

fonte dans des tubes en polyéthylène similaires à ceux que l'on emploie comme tuteurs pour les arbres. Si l'on ne peut pas recourir aux barres, où si elles sont en nombre insuffisant, les bords du plastique peuvent être couverts avec une ligne de sable ou de terre saine.

— Une fois le processus finalisé il faut retirer les plastiques et les acheminer vers une déchetterie.

Avantages additionnels de la solarisation.

— A ce jour il n'a pas été noté que l'olivier subissait aucun dommage dû à la présence du plastique.

— Elle affecte peu de micro-organismes bénéfiques, et ne crée pas de vide biologique.

— Les autres pathogènes du sol meurent.

— Si une température élevée est rapidement atteinte, la majorité des graines d'adventices meurent avec le champignon.

— Le sol solarisé se maintient dans des conditions de fertilité optimales et les plantes qui s'installent ensuite se développent bien mieux.

## Biofumigation du sol

### Fondements techniques

La biofumigation consiste à incorporer au sol de la matière organique fraîche, ni compostée ni humifiée. Cette matière organique en se décomposant libère des substances nocives pour beaucoup de micro-organismes, parce qu'elles sont toxiques ou parce qu'elles causent des changements physiques, chimiques et biologiques dans le sol. Ceci se fait de façon naturelle sans l'intervention de produits chimiques additionnels. Évidemment la décomposition est affectée par des conditions environnementales telles que l'humidité et la tem-

### Biofumigation avec les crucifères dans les oliveraies

Les crucifères ont de fortes teneurs de glucosinolates (hétéroside soufré) dans leurs tissus. Quand il se produit une blessure sur l'un des tissus (feuille, tige, racine), les cellules libèrent une enzyme appelée miosinase dont le rôle est de décomposer ces glucosinolates en d'autres composés comme les isothiocyanates, les thiocyanates (contenant du soufre et du cyanure) et les nitriles (composé contenant un radical CN). Ces substances sont responsables du pouvoir de biofumigation des crucifères car beaucoup sont volatiles et pénètrent dans le sol en agissant de manière directe ou indirecte sur le champignon, permettant de cette façon le contrôle de la maladie.

A l'IFAPA furent essayées en oliveraie plusieurs espèces de crucifères naturellement présentes, considérées comme mauvaises herbes, et plusieurs variétés cultivées. Entre autres, celles qui présentaient la meilleure proportion couverture/biomasse et qui s'adaptèrent le mieux au terrain ont été évaluées sur leur capacité de biofumigation. Tant en terre irriguée qu'en terre non irriguée, *Sinapis alba mairei* (moutarde commune, sismyre) s'est distinguée pour son efficacité contre l'inoculum du champignon dans le sol (Cabeza-Fernandez y Bejarano, 2008) et pour sa bonne acclimatation aux conditions environnementales de l'oliveraie (Akantra y al, 2008).

Nonobstant, sur les terrains caillouteux et compacts la biomasse n'arrive pas à être assez importante et il faudra chercher d'autres alternatives, soit par l'amélioration génétique de l'espèce, soit avec d'autres espèces mieux adaptées à ce type de condition pédologique. IFAPA a sélectionné une variété pour laquelle elle a sollicité le Registre Européen en collaboration avec l'INIA. Elle sera la première variété de cette espèce enregistrée en Espagne pour les conditions environnementales méditerranéennes.

En revanche, en ce qui concerne l'autre variété de l'espèce (*Sinapis alba alba*), nous ne connaissons ni son adaptabilité aux conditions des oliveraies espagnoles, et n'avons pas non plus testé son efficacité à l'encontre de *Verticillium*. Elle se cultive pour la production de moutarde, et est distribuée plus au nord, dans des contrées plus humides et fraîches : Allemagne, Canada, Pays Baltes, etc. Il est ainsi possible qu'elle soit moins efficace que la variété *mairei* et surtout n'ai pas sa capacité d'adaptation au milieu.

