

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

PRESENTE EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES

GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

Efficacité de certains fongicides sur la pourriture molle à penicillium sur le mandarinier variété « *Citrus reticulata* »

Présenté par : ZOUHRI Anass

Encadré par : Pr. AL FIGUIGI Jamila

Dr. ASFERS Adil

Soutenu le : 19/07/2022

Devant le jury composé de :

- Pr. AL FIGUIGI Jamila
- Dr. ASFERS Adil
- Pr. HALOTI Said
- Pr. FADIL Fatima

Année Universitaire : 2021/2022

Faculté des Sciences et Techniques Fès

B.P. 2202, Route d'Imouzzer FES

+212(0)535608014 /+ 212(0)535609635/+212(0)535602953 - 212(0)535608214

Dédicaces

A Mes Très chers Parents

Je dédie ce mémoire à mes parents, pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études.

Aucun mot, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect,

Trouvez ici, chère mère et cher père, dans ce modeste travail, le fruit de tant de dévouements et de sacrifices ainsi que l'expression de ma gratitude et de mon profond amour. Puisse Dieu leur accorder santé, bonheur, prospérité et longue vie afin que je puisse un jour combler de joie leurs vieux jours.

Cordialement A Mon Chef ZOUHRI Walid et Mon oncles ZOUHRI Khalid, ma considération, et mon amour pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être.

A Mes Oncles, Mes Tantes, Mes Frères

Je leur dédie ce travail pour tous les sacrifices qu'ils n'ont cessé de m'apporter tout au long de mes années d'études. Que Dieu leur apporte le bonheur, les aides à réaliser tous leurs vœux et leur offre un avenir plein de succès.

A Mes Amis

Nulle dédicace ne pourrait exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude pour tous les encouragements et soutiens qu'ils ont consentis à mon égard. Leur offre un avenir plein de succès.

Remerciements

*Tout d'abord, je remercie Mon **Dieu** de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail*

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes vifs remerciements Monsieur **ASFERS Adil** coordinateur du Centre de formation et de recherche de Providence Verte Louata et responsable des traitements phytosanitaires des domaines agricoles du Maroc, pour l'encadrement qu'il m'a prodiguée, sa disponibilité permanente, ainsi que ses encouragements continus qui nous poussent vers l'excellence au travail.*

*Mes plus vifs remerciements s'adressent à Madame **AL FIGUIGUI Jamila**, enseignante au département des Sciences de la Vie à la Faculté des Sciences et Technique de Fès, de m'avoir guidé avec délicatesse et rigueur tout au long de la rédaction de ce manuscrit. Je ne trouverai jamais les mots les plus appropriés pour exprimer la reconnaissance que je lui porte pour tous ses conseils, ses encouragements et pour toutes les fois qu'il a trouvé le temps nécessaire pour m'écouter.*

*Je tiens à remercier également Mme **FADIL Fatima** et Mr. **HALOTI Said**, d'avoir accepté malgré ses préoccupations, de lire et de juger ce travail. Qu'elle trouve ici mes sincères sentiments de gratitude et de respect.*

*Aussi bien, je tiens à remercier Mr. **LAZRAQ Abderrahim**, coordinateur de filière GCB et Mr. **EL GHADRAOUI Lahcen**, Directeur de laboratoire d'Ecologie fonctionnelle et Génie de l'environnement pour leur orientations et conseils tout au long cette formation.*

Finalement, je tiens à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce travail.

Résumé

La filière agrumicole au Maroc fait partie des secteurs générateurs de revenus, mais il existe toujours des pertes accrues qui sont généralement dues aux attaques fongiques les plus répandues chez les agrumes tels que *Penicillium sp.*

Le but de ce travail est de déterminer la concentration minimale des matières actives capables d'empêcher l'apparition et le développement des pourritures molles des agrumes au cours de l'entreposage.

Ce travail a pour objectif de tester dans un premier temps l'efficacité de trois fongicides sur la pourriture à *Pénicillium*, par pulvérisation au verger des mandarines *Nadorcott* et dans un deuxième temps voir l'effet in vivo de six matières actives par trempage des fruits sains avant de les déposer dans la chambre d'entreposage.

La majorité des résultats obtenus confirme l'action significative de Tébuconazole dans la réduction des pourritures évaluée par le nombre de fruits pourris. Au laboratoire l'action de ce fongicide est toujours la meilleure aussi bien en traitement préventif qu'en curatif, néanmoins nous avons aussi noté l'effet positif du Xédathane notamment sur fruits non blessés.

L'utilisation de différents fongicides chimiques, notamment la famille des triazoles ouvre de nouvelles perspectives aux traitements des agrumes en vue d'éviter les pourritures qui se manifestent au cours du transport et de l'entreposage.

Mots clés : *Penicillium sp* ; fongicides ; mandarine *Nadorcott* ; pourriture molle.

Sommaire

Résumé	4
Sommaire	5
Liste d'abréviation.....	8
Liste des figures	10
Liste des tableaux	11
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Partie 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I. Généralités sur les agrumes.....	4
1. Origine.....	4
2. Biologie	4
3. Importance socio-économique	5
3.1 Importance mondiale	5
3.2 Importance nationale.....	5
4. Répartition géographique au Maroc	5
5. Principaux porte-greffes des agrumes	7
5.1 Bigaradier (<i>Citrus aurantium</i> L)	7
5.2 <i>Poncirus trifoliata</i>	8
5.3 <i>Citrangue Carrizo</i>	8
5.4 <i>Citrus volkameriana</i>	8
II. Etat phytosanitaire des agrumes	8
1. Stress abiotiques	8
2. Stress biotiques.....	8
2.1 Maladies virales	8

2.2	Maladies bactériennes	9
2.3	Maladies causées par les insectes et les ravageurs.....	11
2.4	Maladies cryptogamiques	11
III.	Agrumes post-récoltés.....	13
1.	Généralités sur les agents pathogènes : <i>Penicillium digitatum</i> ; <i>Penicillium italicum</i> ..	13
1.1	Taxonomie et symptômes	14
1.2	Morphologie.....	16
1.3	Cycle biologique	17
2.	Moyens de lutte	18
2.1	Moyens prophylactiques	18
2.2	Traitement thermique (thermothérapie).....	19
2.3	Traitement chimique	19
2.4	Moyens biologiques	23
	Partie 2 : MAETRIEL ET METHODES.....	25
I.	Site d'expérimentation	26
II.	Matériel végétal.....	26
III.	Matières chimiques	26
IV.	Matériel fongique	28
V.	Traitements au verger.....	28
VI.	Traitements au laboratoire.....	30
1.	Traitement préventif et curatif sur des fruits blessés.....	30
2.	Traitements préventif et curatif sur des fruits non blessés	32
VII.	Déterminations des paramètres de développement de la pourriture molle.	32
	Partie 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	33
1.	Traitement préventif au verger	34
1.1	Effet des différentes doses de Tébuconazole sur le nombre de fruits pourris.....	34

1.2 Effet des différentes doses de l'association du Tébuconazole et Azoxystrobine sur le nombre de fruits pourris	35
1.3 Effet des différentes doses des produits de Sorbate de potassium sur le nombre de fruits pourris.....	36
2. Essais des traitements en post-récolte	37
2.1 Cas des fruits blessés.....	37
Traitements préventifs.....	37
Traitements curatifs.....	38
2.2 Cas de fruits non blessés	39
Traitements préventifs.....	39
Traitements curatifs.....	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	44

Liste d'abréviation

cc/hl : centimètre cube par 100 Litre.

ha : Hectare

% : Pourcentage

FAO : Food and Agriculture Organization

ORMVAR : Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb

EACCE : Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations

CTV : *Citrus Tristeza virus*

CIRAD : Le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

HLB : Huanglongbing

mm : Millimètre

Kg : Kilogramme

ESIAB : Ecole Supérieure d'Ingénieurs en Agroalimentaire de Bretagne atlantique

°C : degré siliceuse

PEA : 2-phenylethanol

EPA-USA : Agence de la Protection Environnementale

m : Mètre

APNM : Association des Producteurs de Nadorcott au Maroc

SC : Suspension concentrée

ONSSA : Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires

A : Azoxystrobine

T : Tébuconazole

DBAC : Dispositif en Bloc Aléatoire Complet

SNK : Test Student-Newman-Keuls

Liste des figures

Figure 1: Orange infectée par <i>Penicillium digitatum</i>	15
Figure 2: Orange infectée par <i>Penicillium italicum</i>	16
Figure 3: Organisation d'un conidiophore de <i>Penicillium</i> (ESIAB)	17
Figure 4 : Mode d'action des fongicides utilisés : (a) en préinfection, (b) en postinfection	21
Figure 5:Fruit de mandarinier (<i>Citrus reticulata</i>) variété Nadorcott	26
Figure 6: Photo de traitement par le pulvérisateur au verger de Nadorcott.	29
Figure 7: Photo des fruits traités immergés et non immergés déposé au pourrissoir	30
Figure 8: Effet des différentes doses du Tébuconazole sur le nombre de fruits	34
Figure 9: Effet des différentes doses d'un mélange de deux produits (Matiz +Affix) sur le nombre de fruits pourris	35
Figure 10: Effet des différentes doses de Sorbate de potassium sur le nombre de fruits pourris	36
Figure 11: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris	37
Figure 12: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris	38
Figure 13: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris	39
Figure 14: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris	40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition de la superficie agrumicole par région (Maroc citrus)	6
Tableau 2 : Evolution de la production, l'exportation, la consommation intérieure des agrumes au Maroc au cours de 2012 à 2017 (Maroc Citrus, 2019).....	7
Tableau 3: Caractéristiques des fongicides testés (ONSSA., 2018)	27
Tableau 4: Doses de matières actives utilisées à la pulvérisation	28
Tableau 5: Dispositif d'entreposage des fruits de mandarinier Nadorcott traitée par pulvérisation.	29
Tableau 6: Dispositif d'entreposage des fruits de mandarinier Nadorcott traitée par trempage	31

INTRODUCTION GENERALE

La culture des agrumes recouvre une grande partie de l'économie marocaine. Elle occupe une superficie de 125 000 ha et assure une production annuelle de 2 000 000 tonnes (Maroc Citrus, 2017). La région de Souss-Massa-Drâa est le premier producteur d'agrumes au Maroc suivie par le Gharb, la Moulouya, le Tadla, le Haouz et le Loukkos. Les fruits d'agrumes marocains sont exportés vers plusieurs destinations, dont l'Europe, le Canada, les États-Unis et la Russie. Ce secteur agrumicole assure 21 millions de journées de travail (production et conditionnement) et représente une source de devises considérable de l'ordre de 1,60 milliard de dirhams par an (ER-Raki, 2007). L'importance des fruits d'agrumes est attribuée essentiellement à leur richesse en vitamine C (acide ascorbique), en minéraux, en fibres alimentaires, en substances aromatiques, en pigments, en oligo-éléments et à leur potentiel antioxydant (Mokrini, 2006).

Néanmoins, la culture des agrumes est exposée à une pression parasitaire en constante évolution. En effet, les pertes occasionnées par les ravageurs et les agents pathogènes constituent l'un des principaux obstacles durant la production et l'exportation des fruits frais. Ces pertes peuvent se manifester au verger ou en post-récolte, dans les stations de conditionnement pendant la conservation ou lors du transit vers les pays de destination. Les agents responsables de ces pertes sont nombreux et les plus fréquents sont les parasites d'origine fongique tels que : *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, *Geotrichum citri-aurantii* et *Phytophthora sp.* À l'échelle nationale, il est difficile d'estimer les pertes dues aux champignons de post-récolte au niveau des fruits exportés. À l'échelle mondiale, les pourritures à *Penicillium sp.* sont responsables d'environ 90 % des pertes de post-récolte des agrumes (Holmes *et al.*, 1994).

Au niveau du Maroc, les problèmes des pourritures dans les conditions de post-récolte présentent une contrainte majeure pour le développement des secteurs des fruits et légumes dont certains représentent des piliers de l'économie marocaine, à titre d'exemple le secteur des agrumes qui a une production moyenne de 2.4 millions de T/an (Maroc Citrus, 2020). Ce dernier est menacé par les pourritures à *Penicillium* (*Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*...) ce qui incitent les agrumiculteurs dans les stations de stockage à faire recours aux produits phytosanitaires en l'occurrence les fongicides (Maroc Citrus, 2020).

La recherche de traitements contre les agents pathogènes fongiques de post-récolte est un défi permanent, puisqu'il existe toujours des problèmes liés aux pertes économiques durant le transport, l'entreposage et l'exportation des agrumes sans oublier de souligner la diminution de l'efficacité de certains produits fongicides en relation avec l'apparition des souches pathogènes résistantes aux principales matières actives homologuées. Par ailleurs, la prise de conscience du coût environnemental de la lutte chimique et les inquiétudes des consommateurs des dangers que peuvent engendrer les résidus de pesticides sur la santé humaine suscitent également une remise à niveau de la lutte chimique.

L'intérêt de cette étude est déterminé l'efficacité et le potentiel antifongique de certains fongicides sur la croissance mycélienne des agents pathogènes de post-récolte.

La première partie de ce travail consiste en l'évaluation de l'efficacité de trois fongicides homologués sur l'apparition et le développement du *Penicillium sp*, par pulvérisation de ces produits dans les vergers avant l'entreposage des fruits.

La deuxième partie réalisée au laboratoire a concerné le traitement préventif et/ou curatif des fruits d'agrumes par les fongicides.

Ainsi, ce rapport est commencé par une introduction générale posant la problématique et l'intérêt de l'étude, suivi d'une revue bibliographique, une partie pratique expliquant la méthodologie adoptée, enfin une dernière partie où nous exposons nos résultats avec leur discussion faisant référence à nos prédécesseurs, pour finir par une conclusion et des recommandations.

.

