

Utilisation des extraits de plantes contre les maladies de post-récolte des fruits

E. AIT-ALI¹, A. EL KHETABI¹, S. BELMALHA¹, R. LAHLALI¹

(Reçu le 31/12/2020; Accepté le 12/02/2021)

Résumé

Actuellement, le secteur agricole est devenu un système de production intensif. Cette situation a posé de nombreux problèmes environnementaux et de santé humaine et a conduit au développement de la résistance des agents pathogènes aux molécules chimiques utilisés. Parmi les mesures envisagées pour atténuer les effets secondaires des pesticides, il y avait l'émergence des méthodes de lutte alternatives. Ces techniques rencontrent plusieurs contraintes dans le verger par exemple: l'humidité, les températures excessives, et les rayons Ultra Violets. De ce fait, l'utilisation des Biopesticides dans les conditions de stockage peut s'avérer une alternative efficace pour lutter contre les maladies des fruits. Au Maroc, les problèmes à pourritures dans les conditions de stockage présentent une contrainte majeure pour le développement des secteurs des fruits tel que le secteur des agrumes qui est menacé par les pourritures à *Penicillium* (*Penicillium italicum* et *Penicillium digitatum*) et le secteur des pommes qui lui aussi menacé par les pourritures à *Penicillium* et *Botrytis*. Cette situation incite les agriculteurs à l'utilisation intensive des pesticides de synthèse (benzimidazole, l'imazalil et thiabendazole...). Cette article de synthèse a pour objectif d'évaluer le potentiel antifongique des plantes comme alternative à l'usage des pesticides de synthèse afin de lutter contre des maladies post-récolte des fruits ainsi qu'à l'évaluation des combinaisons des extraits de plantes avec d'autres méthodes respectueuse de l'environnement. Il ressort que les plantes se présentent comme une alternative prometteuse. En effet, diverses espèces de plantes peuvent être utilisées comme extraits de plantes pour le contrôle des maladies post-récolte des fruits.

Mots clés: *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Botrytis*, Extraits de plantes, post-récolte, fruits

Use of plant extracts against post-harvest fruit diseases

Abstract

Currently, the agricultural sector has become an intensive production system, which poses many environmental and health problems and led to the development of pathogen resistant strains to chemical molecules used. To reduce the risk of pesticides secondary effects, there is the emergence of alternative control methods. These techniques meet several constraints in the orchard for example: humidity, excessive temperatures and ultra violet radiations. Therefore the use of biopesticides in storage conditions can be an effective alternative to fight against postharvest fruit diseases. In Morocco, problems with fruit decays in storage conditions are a major constraint for the development of fruit sectors such as the citrus fruit sector which is threatened by *Penicillium* rots (*Penicillium italicum* and *P. digitatum*) and the apple sector threatened by *Penicillium* and *Botrytis* rots. This situation encourages citrus growers to intensively use synthetic pesticides (benzimidazole, imazalil, and thiabendazole). This review aims to evaluate the antifungal potential of pesticidal plants as an alternative control strategy to the use of synthetic pesticides and the possibility of using them in combination with other eco-friendly control methods. It shows that pesticide-based plants are a promising alternative. Indeed, various species of pesticidal plants can be used as plant extracts for the control of post-harvest fruit diseases.

Keywords: *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Botrytis*, Plant extracts, post-harvest, fruits

INTRODUCTION

Le domaine agricole, durant ces dernières décennies, est basée sur une agriculture intensive. Cette orientation vers une production conventionnelle pose plusieurs problèmes environnementaux et de santé. Généralement, les producteurs sont face à des enjeux complexes qui imposent un rendement élevé avec un maximum de rentabilité et une production indemne de problèmes phytosanitaires. Cela ne peut être effectué qu'à travers des interventions phytosanitaires fréquentes. Devant les risques de contaminations par les résidus de pesticides, les consommateurs et l'Organisation Mondiale de la Santé exigent une réduction minimale de l'utilisation des pesticides avec l'adoption des limites maximales de résidus très faibles. Ces exigences ont donné naissance à un ensemble de pratiques qui sont biologiques qui sont des alternatives possibles à la lutte chimique.

Parmi ces mesures envisagées, nous trouvons les biopesticides qui intègrent plusieurs gammes de produits en allant des produits à base de micro-organismes jusqu'à des produits botaniques. Cependant, le nombre de biopesticides reste limité dans le marché du fait de nombreuses contraintes,

notamment techniques ou économiques. Par ailleurs, les activités de lutte biologique dans les exploitations ou dans les vergers rencontrent des obstacles liés à l'environnement et qui vont affecter l'efficacité des biopesticides comme par exemple les radiations UV, les températures excessives, l'humidité... (Droby *et al.*, (2016). De ce fait, l'utilisation de biopesticides dans les conditions de stockage peut s'avérer une alternative efficace pour le contrôle des agents pathogènes de post-récolte avec une probabilité d'échec faible par rapport aux conditions des vergers.

Au niveau du Maroc, les problèmes des pourritures dans les conditions post-récoltes 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*...) qui incitent les agrumiculteurs dans les stations de stockage à faire recours aux Benzimidazoles, surtout l'utilisation de l'Imazalil et du Thiabendazole (Maroc Citrus, 2020).

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

De plus, les *Penicillium*, *Botrytis cinerea* et d'autres maladies fongiques engendrent aussi des dommages considérables qui peuvent arriver ou dépasser 30 % dans le secteur des pommes, avec la sécrétion des substances toxiques cancérigènes sur les fruits infectés (El Guilli *et al.*, 2016). Devant cette situation alarmante, cette étude va porter sur une synthèse bibliographique des travaux réalisés afin de construire une base scientifique pour les prochaines études. Les objectifs de cette synthèse sont: **1.** L'inventaire des différentes métabolites secondaires existantes chez les plantes; **2.** La présentation des critères de sélection des techniques d'extraction; **3.** L'évaluation des techniques de lutte utilisées contre les maladies de post-récolte et leurs impacts; **4.** L'évaluation de l'efficacité de l'usage des extraits de plantes contre les maladies de post-récolte des fruits; **5.** L'évaluation des combinaisons de lutte basées sur les extraits de plantes et d'autres méthodes de lutte appropriées.

LES MÉTABOLITES OU LES COMPOSÉS BIOACTIFS DES PLANTES

Selon des études menées à l'échelle mondiale, plus de cent cinquante molécules naturelles appartenant à diverses familles naturelles (alcaloïdes, terpénoïdes, hétérosides, polyphénols, saponines, coumarines...) ont été isolées, identifiées et valorisées (Elkolli, 2017).

Dans cette synthèse, nous allons nous intéresser à évaluer leurs effets contre les agents pathogènes de post-récolte. D'après Elkolli (2017), les composés bioactifs ou les métabolites secondaires peuvent être classés en trois groupes principaux: Les composés terpéniques, les composés phénoliques et les alcaloïdes.

Les composés terpéniques

Ces molécules terpéniques sont des substances lipidiques de structure cyclique ou acyclique. Elles se distinguent généralement par leur squelette formé par des unités isoprénique (2-méthyl-1,3-butadiène) à cinq atomes de carbone (C₅H₈). Ces lipides (hydrophobes) sont synthétisés à partir de l'acétyl-CoA et elles sont généralement stockées dans les vacuoles des épines, les racines ou encore dans les feuilles (Buckle, 2015).

La classification de ces composés terpéniques est basée sur la structure (acycliques, monocycliques ou bicycliques). Il est à noter aussi que les molécules terpéniques les plus utilisées en protection des plantes sont les huiles essentielles (HE) qui jouent un rôle essentiel dans l'équilibre des écosystèmes. En ce qui concerne les HE formées par les terpènes, on trouve deux groupes importants: Les monoterpènes et les sesquiterpènes. Les procédés d'extraction des composés terpéniques sont nombreux et vu la volatilisation de ces composés et la quantité faible extraite à partir des plantes, ces procédés doivent tenir compte de ces caractéristiques et aussi ils doivent fournir une information quantitative satisfaisante. Pour extraire les terpènes, les chercheurs font recours généralement à l'hydrodistillation, l'entraînement à la vapeur d'eau, hydrodiffusion et l'extraction assistée par micro-onde (Belwal *et al.*, 2018).