Les autres acutères, tant sauvages que cultivées, que nous avons étudié ont révélé des problèmes, soit dans le non contrôle du champignon, soit pour la difficulté à croître dans l'oliveraie.

Les travaux continuent actuellement avec plusieurs espèces de crucifères en collaboration avec d'autres institutions afin d'optimiser la technique et de les adapter à différentes conditions climatiques.

pérature, par des facteurs physico-chimiques et biologiques du sol mais également par les pratiques de culture.

La matière organique peut être sous différentes formes : fumier frais, résidus de récolte, résidus de culture de champignons, plantes cultivées spécialement pour les apporter aux parcelles infestées, ou produites in situ sur la parcelle infectée par le pathogène. La biofumigation a été expérimentée, avec succès, avec ces différents types de matières et avec des plantes cultivées sur le terrain traité, pour contrôler plusieurs maladies comme le *Phytophthora*, la *Verticilliose*, la *Furiose*, etc. Aux Etats Unis par exemple, la biofumigation est usuelle dans les cultures de pomme de terre et de tomate avec de la moutarde blanche comme alternative aux traitements de Metam sodium.

Dans le cas de la *Verticilliose*, la biofumigation avec des crucifères (moutarde blanche particulièrement, colza, etc.) mais également avec des graminées comme le sorgho et sorgho du Soudan (ou herbe du Soudan), a donné de bons résultats dans la réduction de l'inoculum dans le sol. En oliveraie le système essayé par l'IFAPA, et qui est en train de donner de bons résultats, consiste à semer un couvert végétal de crucifères dans les inter-rangs pour ensuite les broyer et les enfouir. Ce système est facile à mettre en œuvre et moins coûteux que si le matériel végétal était produit et apporté depuis l'extérieur. Les coûts de la biofumigation vont dépendre de la provenance de la matière organique, si elle est apportée d'autres lieux ou produite in situ.

— Le coût de la biofumigation avec des crucifères semées comme couverture végétales dépend fondamentalement du coût des graines, qui peut osciller selon l'espèce et la variété, entre 20 et 100 par hectare. Le prix le plus élevé correspondrait à la semence de *Sinapis alba mairei* actuellement en phase de développement et d'enregistrement.

— Le coût de la biofumigation avec de la matière organique exogène va dépendre de la quantité de biomasse incorporée, quantité habituellement importante, entre 20 et 40 tonnes par hectare. Il est difficile d'établir un calcul de coût sans se fixer sur un matériau déterminé, mais comme indicateur nous avons le coût d'énergie de la biomasse, autour de 0.08-0.012 par kilo. Le tableau 4 présente le coût moyen de la biofumigation, en estimant la biomasse en dessous de ces valeurs et en considérant les autres dépenses importantes associées, comme le transport et la répartition dans l'oliveraie.

Tableau 4 : Coût approximatif d'une biofumigation avec de la biomasse produites hors site (TVA non incluse - 2010)

	Prix 20.000 kg/ha €/ha	Prix 40.000 kg/ha €/ha	Prix (€/olivier) (Six m)
Production de la biomasse	500	1000	1,25
Récolte et charges	100	200	0,25
Transport	360	360	0,9
Epannage dans l'oliveraie	100	200	0,25
TOTAL	1060	2120	2,65

### Problèmes se présentant à la réalisation de la biofumigation :

— Indisponibilité dans les zones d'oliveraies de machines conçues pour mécaniser le travail de semis (creuser, incorporer la graine), mais il est relativement simple d'adapter les machines déjà présentes dans la propriété.

— La préparation du sol pour l'installation d'une bonne couverture végétale entraîne des difficultés dans de nombreuses oliveraies.

— L'ensemencement et le développement des plantes sur les sols rocailloux et compact pose vraiment un problème.

— L'accès aux parcelles à proximité immédiate de l'olivier est très difficile.

— La présence de tuyauterie d'irrigation à la surface empêche l'application de la biofumigation dans certaines zones.