Partie 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur les agrumes

1. Origine

Initialement, le genre *Citrus* s'est structuré autour de quatre taxons originaires d'Asie de l'est: le cédratier (*Citrus medica* L.), le pamplemoussier (*Citrus maxima*), le mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) et *Citrus micrantha* Wester. La découverte de la variété *Citrus micrantha*, originaire des Philippines, est très récente. Il y a encore quelques années, nous nous basions sur trois taxons de base dans l'évolution des agrumes.

Au fur à mesure de l'histoire et des mouvements humains, ces quatre groupes de base auraient donné lieu à des recombinaisons génétiques par hybridation, créant ainsi les autres types d'agrumes que l'on peut rencontrer aujourd'hui : orangers, bigaradiers, citronniers, pomelos. (Ollitrault *et al.*, 2012).

2. Biologie

Selon Bendiste et Baches (2002) le mot « Agrume » quant à lui provient du latin *acumen* qui désignait dans l'antiquité des arbres à fruits acides. Ce même dernier auteur souligne que Les agrumes se distinguent par leur grande diversité de leurs familles et de leurs ordres

Les espèces des agrumes sont de trois genres principaux du groupe *citrinae* dans la famille des rutacées : *Citrus* (la majorité des agrumes), *Fortunella* (les Kumquats) et *Poncirus*. On peut y ajouter 2 genres moins répandus, originaires d'Océanie : *Eremocitrus* et *Microcitrus*. Le nombre d'espèces compris dans chaque genre, en particulier pour le genre *Citrus*, très complexe, est sujet à une controverse et varie en fonction des botanistes (B et B ., 2002).

Les agrumes sont des arbres ou arbustes allant de trois à quinze mètres de haut (Chegrani-Conan., 2009). Leurs feuilles sont luisantes, simples ou trifoliées, persistantes et présentent généralement un pétiole ailé.

Les branches sont souvent munies d'épines plus ou moins grandes. Les fleurs sont hermaphrodites et possèdent généralement cinq pétales blancs (parfois teintés de rose) et 20 à 40 étamines entourant l'ovaire fixé sur un disque nectarifère (Praloran., 1971).

Les feuilles et fleurs produisent des essences ayant une odeur caractéristique. Les fruits sont de taille et de forme variables en fonction des variétés d'agrumes. Ils sont composés de trois couches concentriques : deux formant la peau (péricarpe) et un formant la pulpe (endocarpe). La peau est constituée d'une écorce extérieure colorée appelée flavédo, zeste ou épicarpe cette

partie peut être vert ou jaune à rouge en fonction de sa composition en flavonoïdes (pigments) et présente des glandes schizolysigènes contenant des essences conférant leur odeur caractéristique aux agrumes. L'albédo est plus ou moins épais selon les espèces ; il peut aller de quelques millimètres chez certaines mandarines à plus de cinq centimètres chez certains cédrats ou pamplemousses et d'une couche moyenne blanche et spongieuse appelée albédo ou mésocarpe (Praloran., 1971).

3. Importance socio-économique

3.1 Importance mondiale

Plusieurs pays dans le monde se sont engagés dans la culture des agrumes. Ils sont cultivés commercialement dans plus de 140 pays à travers le monde (FAO, 2004), avec une production mondiale de 115 525 kilotonnes en 2015 (FAO, 2015). Selon les statistiques de l'année suivante (FAO 2016), la majeure partie de la production est concentrée dans certaines zones géographiques, en l'occurrence l'hémisphère nord. A ce dernier niveau, 25% de la production mondiale est concentrée dans les pays du bassin méditerranéen. Les principaux producteurs de la région sont l'Espagne, l'Égypte, l'Italie, la Turquie et le Maroc. 60 % de la production mondiale se situe en Chine, aux États-Unis et au Mexique. Le reste de la production est distribué dans l'hémisphère sud (Brésil, Argentine et Afrique du Sud).

La production mondiale des agrumes a eu un accroissement extrêmement rapide, le taux de cette croissance est passé de 125915092 tonnes en 2008 à 146429018 tonnes en 2016.

3.2 Importance nationale

Avec une superficie actuelle de 125.000 ha et une production moyenne de l'ordre de deux millions de T/an (Maroc citrus, 2017) le secteur des agrumes au Maroc joue un rôle socio-économique important. Selon les résultats du recensement général des agrumes menés par FAO en 2016, la superficie agrumicole nationale récoltée est estimée à 123171 ha, cette superficie a un rendement de 165852 kg / ha.

4. Répartition géographique au Maroc

Au Maroc la production totale des agrumes atteint 2000820 tonnes (FAO, 2020), les principales régions de production sont représentées essentiellement par le Souss Massa avec

(31,9%) suivi par le Gharb avec (19.83%), la Moulouya (15,75%) puis les zones du Tadla (13,5%) et du Haouz (13,75%) (Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition de la superficie agrumicole par région (Maroc citrus)

Région	Part en %	Superficie (ha)
Souss Massa	31,9	40 376
Gharb	19,83	25 101
Moulouya	15,75	19 946
Tadla	13,5	17 092
Haouz	13,75	17 413
Loukoss	5,2	1 929
Autres régions	3,75	4 753
Total des agrumes	100	126 600

Sur un plan économique, les exportations des agrumes atteint un moyen de 40000 T par année, ce qui représente 12% de la production, cela constitue une source importante de devises (ORMVAG, 2018), le tableau ci-dessous représente l'évolution de la production, l'exportation et la consommation intérieure des agrumes au Maroc de l'année 2012 à 2017.

Tableau 2 : Evolution de la production, l'exportation, la consommation intérieure des agrumes au Maroc au cours de 2012 à 2017 (Maroc Citrus, 2019)

Campagne	Production (T)	Exportation (T)	Consommation intérieure (T)
2012\2013	1 493 900	385 200	1 068 700
2013\2014	2 200 000	584 750	1 560 250
2014\2015	1 906 000	461 450	1 391 550
2015\2016	2 035 000	520 500	1 466 500
2016\2017	2 300 000	650 000	1 600 000
MOYENNE	1 986 900	520 380	1 417 400

Le volume exporté en agrumes durant la campagne 2017-2018 a atteint 677 000 tonnes, soit plus de +4% par rapport 2016-2017 (650 000 tonnes) et 28% par rapport 2010-2011 .la campagne 2017-2018 a enregistré une croissance de 36% des exportations de la Nadorcott, par marché , les exportations des agrumes vers USA et le Canada ont enregistré durant la campagne 2017-18 une croissance respective de 48% et 10% (EACCE, 2017).

5. Principaux porte-greffes des agrumes

Le choix d'un plant d'agrumes généralement pour apporter une réponse à la menace parasitaire exercée par diverses maladies, l'adaptation aux différents types de sols et aux pathogènes, la tolérance au sel, etc. (Ollitrault, 2003).

5.1 Bigaradier (*Citrus aurantium* L)

En région méditerranéenne, le bigaradier est utilisé comme porte-greffe à cause de son adaptation à plusieurs types de sol, de sa meilleure affinité avec la plupart des variétés commerciales et de sa meilleure résistance surtout à la gommose et à *Phytophthora* sp.

Toutefois, il reste sensible à la Tristeza (*Citrus Tristeza virus*). Jusqu'aux années 1980, le porte-greffe quasi exclusif employé au Maroc (Nadori., 2005).

5.2 *Poncirus trifoliata*

C'est un porte-greffe résistant au froid (-15°C), il supporte les terres humides et l'asphyxie, résistant à la gommose, tolérant à la tristeza et aux nématodes, sensible à l'exocortis (Gilles., 2005).

5.3 *Citrang Carrizo*

C'est le porte-greffe le plus utilisé avec un enracinement de type pivotant, dense et profond, il supporte les sols moyennement humides et peu tolérant au calcaire et aux chlorures, tolérant à la tristeza et aux nématodes, mais sensible à l'exocortis (Gilles., 2005).

5.4 *Citrus volkameriana*

C'est un porte-greffe adapté à de nombreuses associations notamment pour les citronniers, bien adapté aux sols secs, et peu adapté aux sols lourds et asphyxiants. Il est résistant à la gommose, tolérant à la tristeza, et sensible à l'exocortis (Gilles., 2005).

II. Etat phytosanitaire des agrumes

1. Stress abiotiques

Les agrumes sont sensibles aux stress abiotiques tels que les vents chauds et secs, le gel, les trop fortes quantités d'eau ou au contraire le manque d'eau (Chegrani-Conan, 2009). Pour prévenir ces agressions, il est nécessaire d'installer des haies brise-vent, un système de drainage (Jacquemond *et al.*, 2013), voire un système d'arrosage lors de la mise en place du verger.

2. Stress biotiques

Par ailleurs, les agrumes sont aussi soumis à des stress biotiques tels que les bactéries, les virus, les champignons et les insectes. (Jacquemond *et al.*, 2013).

2.1 Maladies virales

❖ Tristeza (*Citrus Tristeza virus*)

Tristeza est une maladie virale, divers souches plus au moins virulentes ont été reconnues. C'est une maladie affectant principalement certaines combinaisons de porte-greffe et de

greffons, par exemple l'oranger et le mandarinier greffé sur bigaradier. Au contraire sont tolérantes à la maladie les combinaisons impliquant le mandarinier, l'oranger et citronnier sur oranger. L'association citronnier /bigaradier s'avère aussi tolérante à la maladie (Moreno et al., 1989).

Les symptômes de la CTV dépendent des conditions environnementales, des espèces d'agrumes, de la combinaison de porte-greffe et des souches virales. L'apparition des viroses est due à l'introductions de greffons ou de plants greffés qui entraînent en même temps la multiplication de lignées malades (Chapot et al., 1961).

❖ **Psorose (*Citrus psorosis virus*)**

Cette maladie se manifeste par la formation d'écailles sur le tronc, avec une nécrose des couches superficielles de l'écorce et des éclaircissements sous forme de petits tirets, entre les nervures secondaires des jeunes feuilles visibles en transparence lors des fortes poussées végétatives de printemps et d'automne (Panno et al., 2014).

Il est possible de déterminer la présence des psoroses avant la manifestation des premiers symptômes sur l'écorce. Au printemps, on observe les jeunes feuilles à contre-jour. Leur limbe présente une décoloration caractéristique de part et d'autre de la nervure centrale, une décoloration qui prend l'aspect d'une feuille de chêne.

❖ **Tatterleaf**

Tatterleaf est une maladie causée par un virus filamenteux allongé qui se propage principalement au Maroc. Des dommages considérables sont observés sur différentes espèces d'agrumes. Le feuillage est déformé et devient jaunâtre, les rameaux en zigzags caractérisent le plus souvent cette maladie. Il est aussi parfois constaté un froissement ou un plissement au niveau de la greffe, fragilisant ainsi le plant, ce qui le rend cassant notamment en période venteuse. Pour éviter que le tatterleaf ne se propage, il est vivement recommandé de désinfecter soigneusement les outils de taille. Il suffit de les plonger dans une solution contenant 1 % d'hypochlorite de sodium pour les débarrasser du virus. (Cirad ,1967)

2.2 Maladies bactériennes

❖ **Stubborne (*Spiroplasma citri*)**

C'est la maladie la plus répandue et la plus grave, surtout lorsqu'elle est associée à une autre virose principalement la psorose et transmise soit en pépinière par greffage ou bien dans le

verger à partir des arbres malades à des arbres sains par les cicadelles. Selon Fajinmi et al. (2011), ce mycoplasme présente les symptômes et dégâts suivantes :

- Aspect de feuilles de saule.
- Rameaux courts et coudés.
- Le limbe a tendance à s'enrouler de chaque côté de la nervure médiane.
- Les feuilles deviennent chlorotiques et tombent.
- Les fruits affectés sont généralement glandiformes avec variation dans l'épaisseur de la peau.
- En cas d'attaque grave, la pulpe est atteinte et devient aigre-amère avec une odeur désagréable.

❖ **Chancre des agrumes**

Il se caractérise par la formation des taches superficielle sur les feuilles et de fruits. Cependant, dans des conditions favorables, la défoliation, le dépérissement des pousses et la chute des fruits peuvent survenir. Il se manifeste sur la face inférieure des feuilles. Les lésions de couleur claire et à pointes épineuses se développent et deviennent des pustules surélevées, de couleur brune ou bronzée. A ce stade, les lésions sont visibles sur la face supérieure des feuilles et peuvent être entourées d'un halo chlorotique (Gilchrist., 1998). La taille des lésions dépend du cultivar d'agrumes et de l'âge des plantes, mais elle varie généralement entre 2 et 10 mm de diamètre. Des lésions similaires se forment sur les rameaux et les fruits (Timmer *et al.*, 1991).

L'entrée du pathogène dans l'hôte se produit directement par les stomates ou les blessures causées par le sable de soufflage, les épines ou la mineuse asiatique des agrumes, *Phyllocnistis citrella* (Graham *et al.*, 2004).

❖ **Verdissement des agrumes**

La maladie du verdissement des agrumes, également connue sous le nom de Huanglongbing (HLB), est une infection bactérienne mortelle des agrumes transmise le plus souvent par le psylle asiatique des agrumes (*Diaphorina citri*). Huanglongbing est chinois pour la maladie du dragon jaune parce que les feuilles d'agrumes infectées développent une couleur jaune tachetée irrégulière, semblable à la peau d'un dragon jaune mystique. De plus, le verdissement des agrumes est parfois appelé maladie des pousses jaunes (Bové., 2006).

Il peut être difficile de dire quand un agrume est infecté car l'arbre peut ne présenter aucun symptôme tout de suite. Cependant, la maladie se propage rapidement et peut tuer les arbres en quelques années. La maladie constitue une menace économique importante pour l'industrie des agrumes et de nombreux pays ont adopté des mesures de quarantaine strictes pour atténuer la propagation (Bové., 2006).