Les composés phénoliques

Les phénols sont des composés caractérisés par la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est lié directement au moins un groupe hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction (éther, ester, hétéroside...etc.). Le phénol est

le composé de base de ce groupe et les dérivés portant plus de deux noyaux benzéniques sont appelés les polyphénols. Ces molécules se présentent chez plusieurs plantes aromatiques et médicinales et elles sont localisées généralement dans les racines, tiges, fruits, feuilles et les fleurs (Altemimi *et al.*, 2017). La majeure partie des composés aromatiques est constituée de la famille des phényl-propanoïdes, qui dérivent de la phénylalanine ou de la tyrosine. Les phénols sont classés en plusieurs catégories (Tsimogiannis et Oreopoulou, 2019). Premièrement, les «Tannins» qui sont des composés polyphénoliques (constitués par plusieurs noyaux phénoliques) responsables de la contraction des tissus en liant les protéines et en les précipitant. Les tanins ont des couleurs qui vont du blanc jaunâtre au brun et foncent à la lumière. Ils possèdent une légère odeur caractéristique et sont astringents. Ils se dissolvent dans l'eau, l'acétone et l'alcool. Deuxièmement, les «flavonoïdes» qui sont des composés hydrosolubles servent à colorer les fleurs et les fruits en jaunes ou en blanc. Les flavonoïdes sont des polyphénols à vocation médicinales, à titre d'exemple la molécule Quercétine. Et pour le troisième type des phénols «les coumarines», ils sont des composés constitués par l'acide cinnamique. Ces composés sont solubles dans les alcools et dans les solvants organiques ou encore dans des solvants chlorés. Quatrièmement, les quinones sont des composés oxygénés omniprésents dans la nature et sont hautement réactifs. Ces composés sont responsables de brunissement des fruits. Le dernier type de phénols est les phénols simples ou les acides phénoliques, ces molécules ont une structure simple basée sur un noyau aromatique portant un ou plusieurs groupes hydroxyles substitués, par exemple le thymol contenu dans l'huile essentielle du thym et dans plusieurs autres plantes.

Les alcaloïdes

Ils sont des dérivés des acides aminés tels que tryptophane, tyrosine, phénylalanine, arginine... et qui sont décarboxylés (Peng *et al.*, 2020). Autrement, les alcaloïdes sont constitués des molécules organiques mono ou polycyclique naturelle. Les alcaloïdes se présentent surtout dans ces familles botaniques: Papavéracées, Rutacées, Fabacées et Solanacées. Ils possèdent la caractéristique des composés amers et ils forment des sels. Comme c'est déjà traité au-dessus, les alcaloïdes sont dérivés des acides aminés par exemple le Tryptophane, l'Ornithine, la Lysine, l'Asparate, l'Anthranilate, la Phénylalanine et la Tyrosine. Généralement ces acides aminés sont décarboxylés en amines qui sont couplées à d'autres squelettes carbonés. Les deux composés de base qui constituent la base des alcaloïdes sont la Strictosidine et la Norcoclaurine. Pour la classification des alcaloïdes, elle se base sur la présence de l'azote dans la molécule ou l'hétérocycle ainsi est-ce que l'origine de la molécule est un acide aminé ou non.

CONCEPTION DES TECHNIQUES D'EXTRACTION

L'efficacité du processus d'extraction ne dépend pas seulement du choix de la méthode mais aussi du solvant choisi, de la matière première utilisée, de l'époque de la récolte des plantes, la taille des particules... Ces facteurs doivent être respectés afin de maximiser le rendement en composé bioactifs et aussi pour minimiser la perte d'énergie et la consommation des quantités de solvant.

Choix des solvants

Le choix des solvants doit prendre en considération la nature chimique des composés ciblés (composés hydrophiles, lipophiles). Généralement, les solvants polaires par exemple l'éthanol, le méthanol, l'acétate d'éthyle, etc. sont utilisés pour l'extraction des composants hydrophiles. Alors que les solvants non polaires (ou apolaires) à titre d'exemple l'hexane, l'éther, etc. sont préférés pour l'extraction des métabolites secondaires lipophiles ou apolaires (Proestos et Komaitis, 2008). Il est à noter aussi que l'eau est le solvant le moins cher parmi les autres solvants, mais elle présente un inconvénient contraignant, c'est qu'elle permet le développement des agents pathogènes aussi elle peut provoquer l'hydrolyse ou la décomposition des métabolites des plantes et nécessite une température élevée pour s'évaporer des extraits.

Les solvants non polaires sont généralement caractérisés par de faibles permittivité (propriété physique qui décrit la réponse du solvant à un champ électrique appliqué) et donc ils ne conviennent pas à l'extraction par micro-ondes, tandis que les solvants polaires sont largement utilisés en raison de leurs permittivités élevées qui permet une meilleure absorption du champ électrique appliqué par les micro-ondes.

Taille des particules végétales

Parmi les autres facteurs de la réussite de l'extraction des composés bioactifs est la taille des particules végétales, ces dernières doivent être très petite en allant de 2 à 100 µm. Cela est dans le but d'assurer un maximum de contact entre l'échantillon et le solvant (Wang *et al.*, 2006). Ainsi l'efficacité de la technique du broyage joue un rôle essentiel dans la réussite de l'extraction Vinatoru *et al.*, (2017). En effet, plus la taille des particules est petite plus il y a plus de surface pour le solvant et par conséquent on aura plus de pénétration du solvant, aussi la forme des particules est un élément essentiel, d'après Vinatoru *et al.*, (2017) la forme irrégulière de la particule végétale devient plus arrondie et lisse après suspension dans le solvant. A la fin la particule est entourée par la couche stagnante de solvant et la diffusion des composants de la plante démarre.

Condition de séchage

Pour la détermination finale des composés bioactifs, les échantillons doivent passer par l'opération de séchage. Cette procédure joue un rôle crucial et peut être faite par plusieurs techniques tel que le séchage au soleil, le séchage à l'ombre, le séchage à l'air, le séchage au four, le séchage au micro-ondes ou encore la lyophilisation.

L'opération de séchage détermine plusieurs paramètres de l'échantillon mis à l'extraction, ces paramètres sont la durée de vie de l'agent pathogène et son activité enzymatique et par conséquent le séchage affecte la capacité du stockage des échantillons (García-Segovia *et al.*, 2011). Dans une autre étude, la tige d'*Helicteres hirsute* a été traitée pour l'extraction des polyphénols dans différentes conditions de séchage (air chaud, air à basse température, infrarouge et séchage sous vide). Le séchage à l'air chaud à 80°C s'est révélé la meilleure méthode d'extraction des polyphénols, avec un rendement nettement supérieur à celui des autres méthodes de séchage (Pham *et al.*, 2017).

Le séchage affectera également la concentration spécifique du composé bioactif des plantes. A titre d'exemple, la peau

des grenades a été séchée par congélation et séchage au four. Le rendement en punicaline était plus élevé avec un séchage au four à 60°C, mais la lyophilisation a entraîné une concentration plus élevée de catéchine et d'épicatéchine, ainsi qu'une concentration plus élevée du phénol total, des tanins et des flavonoïdes (Mphahlele *et al.*, 2017).

Technique d'extraction

Généralement le rendement d'extraction ne dépend pas seulement du solvant choisi et de la matière végétale disponible mais il dépend aussi du procédé d'extraction qui détermine la quantité et la qualité du composé extrait.

Pour le cas des huiles essentielles, il s'est avéré que l'hydrodistillation assistée par micro-ondes (HDAM) et l'extraction par micro-ondes sans solvant (EMSF) sont les méthodes d'extraction les plus avantageuses par rapport à l'hydrodistillation conventionnelle (Jeyaratnam, *et al.*, 2016). En plus du choix du procédé d'extraction, la configuration des instruments est également importante pour une efficacité acceptable de l'extraction.