### Avantages additionnels de la biofumigation :

— La biofumigation fournit également un engrais vert.

— L'amendement qui s'applique pour favoriser le développe-

ment de la couverture végétale n'est pas un totalement perdu, puisqu'une bonne partie va retourner au sol à l'enfouissement.

— En plus du *Verticillium* d'autres pathogènes sont détruits.

— Quelques mauvaises herbes sont aussi affectées. La lutte en est ainsi facilitée.

— Il n'est plus nécessaire d'appliquer des herbicides dans les zones de biofumigation.

— Il n'est pas nécessaire d'avoir une intervention manuelle dans l'application de la biofumigation, tout est mécanisable, en revanche pour la solarisation il sera nécessaire de disposer de main d'œuvre.

## Solarisation + Biofumigation

On considère actuellement que l'application simultanée sur les mêmes zones des deux méthodes est complémentaire et améliore les résultats, encore que tout les essais non pas été réalisés ainsi. De plus ce n'est pas toujours possible, parce que la solarisation doit être réalisée lors des périodes chaudes, alors que les couvertures végétales se développent normalement sur les mois d'automne et d'hiver et sont enfouies au printemps. Pour cela il sera nécessaire d'apporter expressément de la matière organique provenant d'un autre endroit dans l'oliveraie, ou bien retarder l'installation et l'incorporation de la couverture végétale.

L'application simultanée des deux techniques est bien plus difficile que leur application séparée. C'est pour cela, en pratique, qu'il paraît plus raisonnable de faire la biofumigation en hiver et la solarisation de la même parcelle plus tard. Cependant, si la biofumigation a été très efficace, il n'y aura qu'à se demander : Est-il raisonnable et justifié de supporter un coût aussi important que celui de la solarisation ?

La seconde option est l'application en zone distincte (système mixte). Parmi les inconvénients de la biofumigation il y a la difficulté à remuer le sol, semer et enterrer la biomasse dans certaines zones comme les bords des plantations ou celles où les tuyauteries d'irrigations sont enterrées superficiellement. Dans ce cas il reste la possibilité de solariser, réduisant la préparation du sol à un lissage, en réservant les semis de crucifères pour des zones plus accessibles, dans les inter-rangs libres de tuyaux d'irrigation.

## Simulation de l'efficacité de contrôle de l'inoculum de *Verticillium dahliae* dans le sol

Il n'y a pas actuellement de donnée fiable pour anticiper avec certitude l'efficacité que va avoir la technique, cela dépend de plusieurs facteurs et l'efficacité peut être de 80% comme de 20%. Aucune des techniques décrites ne permet d'assurer une éradication du champignon dans le sol après une application, c'est-à-dire un contrôle à 100%.

Si dans un foyer de maladie on peut présenter de nombreux propagules par gramme de sol et que, selon les études réalisées par les chercheurs, quand il est détecté une propagule par gramme de sol la gravité de la maladie est patente, il est alors possible de réaliser une simulation théorique du nombre de passage et de la technique à employer pour réduire ce chiffre à moins de 1 propagule par gramme de sol.

Selon cette simulation on peut déduire qu'il est suffisamment risqué et généralement inutile de replanter un olivier, pour remplacer celui qui a séché à cause de la *Verticilliose*, sans avoir auparavant nettoyé et contrôlé l'inoculum dans le sol infesté. Car le plus probable est que le nouvel arbre mourra aussi, et qu'une seule intervention ne sera peut-être pas suffisante : cela dépendra du gradient d'efficacité de la technique et de la quantité d'inoculum présente. Il sera probablement nécessaire de faire plus d'une intervention et d'appliquer la technique choisie avec prudence. Cette simulation indique également qu'il est primordial d'éliminer les foyers d'inoculum, tels que les rameaux secs des arbres infectés et les racines des arbres desséchés, et de le faire avec prudence pour ne pas éparpiller les restes de l'olivier. ■



## → Cette maladie connue depuis longtemps

a tendance à se rencontrer de plus en

plus fréquemment, sur oliviers mais

aussi sur d'autres cultures sensibles.