2.3 Maladies causées par les insectes et les ravageurs

Les plantes sont attaquées et endommagées par des insectes qui en consomment différentes parties (feuilles, racines, fleurs, fruits...) de façon plus ou moins sélective selon les espèces. Dias et Coll., 2017 trouvent que la cécidie (*Ceratitis capitata*) attaque les fruits dans l'état jeune avec l'apparition des zones de décoloration qui hâte la maturité et provoque la chute prématurée du fruit. D'autre part l'action d'alimentation du puceron (*Toxoptera aurantii*) se manifeste par une déformation, un gaufrage des jeunes feuilles, qui s'enroulent sur elles-mêmes. Les fleurs attaquées avortent et tombent. (Praloran., 1971).

2.4 Maladies cryptogamiques

❖ Fumagine

Selon Loussert (1987), cette maladie est due à l'installation de *Capnodium citri* qui se développe sur le miellat déposé sur les feuilles et les rameaux après une forte attaque des insectes homoptères comme, les cochenilles, les pucerons et les aleurodes. Les champignons forment une couche noirâtre et opaque sur les feuilles et les fruits ce qui diminue fortement l'activité photosynthétique. Si l'infection sur les feuilles se succède plusieurs années, la vigueur de l'arbre diminue.

❖ Gommose

Appelée encore maladie du collet, la gommose est provoquée par un champignon qui appartient au groupe Péronosporales, du genre *Phytophthora* (Jamoussi, 1955). Son développement est favorisé par les sols mal drainés et l'humidité excessive (Polese, 2008).

Le cycle d'infection de *Phytophthora sp.*, commence par l'attraction des zoospores mobiles vers les exsudats de racines d'agrumes, leur enkystement, germination et leur entrée dans l'extrémité des racines. L'infection du cortex radiculaire entraîne une décoloration, un ramollissement des tissus et une carie des racines fibreuses. Le cortex finit par s'effriter, laissant du tissu vasculaire. Des lésions sur les racines structurales ou la pourriture du collet peuvent également survenir (Graham *et al.*, 1999).

❖ Pourriture sèche de *Fusarium*

Le pathogène est un colonisateur primaire des systèmes racinaires fibreux. Les arbres atteints développent des racines noircies et pourries. Généralement, la région située sous le scion présente une décoloration brune, mais celle-ci ne s'étend pas jusqu'au scion. La production de phytotoxines comme les *naphthazarines*, le *dihydrofusarubine* et *dlisomarticine* pendant l'infection contribue également au déclin des agrumes. Les toxines, qui sont facilement transportées dans le xylème, contribuent au colmatage des vaisseaux, à la réduction de l'absorption d'eau, à la chlorose veineuse, au flétrissement des feuilles et à l'accumulation de zinc dans le tronc des arbres agrumes. Contrairement à la pourriture du pied et des racines du *Phytophthora*, il n'y a pas d'exsudation de la gencive et les grosses racines sont affectées (Naqui., 2004).

❖ *Penicillium* sp

Ils causent des pourritures post-récolte très importantes dans les régions productrices d'agrumes. Le champignon imparfait *Penicillium digitatum* (moisissure verte) et *Penicillium italicum* (moisissure bleue), sont semblables, mais ce dernier se développe mieux à basse température (10 °C) et est plus facilement dispersé dans les installations de conditionnement, de stockage et de transit (Smilanick *et al.*, 2008). Les deux phytopathogènes acidifient les tissus de l'hôte pendant le développement de la carie en sécrétant des acides organiques (acides gluconique et citrique) et en absorbant activement les ions ammonium, (Prusky *et al.*, 2004) on montre dans ses expériences que la colonisation par *Penicillium* spp est favorisée par un faible pH dans le tissu hôte, ce qui explique leur forte virulence sur les citrus. L'ensemble de ces résultats suggère que le pH environnemental est important en tant que régulateur global pour augmenter la virulence de plusieurs pathogènes post-récoltes telles que le *penicillium* sp.

Penicillium digitatum et *Penicillium italicum* persistent dans les vergers sous forme de conidies et sont dispersés dans les courants atmosphériques. Les infections initiées par les plaies sont suivies par l'apparition de zones molles et décolorées sur lesquelles se développent des mycéliums poudreux. Les fruits pourris finissent par devenir des momies sèches (Brown *et al.*, 2000).

❖ *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*)

Le champignon est un ascomycète hétérothallique. Il provoque une pourriture grise des brûlures des rameaux sur agrumes. La maladie progresse avec le développement de taches de

moisissure grise associées à la pourriture brune du cuir des fruits. En dehors de la pourriture des fruits, la nouaison est réduite et la chute prématurée des fruits est fréquente. Les spores produites sur les débris organiques dans le verger sont dispersées en fleurs par le vent ou par les éclaboussures de pluie. La colonisation des parties florales entraîne des infections quiescentes (au repos) de l'extrémité de la tige des fruits et avec le temps, cela peut causer la pourriture post-récolte (Eckert *et al.*, 2000).

III. Agrumes post-récoltés

La manipulation post-récolte dans les stations d'entreposage des agrumes vise à commercialiser les fruits de qualité maximale, à augmenter leur durée de vie post-récolte et à réduire les risques de pertes de produits. Parmi les pertes post-récolte, celles d'origine pathologique sont généralement d'une importance économique considérable. Les moisissures vertes et bleues, causées par *Penicillium digitatum* et *Penicillium italicum*, respectivement, sont les maladies des agrumes après récolte les plus importantes sur le plan économique, qui se rencontrent dans toutes les régions de production, caractérisées, par un climat méditerranéen à faibles précipitations en été, comme en Espagne et en Californie (Eckert *et al.*, 2000).

Les pertes réelles dues à la pourriture par le *Penicillium* sont variables et dépendent du climat et du verger, du cultivar d'agrumes, de l'importance des dommages physiques subis par les fruits pendant la récolte et la manipulation ultérieure, l'efficacité des traitements antifongiques et l'environnement post-récolte (Smilanick *et al.*, 2006).

1. Généralités sur les agents pathogènes : *Penicillium digitatum* ; *Penicillium italicum*

Deux espèces de champignons appartenant au genre *Penicillium* provoquent des pourritures destructrices sur les agrumes. *P. italicum* et *P. digitatum* se développent sur les peaux des fruits sous forme de moisissures bleuâtres et verdâtres respectivement. Les lésions causées par *P. digitatum* se propagent généralement plus lentement que celles causées par *P. italicum* ; car ce dernier se développe plus rapidement que *P. digitatum* dans des températures au-dessous de 10 °C (Plaza *et al.*, 2003).

La pourriture des agrumes après récolte représente la cause la plus grave de gaspillage et de détérioration de la qualité, contribuant à de fortes pertes économiques (Droby *et al.*, 2008).

1.1 Taxonomie et symptômes

Plusieurs *Penicillium* sont des formes imparfaites (anamorphes) d'hyphomycètes hyalins : quelques espèces de *Penicillium* possèdent des formes parfaites (télémorphes) incluses dans les genres *Eupenicillium*, *Talaromyces*, *Hamigera* et *Trichocomma*. (Samson et Pitt., 1992)

Règne : Fungi

Famille : Trichomaceae

Phylum : Ascomycota

Genre : *Penicillium*

Classe : *Euascomycetes*

Espèce : spp.

Ordre : Eurotiales

❖ *Penicillium digitatum*

Penicillium digitatum cause de la moisissure verte des agrumes, a été décrite et classée par Saccardo en 1881 (Saccardo., 1881). C'est la première espèce de *Penicillium* phytopathogène dont le génome complet a été entièrement séquencé (Marcet-Houben *et al.*, 2012).

Il se trouve partout, et infecte principalement les fruits d'agrumes (Domsch *et al.*, 1980). Est un champignon appartenant à la subdivision des Deuteryomycetes, classe des Hyphomycetes et à la série des Phialidospores. Il se caractérise par un mycélium constitué d'hyphes ramifiés de trois à sept µm de diamètre intracellulaires (Domsch *et al.*, 1980). La maladie due à *Penicillium digitatum* est dite « la pourriture verte », en référence à la couleur verte marqué de ses spores, qui s'observe que ce soit sur les fruits infectés (Figure 1), ou sur milieu de culture (Brown et Eckert, 1988).

Au début de l'attaque, l'écorce du fruit s'éclaircit et devient molle. Ensuite, un duvet (mycélium) blanc se forme, puis s'étend de jour en jour et des spores vertes apparaissent dessus. A la fin, tout le mycélium est recouvert de spores vertes d'où le nom de « pourriture verte ». La pulpe du fruit est également atteinte par la moisissure : le fruit se momifie. (Pitt et Hocking., 2009)

Penicillium digitatum attaque uniquement les fruits « blessés » dont l'écorce est fragilisée. Il se propage rapidement par l'air et peut attaquer tous les fruits blessés, Sa pourriture est moins liquide, plus ferme que celle *Penicillium Italicum* mais le fruit est plus ratatiné. (Frisvad et Samson., 2004)



Figure 1: Orange infectée par *Penicillium digitatum*

❖ ***Penicillium italicum***

Penicillium italicum ou moisissure bleue des agrumes est une espèce d'Ascomycètes de la famille des *Trichocomaceae*, avec une distribution quasi-cosmopolite, c'est-à-dire qu'elle est largement répandue dans toutes les grandes cultures d'agrumes de la zone mondiale.

C'est un champignon phytopathogène et un agent de pourriture des fruits, en particulier des agrumes. Connue sous le nom de "pourriture bleue" des oranges et des citrons, elle est souvent associée à *Penicillium digitatum*. (Wehmer., 1894).

La moisissure causée par *Penicillium Italicum* diffère de celle de *Penicillium digitatum* par sa couleur. En effet, ce deuxième champignon provoque une pourriture bleue-verte. L'écorce aux alentours devient très molle et humide (déliquescence) (Onions.,1966).

Au début de l'attaque, l'écorce devient molle et s'éclaircit et un duvet blanc apparaît puis les spores bleues font leur apparition (figure 2). La pulpe du fruit est aussitôt atteinte, l'infection est beaucoup plus profonde qu'avec *P. digitatum*. La moisissure s'étend de façon très asymétrique. (Frisvad and Samson., 2004). *Penicillium Italicum* se transmet lui aussi par l'air ou par contact direct.



Figure 2: Orange infectée par *Penicillium italicum*

❖ **Combinaison des deux *Penicilliums***

Il n'est pas rare que les agrumes soient attaqués par les deux *Penicilliums* en même temps. Généralement, *P. italicum* est à l'origine de l'attaque primaire puis *P. digitatum* s'installe et prend le dessus. Lorsque les deux champignons sont combinés, l'écorce prend une teinte rougeâtre. (Onions.,2004)

1.2 Morphologie

L'École Supérieure d'Ingénieurs en Agroalimentaire de Bretagne atlantique (ESIAB) trouve que les *Penicillium* sont caractérisés par la présence de conidiophores dressés, plus ou moins ramifiés, terminés de phialides. Ces derniers sont disposés en verticilles à l'extrémité des conidiophores. Elles sont insérées directement (*Penicillium* monoverticillés) ou par l'intermédiaire d'une rangée de métules (*Penicillium* biverticillés), ou de deux rangées successives de métules (*Penicillium* triverticillés) sur les conidiophores. Les phialides sont serrées les unes contre les autres, l'ensemble donne une image de pinceau (ou pénicille).

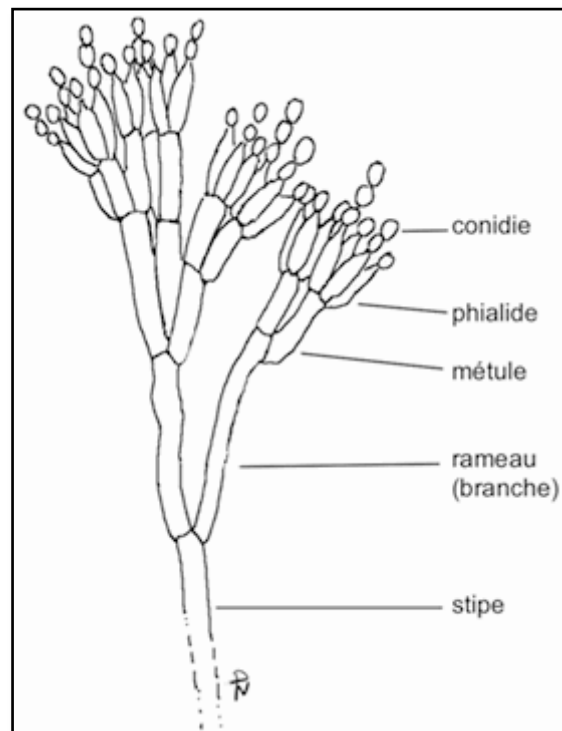


Figure 3: Organisation d'un conidiophore de *Penicillium* (ESIAB)

1.3 Cycle biologique

Penicillium se conserve sous forme des spores formées sur les fruits pourris, à la surface du sol des vergers, ou dans les stations de conditionnement. Le déplacement de ces spores se fait par des courants d'air, ainsi que par les caisses de ramassage contaminées vers les fruits sains, après un contact direct sur les blessures causées au cours du transport ou avant la récolte par les insectes. Les spores pénètrent dans l'albédo et donnent naissance à une irréversible infection dans les 48 heures qui suivent la pénétration (Eckert et Eaks, 1989). Une température de 20 à 25°C et, une humidité relative saturée, sont des conditions nécessaires pour la croissance du champignon. En revanche, la croissance est faible lors de stockage à froid (Brown et Eckert, 1988). En effet, une fois l'infection a lieu, les hyphes des deux champignons sécrètent une enzyme appelée polygalacturonase qui dégrade la pectine située au niveau de l'exocarpe du fruit pour ramollir les tissus sains et faciliter ainsi la pénétration et la progression des hyphes à l'intérieur du fruit (Barmore and Brown, 1982). Les mêmes auteurs ont rapporté que la transmission de la maladie ne se réalise à un taux important que lorsque le fruit sain est en contact avec le site de l'infection sur le fruit pourri. Par contre, la transmission des spores de *P. italicum* se réalise quel que soit le point de contact. Cette différence a été attribuée à la quantité élevée du mycélium produite par *P. digitatum* au niveau

de la zone de contact qui empêche l'acide galacturonique de passer vers le fruit sain. Ceci explique l'ampleur de la gravité de l'infection par *P. italicum* surtout au niveau des entrepôts.