EXEMPLES DES MÉTHODES DE LUTTE UTILISÉES CONTRE LES MALADIES DE POST-RÉCOLTES DES FRUITS ET LEURS IMPACTS

Utilisation des fongicides de synthèse contre les maladies de post-récolte et leurs impacts

L'usage des fongicides de synthèse représente l'un des outils pour lutter contre les maladies de post-récolte des fruits, mais ces techniques peuvent présenter un risque pour la santé des consommateurs.

Dans le même sens, les chercheurs Li *et al.*, (2020) ont essayé d'étudier les effets antifongiques de benzothiadiazole (BTH) sur le développement de la pourriture bleue des pommes causée par *P. expansum*. Les auteurs ont élucidé l'effet de BTH sur les activités enzymatiques liées au métabolisme respiratoire, le nombre et la structure des mitochondries des fruits traités. En effet, ils ont démontré que le traitement au BTH inhibait la moisissure bleue causée par *P. expansum* et il améliorait l'activité mitochondriale des pommes tout en créant une résistance des fruits vis-à-vis le stress biotique appliqué par le pathogène.

Les résultats de Li *et al.*, (2020) ont montré que le traitement au BTH réduisait efficacement la progression de la pourriture bleue (*P. expansum*). En effet, le diamètre des lésions des pommes traitées avec BTH a été toujours inférieurs par rapport aux témoins. En comparant, l'activité antifongique de BTH avec la polylysine qui a été déclaré comme substance similaire au fonctionnement de BTH (Li *et al.*, 2020), il a été trouvé que le travail de Ge *et al.*, (2018) qui s'est articulé sur l'effet de la polylysine sur *P. expansum* confirmait bien les résultats précédemment cités.

Or, l'utilisation des composés chimiques présente plusieurs inconvénients pour la santé des consommateurs surtout avec des effets d'apoptose et des modifications du cycle cellulaire normale des cellules Caco-2 (une lignée de cellule humaine développée par la recherche sur le cancer) (Tao *et al.*, 2020). Autrement Jin *et al.*, (2016) ont pu conclure que la composition et la richesse en microbiote intestinal des souris a été réduite suite à l'exposition à

l'Imazalil ainsi la proportion de bonnes bactéries a diminué alors que les bactéries pathogènes ont augmenté chez les souris étudiées. De plus, le développement larvaire et le comportement locomoteur d'une espèce aquatique *Danio rerio* étaient significativement affectés par l'Imazalil (Jin *et al.*, 2016).

Néanmoins, les consommateurs sont aujourd'hui exposés à plusieurs substances chimiques précisement l'Imazalil et le Thiabendazole qui sont deux matières actives synthétiques très utilisés contre les maladies de post-récolte (Ujike & Yasunaga, 2015; Yoshimura & Motomura, 2016). De plus, Tanaka *et al.*, (2020) ont montré que l'exposition des rats à la combinaison Imazalil/Thiabendazole produisait des effets neurologiques néfaste sur la génération F1.

Étant donné que l'utilisation intense de l'Imazalil et de Thiabendazole contre les maladies de post-récolte (Crépet *et al.*, 2019), le risque de la contamination de l'Homme est imminent et par conséquent la menace potentielle de la santé humaine doit être prise en considération pour trouver d'autres alternatives anodines.

Utilisation des agents antagonistes de bio-contrôle contre les maladies de post-récolte et leur impact

P. digitatum et *P. italicum* figurent parmi les principaux agents pathogènes qui peuvent causer des pertes jusqu'à 30% sur les agrumes pendant le transport et le stockage (Chen *et al.*, 2019). Par conséquent, le contrôle de ces agents pathogènes par des méthodes de lutte appropriées peut s'avérer utile. Dans le même contexte, Tian *et al.*, (2020) ont essayé d'utiliser une souche bactérienne de *Bacillus* spp. W176 afin de contrôler la moisissure verte causée par *P. digitatum*. En effet, les résultats ont montré que l'augmentation de la population de la bactérie *Bacillus* spp. W176 peut contrôler la pourriture verte sur les agrumes.

D'une part, les résultats de Tian *et al.*, (2020) ont indiqué que des composés extraits du *Bacillus* spp. W176 avaient des activités inhibitrices significatives sur l'expansion du champignon. Parisa *et al.*, (2017) ont aussi confirmé l'activité antifongique de *Bacillus subtilis* contre *P. digitatum*, de même pour Abraham *et al.*, (2010).

D'autre part, Cozzolino *et al.*, (2020) ont montré que des sécrétions lipopeptidiques du *Bacillus* sp. SL-6 présentaient un potentiel antifongique important contre *B. cinerea* sur les pommes. En effet, des fruits inoculés avec LPs-ME (extraits lipopeptidiques de *B. velezensis* SL-6) et stockés pendant 7 à 10 jours à 25°C ont présenté une sévérité et une incidence inférieures par rapport au témoin utilisé. De même, Gao *et al.*, (2017) ont confirmé l'activité antifongique des composés volatiles synthétisés par *B. velezensis* ZSY-1 contre *B. cinerea*.

Cependant, il est vrai que l'utilisation des agents antagonistes offrent plusieurs avantages en terme de lutte contre les maladies de post-récolte mais est-ce que l'utilisation de ces antagonistes ne présentent pas un risque, d'autant plus est ce que l'implémentation de ces agents antagonistes dans le marché marocain ne rencontre pas des obstacles d'homologation ?

Dans ce contexte, l'utilisation des agents antagonistes dans la lutte contre les maladies de post-récolte doit être précédée par un ensemble de procédure qui commence tout d'abord par une identification correcte du micro-organisme

car parfois l'agent antagoniste présente des souches pathogènes et des souches bénéfiques, ainsi les professionnels du secteur doivent s'assurer de la souche qui contient le produit: est ce qu'elle est la même que celle homologuée? Outre, en ce qui concerne le mode d'action des agents antagonistes, il faut bien déterminer le mode d'action des agents et comment ces derniers interfèrent avec le pathogène cible car lorsque le mode d'action est la compétition pour les nutriments, l'agent antagoniste ne présente pas un risque pour la santé des consommateurs mais lorsqu'il s'agit de la production des métabolites secondaire ou des mycotoxines, nous devons s'inquiéter de la toxicité pour l'homme surtout qu'il a été déjà déclaré par Marra *et al.*, (2006) qu'une même souche de *Trichoderma atroviride* ne produisait pas les mêmes métabolites secondaires contre des agents pathogènes différents.

Pour en conclure, la caractérisation de tous les métabolites synthétisés par les agents antagonistes est compliquée et par conséquent pour utiliser ces agents de biocontrôle, il faut faire une identification complète du micro-organisme utilisé en prenant en considération les risques possibles pour la santé humaine.

ÉVALUATION DES MÉTABOLITES SECONDAIRES OU EXTRAITS DE PLANTES UTILISÉES CONTRE LES MALADIES DE POST-RÉCOLTE DES FRUITS

Utilisation des huiles essentielles contre les maladies de post-récolte et leurs impacts

Parmi les méthodes de lutte les plus utilisés contre les maladies de post-récolte, les huiles essentielles figuraient comme l'une des techniques sans danger (Munhuweyi *et al.*, 2017). En effet, l'effet antifongique de ces composés volatiles est due à sa richesse en composés terpéniques, alcooliques et phénoliques avec des concentrations relativement différentes (Sturchio *et al.*, 2014). Le tableau 1 illustre différentes plantes pesticides utilisées contre les maladies de post-récolte des fruits.

Dans le même contexte, Wang *et al.*, (2020) ont essayé d'identifier l'effet antifongique de l'hinokitiol (une huile essentielle extraite des arbres des Cupressacées) contre *B. cinerea* à la fois *in vitro* et *in vivo*. En réalité, l'hinokitiol a pu contrôler le champignon en réduisant la croissance mycélienne, l'incidence et la sévérité de la maladie, de même certains gènes liés à la pathogénicité du champignon ont été réduits. D'une part, l'activité *in vitro* de l'hinokitiol pendant 72 heures a montré qu'il y avait une inhibition complète de *B. cinerea* avec 40 mg/l ainsi avec 20 mg/l la germination des spores a été totalement supprimé. De plus, la même chose a été constaté pour un composé monoterpénique (méthyl thujate) contre *B. cinerea* (Ji *et al.*, 2018), ainsi Oli *et al.*, (2019) ont signalé l'activité antifongique d'une huile essentielle extraite de *Cinnamomum tamala* contre *Colletotrichum gloeosporioides* sur pommier.