Ceci peut être lié à une intensification

des pratiques, de la fertilisation

conjugée à l'irrigation notamment.

Cet article fait la traduction d'une étude

complète réalisée par Milagros

Saavedra, spécialiste espagnol de la

verticilliose sur olivier. Quelques

informations peuvent donc être

spécifiques à la situation espagnole,

dans certains cas.

## INTRODUCTION

Actuellement l'olivier subi l'attaque d'une maladie grave et difficilement curable : la *Verticilliose*. Celle-ci fait s'assécher les rameaux, voire l'arbre en totalité, de manière parfois très rapide. Les arbres plantés pour les remplacer sécheront également dans les quelques mois ou années suivantes. L'agriculteur est impuissant face à ce problème. Les solutions ne sont ni faciles ni définitives. Néanmoins l'agriculteur peut modifier ses pratiques culturales pour éviter qu'elle ne s'étende et ne cause des dommages irréparables.

Ce document présente les moyens que peut et doit adopter l'oléiculteur pour réduire les risques d'infection et éviter que la maladie ne progresse, tant dans sa propriété que dans celles des autres agriculteurs, car il ne faut pas la traiter comme un problème local mais comme celui de tout un secteur. Ce texte, d'orientation très pratique, adopte le point de vue d'un oléiculteur souhaitant rentabiliser toutes ses opérations, en prenant en compte les coûts réels de chaque technique et les limitations légales de leur usage.

## DESCRIPTION DE LA MALADIE

En plus de l'olivier, elle affecte de nombreuses espèces végétales, aussi bien cultivées que spontanées. En général sont plus sensibles les espèces à feuilles larges, aussi bien herbacées (artichaut, aubergine, pomme de terre, tomates, betterave...) que ligneuses (olivier, amandier et fruitiers). Cette large gamme de plantes hôtes alliée à son confinement dans les tissus du xylème et à sa grande capacité de survie dans le sol font de la *Verticilliose* une maladie extrêmement complexe et difficile à combattre.

*Verticillium dahliae* est un champignon phytopathogène qui se maintient dans le sol et infecte les plantes à travers leurs racines lorsque les conditions environnementales de températures et d'humidité sont appropriées. Ce champignon est capable de sur-

# Verticilliose sur olivier, un mal moderne ?

Auteur : Milagros Saavedra

Traduction : Camille Andrieu, François Warlop (Grab)

vivre plus de 15 ans dans le sol grâce à la production de structures particulières de résistance, les microsclérotes, qui représentent l'un des problèmes majeurs pour l'agriculteur car elles permettent au champignon de se maintenir dans le sol et d'infecter rapidement les nouveaux oliviers plantés à la place de ceux qui ont séché.

Les symptômes de cette maladie sont génériques si bien qu'elle peut être confondue avec celle de n'importe quel autre problème de caractère physiologique ou pathogénique qui touchent les racines (excès d'humidité, infection par *Phytophthora*...). Ce qui signifie qu'un diagnostic correct de la maladie ne peut être réalisé que dans des laboratoires spécialisés grâce à l'isolement du champignon à partir des tissus infectés.

Il existe deux types de virulence ou 'pathotypes' que se distinguent par la gravité des symptômes qu'ils entraînent.

— Non défoliant : Les cas isolés appartenant à cette catégorie entraînent une mort lente, quoiqu'il soit fréquent que les oliviers récupèrent de l'infection.

— Défoliant : Ceux-ci entraînent une perte rapide des feuilles, rendant très difficile la récupération de l'arbre qui meurt en peu de temps.

Le champignon peut arriver sur une parcelle de différentes manières :

— Plantation d'arbres infectés en pépinière : C'est l'une des causes les plus fréquentes mais également l'une des plus faciles à éviter. La pépinière doit garantir que son plant est sain, ainsi que le substrat qui le supporte.