2. Moyens de lutte

Afin de limiter les dégâts dus aux pourritures causées par les champignons phytopathogènes décrits précédemment, il convient de combiner plusieurs méthodes de lutte aussi bien au niveau des vergers que tout au long des différentes étapes de conditionnement du fruit. Parmi ces moyens, nous citons les moyens prophylactiques, la lutte chimique, la lutte thermique et la lutte biologique (Graça *et al.*, 2004).

2.1 Moyens prophylactiques

Les moyens prophylactiques de lutte contre les pathogènes des fruits s'appuient sur des mesures à prendre pendant la cueillette, au moment des opérations précédant l'entreposage et au cours du conditionnement. Elle passe également par la prévention de l'infection et par l'éradication des infections installées (Graça *et al.*, 2004).

Les précautions à prendre au cours et après récolte, pour assurer une meilleure qualité des fruits, peuvent être résumées comme suit (Taqaarort, 2008):

1. Superviser les équipes de cueillette afin de permettre une meilleure coordination et un bon déroulement des opérations ;
2. Garder les surfaces des caisses et paloxes non abrasives et propres par des lavages fréquents ;
3. Habituer les cueilleurs à ne pas s'appuyer sur les paniers de cueille et de réduire au maximum le contact entre les fruits ;
4. Limer les ongles, ou porter des gants pour empêcher tout contact direct avec les fruits ;
5. Limiter le temps de séjour des fruits récoltés au verger ;
6. Améliorer la qualité de transport ;
7. Éliminer les fruits visiblement blessés et les fruits infectés pour éviter les contaminations ;
8. Désinfecter les locaux de stockage et les caisses ;

9. Sécher les fruits après le lavage lors du conditionnement.

2.2 Traitement thermique (thermothérapie)

Le traitement thermique est une technique couramment utilisée dans l'industrie alimentaire. Les champignons sont inactivés par la chaleur, comme dans la pasteurisation ou la stérilisation. Cependant, les ascospores de certains champignons sont résistantes à la chaleur et peuvent survivre à des températures élevées (85 °C), par exemple celles de *Talaromyces macrosporus* (Dijksterhuis., 2002).

Lurie (1998) a rapporté que l'air chaud peut être utilisé pour lutter contre les champignons pathogènes et les insectes. L'efficacité de ce traitement a été prouvée également dans le cas des pourritures causées par *Penicillium digitatum* et *Penicillium italicum* sur des oranges et citrons préalablement infectés et ayant subi une cure de 65 h à 33 °C avant d'être stockés à 20 °C pendant 7 jours. L'efficacité du trempage dans l'eau chaude a été démontrée par Palou et al. (2001) contre *Penicillium italicum* sur des oranges de différentes variétés. Toutefois, les fruits ainsi traités deviennent plus sensibles et présentent des dommages sévères au-delà de l'intervalle de température compris entre 50 à 55 °C.

La thermothérapie permet de retarder l'apparition des symptômes, les spores thermorésistantes telles que celles du *Penicillium* ne sont pas tuées et finissent par germer au cours du stockage à long terme.

En outre, la germination et la croissance sont empêchées par une faible pression d'oxygène et un ajout des acides organiques qui sont utilisés pour préserver le fourrage de l'herbe dans les silos avec ce qu'on appelle le processus d'ensilage. La faible concentration en oxygène et les acides organiques dans les silos réduisent le métabolisme des champignons empêchant leur croissance. Abaisser les activités aquatiques prévient également la croissance fongique. Néanmoins, certains champignons osmotolérants et xérophiles sont capables de croître en présence de fortes concentrations de sucre et de sel et peuvent causer une détérioration dans ces conditions (Bernard., 2000).

2.3 Traitement chimique

Le contrôle chimique des maladies de post-récolte des fruits d'agrumes consiste à traiter les fruits par des fongicides et/ou après récolte. Ces traitements chimiques jouent un rôle très important dans la protection des agrumes contre les agents de pourritures. En post-récolte, le contrôle chimique est jusqu'à présent le moyen le plus efficace et le plus utilisé dans les

stations de conditionnement. Parmi les fongicides utilisés lors du conditionnement des fruits d'agrumes, on peut citer le thiabendazole, l'orthophénylphénate de sodium (SOPP), le biphenyl, le benomyl, le thiophanate de méthyle, le carbendazim, l'imazalil et la guazatine (Eckert et Ogawa., 1985). L'application de ces fongicides s'effectue soit par fumigation, trempage, pulvérisation ou bien en mélange avec la cire. Leur efficacité dépend du mode d'application et des concentrations utilisées (Sebbata *et al.*, 1998). Les principaux fongicides utilisés à l'échelle nationale sont l'imazalil et le thiabendazole (contre les pourritures à *Penicillium*), la guazatine (contre *Geotrichum citri-aurantii*) et le phosphite de potassium (contre *Phytophthora citrophthora*). Ces fongicides sont appliqués soit en prétraitement, soit au niveau de la chaîne de conditionnement.

Il y a globalement deux types de fongicides : ceux qui ne sont pas absorbés par les tissus de la plante et qui affectent la germination des spores (protectants) Et ceux qui sont absorbés par la plante et qui affectent la croissance du champignon (curatifs). Les fongicides peuvent être utilisés selon deux modes d'intervention, soit en pré infection, soit en post infection. Un fongicide utilisé en pré infection est appliqué avant le début d'une période d'infection. Le produit sera efficace seulement sur les feuilles et les fruits présents au moment de la pulvérisation en supposant qu'aucun délavage par la pluie n'ait eu lieu. La molécule active agira sur les premiers stades de développement du champignon comme la germination des spores (figure 4. a). Les fongicides utilisés en post infection sont appliqués après une période d'infection. Ces fongicides agissent sur un stade de développement plus avancé du champignon et empêchent celui-ci de coloniser le tissu végétal (figure 4. b). Cette approche est efficace contre une infection non prévue ou contre les infections graves (risques élevés).

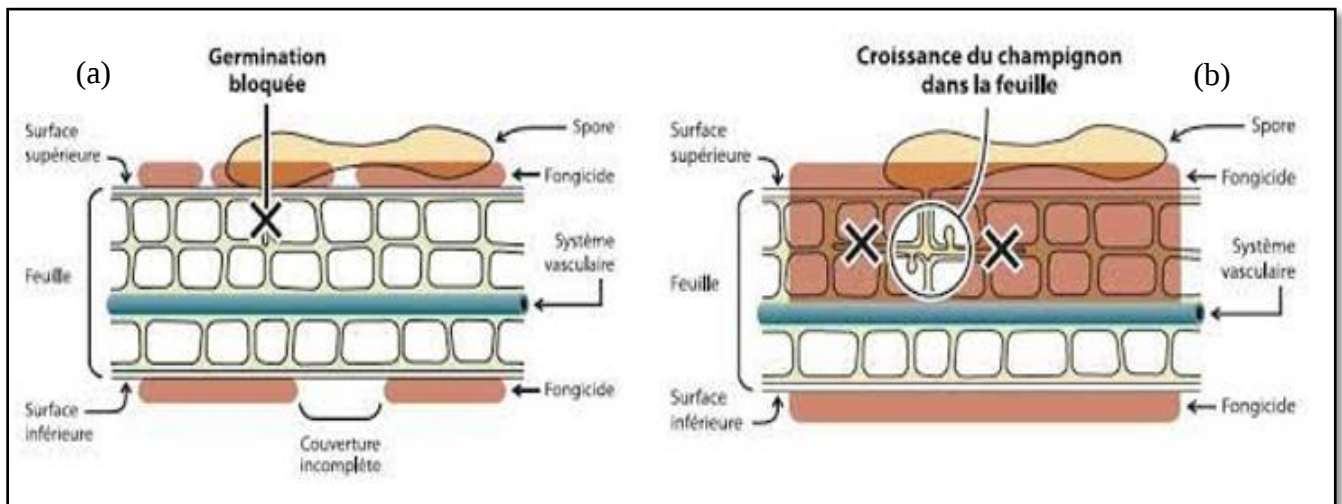


Figure 4 : Mode d'action des fongicides utilisés : (a) en préinfection, (b) en postinfection

Le traitement chimique peut utiliser soit par des prétraitements soit par des traitements sur les chaînes de conditionnement, ceci ça dépend le mode d'infection du champignon.

❖ **Prétraitements :**

Ils surviennent juste après la réception des fruits d'agrumes au niveau de la station de conditionnement. Le prétraitement est appliqué aux fruits soit par l'immersion des palettes de fruits dans un bassin, soit par le « douchage » des fruits en palettes à l'aide d'un drencher. Ce dernier procédé est le plus fréquent dans les stations de conditionnement des agrumes. Les principaux fongicides utilisés en prétraitement au Maroc sont le phosphite de potassium pour lutter contre la pourriture brune, le thiabendazole pour lutter contre la pourriture bleue et verte.

❖ **Traitement sur chaîne de conditionnement :**

Ce traitement est réalisé par l'incorporation des fongicides de post récolte dans la cire de lustrage. Il s'agit d'un ensemble d'opérations de sélection, traitement, emballage et manutention, qui permettent de garantir aux fruits la fraîcheur, la conservation et les qualités gustatives que recherche le consommateur. Parmi ces opérations on peut citer :

- Le pré-triage des agrumes :

Les palettes sont déposées pendant 48h pour le ressuyage des fruits et subissent un premier triage. Ainsi, les fruits passent sur une table à rouleaux où les trieuses éliminent les débris végétaux, les fruits pourris ou présentant des défauts très visibles, les fruits verts et les fruits gaufrés.

- Le Lavage des fruits :

Opération permettant l'élimination de tous les résidus des produits appliqués sur les fruits. Elle consiste à les laver avec un détergent et des brosses nettoyantes afin de faire disparaître les cochenilles, la poussière et tout ce qui peut influencer la présentation des fruits. Ces derniers sont ensuite rincés avec de l'eau pulvérisée dans le but d'éliminer les résidus du détergent.

- L'essorage :

Les fruits lavés, et qui vont être traités aux fongicides durant la phase suivante, doivent d'abord être égouttés afin de réduire le risque que l'eau de lavage résiduelle dilue le fongicide en dessous de sa concentration efficace. Les agrumes sont essorés par l'utilisation de rouleaux en PVC revêtus d'éponges et en se servant de ventilateurs pour renforcer le travail de la machine.

- Le pré-séchage :

Cette opération consiste à sécher les fruits par un air chaud à une température de 45 à 50°C. Le séchage est nécessaire pour une meilleure application des produits lustrant.

- Application de la cire ou lustrage :

Cette étape implique l'utilisation de cires. On utilise des cires de qualité alimentaire et qui sont des additifs autorisés en tant qu'agents d'enrobage comme revêtement extérieur pour :

- Remplacer les cires naturelles enlevées par le lavage
- Réduire le dessèchement du fruit pendant la manutention et la commercialisation et donc limiter les déperditions d'eau par transpiration.
- Améliorer l'aspect extérieur du fruit en lui conférant une meilleure brillance.

A L'enrobage des agrumes se fait par pulvérisation au moyen d'un système "va et vient". En plus des cires, d'autres fongicides sont utilisés. En plus des cires, des fongicides, dont le

principal est à base de thiabendazole, sont également appliqués sur les fruits. Ceci permet de réduire les pertes en eau ainsi que les dégâts occasionnés par les pourritures à *Penicillium spp.* Durant le stockage et le transport des fruits. (Boubaker *et al.*, 2009).

2.4 Moyens biologiques

La lutte biologique a été envisagée pour répondre à plusieurs préoccupations. D'une part, l'utilisation intensive des pesticides a provoqué une pression de sélection sur les populations des pathogènes, ce qui s'est traduit par l'apparition de souches résistantes aux matières actives homologuées pour lutter contre les maladies de conservation (Eckert., 1989). D'autre part, sous la pression des consommateurs, plus soucieux quant à la qualité des produits consommables, les législations deviennent de plus en plus strictes quant à l'utilisation des fongicides synthétiques (Lepoivre *et al.*, 1992)

Le contrôle biologique des maladies en post-récolte a été utilisé comme une alternative pour les fongicides synthétiques. Son mécanisme est basé sur les interactions écologiques, telles que la concurrence spatiale, la recherche de nutriments ou l'induction de défense de la plante (Janisiewicz.,2002). Traditionnellement, les levures sont les organismes les plus fréquemment utilisés comme agents de lutte biologique en raison de leur colonisation rapide de la surface des plantes et leur production de polysaccharides extracellulaires qui améliorent leur survie pour restreindre la colonisation et la germination des pathogènes (Janisiewicz.,1998).

Des études réalisées par Pimenta *et al.*, (2008), ont montré que la levure prédateur *Saccharomycopsis schoenii* présente la capacité de réduire la gravité de la maladie provoquée par *Penicillium italicum*, *P. digitatum* et *P. expansum* en empêchant la formation des lésions sur la surface des oranges pendant 21 jours. De même une substance antifongique : 2-phenylethanol (PEA), isolé de *Kloeckera apiculata* a montré des propriétés antifongiques contre les moisissures phytopathogènes d'agrumes.

D'autre part, l'agence de la protection environnementale (EPA-USA) a réalisé en 1998 une définition globale de la lutte biologique. Selon cette agence, « les biopesticides ou pesticides biologiques sont des dérivés de matériels naturels tels que les animaux, les plantes, les bactéries et certains minéraux ».