D'autre part, Rezende *et al.*, (2020) ont essayé de contrôler la pourriture molle causée par *Rhizopus stolonifer* en utilisant des huiles extraites de deux variétés des oranges (orange de Lima et orange navel de Bahia). Les résultats ont indiqué que les huiles essentielles obtenues sont riches en composé monoterpénique le limonène qui présentait un potentiel

antifongique intéressant contre *R. stolonifer*, cela a été très visible par les taux d'inhibition de la croissance mycélienne du pathogène que ça soit par les huiles de la variété Lima ou Bahia. De même, Vu et al., (2011) ont confirmé l'activité antifongique des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* contre *R. stolonifer* ainsi Chen et al., (2019) ont montré que les huiles essentielles des citrus peuvent présenter une activité antifongique contre les maladies de post-récoltes des agrumes (*P. digitatum* et *P. italicum*).

Cependant, l'utilisation des huiles essentielles pour lutter contre les maladies de post-récolte procuraient plusieurs avantages mais vu qu'elles sont devenues une tendance dans la lutte antifongique et l'usage est devenu accru (Prasad et al., 2018), le risque pour la santé humaine nécessitera une attention par l'ensemble des acteurs. En effet, il faut savoir que les huiles essentielles, bien qu'ils sont des produits issus de plantes, elles peuvent présenter une certaine toxicité pour le consommateur et de plus ce n'est pas un produit «anodin» comme ils pensent plusieurs personnes (Vangelder, 2017).

Appréciation de l'utilisation des extraits de plantes contre les maladies de post-récolte des fruits

Généralement, les composés d'origine naturelle avec une activité antifongique sont présents dans plusieurs plantes (Redondo-Blanco et al., 2020), ces molécules présentes plusieurs avantages pour le consommateur car il le protège contre les substances toxiques produites par les pathogènes de post-récolte ou celles qui peuvent être produites par les antagonistes de biocontrôle ainsi elles présentent un additif alimentaire pour la santé humaine (Gurău, et al., 2018).

Une étude chinoise réalisée par Xin et al., (2019) a traité l'effet d'un alcaloïde (antofine) extrait à partir des racines de *Cynanchum atratum* contre *Penicillium digitatum* sur des fruits du mandarinier (*Citrus unshiu*). Ce travail s'est déroulé en deux phases *in vitro* et une deuxième *in vivo*. Xin et al., (2019) ont montré que l'antofine contrôlait bien le développement de la pourriture verte par des perturbations au niveau de la membrane cellulaire et par le dérèglement de l'activité énergétique.

En effet, l'antofine inhibait la croissance mycélienne de *P. digitatum* avec un effet dépendant de la dose. D'une part, la valeur de CMI (Concentration minimale inhibitrice) de l'antofine contre l'agent pathogène est $1,56 \times 10^{-3}$ g/l, en comparant cette valeur avec les valeurs d'une autre étude réalisée par Eckert et al., (1994) dans laquelle les chercheurs ont essayé d'évaluer le potentiel antifongique de l'Imazalil contre des isolats résistants du *P. digitatum*, il a été conclu que les valeurs trouvées par Xin et al., (2019) sont nettement inférieures à celles trouvées par Eckert et al., (1994).

En ce qui concerne les mécanismes d'actions des antofines, une étude réalisée par Vrba et al., (2009) dont laquelle ils ont testé l'effet d'un alcaloïde (la sanguinarine) sur des cellules HL-60, il s'est avéré que l'alcaloïde interagit avec l'ADN de la cellule, de plus Silva Victor et al., (2017) ont indiqué qu'un extrait d'alcaloïde obtenu à partir de *Prosopis juliflora* réduisait le niveau d'ATP et induisait des modifications de la membrane mitochondriale après une exposition de 12 heures.

En ce qui concerne l'activité antifongique des extraits polyphénoliques, les chercheurs (Nechita et al., 2020) ont évalué l'activité antifongique des proanthocyanidines

Tableau 1: Différentes plantes pesticides utilisées contre les maladies de post-récolte des fruits.

Plante utilisée	Famille Botanique	Agents pathogènes	Références
<i>Pimpinella anisum</i> L.	Apiacées	<i>P. digitatum</i>	Aminifard et al., 2018
<i>Carum carvi</i> L.	Apiacées	<i>P. digitatum</i>	Aminifard et al., 2018
<i>Sapium baccatum</i> Roxb.	Euphorbiacées	<i>P. digitatum</i>	Zhu et al., 2019
<i>Citrus aurantium</i> L.	Rutacées	<i>P. italicum</i>	Trabelsi et al., 2016
<i>Peganum harmala</i> L.	Zygophyllacées	<i>P. italicum</i>	Kanan et al., 2009
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiacées	<i>Rhizopus</i> sp.	Ali et al., 2017
<i>Cynara cardunculus</i> L.	Astéracées	<i>P. digitatum</i>	Restuccia et al., 2020
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Sapindacées	<i>Colletotrichum</i> spp. (<i>C. musae</i> , <i>C. gloeosporioides</i> , <i>C. boninense</i>)	Gasca et al., 2020
<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	Rosacées	<i>Monilinia laxa</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Botrytis cinerea</i>	Gatto et al., 2011
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Moringacées	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Tesfay et al., 2017
<i>Cymbopogon citratus</i> Stapf.	Poacées	<i>Botrytis cinerea</i>	Kasmi et al., 2017
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Lamiacées	<i>Botrytis cinerea</i>	Kasmi et al., 2017
<i>Pulicaria mauritanica</i> Coss.	Astéracées	<i>Alternaria</i> sp, <i>Penicillium expansum</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>	Znini et al., 2013
<i>Thymus leptobotrys</i> Murb.	Lamiacées	<i>Geotrichum citri-aurantii</i> &	Boubaker et al., 2016
<i>Ekebergia pterophylla</i>	Méliacées	<i>Rhizopus stolonifera</i> & <i>Botrytis cinerea</i> & <i>Monilinia fructicola</i>	Pergomet et al., 2018
<i>Hammada scoparia</i> Pomel.	Chénopodiacées	<i>Geotrichum candidum</i>	Talibi et al., 2015
<i>Gallesia integrifolia</i> Spreng.	Phytolaccacées	<i>Penicillium</i> sp.	Raimundo et al., 2018
<i>Dysphania ambrosioides</i> L.	Chénopodiacées	<i>Colletotrichum</i> sp.	Stappen et al., 2018
<i>Cinnamomum cassia</i> L.	Lauracées	<i>Penicillium</i> sp.	Wang et al., 2018
<i>Allium sativum</i> L.	Liliacées	<i>Penicillium expansum</i>	Fратиanni et al., 2016
<i>Mentha spicata</i>	Lamiacées	<i>Penicillium</i> sp.	Ali et al., 2017
<i>Larrea tridentata</i> L.	Zygophyllacées	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Aguirre-joya et al., 2018
<i>Melaleuca alternifolia</i> Cheel.	Myrtacées	<i>Aspergillus niger</i>	An et al., 2019

extrait par l'éthanol (96%) à partir des pépins de raisin (*Feteasca neagra*), sur la croissance mycélienne et la germination des spores de trois souches de *B. cinerea*. Le travail s'est déroulé en une seule phase *in vitro* en passant par la procédure HPLC afin de caractériser et quantifier la composition phénolique des pépins. En comparant les résultats obtenus pour la germination des trois souches (BC₅, BC₆ et BC₈) de *B. cinerea*, il a été constaté que les concentrations utilisées pour la germination des spores sont inférieures par rapport à celles utilisées pour la croissance mycélienne donc ce qui peut être recommandé, c'est de faire un test *in vivo* afin de vérifier les résultats sur les fruits et de penser aussi à une utilisation préventive des extraits phénoliques dans un programme de lutte intégrée contre la pourriture grise causée par *B. cinerea*.