— Restes de plantes infectées : Le coton infecté sur les bords des chemins et des propriétés, les restes de taille infectés, le fumier, le compost mal élaboré, les eaux de presse et de nettoyage des moulins à huile, etc. Parfois ce sont les agriculteurs eux-mêmes qui les transportent, d'autres fois c'est le hasard et le transit de marchandises qui sont responsables de l'arrivée du champignon dans des lieux où il n'existait pas. Ainsi il est fréquent d'observer que c'est sur les bords des propriétés qu'on observe les premières plantes infectées par le *Verticillium*. Le transit de remorques transportant ce matériel infecté représente un risque important de propagation de la maladie vers d'autres lieux.

— Eau infectée : Les ruisseaux, les rivières, les puits, les étangs, etc. Des études sont en cours pour évaluer de quelle façon cette forme de propagation affecte l'olivier et chercher des méthodes de désinfection des eaux utilisées pour irriguer.

— Poussières infectées : D'un olivier à l'autre et d'une propriété à l'autre l'air peut transporter des particules de poussière infectées. Connaissant cette donnée, le labour à sec constitue un fond important de dispersion du champignon, particulièrement lorsqu'il y a du vent.

— Tracteurs, matériel agricole et outils peuvent être porteurs de restes de plantes infectées et de terre infestée, les distribuant dans toute la propriété et dans les parcelles qui vont être travaillées. Les outils de taille et les gaules mécaniques pour la récolte peuvent transporter le champignon des arbres infectés vers ceux qui sont encore sains.

— L'homme sur ses chaussures et les animaux sur leurs pattes peuvent également transporter l'inoculum.

## SENSIBILITE DES VARIETES D'OLIVIER A VERTICILLIUM DAHLIAE

Il n'existe actuellement pas de variétés d'oliviers présentant une résistance complète au développement de la maladie, particulièrement quand le pathotype responsable est défoliant. Dans ce cas, sont identifiés comme des cultivars modérément sensibles

ceux que la maladie affectent mais présentent des symptômes moins importants et subissent moins d'effets préjudiciables sur la croissance et la production comparés aux variétés sensibles.

Il est possible de trouver des oliviers affectés sans symptômes apparents (plantes asymptomatiques), qui fréquemment présentent un développement et une productions moindres. Dans d'autres cas les plantes arrivent à récupérer, grâce à leurs capacités à produire des substances limitant le déplacement et la croissance du champignon à l'intérieur de la plante.

Actuellement il n'existe pas dans le marché de porte-greffes résistants à la *Verticilliose* capables de transmettre cette résistance à la variété greffée. Bien que des recherches soient en cours dans cette voie et qu'elles obtiennent des résultats prometteurs avec des clones d'olivier sauvage et de certaines variétés commerciales, la protection contre la maladie n'est pas totale.

## METHODES DE CONTROLE

### ● METHODES PREVENTIVES

La meilleure méthode pour lutter contre la *Verticilliose* est d'éviter à tout prix que le champignon s'introduise dans l'exploitation. Ci-dessous sont détaillées les mesures que peut adopter l'agriculteur et comment il peut les mener.

### Planter en sol non infecté par le champignon

L'agriculteur doit choisir des sols sains pour faire ses nouvelles plantations. Il faut signaler que les analyses de sol ne sont pas totalement fiables et que l'on ne peut pas par ce seul moyen s'assurer que la maladie ne sera pas présente. Le risque qu'elle apparaisse est plus grand si la parcelle a accueilli des cultures sensibles (pomme de terre, tomates...) et plus généralement celles à feuilles larges. Les cultures comme le sorgho ou le maïs ne sont pas sensibles et représentent donc un meilleur niveau de sécurité.

La limite de détection est dans la majorité des cas de 1 propagule par gramme de sol ; toutefois cette densité est suffisante pour entraîner la maladie. Si la propriété est grande, plus de 10 hectares, il faudra faire de nombreuses analyses et chacune devra se faire sur un échantillon bien mélangé et composé d'extractions variées récoltées sur une large surface du terrain représentative de la parcelle. Si les résultats montrent plus de 1 propagule par gramme de sol, il faut renoncer à faire la plantation jusqu'à ce que le niveau d'inoculum soit redescendu à moins de 1 propagule par gramme.