L'EPA répartit les biopesticides en trois catégories :

- Les pesticides microbiens dont l'ingrédient actif est un microorganisme (bactérie, champignon, protozoaire, algue) ou un virus;
- Les pesticides d'origine végétale y compris les molécules que les plantes transgéniques produisent après l'incorporation d'un transgène (comme la protéine Bt de *Bacillus thuriangiensis* ou une chitinase d'origine végétale);
- Les pesticides biochimiques sont des substances naturelles ne présentant pas de toxicité directe vis-à-vis des ravageurs et phytopathogènes, mais qui interfèrent avec leur croissance ou leur reproduction (substances hormonales chez les insectes, répulsifs, attractifs...) ainsi qu'avec la physiologie de la plante.

Partie 2 : MAETRIEL ET METHODES

I. Site d'expérimentation

Nos expériences ont été conduites au centre de formation et de recherches de providence verte au domaine Agricole Louata situé à 18 km à l'Est de la ville de Séfrou. Ce domaine est caractérisé par un climat semi-aride, un sol argileux limoneux et un système d'irrigation en goutte à goutte qui est indispensable pour les périodes sèches.

II. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de l'espèce *Citrus reticulata* variété 'Nadorcott' cultivée dans des conditions de plein champ et greffée sur un porte-greffe de Carrizo citrange (*Citrus sinensis* - *Poncirus trifoliata*) dans le sens nord-sud et à des écartements de 5 m (espacement des rangs) et 3 m (espacement des arbres dans les rangs).

Cette variété de mandarine est le résultat d'une hybridation naturelle entre le Mandarinier et l'Oranger. Elle est produite dans sept grandes régions du Maroc : Chichaoua 35%, Marrakech 22%, Souss 18%, Gharb 14%, Safi 6%, Béni Mellal 4% et Kelaa 1%. Avec un taux d'exportation de 105 000, 125 000 et 171 000 tonnes respectivement en compagnes agricoles 2015/2016, 2016/2017 et 2017/2018 (APNM., 2019).



Figure 5 : Fruit de mandarinier (*Citrus reticulata*) variété Nadorcott

III. Matières chimiques

L'utilisation des produits chimiques en agrumiculture est devenue indispensable pour assurer la protection des cultures et l'amélioration de leur productivité. Ces derniers, sont utilisés pour

la lutte contre les nuisibles des cultures ainsi que pour l'assurance des apports suffisants en éléments nutritifs nécessaires au développement et la croissance des cultures.

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés à la lutte contre les pourritures bleu et vertes des fruits de la variété étudiée. À cet effet, nous avons utilisé neuf matières actives indiquées sur le tableau fongicide (Tableau 3) autorisé par l'Office National de Sécurité sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA), permettant de garantir :

- La conformité des produits à la législation/réglementation en vigueur ;
- La performance / l'efficacité des produits, des conditions d'emploi précises, vis-à-vis des objectifs ciblés (nuisibles et cultures à traiter) ;

Tableau 3: Caractéristiques des fongicides testés (ONSSA., 2018)

Nom commercial	Numéro d'homologation	Formulation	Matières active	Teneur en matières active
MATIZ 430 SC	E12-9-014	Suspension concentrée (SC)	Tébuconazole.	430 g/l
AFFIX	F03-2-010	Suspension concentrée (SC)	Azoxystrobine.	250 g/l
SORBATE DE POTASSIUM		Matière mouillable	Acide sorbique	74%
REYSANA	F11-2-037	Suspension concentré (SC)	Extrait de Reynoutria sachalinensis.	224,6 g/l
XEDATHANE-20	F11-3-007	Concentré émulsionnable (EC)	Huile de girofle. Pyriméthanil.	185 g/l 192 g/l
MICRORAM 700	F10-3-010	Suspension concentrée (SC)	Cuivre oxychlorure de cuivre	- 700 g /l de
SD		Suspension concentré (SC)		

IV. Matériel fongique

Deux suspensions de *Penicillium italicum* et *Penicillium digitatum* à une concentration de 10^8 spore/ml (calculé par le biais d'un hématimètre) ont été approvisionnées auprès de l'Ecole National d'Agriculture Meknès (ENAM). Ces dernières ont été diluées à raison de 50%, ainsi sur chaque litre de suspension nous avons ajouté 1l d'eau distillé stérile afin d'atteindre une concentration finale en spores de 10^4 spore/ml.

V. Traitements au verger

Cette partie consiste à l'étude de l'action de trois fongicides à base de Tébuconazole, Azoxystrobine et Sorbate de Potassium sur les espèces de *Penicillium* précitées.

Le travail a commencé par un marquage des arbres à raison de trois arbres pour chaque traitement selon un dispositif spécifique. Ensuite, nous procédons à leurs traitements en pulvérisant 1,5 L de chaque préparation sur chaque arbre. Les doses utilisées pour chaque fongicide sont indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4: Doses de matières actives utilisées à la pulvérisation

ESSAI	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Tébuconazole	Sans Trt	25 cc/hl	50 cc/hl	100 cc/hl	150 cc/hl	200 cc/hl
Sorbate de potassium	Sans Trt	2%	3%	5%	7%	10%
Tébuconazole+ Azoxystrobine	Sans Trt	20cc/hl(A)+ 25 cc/hl(T)	40cc/hl(A)+ 50 cc/hl(T)	40cc/hl(A) + 100 cc/hl(T)	80cc/hl(A)+ 100 cc/hl(T)	120cc/hl(A)+ 100cc/hl(T)

Après une semaine, les fruits ont été récoltés à un nombre de 80 fruits pour les trois arbres traités, dont la moitié a été immergée dans une suspension de *Penicillium italicum* pendant 1 min, l'autre moitié est sans immersion. Les fruits sont placés dans des caisses à alvéoles dans le pourrissoir à raison de 20 fruits par alvéole (figure7) et positionnés selon un dispositif en bloc aléatoire complet présenté par le tableau 5. Le pourrissoir a une température de $(25 \pm 2$ °C) et à une humidité relative saturée (~ 90 %).

Tableau 5: Dispositif d'entreposage des fruits de mandarinier Nadorcott traitée par pulvérisation.

Bloc 1	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Bloc 2	T4	T5	T3	T0	T2	T1
Bloc 3	T3	T2	T5	T1	T4	T0
Bloc 4	T5	T4	T1	T2	T0	T3



Figure 6: Photo de traitement par le pulvérisateur au verger de Nadorcott.



Figure 7 : Photo des fruits traités immergés et non immergés déposé au pourrissoir

VI. Traitements au laboratoire

1. Traitement préventif et curatif sur des fruits blessés

Les essais ont été réalisés sur le mandarinier Nadorcott, dont sont récoltés d'arbres plantés sur le même site. Seuls des fruits mûrs ne présentant pas de blessures ont été sélectionnés pour les expérimentations.

Les fruits sont préalablement lavés à l'eau, ont été désinfectés par trempage dans une solution d'hypochlorite de sodium (0,1 %) pendant 2 mn puis rincés à l'eau distillée. Après séchage à l'air libre, les fruits sont blessés à l'aide d'une aiguille stérile au niveau de deux côtés opposés de la surface du fruit. Les blessures pratiquées sont de 2 mm de largeur et 2 mm de profondeur.

Pour le traitement préventif, les fruits blessés ont été trempés dans des solutions fongicides préparées, pendant 1 min et laissés séchés à l'air libre pendant 1 h. Par la suite, ils ont été trempés dans une suspension de spores de *Penicillium digitatum* fraîchement préparée et ajustée à 10^4 spore/ml pendant 1 min. Les témoins ont été traités dans les mêmes conditions avec le même volume d'eau distillée stérile.

Les fruits ont été séchés à l'aire libre pendant 15 min dans des caisses, préalablement désinfectées à l'hypochlorite de sodium (1 %), puis on met les fruits dans des alvéoles, 10 fruits pour chaque traitement, répéter quatre fois et déposés dans le pourrissoir selon un dispositif en bloc aléatoire complet (DBAC) pendant 7 jours (Tableau 6). La chambre a une température de $(25 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$ et à une humidité relative saturée ($\sim 90 \text{ \%}$).

Tableau 6: Dispositif d'entreposage des fruits de mandarinier Nadorcott traitée par trempage

Bloc 1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Bloc 2	T6	T5	T4	T0	T2	T3	T1
Bloc 3	T4	T3	T1	T5	T6	T0	T2
Bloc 4	T1	T0	T6	T2	T5	T4	T3

.Avec :

T0: Témoin (Eau de courant)

T1: Sorbate de Potassium 3%

T2: SD 2%

T3: Cuivre 200 g/hl

T4: REYSANA 0,3%

T5: MATIZ 1,5%

T6: XEDATHANE 1%

Quant aux traitements curatifs, l'immersion dans la suspension fongique a été appliquée sur des fruits préalablement blessés et gardés 6 heures dans des conditions de stockage spontanés pour permettre aux spores de germer.

Les fruits sont placés dans des plateaux alvéolés et déposés dans le pourrissoir selon le même dispositif précité.

2. Traitements préventif et curatif sur des fruits non blessés

La même procédure suivie dans le cas des fruits blessés est appliquée sur des fruits non blessés.

VII. Déterminations des paramètres de développement de la pourriture molle.

L'application des traitements fongicides est principalement dans le but de réduire l'incidence (pourcentage de fruits infectés) et la sévérité (pourcentage de la surface de sporulation) de maladies causées par *P.italicum* et *P. digitatum*.

L'incidence et la sévérité de la maladie ont été calculées en utilisant les formules suivantes:

$$\text{Incidence (\%)} = [(\text{nombre de fruits pourries} / \text{nombre de fruits totales})] \times 100$$

Partie 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Traitement préventif au verger

1.1 Effet des différentes doses de Tébuconazole sur le nombre de fruits pourris

Les résultats de l'effet de ce fongicide sur le nombre de fruits pourris après un entreposage de 10 jours aux conditions précitées sont illustrés par la figure 8

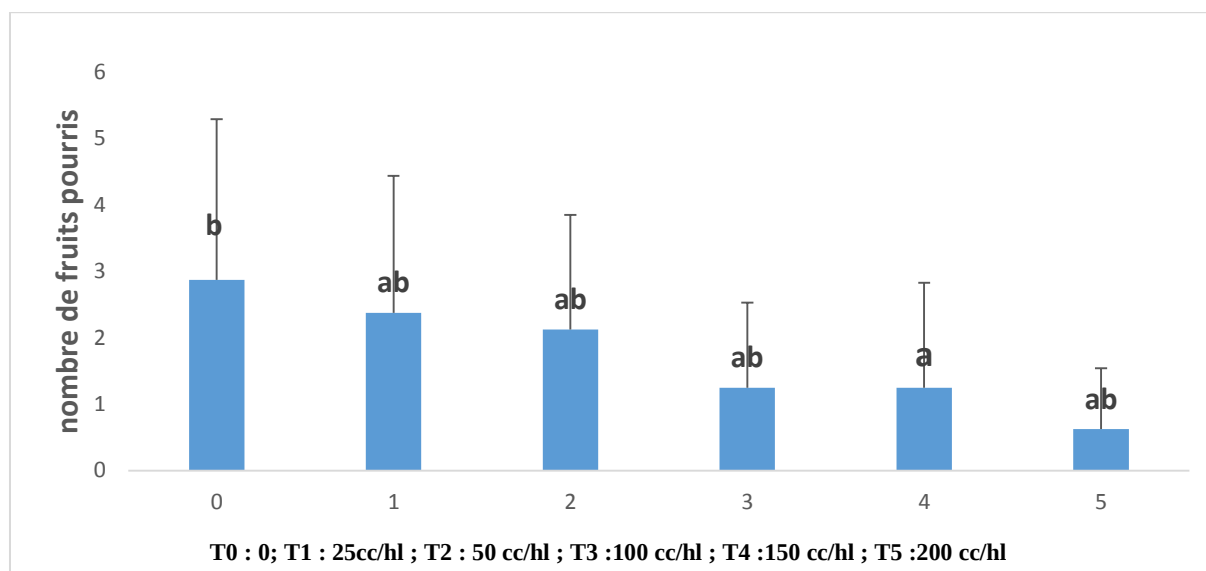


Figure 8: Effet des différentes doses du Tébuconazole sur le nombre de fruits

-Les barres verticales représentent l'écart type.

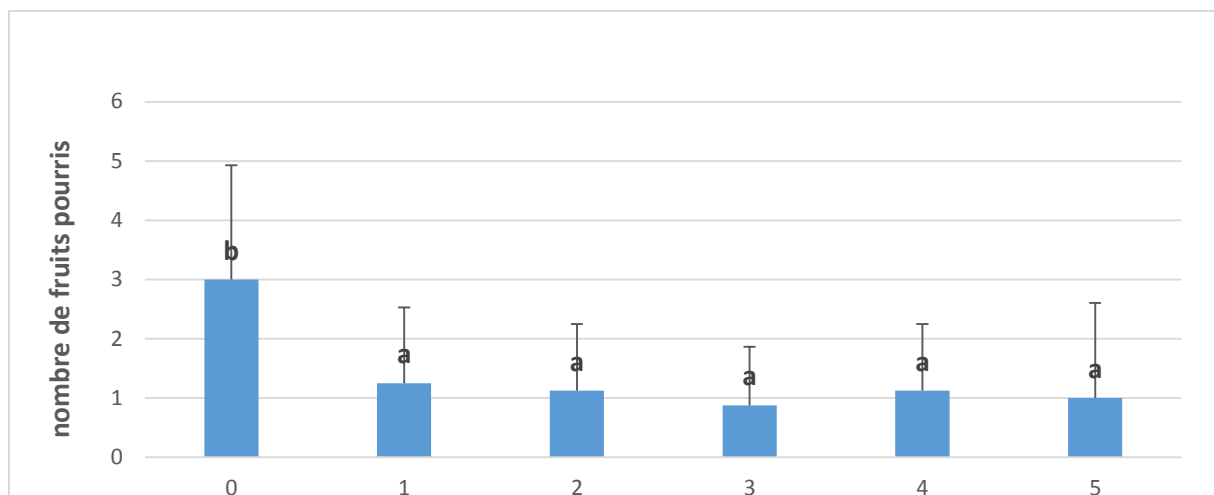
- Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5% de probabilité (Test Student-Newman-Keuls SNK).