Une autre étude réalisée par Ma *et al.*, (2020) s'est focalisée elle aussi sur la pourriture grise causée par *Botrytis cinerea* (souche B05.10) en essayant de lutter contre ce pathogène par l'honokiol, un composé poly-phénolique obtenu à partir du *Magnolia officinalis*. Il est à noter que l'honokiol a inhibé de manière significative la croissance mycélienne et il a réduit la virulence de *B. cinerea*. Ainsi Ma *et al.*, (2020) ont démontré que l'honokiol a altéré le potentiel de la membrane mitochondriale avec l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène. De plus, certains gènes clés impliqués dans la pathogénicité, leur expression a été régulée à la baisse.

D'après la littérature, les recherches sont focalisées sur l'effet antifongique de l'honokiol (Oufensou *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2019) en mettant l'accent sur les changements possibles de la morphologie du mycélium mais le présent travail (Ma *et al.*, 2020) s'est intéressé au côté précédemment cité en ajoutant l'étude de la virulence des souches pathogènes du *B. cinerea*. En effet, les gènes *bcbmp1*, *bcpg1*, *bcpls1* et *bcras1* liés à la pathogénicité de *B. cinerea*, leur expression a été considérablement réduite après l'application de l'honokiol.

Pour conclure, vu les caractéristiques prometteuses du polyphénol utilisé (l'honokiol), il est important que la boîte à outil des agriculteurs, doit être enrichie par cette substance naturelle afin d'intégrer un bio-fongicide à base de cette molécule végétale.

Appréciation des combinaisons de lutte basées sur les extraits de plantes et d'autres méthodes contre les maladies de post-récolte des fruits

Souvent, les consommateurs préfèrent l'utilisation des composés qui n'affectent pas leurs santé, c'est dans cette perspective que les chercheurs essayent de trouver des alternatives aux fongicides de synthèse afin de contrôler les pourritures des fruits.

Dans ce cadre, Kharchoufi *et al.*, (2018) ont essayé d'examiner le potentiel antifongique de deux enrobages comestibles composés de la chitosane et la gomme du caroubier qui sont renforcés par des extraits aqueux et méthanolique de la pelure du grenadier. De plus, ils ont évalué les combinaisons les plus efficaces avec l'ajout d'une levure *Wickerhamomyces anomalus*. Ce travail s'est déroulé en deux étapes *in vitro* et *in vivo*, les deux sont conduites contre la pourriture verte (*Penicillium digitatum*) des oranges. D'une part, l'efficacité la plus significative a été obtenue par deux traitements composés de la chitosane et l'extrait méthano-

lique de la pelure du grenadier à 0,304 g/ml et la gomme du caroubier avec l'extrait méthanolique de la pelure du grenadier à 0,304 g/ml. En plus, les résultats ont indiqué que les revêtements contenant la chitosane, la gomme du caroubier, l'extrait de la pelure du grenadier et la levure *W. anomalus* ont affaibli de manière significative les paramètres observés (Incidence et la sévérité de la maladie ainsi le diamètre des lésions) sur les oranges. De plus, la combinaison la plus efficace contre la moisissure verte était celle formée par la chitosane, l'extrait aqueux du grenadier et *W. anomalus* ainsi il a été constaté que l'ajout de la levure BS91 a été bénéfique car il a réduit tous les paramètres par rapport à la combinaison chitosane et l'extrait aqueux du grenadier ou encore la gomme du caroubier, l'extrait de la pelure du grenadier. De plus, il a été déjà signalé que la levure *W. anomalus* BS91 contrôle bien les maladies post-récolte des fruits (Grzegorzczak *et al.*, 2017).

Une autre étude réalisée par Madanipour *et al.*, (2019) s'est focalisée sur une autre combinaison constituée par la chitosane et l'extrait éthanolique des racines de la réglisse pour gérer la pourriture bleue causée par *P. expansum*. Les résultats obtenus indiquaient que la combinaison chitosane et l'extrait de la réglisse réduisait les pertes causées par *P. expansum* ainsi elle prolonge la durée de post-récolte des pommes. En effet, le test *in vitro* a indiqué que l'extrait des racines de la réglisse contrôlait bien la croissance de *P. expansum* avec une concentration de 62,5 mg/ml. Ainsi, la réglisse (*Glycyrrhiza glabra*) a pu produire des zones d'inhibition intéressantes pour des concentrations très faibles (100 µg/ml, 250 µg/ml et 500 µg/ml) contre *Rhizopus* spp par rapport aux celles trouvées contre *P. expansum* par Madanipour *et al.*, (2019).

Dans le même sens Li *et al.*, (2019) ont essayé d'appliquer une combinaison antifongique *in vivo* contre *P. expansum*. Elle est composée d'Alginate de sodium (SA) à 1,0 % et de *Rheum rhaponticum*. Les résultats ont indiqués que l'association de l'alginate de sodium et les extraits éthanoliques de *R. rhaponticum* a pu réduire de manière significative la pourriture des fruits du pêcher par rapport à tous les autres traitements utilisés. Ce résultat est en accord avec toutes les autres études faites pour tester l'effet antifongique des extraits en combinaison avec d'autres techniques. En effet, une étude a été réalisée par Abdelhai *et al.*, (2019) dont l'objectif était d'étudier les effets antifongiques des extraits méthanoliques des fruits d'*Adansonia digitata* combinés avec la levure *Sporidiobolus pararoseus* Y16, a montré que les performances antifongiques de *S. pararoseus* Y16 ont été améliorées de manière significative par l'ajout des composés bioactifs d'*A. digitata*.

En outre, *P. expansum* est connue par sa sécrétion de la patuline, une mycotoxine problématique qui menace la santé des consommateurs et généralement, il est souvent signalé dans les fruits susceptibles d'être infectés par les *Penicillium* sp. (Mahunu *et al.*, 2018). Ces chercheurs ont essayé d'améliorer l'activité antifongique contre *P. expansum* en intégrant des flavonoïdes (0.01%) obtenus à partir des feuilles du bambou avec la levure *Pichia caribbica* (1×10⁸ cellules/ml). Les auteurs ont pu observer l'effet de la combinaison entre FFB et *P. caribbica* puisque c'est le seul traitement qui a réduit de manière significative la concentration de la patuline dans une durée (96 h) inférieure par rapport aux autres traitements. Ces résultats

indiquent que la combinaison des flavonoïdes extraits des feuilles de Bambou avec *P. caribbica* permet de réduire la concentration de la patuline, mais d'après la littérature (Yiannikouris *et al.*, 2007 ; Drusch *et al.*, 2007), l'élément primordial qui contrôle la concentration de la patuline dans un milieu donné est le pH. Donc, la combinaison utilisée modifie le niveau du pH et rendre le milieu défavorable pour la patuline.

De plus, il a été constaté qu'il y a un désaccord entre les chercheurs en ce qui concerne l'effet du pH, est-ce que l'acidité qui diminue la concentration de la patuline (le cas constaté pour Mahunu *et al.*, 2018) ou c'est l'alcalinité qui diminue la concentration de la patuline (le cas de Zong Y. *et al.*, 2015). De ce fait, il a été conclu que d'autres paramètres pourraient contrôler la concentration de la patuline dans le milieu tel que la source d'azote et du carbone ou le pouvoir de compétition de l'agent de biocontrôle utilisé.

CONCLUSION

Pour conclure, les fongicides de synthèse, les additifs chimiques, les agents antagonistes et les traitements thermiques sont des outils de contrôle des agents de post-récolte qui peuvent altérer les propriétés nutritionnelles et affecter la santé des consommateurs.

Or, les extraits de plantes sont des produits naturels qui ne menacent pas la santé des consommateurs et n'altèrent pas les qualités des fruits ainsi ils ont un potentiel antifongique intéressant contre les maladies de post-récolte des fruits, ce potentiel est exprimé soit par un usage simple ou combiné avec une autre méthode.

