y., Akimitsu, K., Ohtani, K., Kodama, M., Akagi, Y., Egusa, M., Yamamoto, M., Otani, H. (2013). Host-selective toxins produced by the plant pathogenic fungus *Alternaria alternata*. *FEMS Microbiology Reviews*, 37: 44-66.
- USDA, F. (2020). Citrus: World markets and trade.
- Vega, B., Dewdney, M. M. (2015). Sensitivity of *Alternaria alternata* from Citrus to Boscalid and Polymorphism in Iron-Sulfur and in Anchored Membrane Subunits of Succinate Dehydrogenase. *Plant Disease*, 99: 231-239.
- Vicent, A., Armengol, J., García-Jiménez, J. (2007). Rain Fastness and Persistence of Fungicides for Control of *Alternaria* Brown Spot of Citrus. *Plant Disease*, 91: 393-399.
- Vicent, A., Armengol, J., Sales, R., García-Jiménez, J., Alfaro-Lassala, F. (2000). First Report of *Alternaria* Brown Spot of Citrus in Spain. *Plant Disease*, 84: 1044-1044.
- Vicent, A., Badal, J., Asensi, M. J., Sanz, N., Armengol, J., García-Jiménez, J. (2004). Laboratory Evaluation of Citrus Cultivars Susceptibility and Influence of Fruit Size on Fortune Mandarin to Infection by *Alternaria alternata* pv. *Citri*. *European Journal of Plant Pathology*, 110:245-251.
- Whiteside, J.D. (1976). A newly recorded *Alternaria* - induced brown spot disease on Dancy tangerines in Florida. *Plant Disease Reporter*, 60: 326-329.
- Woudenberg, J. H. C., Seidl, M. F., Groenewald, J. Z., de Vries, M., Stielow, J. B., Thomma, B. P. H. J., Crous, P. W. (2015). *Alternaria* section *Alternaria*: Species, formae speciales or pathotypes? *Studies in Mycology*, 82: 1-21.