L'analyse de la variance (ANOVA 2) a révélé l'effet de deux facteurs étudiés sur le nombre de fruits pourris, le traitement par le fongicide. La moyenne des fruits pourris est de l'ordre de 1,75 et le nombre le plus réduit étant obtenu à la dose T5 de 200 cc/hl (figure 8).

Le tébuconazole est un fongicide unisite qui fait partie de la famille des triazoles agissant comme Inhibiteurs de la Biosynthèse des Stéroïdes, ce qui implique une altération de la morphologie des cellules fongiques et une croissance anormale du champignon. Cette matière active systémique à diffusion ascendante aurait peu d'effet sur la germination des spores mais inhiberait plutôt l'élongation du tube germinatif ce qui expliquerait son action préventive (Siegel, M.R., 1981 et Klix et al., 2007).

Par ailleurs, les triazoles possèdent une efficacité remarquable sur la plupart des champignons pathogènes des cultures : *Monilia*, *Septoria Fusarium*, *Penicillium verticillium* *Cercospora* et *Botrytis* (Romain Giraud., 2018). D'autres auteurs évoquent aussi leur action curative et éradiquant.

1.2 Effet des différentes doses de l'association du Tébuconazole et Azoxystrobine sur le nombre de fruits pourris



T0 :0; T1 : (20 cc/hl Affix + 25 cc/hl Matiz) ; T2 : (40 cc/hl Affix + 50 cc/hl Matiz) ; T3 : (40 cc/hl Affix + 100 cc/hl Matiz); T4 : (80 cc/hl Affix + 100 cc/hl Matiz) ; T5 : (120 cc/hl Affix + 100 cc/hl Matiz)

Figure 9: Effet des différentes doses d'un mélange de deux produits (Matiz +Affix) sur le nombre de fruits pourris

-Les barres verticales représentent l'écart type.

-Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5% de probabilité (Test SNK).

Après l'analyse de la variance, on constate que les deux facteurs étudiés: le traitement et l'immersion, ont un effet significatif sur le nombre de fruits pourris, avec une moyenne de nombre de fruits pourris de l'ordre de 1,39.

D'après les résultats présentés sur la figure ci-dessus, la dose de 40cc/hl d'Azoxystrobine+ 100 cc/hl de Tébuconazole, a permis d'obtenir le nombre moyen de fruits pourris le plus faible qui est de l'ordre de 0,88. Par comparaison avec les résultats de l'essai précédent, on remarque que l'addition d'une concentration de 40cc/hl d'Azoxystrobine a permis de réduire la concentration efficace de Tébuconazole à la moitié (de 200 cc/hl à 100 cc/hl).

L'azoxystrobine fait partie de la famille des strobilutrines agissant par inhibition de la respiration mitochondriale et donc la production d'énergie des cellules (Godwin, J et al., 1997, 1994).

Doté d'une systémie ascendante, ce fongicide aurait une action anti-germinative, en agissant fortement sur la germination des spores et l'élongation du tube germinatif. Ce mode d'action inhibant la production d'énergie des cellules explique cette sensibilité qui demande une

quantité élevée d'énergie aux cellules (Bartlett, D. W. et al., 2002). Ce qui lui procure un effet curatif sur plusieurs champignons comme par exemple : *Leveillula taurica*, *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*, *Plasmopora viticola* et *Uncinula necator* (Attrassi K., 2007).

1.3 Effet des différentes doses des produits de Sorbate de potassium sur le nombre de fruits pourris

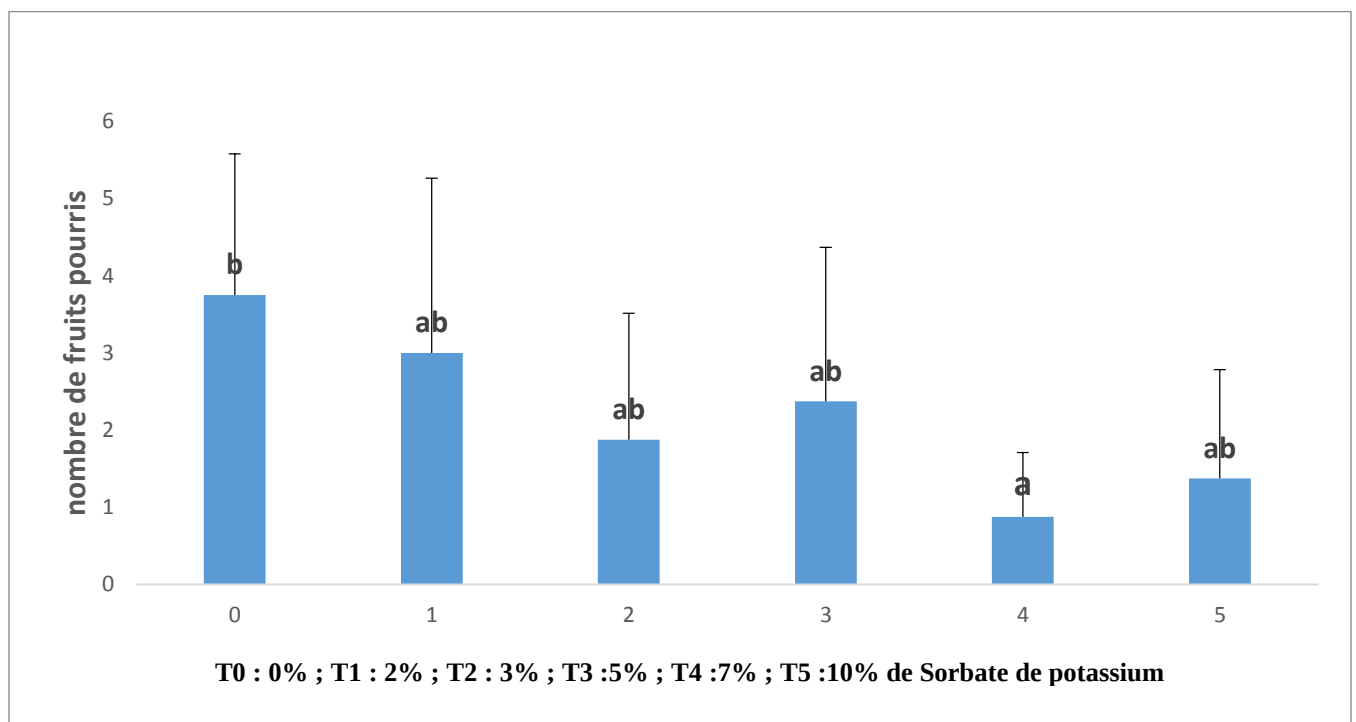


Figure 10 : Effet des différentes doses de Sorbate de potassium sur le nombre de fruits pourris

-Les barres verticales représentent l'écart type de la moyenne.

-Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5% de probabilité (Test SNK).

L'analyse de la variance a montré la présence d'effet de deux facteurs étudiés à savoir : le traitement et l'immersion sur le nombre de fruits pourris, avec une moyenne de nombre de fruits pourris de 2,21. En effet le nombre de fruits pourris le plus faible est obtenu avec une dose de 7% (figure 10).

Le sorbate de potassium est un additif alimentaire utilisé par l'industrie agroalimentaire en tant qu'agent de conservation pour ses propriétés antimicrobiennes et antifongiques. Dans cette étude son effet est notable à toutes les doses testées notamment à la dose T4.

Le pouvoir de surmonter une infection ne peut être obtenu que par la fixation dans le flavedo de quantités notables de fongicide capable d'empêcher la germination ou de jouer un rôle fongistatique. Les traitements par pulvérisation sont destinés à enrayer les premières attaques fongiques et à empêcher toute sporulation à la surface des fruits durant l'entreposage. D'après nos résultats c'est avec le traitement au tébuconazole que nous avons obtenu le nombre le moins réduit des fruits pourris.

2. Essais des traitements en post-récolte

2.1 Cas des fruits blessés

Traitements préventifs

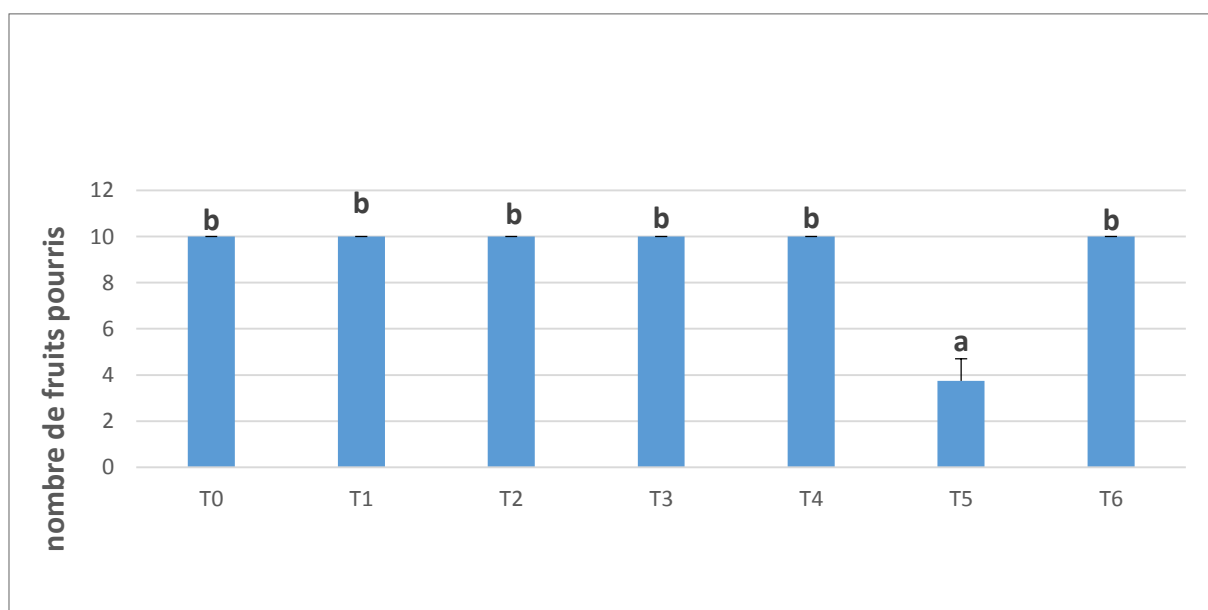


Figure 11: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris

- Les barres verticales représentent l'écart type.
- les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5% de probabilité (Test SNK).

Les résultats des différents traitements utilisés dans cet essai sont donnés par la figure 11. Cette dernière montre bel et bien que seul le Tébuconazole à 1.5% a eu un effet significatif

avec une valeur de 3.75 de fruits pourris. Les autres traitements aux doses testées restent non significativement différents du témoin non traité.

Des traitements appliqués sur des fruits par immersion pendant 3 min dans un bain contenant le Thiabendazole un autre fongicide unisite appartenant à la famille des benzimidazoles, montrent que ces des produits sont très utiles dans la lutte contre les attaques fongiques de post-récolte en agrumiculture (Cuillé et Bur-ravault., 1969).

Ces produits sont capables de limiter efficacement la croissance des principales espèces déjà installées (effet curatif) et d'éviter le développement des pourritures, mais, aussi, appliqués sur fruits avant contamination (préventif), ils migrent en quelques instants dans les tissus sur les futures voies de pénétration des champignons parasites et limitent la progression de ceux-ci lorsqu'ils surviennent.

Traitements curatifs

D'après l'analyse de la variance on constate la présence d'effet des traitements sur le nombre moyen des fruits pourris, avec une moyenne de l'ordre de 9,32 des fruits pourris et seul le traitement Matiz avec une concentration de 1,5% a permis de réduire le nombre des fruits moyen pourris qui atteint seulement une valeur de 5,25 (figure 11).