Le présent travail démontre des résultats qui sont obtenus à l'échelle du laboratoire. Cependant, au niveau des stations de conditionnement, les fruits sont soumis à des manipulations avec parfois des dysfonctionnements du système de stockage (abus de température, coupure d'électricité... etc). Par conséquent, pour la viabilité commerciale de ces produits ils ne faut pas se contenter seulement des essais au niveau des laboratoires mais aussi faire des études au sens large (laboratoire et station de conditionnement).

De plus, si des études de recherches ont montré l'efficacité antifongique de ces extraits, il est à noter aussi qu'il faut mettre en évidence leur mode d'action sur les fruits des cultures pérennes (pommier, agrumes, rosacées...) mais aussi sur des cultures annuelles (tomate, oignon, poivron...). Ainsi, il est à noter que le mode d'application et la période d'application de ces produits posent plusieurs questions: est-ce que le trempage/la pulvérisation qui donne des meilleurs résultats ou est-ce qu'il est préférable des les appliquer dans les vergers avant la récolte, ou durant le transport ou encore dans les stations de conditionnement?

Afin d'assurer l'implémentation des ces produits dans le marché, il est nécessaire d'étudier les implications financières de l'usage des extraits de plantes en tant qu'alternative aux autres techniques car cela va fournir un outil scientifique pour l'adoption de cette technologie par l'industrie.

Pour conclure, les extraits naturels des plantes apparaissent comme une alternative prometteuse et durable pour lutter contre les maladies de post-récolte surtout que jusqu'à présent ces extraits n'ont pas d'impacts négatifs sur l'homme et l'environnement.

RÉFÉRENCES

Abdelhai, M.H., Tahir, H.E., Zhang, Q., Yang, Q., Ahima, J., Zhang, X., Zhang, H., (2019). Effects of the combination of Baobab (*Adansonia digitata* L.) and *Sporidiobolus pararoseus* Y16 on blue mold of apples caused by *Penicillium expansum*. *Biological Control*, 134: 87–94.

Abraham, A.O., Laing, M.D., Bower, J.P., (2010). Isolation and *in vivo* screening of yeast and *Bacillus* antagonists for the control of *Penicillium digitatum* of citrus fruit. *Biological Control*, 53: 32–38.

Aguirre-Joya, J.A., Pastrana-Castro, L., Nieto-Oropeza, D., Ventura-Sobrevilla, J., Rojas-Molina, R., Aguilar, C.N., (2018). The physicochemical, antifungal and antioxidant properties of a mixed polyphenol based bioactive film. *Heliyon* 4, e00942.

Ali, H.K., Malik Jumaah, A., Hassian, A.S., (2017). Studying Efficiency Inhibition of Some Medicinal Plant Extracts against Some Fungal. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 6: 108–115.

Altemimi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D., Lightfoot, D., (2017). Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. *Plants*, 6: 42.

Aminifard, M.H., Bayat, H., (2018). Antifungal Activity of Black Caraway and Anise Essential Oils Against *Penicillium digitatum* on Blood Orange Fruits. *International Journal of Fruit Science*, 18: 307–319.

An, P., Yang, X., Yu, J., Qi, J., Ren, X., Kong, Q., (2019). α -terpineol and terpene-4-ol, the critical components of tea tree oil, exert antifungal activities *in vitro* and *in vivo* against *Aspergillus niger* in grapes by inducing morphous damage and metabolic changes of fungus. *Food Control*, 98: 42–53.

Belwal, T., Ezzat, S.M., Rastrelli, L., Bhatt, I.D., Daglia, M., Baldi, A., Devkota, H.P., Orhan, I.E., Patra, J.K., Das, G., Anandharamakrishnan, C., Gomez-Gomez, L., Nabavi, S.F., Nabavi, S.M., Atanasov, A.G., (2018). A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: Trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. *Trends in Analytical Chemistry*, 100: 82–102.

Boubaker, H., Karim, H., El Hamdaoui, A., Msanda, F., Leach, D., Bombarda, I., Vanlout, P., Abbad, A., Boudyach, E.H., Ait Ben Aoumar, A., (2016). Chemical characterization and antifungal activities of four *Thymus* species essential oils against postharvest fungal pathogens of citrus. *Industrial Crops and Products*, 86: 95–101.

Buckle, J., (2015). Basic Plant Taxonomy, Basic Essential Oil Chemistry, Extraction, Biosynthesis, and Analysis, in: *Clinical Aromatherapy*. Elsevier, pp. 37–72.

Chen, C., Qi, W., Peng, X., Chen, J., Wan, C., (2019). Inhibitory Effect of 7-Deoxytylophorine on *Penicillium italicum* and its Possible Mechanism. *Microorganisms*, 7:36.

Chen, J., Shen, Y., Chen, C., Wan, C., (2019). Inhibition of Key Citrus Postharvest Fungal Strains by Plant Extracts *In Vitro* and *In Vivo*: A Review. *Plants*, 8: 26.