Il est important de signaler que l'analyse de sol ne peut être utilisée que pour décider de la viabilité de l'implantation d'une nouvelle oliveraie dans la parcelle. Dans le cas d'oliveraies déjà établies, l'analyse de la plante est plus significative que celle du sol pour confirmer la présence de *Verticillium dahliae*.

### Utiliser des variétés tolérantes

Il n'a pas encore été trouvé de variétés résistantes pour lesquelles on peut assurer qu'elles ne contracteront pas la maladie. Cependant, à des niveaux bas de l'inoculum du pathotype non défoliant, le problème peut être atténué en employant des variétés résistantes ou modérément sensibles.

### Utiliser des plants sains

Jusqu'à très récemment il n'existait pas de plante certifiée qui garantissait l'absence du pathogène. Cependant quelques pépinières sont plus fiables que d'autres, cela par la zone où elles sont implantées (présentant peu ou pas du tout la maladie), par

le substrat qu'elles utilisent (provenant de zones saines), l'eau d'irrigation (provenant de puits ou de canaux non contaminés), le contrôle des mauvaises herbes, etc. Dans ce cas la détection précoce de la maladie est efficace, grâce à des analyses effectuée généralement par le pépiniériste lui-même sur un échantillon de ses plants ne présentant pas de symptômes visibles. L'emploi de plants certifiés permet de s'assurer que le matériel végétal utilisé n'est pas infecté.

### Éviter le contact avec les plantes et matériels agricoles contaminés ou susceptibles d'être contaminés

Ne pas utiliser de composts ou de fumiers dont on ne connaît pas la composition, provenance et niveau de maturité. Si le compostage est bien fait il n'y a pas de problème, le champignon meurt à cause des températures élevées qui sont atteintes au cours du processus.

Il est déconseillé d'intercaler des cultures sensibles à la Verticilliose dans les inter-rangs, car en cas de présence du champignon dans le sol, elles multiplieront l'inoculum et l'olivier sera affecté en peu de temps. Cette pratique traditionnelle s'est maintenue pour assurer une certaine rentabilité pendant les périodes improductives de l'olivier, mais elle présente des rsques, principalement parce que les semis les plus fréquents sont la pomme de terre et le coton, tous deux très sensibles à la Verticilliose. Il est également quasi-impossible d'éviter les restes de cotons dans les voies de communication, répandues par le passage des camions ou le vent.

Il a été observé que les couvertures de graminées ne présentent pas de problèmes et que les crucifères recommandées (Sinapis alba, Eruca vesicaria, Brassica carinata, etc.) ne présentent pas non plus de résultats problématiques. Par contre les résultats obtenus au préalable avec différentes légumineuses indiquent que certaines d'entre elles posaient des problèmes par leur sensibilité élevée, ces résultats ne sont cependant pas définitifs et doivent être corroborés.

### Désinfecter les tracteurs, le matériel et les outils

Une pratique nécessaire est celle de nettoyer les tracteurs et matériels qui peuvent être contaminés. Les outils de taille doivent être nettoyés après être intervenu sur un arbre malade pour éliminer les restes de bois et de feuilles, puis désinfectés en les faisant tremper dans une solution concentrée de javel pendant au moins 8-10 minutes. Il est possible d'utiliser de la javel commerciale à usage domestique diluée à 50% dans de l'eau.

### Utiliser des eaux qui ne soient pas contaminées par le champignon

La concentration en inoculum dans les eaux d'irrigation peut varier avec l'époque de l'année entre zéro et plusieurs millions de propagules par gramme d'eau. C'est pourquoi il faut éviter l'irrigation pendant les pénodes de plus grande présence de l'inoculum.