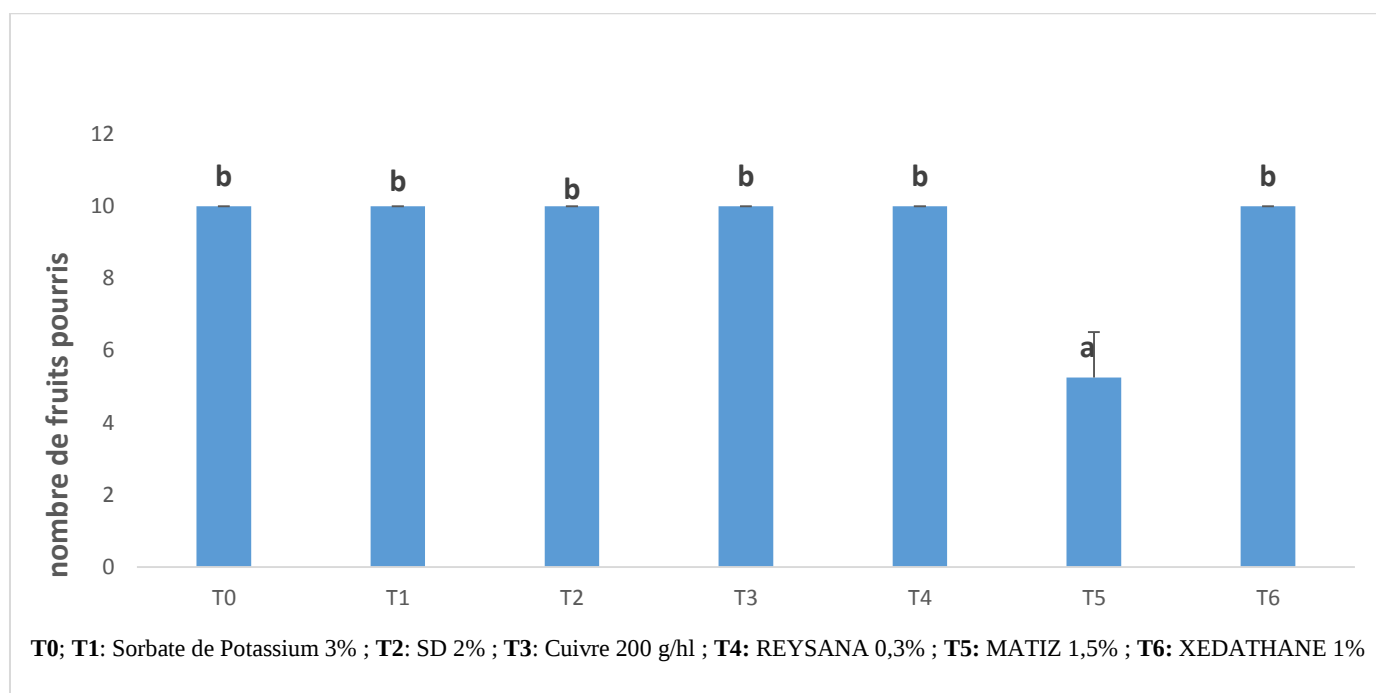


Figure 12: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris

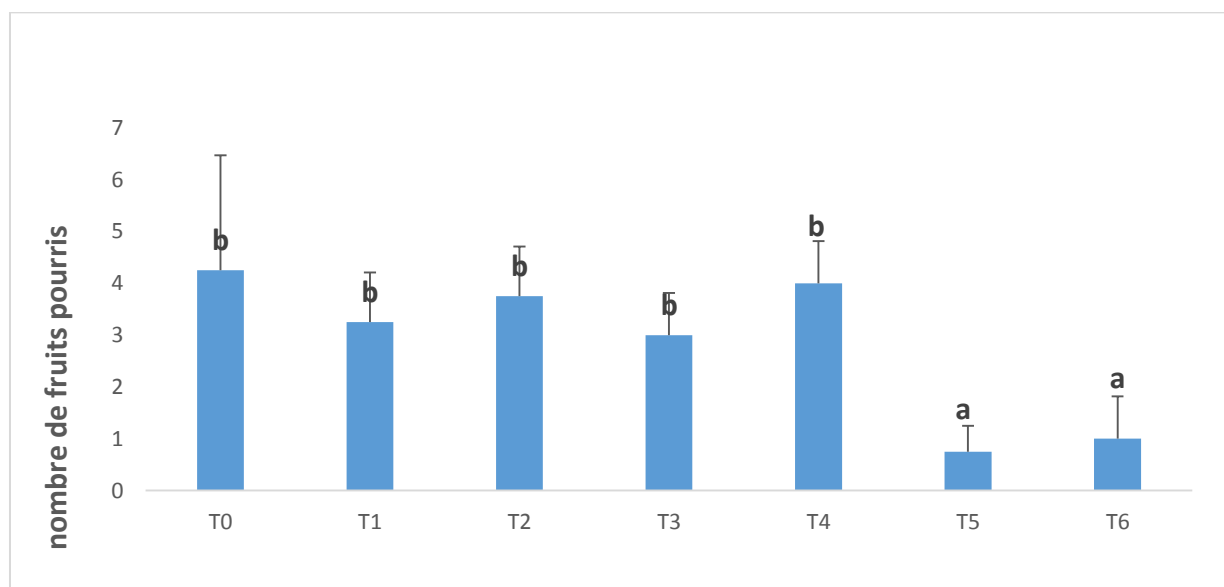
- Les barres verticales représentent l'écart type

-Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5% de probabilité (Test SNK).

Eckert (1977) a montré que les benzimidazoles sont très efficaces dans la prévention de l'infection des fruits se produisant durant la récolte et la conservation. La propriété éradiquant peut être attribuée à la pénétration de ces produits à travers la cuticule de l'hôte et d'arriver aux sites d'infection. Ces caractéristiques sont responsables de la persistance des fongicides pendant la longue période de conservation mais en même temps, ils sont responsables de la sélection continue dans la population des champignons résistants, ceci a été signalé par Ramdani (1989) pour *Penicillium spp.*

2.2 Cas de fruits non blessés

Traitements préventifs



T0 ; T1: Sorbate de Potassium 3% ; **T2:** SD 2% ; **T3:** Cuivre 200 g/hl ; **T4:** REYSANA 0,3% ; **T5:** MATIZ 1,5% ; **T6:** XEDATHANE 1%

Figure 13: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris

-Les barres verticales représentent l'écart type de la moyenne.

-Pour l'ensemble de traitements, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5% de probabilité (Test SNK).

Dans cet essai la moyenne des fruits pourris est de l'ordre de 2,85, deux traitements Matiz à une concentration de 1,5% et le Xédathane à une concentration de 1% ont réduit le nombre de fruits pourris respectivement de 0,75 et 1 (figure 13).

Ella ondo (1991) et Bondoux (1992) ont montré que des fongicides comme le Thiabendazole et le Bénomyl sont très efficaces contre toutes les contaminants fongiques des pommes et des poires en conservation. À des doses élevées, ces deux fongicides ont inhibé in vivo la sporulation de *Penicillium sp.* sur des fruits à une concentration allant de 4000 à 6000 ppm (Eckert, 1982).

Homologué par l'ONSSA, le Xédathane est un fongicide associant deux matières actives efficaces ; le pyriméthanil et l'huile de girofle. Il est conçu pour le traitement de post-récolte des agrumes contre les pourritures à *Penicillium* à des doses de 50cc/hl. Dans cet essai son effet est notable et comparable à celui du Tébuconazole.

Traitements curatifs

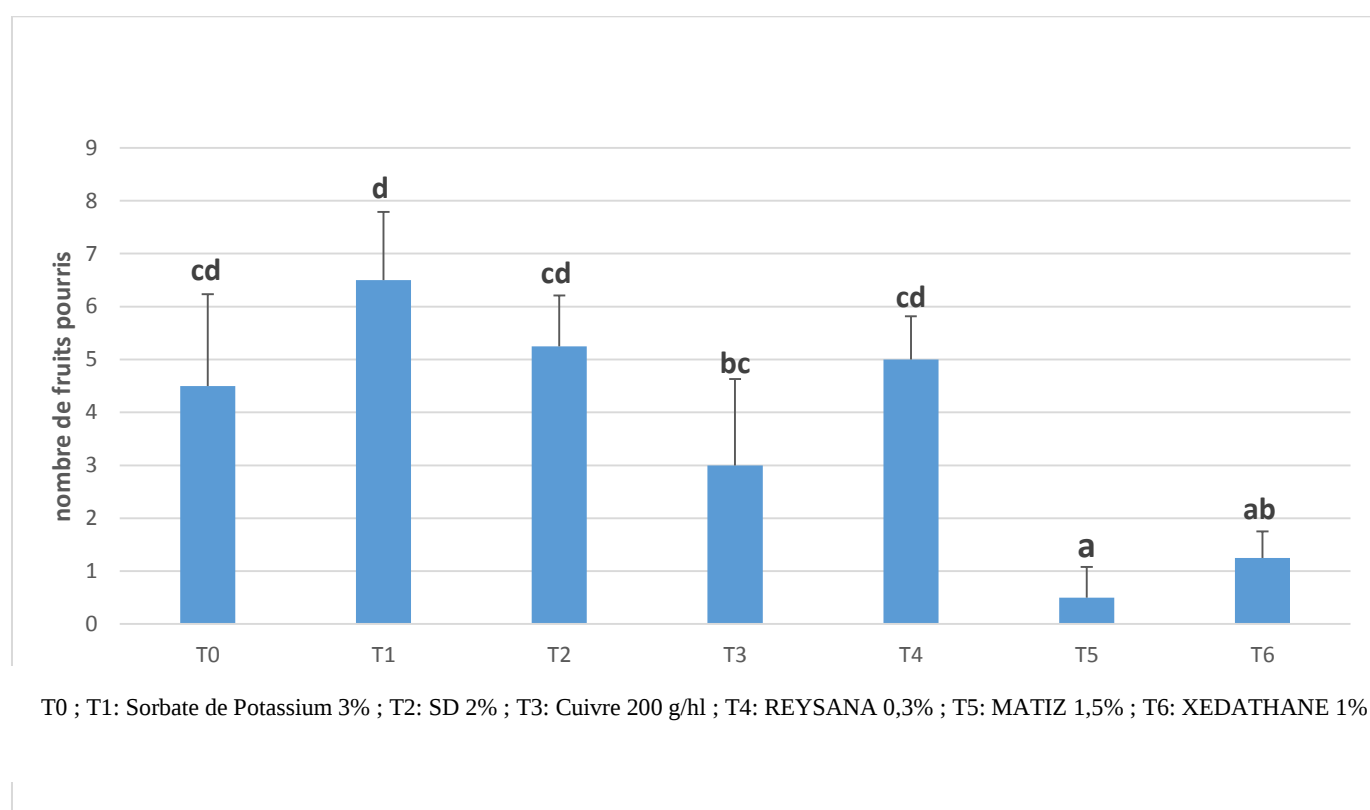


Figure 14: Effet des différents produits testés sur le nombre de fruits pourris

-Les barres verticales représentent l'écart type.

-Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à un seuil de 5% de probabilité (Test SNK).

Dans cet essai, la moyenne des fruits pourris est de l'ordre de 3,7. Comme dans le cas de traitement préventif, la figure 14 montre que seul le traitement au Tébuconazole à une

concentration de 1,5% et au Xedathan à une concentration de 1% a permis de réduire le nombre moyen de fruits pourris respectivement de 0,5 et 1,25.

A partir de ces résultats, nous avons trouvé que le traitement préventif est bien mieux que le curatif, c'est par ce que parfois les spores n'ont pas pu avoir l'occasion pour germer, par contre en curatif, le champignon a suffisamment de temps pour germer et atteindre les tissus profonds du fruit et être par conséquent à l'abri du traitement.

Par ailleurs, en comparant les résultats de l'expérience des fruits blessés avec ceux des non blessés, nous pouvons avancer que la moyenne de fruits pourris non blessés est plus faible par rapport aux fruits blessés que ça soit en traitement préventif ou curatif. Les blessures sont des portes d'entrée entre autres de plusieurs champignons pathogènes ce qui leur permet de pénétrer dans le flavedo et développer leur croissance mycélienne. Ceci est montré aussi dans les analyses de la variance des différents traitements étudiés, dans lesquelles on trouve que le Xedathane est efficace juste sur les fruits non blessés par contre il est sans effet dans le cas des fruits blessés, Par conséquent, certaines fongicides utilisés dans la conservation des agrumes peuvent être inactifs sur les fruits blessés.

CONCLUSION GENERALE ET PERCPECTIVES

Dans les domaines agrumicoles l'utilisation des fongicides dans la conservation des fruits est devenue indispensable pour assurer la protection des cultures et l'amélioration de leur productivité, mais l'apparition des souches résistantes aux matières actives et l'effet néfaste des résidus de ces matières sont des problèmes majeurs concernant l'utilisation de ces fongicides. Ce travail a été consacré à l'étude de l'activité antifongique de certains produits fongicides sur la croissance mycélienne de *Penicillium sp* responsables de la pourriture molle des agrumes en conservation.

Les résultats des traitements aux vergers par pulvérisation de clémentines avec trois matières actifs le Tébuconazole, l'Azoxystrobine et l'Acide sorbique, ont mis en évidence une activité antifongique significative de Tébuconazole par rapport à l'acide sorbique à une concentration de 200 cc/hl. En outre, l'association de ce dernier avec une concentration de l'Azoxystrobine de 40 cc/hl, a permis de réduire la concentration inhibitrice de Tébuconazole jusqu'à 100 cc/hl.

Dans les tests in vivo réalisés au laboratoire, les résultats obtenus nous ont confirmé les précédents sur le Tébuconazole, aussi le Xédathane qui est à base de pyriméthanil et l'huile de girofle s'est avéré un produit efficace dans la lutte contre les attaques fongiques de post-récolte notamment sur fruits non blessés. En effet, on a pu avoir une réduction des pertes, dont bénéficient les fruits au moment où ils arrivent sur les marchés de consommation. En revanche, les autres fongicides tels que celui à base d'Extrait de Reynoutria sachalinensis, l'oxychlorure de cuivre n'ont montré aucun effet sur la réduction des pourritures.

La comparaison des traitements entre les fruits blessés et non blessés a révélé que l'effet des fongicides est plus efficace sur fruits non blessés et ce aussi bien en traitement préventif qu'en curatif.

Cette étude nous a permis de suivre l'état sanitaire du mandarinier en post-récolte et vérifier l'efficacité de certaines matières actives à doses utilisées notamment sur fruits non blessés. D'autres recherches sont toujours recommandées, ainsi nos perspectives sont les suivantes :

- Etudier l'action de Tébuconazole sur d'autres champignons pathogènes des agrumes.
- Evaluer le risque de son utilisation à long terme sur la santé humaine et sur l'environnement, voire celui de l'apparition des souches résistantes
- Tester le Tébuconazole sur d'autres plantations d'arbres ou arbustes à intérêt économique
- Chercher d'autres traitements alternatifs pour lutter contre les pourritures de post-récolte des agrumes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Attrassi K., Benkirane R., Attrassi B., Douira A. –Effet de l'association de certains fongicides avec le chlorure de calcium sur le développement d'un complexe fongique responsable de la pourriture des pommes en conservation.- Phytoprotection, 2007, 88 :

B. P. De, « New antifungal agents and preparations.2000. », Int. J. Antimicrob. Agents, vol. 16, no 2, p. 147-150

Bartlett, D. W. et al. (2002). The strobilurin fungicides. Pest Manag. Sci. 58, 649–662

Benediste A. Et Baches M., 2002 – Agrumes. Ed. Ugen Ulmer, PARIS, n° 132, 96 p.

Bondoux P., 1992. Maladies de conservation des fruits à pépins : pommes et poires. INRA. Paris, PHM. Rev. Hortic., 173p.

Boubaker H., Saadi B., Boudyach E.H., Ait Benaoumar A. (2009) Sensitivity of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* to Imazalil and Thianbendazole in Morocco. Plant Pathology Journal 8(4): 152- 158.