- Chumyam, A., Shank, L. D., Uthaibutra, J., Saengnil, K., (2016). Effects of chlorine dioxide on mitochondrial energy levels and redox status of 'Daw' longan pericarp during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 116: 26–35.
- Cozzolino, M.E., Distel, J.S., García, P.A., Mascotti, M.L., Ayub, M.J., Benazzi, L.M., Di Masi, S.N., Silva, P.G., (2020). Control of postharvest fungal pathogens in pome fruits by lipopeptides from a *Bacillus* sp. isolate SL-6. *Scientia Horticulturae*, 261: 108957.
- Crépet, A., Vanacker, M., Sprong, C., de Boer, W., Blaznik, U., Kennedy, M., van Klaveren, J. (2019). Selecting mixtures on the basis of dietary exposure and hazard data: Application to pesticide exposure in the European population in relation to steatosis. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222: 291–306.
- Droby, S., Wisniewski, M., Teixidó, N., Spadaro, D., Jijakli, M.H., (2016). The science, development, and commercialization of postharvest biocontrol products. *Postharvest Biology and Technology*, 122: 22–29.
- Drusch, S., Kopka, S., Kaeding, J., (2007). Stability of patulin in a juice-like aqueous model system in the presence of ascorbic acid. *Food Chem.*, 100: 192–197.
- Eckert, J.W., Sievert, J.R., Ratnayake, M., (1994). Reduction of imazalil effectiveness against citrus green mold in California packinghouses by resistant biotypes of *Penicillium digitatum*. *Plant Dis.*, 78: 971–974.
- El Guilli, M., Hamza, A., Clément, C., Ibriz, M., Ait Barka, E., (2016). Effectiveness of Postharvest Treatment with Chitosan to Control Citrus Green Mold. *Agriculture* 6: 12.
- Elkollu Meriem, (2017), Structure et activités des substances naturelles: Principes et application, Faculté des sciences, Sétif.
- FAO. <http://www.fao.org/home/en> consulté le 10/03/2020.
- Friatianni, F., Riccardi, R., Spigno, P., Ombra, M.N., Cozzolino, A., Tremonte, P., Coppola, R., Nazzaro, F., (2016). Biochemical Characterization and Antimicrobial and Antifungal Activity of Two Endemic Varieties of Garlic (*Allium sativum* L.) of the Campania Region, Southern Italy. *Journal of Medicinal Food*, 19: 686–691.
- Gao, Z., Zhang, B., Liu, H., Han, J., Zhang, Y., (2017). Identification of endophytic *Bacillus velezensis* ZSY-1 strain and antifungal activity of its volatile compounds against *Alternaria solani* and *Botrytis cinerea*. *Biological Control*, 105: 27–39.
- García-Segovia, P.A. Andrés-Bello, J. Martínez-Monzó, (2011). Rehydration of air-dried Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) caps: comparison of conventional and vacuum water immersion processes, *LWT-FoodSci. Technol.*, 44: 480e488.
- Gasca, C.A., Dassoler, M., Dotto Brand, G., de Medeiros Nóbrega, Y.K., Gomes, S.M., Masrouah Jamal, C., de Oliveira Magalhães, P., Fonseca-Bazzo, Y.M., Silveira, D., (2020). Chemical composition and antifungal effect of ethanol extract from *Sapindus saponaria* L. fruit against banana anthracnose. *Scientia Horticulturae*, 259: 108842.
- Gatto, M.A., Ippolito, A., Linsalata, V., Cascarano, N.A., Nigro, F., Vanadia, S., Di Venere, D., (2011). Activity of extracts from wild edible herbs against postharvest fungal diseases of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 61: 72–82.
- Ge, Y. H., Wei, M. L., Li, C. Y., Chen, Y. R., Lv, J. Y., Meng, K., Li, J. R., (2018). Reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway involved in disease resistance against *Penicillium expansum* in apple fruit induced by ϵ -poly-L-lysine. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98: 5082–5088.
- Grzegorzczak, M., Żarowska, B., Restuccia, C., Cirvilleri, G., (2017). Postharvest biocontrol ability of killer yeasts against *Monilinia fructigena* and *Monilinia fructicola* on stone fruit. *Food Microbiology*, 61: 93–101.
- Guräu, F., S. Baldoni, F. Prattichizzo, E. Espinosa, F. Amenta, A. D. Procopio, M. C. Albertini, M. Bonafè, and F. Olivieri. (2018). Antisenescence compounds: a potential nutraceutical approach to healthy aging. *Ageing Res. Rev.*, 46:14–31.
- Jeyaratnam, N. A.H. Nour, R. Kanthasamy, A.H. Nour, A.R. Yuvaraj, J.O. Akindoyo, (2016). Essential oil from *Cinnamomum cassia* bark through hydrodistillation and advanced microwave assisted hydrodistillation, *Ind. Crop. Prod.*, 92: 57e66.
- Ji, D., Chen, T., Ma, D., Liu, J., Xu, Y., Tian, S., (2018). Inhibitory effects of methyl thujate on mycelial growth of *Botrytis cinerea* and possible mechanisms. *Postharvest Biology and Technology*, 142: 46–54.
- Jin, C., Zeng, Z., Fu, Z., Jin, Y., (2016). Oral imazalil exposure induces gut microbiota dysbiosis and colonic inflammation in mice. *Chemosphere*, 160: 349–358.
- Kanan, G., Al-Najar, R., (2009). *In Vitro* and *In Vivo* Activity of Selected Plant Crude Extracts and Fractions Against *Penicillium italicum*. *Journal of Plant Protection Research* 49.
- Kasmi, M., Aourach, M., El Boukari, M., Barrijal, S., Essalmani, H., (2017). Efficacité des extraits aqueux des plantes aromatiques et médicinales contre la pourriture grise de la tomate au Maroc. *Comptes Rendus Biologies*, 340: 386–393.
- Kharchoufi, S., Parafati, L., Licciardello, F., Muratore, G., Hamdi, M., Cirvilleri, G., Restuccia, C., (2018). Edible coatings incorporating pomegranate peel extract and biocontrol yeast to reduce *Penicillium digitatum* postharvest decay of oranges. *Food Microbiology*, 74: 107–112.
- Latifa Askarne, Idriss Talibi, Hassan Boubaker, El Hassane Boudyach, Fouad Msanda, Baha Saadi, Mohamed A. Serghini, Abdellah Ait Ben Oumar, (2015). Phytochemical screening and in vitro antifungal activity of several Moroccan medicinal plants against *Penicillium italicum*, the causal agent of citrus blue mold. *Acta Hort.*, 1065: 1585–1592.
- Li, S., Jiang, H., Wang, Y., Lyu, L., Prusky, D., Ji, Y., Zheng, X., Bi, Y., (2020). Effect of benzothiadiazole treatment on improving the mitochondrial energy metabolism involved in induced resistance of apple fruit during postharvest storage. *Food Chemistry*, 302: 125288.

- Li, X., Du, X., Liu, Y., Tong, L., Wang, Q., Li, J., (2019). Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. *Scientia Horticulturae* 257:108685.
- Ma, D., Cui, X., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., Tian, S., Chen, T., (2020). Honokiol suppresses mycelial growth and reduces virulence of *Botrytis cinerea* by inducing autophagic activities and apoptosis. *Food Microbiology*, 88: 103411.
- Madanipour, S., Alimohammadi, M., Rezaie, S., Nabizadeh, R., Jahed Khaniki, G., Hadi, M., Yousefi, M., Madihi Bidgoli, S., Yousefzadeh, S., (2019). Influence of post-harvest application of chitosan combined with ethanolic extract of liquorice on shelflife of apple fruit. *J. Environ. Health Sci. Engineer.*, 17, 331–336.
- Mahunu, G.K., Zhang, H., Apaliya, M.T., Yang, Q., Zhang, X., Zhao, L., (2018). Bamboo leaf flavonoid enhances the control effect of *Pichia caribbica* against *Penicillium expansum* growth and patulin accumulation in apples. *Postharvest Biol. Technol.*, 141: 1–7.
- Maroc Citrus (2020). <http://maroc-citrus.com> consulté le 15/02/2020.
- Marra, R., Ambrosino, P., Carbone, V., Vinale, F., Woo, S.L., Ruocco, M., Ciliento, R., Lanzuise, S., Ferraioli, S., Soriente, I., Gigante, S., Turrà, D., Fogliano, V., Scala, F., Lorito, M., (2006). Study of the three-way interaction between *Trichoderma atroviride*, plant and fungal pathogens by using a proteomic approach. *Curr. Genet.*, 50: 307–321.
- Mphahlele, R.R. O.A., Fawole, N.P., Makunga, U.L. Opara, (2017). Effect of drying on the bioactive compounds, antioxidant, antibacterial and antityrosinase activities of pomegranate peel, *BMC Complement. Altern. Med.* 16: 143e143.
- Munhuweyi, K., Caleb, O.J., Lennox, C.L., van Reenen, A.J., Opara, U.L., (2017). *In vitro* and *in vivo* antifungal activity of chitosan-essential oils against pomegranate fruit pathogens. *Postharvest Biology and Technology*, 129: 9–22.
- Nechita, A., Filimon, R.V., Filimon, R.M., Colibaba, L.-C., Gherghel, D., Damian, D., Paşa, R., Cotea, V.V., (2018). *In vitro* Antifungal Activity of a New Bioproduct Obtained from Grape Seed Proanthocyanidins on *Botrytis cinerea* Mycelium and Spores. *Not. Bot. Horti. Agrobot.*, 47: 418–425.
- Oli, N., Singh, U.K., Jha, S.K., (2019). Antifungal Activity of Plant's Essential Oils against Post Harvest Fungal Disease of Apple Fruit. *Forestry. J. Inst. Fores. Nep.*, 16:86–100.
- Oufensou, S., Scherm, B., Pani, G., Balmas, V., Fabbri, D., Dettori, M.A., Carta, P., Malbrán, I., Migheli, Q., Delogu, G., (2019). Honokiol, magnolol and its monoacetyl derivative show strong anti-fungal effect on *Fusarium* isolates of clinical relevance. *PLoS One*, 14: e0221249.
- Parisa, M., Elif, T., Recep, K., Merve Şenol, K., (2017). Potential of some bacteria for biological control of postharvest citrus green mould caused by *Penicillium digitatum*. *Plant Protect. Sci.*, 53: 134–143.
- Peng, W.-W., Fu, X.-X., Xiong, Z.-H., Wu, H.-L., Chang, J.-W., Huo, G.-H., Li, B.-T., (2020). Taxonomic significance and antitumor activity of alkaloids from *Clausena lansium* Lour. Skeels (Rutaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 90: 104046.
- Pergomet, J.L., Di Liberto, M.G., Derita, M.G., Bracca, A.B.J., Kaufman, T.S., (2018). Activity of the pterophyllins 2 and 4 against postharvest fruit pathogenic fungi. Comparison with a synthetic analog and related intermediates. *Fitoterapia*, 125: 98–105.
- Pham, H.N.T. V. Nguyen, Q. Vuong, M.C. Bowyer, C.J. Scarlett, (2017). Bioactive compound yield and antioxidant capacity of *Helicteres hirsuta* Lour. Stem as affected by various solvents and drying methods, *J. Food Process. Preserv.*, 41: e12879.
- Prasad, W., Khamrui, K., Mandal, S., Badola, R., (2018). Effect of combination of essential oils on physicochemical and sensorial attributes of burfi in comparison with individual essential oil and BHA. *Int. J. Dairy Technol.*, 71: 810–819.
- Proestos, C., Komaitis, M., (2008). Application of microwave-assisted extraction to the fast extraction of plant phenolic compounds. *LWT- Food Science and Technology*, 41: 652–659.
- Raimundo, K.F., Bortolucci, W. de C., Glamočlija, J., Soković, M., Gonçalves, J.E., Linde, G.A., Colauto, N.B., Gazim, Z.C., (2018). Antifungal activity of *Gallesia integrifolia* fruit essential oil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49: 229–235.
- Redondo-Blanco, S., Fernández, J., López-Ibañez, S., Miguélez, E.M., Villar, C.J., Lombó, F., (2020). Plant Phytochemicals in Food Preservation: Antifungal Bioactivity: A Review. *Journal of Food Protection*, 83: 163–171.
- Restuccia, C., Lombardo, M., Scavo, A., Mauromicale, G., Cirvilleri, G., (2020). Combined application of antagonistic *Wickerhamomyces anomalus* BS91 strain and *Cynara cardunculus* L. leaf extracts for the control of postharvest decay of citrus fruit. *Food Microbiology*, 92: 103583.
- Rezende, J.L., Fernandes, C.C., Costa, A.O.M., Santos, L.S., Vicente Neto, F., Sperandio, E.M., Souchie, E.L., Colli, A.C., Crotti, A.E.M., Miranda, M.L.D., (2020). Antifungal potential of essential oils from two varieties of *Citrus sinensis* (lima orange and bahia navel orange) in postharvest control of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. *Food Science and Technology*, 40: 405–409.
- Šernaitė, L., Rasiukevičiūtė, N., Valiuškaitė, A., (2020). The Extracts of Cinnamon and Clove as Potential Biofungicides against Strawberry Grey Mould. *Plants*, 9: 613.
- Silva Victor, D.A., Cuevas, C., Munoz, P., Villa, M., Ahumada, C., Huenchuguala, S., (2017). Autophagy protects against neural cell death induced by piperidine alkaloids present in *Prosopis juliflora* (Mesquite). *An. Acad. Bras. Cienc.*, 89: 247–261.
- Stappen, I., Tabanca, N., Ali, A., Wanner, J., Lal, B., Jaitak, V., Wedge, D.E., Kaul, V.K., Schmidt, E., Jirovetz, L., (2018). Antifungal and repellent activities of the essential oils from three aromatic herbs from western Himalaya. *Open Chemistry*, 16: 306–316.