### Améliorations de type biologique

— Mycorhizes : L'utilisation de mycorhizes améliore l'état nutritif de l'arbre, ce qui peut contribuer à une meilleure réponse de celui-ci face à différents facteurs défavorables. Les champignons mycorhiziens les plus utilisés en oléiculture sont des symbiotes microscopiques de type endomycorhizes arbusculaires et appartiennent au genre Glomus. Ils pénètrent les racines et favorisent l'absorption des nutriments, la croissance et le développement de l'olivier.

Cependant les mycorhizes ne contrôlent pas Verticillium dahliae, dans certains cas elles peuvent même accélérer le processus d'infection. Dans les plants elles peuvent également favoriser un meilleur développement raculaire, augmentant le contact des racines avec le sol infesté. Cependant il a été observé que les plants mycorhizés présentaient une meilleure capacité de récupération symptomatique.

— Organismes antagonistes : L'utilisation de microorganismes qui colonisent le sol dans la même niche écologique que le champignon Verticillium dahliae peut freiner ou empêcher son avancement. Leurs façon d'agir sont diverses : forte occupation du site d'infection, forte compétition pour les nutriments, ou

émission de substances toxiques qui limitent la croissance du champignon. Ils ont pour effet de protéger l'olivier de l'attaque, mais n'ont aucun pouvoir de contrôle sur la maladie quand elle a déjà été contractée.

Il existe sur le marché des produits formulés à base d'antagonistes appartenant au genre Trichoderma, qui ont montré un niveau acceptable d'efficacité dans la prévention de l'attaque sur les plants d'olivier. Bien qu'il y ait peu d'expérience dans ce type de méthodes préventives, son efficacité a été démontrée en plein champ sur quelques souches. Il est très important que les souches employées soient parfaitement adaptées aux conditions pédooclimatiques de chaque olivier, car il s'agit d'organismes vivants qui doivent survivre dans le sol à des conditions environnementales parfois très défavorables, comme des températures extrêmes, des excès d'humidité ou de sécheresse. Ces champignons antagonistes se nourrissent de la matière organique du sol, c'est pourquoi il est important pour leur survie de maintenir un niveau acceptable.

### Favoriser un équilibre écologique adéquat

Généralement les invasions et maladies sont plus agressives quand l'équilibre se rompt dans les composants de l'agroécosystème. Le fait est évident pour les invasions lorsque les prédateurs viennent à manquer ; quand il s'agit de maladies le phénomène est complexe et beaucoup moins visible pour l'agriculteur. Pour le Verticillium dahliae dans l'olivier, il n'existe pas d'études mettant en évidence ces relations complexes. Il est conseillé, avant d'avoir ce genre de situation, d'adopter de bonnes pratiques agricoles : maintenir le sol dans de bonnes conditions agronomiques, avec un niveau satisfaisant de matières organiques, permettre la présence d'une végétation spontanée ou de couverts végétaux pouvant améliorer les concentrations de matières organiques et contribuer à l'équilibre entre les organismes vivant dans le sol. Par ailleurs il est également important d'utiliser les produits phytosanitaires de manière rationnelle et de ne pas abuser du labour qui accélère la minéralisation de la matière organique.

### ● METHODES DE CONTROLE SUR LES PLANTATIONS ATTEINTES

Le problème le plus difficile est comment contrôler le champignon une fois qu'il est apparu dans une parcelle et que l'on observe des arbres présentant des rameaux secs, une défoliation, un jaunissement et un stress hydrique, voire des arbres totalement secs. Il est primordial de combattre le champignon quand apparait la première plante infectée, en évitant sa dispersion, c'est pourquoi il faut faire un suivi sur chaque arbre suspecté d'être infecté par Verticillium dahliae, en le marquant et en surveillant son évolution. Il est également nécessaire d'effectuer un suivi en cas de soupçon sur la maladie lorsque l'on plante de nouveaux pieds dans l'oliveraie. La maladie doit être correctement diagnostiquée. Il faut d'abord s'assurer qu'il s'agit bien de Verticilliose et écarter les autres causes produisant des symptômes similaires (Sánchez et al., 1998). Une fois confirmée la maladie il faudra adopter des méthodes culturales facilitant la récupération de l'arbre et avoir recours à tous les moyens possibles de réduction de l'inoculum dans l'arbre et dans le sol.