Bové J.M., (2006). Huanglongbing : A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. Journal of Plant Pathology, 88, 7-37

Brown G.E., Eckert J.W. (1988) Postharvest fungal diseases, in: J. O. Whiteside, et al. (Eds.), Compendium of citrus diseases, APS Press, St Paul MN. pp. 30-38.

Brown GE. & Eckert JW., (2000). *Penicillium* decays. In : Timmer LW., Garnsey SM., Graham JH., Compendium of Citrus Diseases. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, pp 41-42

Chapot H. et Cassin J., (1961). Maladies et troubles divers affectant les citrus au maroc. Al Awamia I, 107- 142

Chegrani-Conan, C. (2009). Les agrumes : citron, orange, pamplemousse... Anagramme., Paris: Anagramme.

Cuillé J. et Bur-ravault L., (1969). Traitements des oranges contre les *Penicillium* avec des formules à base de Thiabendazole. Fruits, vol 24, pp. 421 -424

- Davidse, L. C. & Flach W., 1978** .Interaction of thiabendazole with fungal fungal tubul, Biochim. Biophys. Acta, 543: 82-90.
- Dias, N. P., Nava, D. E., Garcia, M. S., Silva, F. F. & Valgas, R. A., 2017.** Oviposition of fruit flies (Diptera: Tephritidae) and its relation with the pericarp of citrus fruits. Brazilian Journal of Biology, (AHEAD), 0-0
- Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T.H., 1980.** Compendium of Soil Fungi, vol. 1, Academic Press, London, UK
- Droby S., Eick A., Macarisin D., Cohen L., Rafael G., Stange R., Mc-Collum G., Dudai N., Nasser A., Wisniewski M., Shapira R., (2008).** Role of citrus volatiles in host recognition, germination and growth of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. Postharvest Biol. Technol, 49 (3), 386-396
- Eckert J. (1989)** Recent developments in the chemical control of postharvest diseases, Symposium on Tropical Fruit in International Trade 269. pp. 477-494.
- Eckert J.W., 1977.** Control of post-harvest disease. In: Siegele M. R. & H.D. Sisler (Ed): Antifungal compound, New York, 1: 225-232.
- Eckert J.W., 1982.** Case study: *Penicillium* decay of Citrus fruits. In: Dekker J. & S.G. Georgopoulos (Ed.): Fungicide resistance in crop. Protection. PUDOC, Wageningen: 231 - 250.
- Eckert J.W., Ogawa J.M. (1985)** The chemical control of postharvest diseases: subtropical and tropical fruits. Annual Review of Phytopathology 23(1): 421-454.
- Eckert JW. & Brown GE., (2000).** Gray mold. In : Timmer LW., Garnsey SM., Graham JH., Compendium of Citrus Diseases. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, pp 40-41
- Eckert JW. & Eaks IL., (1989).** Postharvest disorders and diseases of citrus fruits. In : Reuther W., Calavan EC., Carman GE., The Citrus Industry (Vol 4). University of California Press, Berkeley, CA pp 179-260
- Eckert, J.W., Brown, G.E., 1988.** Postharvest citrus diseases and their control. Fresh citrus fruits, 315-360

Ella ondo T., 1991. Effet de la lutte chimique en post récolte sur l'incidence des pourritures à *Penicillium expansum* des poires en conservation. Mémoire de 3^{ième} cycle en Agronomie, option phytopathologie, I.A.V. Hassan II, Maroc, 96p.

ER-Raki S. (2007) Estimation des besoins en eau des cultures dans la région de Tensift AL Haouz: Modélisation, Expérimentation et Télédétection. Thèse de Doctorat. Université Cadi Ayyad. 128 p.

Garcia-Lor A., Curk F., Snoussi-Trifa H., Morillon R., Ancillo G., Luro F., Navarro L., et Ollitrault P., 2013. A nuclear phylogenetic analysis : SNPs, indels and SSRs deliver new insights into the relationships in the 'true citrus fruit trees' group (Citrinae, Rutaceae) and the origin of cultivated species. *Annals of Botany* **111**. 19p.

Gilchrist DG., (1998). Programmed cell death in plant disease: the purpose and promise of cellular suicide. *Annual Review of Phytopathology* **36**, 393-414

Gilles B., (2005). Produire des agrumes en agriculture biologique. Ed. ITAB, Paris, p.p. 3 - 4.

Godwin, J. R., Young, J. E. & Hart, C. A. (ZENECA A. (1994). ICIA5504: effects on development of cereal pathogens. *Proc Brighton Crop Prot. Conf-Pests Dis. BCPC Farnham Surrey UK* 259–264.

Godwin, J. R., Young, J. E., Woodward, D. J. & Hart, C. A. (1997). Azoxystrobin : effects on the development of grapevine downy mildew (*Plasmopara viticola*). *Proc ANPP Cinquième Conférence Internationale Sur les Maladies des Plantes, Tours* 871–878.

Graça JV. & Korsten L., (2004). Citrus Huanglongbing : Review, present status and future strategies. In : Naqui S., *Diseases of Fruits and Vegetables Diagnosis and Management (Vol I)*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp 229-245

Graham JH. & Menge JA (1999). Root diseases. In : Timmer LW, Duncan LW (Eds) *Citrus Health Management*, American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, 126-135

Graham JH., Gottwald TR., Cubero J. & Achor D., (2004). *Xanthomonas axonopodis* pv. Citri : factors affecting successful eradication of citrus canker. *Molecular Plant Pathology* **5**, 1-15

Holmes G.J., Eckert J.W., Pitt J.I. (1994) revised description of *Penicillium ulaiense* and its role as pathogen of citrus fruits. *Phytopathology* **84**: 719-727.

J. Dijksterhuis, K. G. van Driel, M.G. Sanders, D. Molenaar, J. A. Houbraeken, R. A. Samson & E.P. Kets 2002., « Trehalose degradation and glucose efflux precede cell ejection during germination of heat-resistant ascospores of *Talaromyces macrosporus* », *Arch. Microbiol.*, vol. 178, no 1, p. 1-7.

Klix, M. B., Verreet, J.-A. & Beyer, M. (2007). Comparison of the declining triazole sensitivity of *Gibberella zeae* and increased sensitivity achieved by advances in triazole fungicide development. *Crop Prot.* 26, 683–690.

Lepoivre P., Burgeff C., Jijakli M., Bultreys A. (1992) Les biopesticides en arboriculture fruitière. *Fruit Belge* 60(440): 242-248

Loudyi D., Skiredji A., & Hassan E., (2003). Fiches techniques : le bananier, la vigne, les agrumes. In T. d. t. e. agriculture (Ed.). Rabat: Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II.

Loussert R., 1987. Les agrumes, arboricultures. Ed. Mkalles–Mar Roukoz. Liban. Technique scientifique universitaire, 113 p

Lurie S. (1998) Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology* 14(3): 257-269.

Marcet-Houben, M., Ballester, A.R., de la Fuente, B., et al., 2012. Genome sequence of the necrotrophic fungus *Penicillium digitatum*, the main postharvest pathogen of citrus. *BMC Genomics* 13, 646.

Mokrini R. (2006) Mécanismes radicalaires dans la dégradation de composés phénoliques en chimie sous rayonnement: radiolyse gamma des chalcones et de l'acide férulique en solutions alcooliques. Thèse de Doctorat. Université de Limoges. 220 p.

Moreno P, Guerri J, Ortiz J (1989). Alteration of bark proteins associated with citrus tristeza virus (CTV) infection on susceptible citrus species and scionrootstock combinations. *Journal of Phytopathology* 125, 55- 66

Nadori E.B., Nhami A., (2005). La culture du clémentinier au Maroc : évolution et perspectives.

Ollitrault P, Jacquemond C, Dubois C, Luro F., (2003). Citrus. In: Genetic diversity of cultivated tropical plants. Hamon P., Seguin M., Perrier X., Glaszmann J.C (Eds.). Science Publishers Inc, 193-217.

Ollitrault P., Terol J., Garcia-Lor A., Bérard A., Chauveau A., Froelicher Y., Belzile C., Morillon R., Navarro L., Brunel D., et Talon M., 2012. SNP mining in *C. clementina* BAC end sequences; transferability in the Citrus genus (Rutaceae), phylogenetic inferences and perspectives for genetic mapping. BMC Genomics. 19p. Article de recherche.

Onions, A.H.S., 1966. *Penicillium digitatum*. C.M.I. Description Pathogenic Fungi Bacteria 96, 1–2.

Ouille J et Bur-ravault– 1969 Traitement des oranges contre les *Penicillium* avec des formules à base de THIABEN - DAZOLE . Fruits, vol . 24, n ' 9-10, p .421-424.

P. Liu, Y. Cheng, M. Yang, Y. Liu, K. Chen, C. A. Long & X. Deng, 2014. « Mechanisms of action for 2-phenylethanol isolated from *Kloeckera apiculata* in control of *Penicillium* molds of citrus fruits », BMC Microbiol., vol. 14, no 1, p. 242.

Palou L., Smilanick J.L., Usall J., Viñas I. (2001) Control of postharvest blue and green molds of oranges by hot water, sodium carbonate, and sodium bicarbonate. Plant disease 85(4): 371-376.

Palou, L., Smilanick, J.L., Droby, S., 2008. Alternatives to conventional fungicides for the control of citrus postharvest green and blue molds. Stewart Postharvest Rev. 2 (2), 1–16.

Panno S., Davino S., Tuttolomondo P., Iacono G., Davino M., Rubio L., & Galipienso L., (2014). Cítricos ornamentales como vector de enfermedades : riesgos para el comercio.

Pitt, J.I., Hocking, A.D., 2009. Fungi and Food Spoilage, third ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Pitt, J.I., Hocking, A.D., 2009. Fungi and Food Spoilage, third ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands

Planet P., Jagoueix S., Bové JM. & Garnier M., (1995). Detection and characterization of the African citrus greening *Liberibacter* by amplification. Current Microbiology 30, 137- 141

Plaza, P., Usall, J., Teixidó, N., Viñas, I., 2003. Effect of water activity and temperature on germination and growth of *Penicillium digitatum*, *P. italicum* and *Geotrichum candidum*. J. Appl. Microbiol. 94, 549–554.

Polese J. M (2008) : La culture des agrumes. Édition artémis. p 94

Praloran J.-C., 1971. Les agrumes. Ed. G.-P. Maisonneuve et Larose (Paris), 565 p.

Prusky D., McEvoy JL., Saftner R., Conway WS., Jones R., (2004). Relationship between host acidification and virulence of *Penicillium* spp. on apple and citrus fruit. Phytopathology, 94, 44-51

R. S. Pimenta, F. L. Silva, J. F. Silva, P. B. Morais, D. T. Braga, C. A. Rosa & A. Corrêa Jr, 2008. « Biological control of *Penicillium italicum*, *P. digitatum* and *P. expansum* by the predacious yeast *Saccharomycopsis schoenii* on oranges », Braz. J. Microbiol., vol. 39, no 1, p. 85-90.

R. van Driesche, M. Hoddle, et T. Center, 2009. Control of Pests and Weeds by Natural Enemies: An Introduction to Biological Control. John Wiley & Sons.

Ramdani A., 1989. Les pourritures à *Penicillium expansum* Link. ex. Thom. des pommes et des poires dans une station frigorifique de la région de Meknès : Problèmes et remèdes. Mémoire de 3ème cycle en Agronomie, Option phytopathologie I.A.V. Hassan II, Maroc, 112p.

Romain Giraud., 2018 Le tébuconazole : matière active du Dedicare. <http://www.cliniquedugazon.fr>.

Samson, R. A. and Pitt, J. I. (1992). Modern concepts in *Penicillium* and *Aspergillus* classification. Mycologia 84[6], 946-947.

Samson, R.A., Hoekstra, E.S., Frisvad, J.C., 2004. Introduction to Food- and Airborne Fungi, seventh ed. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, The Netherlands.

Sebbata A., EL Quessouar M., Aboulama S., El Khamass M. (1998) Problématique de la lutte contre *Geotrichum candidum* des fruits d'agrumes, in: A. Ait-Oubahou and M. El-Otmani (Eds.), Nouveaux acquis dans la recherche en agrumiculture, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Agadir, Maroc. pp. 343-347.

- Siegel, M. R. (1981).** Sterol-inhibiting fungicides: effects on sterol biosynthesis and sites of action. *Plant Dis.* 65, 986–989.
- Smilanick J.L. & Mansour MF., (2006).** Influence of temperature and humidity on survival of *Penicillium digitatum* and *Geotrichum citri-aurantii*. *Plant Disease*, 91, 990-996
- Smilanick, J.L., Brown, G.E., Eckert, J.W., 2006.** The biology and control of postharvest diseases. In: Wardowski, W.F., Miller, W.M., Hall, D.J., Grierson, W. (Eds.), *Fresh Citrus Fruits*, second ed. Florida Science Source, Inc., Longboat Key, FL, USA, pp. 339–396.
- Taqarort N. (2008)** Recherche de moyens de lutte contre *Penicillium digitatum*, agent de la pourriture verte des agrumes. Thèse de Doctorat. Université Ibn Zohr, Agadir. 160 p.
- Timmer LW., Gottwald TR. & Zitko SE., (1991).** Bacterial exudation from lesions of Asiatic citrus canker and citrus bacterial spot. *Plant Disease* 75, 192-195
- W. J. Janisiewicz et J. Roitman, 1988.** « Biological control of blue mold and gray mold on apple and pear with *Pseudomonas cepacia* », *Phytopathol. USA*.
- W. J. Janisiewicz ET L. Korsten, 2002.** « Biological control of postharvest diseases of fruits. », *Annu. Rev. Phytopathol.*, vol. 40, p. 411-441.
- Wehmer, C., 1894.** Eine neue Sklerotien-bildende *Penicillium* species (*P. italicum*). *Hedwigia* 33, 211–214