- Sturchio, E., Donnaruma, L., Annesi di, T., Milano, F., Casorri, L., Masciarelli E., Zanellato, M., Meconi, C., Boccia, P., (2014). Essential oils: an alternative approach to management of powdery mildew diseases. *Phytopathologia Mediterranea*, 385-395.
- Talibi, I., Askarne, L., Boubaker, H., Boudyach, E., Ait Ben Oumar, A., (2015). *In vitro* and *in vivo* antifungal activity of eight medicinal plants against citrus sour rot agent *Geotrichum candidum*. *Acta Hort.* 1065: 1563–1570.
- Tao, H., Bao, Z., Jin, C., Miao, W., Fu, Z., Jin, Y., (2020). Toxic effects and mechanisms of three commonly used fungicides on the human colon adenocarcinoma cell line Caco-2. *Environmental Pollution*, 263: 114660.
- Tesfay, S.Z., Magwaza, L.S., Mbili, N., Mditshwa, A., (2017). Carboxyl methylcellulose (CMC) containing moringa plant extracts as new postharvest organic edible coating for Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 226: 201–207.
- Tian, Z., Chen, C., Chen, K., Liu, P., Fan, Q., Zhao, J., Long, C., (2020). Biocontrol and the mechanisms of *Bacillus* sp. w176 against postharvest green mold in citrus. *Postharvest Biology and Technology*, 159: 111022.
- Trabelsi, D., Hamdane, A.M., Said, M.B., Abdrrabba, M., (2016). Chemical Composition and Antifungal Activity of Essential Oils from Flowers, Leaves and Peels of Tunisian *Citrus aurantium* Against *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19: 1660–1674.
- Tsimogiannis, D., Oreopoulou, V., (2019). Classification of Phenolic Compounds in Plants, in: Polyphenols in Plants. Elsevier, pp. 263-284.
- Ujike, A., & Yasunaga, M. (2015). The residual situation of the fungicides in fruit processed foods. *Annual Report of Kagawa Prefectural Research Institute for Environmental Sciences and Public Health*, 14: 65–67 (in Japanese).
- Vangelder Victoria (2017). L'aromathérapie dans la prise en charge des troubles de santé mineurs chez l'adulte à l'officine. Thèse de doctorat en pharmacie, Faculté des Sciences Pharmaceutiques, Lille.
- Vinatoru, M. T.J. Mason, I. Calinescu, (2017). Ultrasonically assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials. *Trends Analyt. Chem.*, 97159e178.
- Vrba, J., Dolezel, P., Vicar, J., Ulrichová, J., (2009). Cytotoxic activity of sanguinarine and dihydrosanguinarine in human promyelocytic leukemia HL-60 cells. *Toxicology in Vitro*, 23: 580–588
- Vu, K.D., Hollingsworth, R.G., Leroux, E., Salmieri, S., Lacroix, M., (2011). Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Research International*, 44: 198–203.
- Wang, H., Yang, Z., Ying, G., Yang, M., Nian, Y., Wei, F., Kong, W., (2018). Antifungal evaluation of plant essential oils and their major components against toxigenic fungi. *Industrial Crops and Products*, 120: 180–186.
- Wang, L., Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17: 300-312.
- Wang, Y., Liu, X., Chen, T., Xu, Y., Tian, S., (2020). Antifungal effects of hinokitiol on development of *Botrytis cinerea* *in vitro* and *in vivo*. *Postharvest Biology and Technology*, 159: 111038.
- Wu, X. Q., Jiang, L., Yu, M. L., An, X. J., Ma, R. J., & Yu, Z. F. (2016). Proteomic analysis of changes in mitochondrial protein expression during peach fruit ripening and senescence. *Journal of Proteomics*, 147:197–211.
- Xin, Z., OuYang, Q., Wan, C., Che, J., Li, L., Chen, J., Tao, N., (2019). Isolation of antofine from *Cynanchum atratum* BUNGE (Asclepiadaceae) and its antifungal activity against *Penicillium digitatum*. *Postharvest Biology and Technology*, 157: 110961.
- Yiannikouris, A., Jouany, J.-P., Bertin, G., Lyons, T., Jacques, K., Hower, J., (2007). Counteracting mycotoxin contamination: the effectiveness of *Saccharomyces cerevisiae* cell wall glucans in Mycosorb for sequestering mycotoxins. Nutritional Biotechnology in the Feed and Food industries: Proceedings of Alltech's 23rd Annual Symposium. The New Energy crisis: Food, Feed or Fuel. pp. 11–19.
- Yoshimura, H., Motomura, H. (2016). Survey of pesticide residues in agricultural products. *Annual Report of Nagasaki Prefectural Institute of Environment and Public Health*, 62: 139–142.
- Zhu, C., Lei, M., Andargie, M., Zeng, J., Li, J., (2019). Antifungal activity and mechanism of action of tannic acid against *Penicillium digitatum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 107: 46–50.
- Znini, M., Cristofari, G., Majidi, L., Paolini, J., Desjobert, J.M., Costa, J., (2013). Essential oil composition and antifungal activity of *Pulicaria mauritanica* Coss., against postharvest phytopathogenic fungi in apples. *LWT - Food Science and Technology*, 54: 564–569.
- Zong, Y., Li, B., Tian, S., (2015). Effects of carbon, nitrogen and ambient pH on patulin production and related gene expression in *Penicillium expansum*. *International Journal of Food Microbiology*, 206: 102–108.