*Il existe des techniques de laboratoire pour déterminer si une plante est infectée par le champignon lorsqu'il ne présente pas de symptômes visibles ou si le sol contient le pathogène (bien que les limites de détection ne soient pas toujours suffisamment précises).*

*Grâce aux techniques moléculaires, il est possible de discerner les pathotypes « défoliant » et « non défoliant ». Ces analyses de font dans des centres de recherche spécialisés : Université, IFAPA et CSIC, et dans quelques Laboratoires de Santé Végétale du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche de la communauté autonome d'Andalousie.*

*- Les analyses de plantes peuvent se faire dans les laboratoires des Services de la Santé Végétale de l'Administration, dans les centres spécialisés dans l'étude de la Verticilliose et dans des laboratoires privés. Elles nécessitent comme échan-*

*illons des rameaux présentant les symptômes mais pas encore secs et d'environ 1 cm de diamètre. L'analyse microbiologique n'est faisable qu'au printemps et à l'automne.*
*- Les analyses de sol et des sédiments dans les eaux sont plus complets et ne peuvent actuellement être réalisés qu'en centres d'étude.*

*- Les analyses d'eau sont plus difficiles, l'IFAPA en réalise actuellement à fin de recherches*

*De plus des techniques de détection précoce sont en cours d'étude recourant à des mesures de température de la plante au moyen d'images aériennes. La plante infectée souffre de stress hydrique, ce qui entraîne une baisse de température, laquelle peut être détectée. Ces plantes peuvent ensuite être analysées individuellement pour vérifier si le stress est du à Verticillium.*

### Pratiques culturales

L'agriculteur à la maîtrise des pratiques culturales qui sont capitales pour éviter l'avancement de la maladie dans une parcelle. Sans elles les autres méthodes seront selon toutes probabilités inefficaces et ne parviendront pas à diminuer les dommages.

### Éliminer l'inoculum produit

#### dans les arbres infectés

L'arbre infecté est l'un des plus grands foyers d'inoculum car c'est en son sein que va être produite une grande quantité de spores, microsclérotas et mycélium capables de se disperser et possédant un très fort potentiel infectieux. Le broyage et l'éparpillement de restes de taille des arbres malades est une pratique qui doit être totalement éradiquée. De plus c'est contraire à la réglementation Conditionnelle actuellement en vigueur, car cela ne permet pas de maintenir de bonnes conditions agricoles et environnementales. Son élimination est un des passages obligés pour éviter la propagation de la maladie et, au final, une des méthodes les plus économiques.

Pour cela il faut suivre quelques recommandations basiques :
— Couper les rameaux infectés, les retirer sans les éparpiller et les brûler. Faire de même avec l'arbre entier, racines incluses, si sa récupération est impossible.
— Ramasser les restes de l'olivier sur le sol, les retirer et les brûler.
— Ne pas broyer les restes de taille infectés pour les laisser au sol.

### Éliminer les adventices sensibles à la verticilliose

Il existe des espèces qui sont sensibles à la Verticilliose et multiplient l'inoculum. Leur présence en densité élevée peut être aussi pernicieuse que celle d'un cultivar sensible. Parmi elles on trouve de nombreuses herbes à feuille large, dicotylédones, de printemps :

— Portulaca oleracea (pourpier)
— Xanthium spp. (lampourdes)
— Amaranthus spp. (blète, amarante)
— Chenopodium spp. (chénopodes)

Les graminées qui ont été étudiées ne semblent pas poser problème, y compris Echinochloa colonum (blé du Dekkan, échinochloé des cultures) qui est considérée comme immunisée contre la maladie.

### Contrôler l'usage de fertilisants et de l'irrigation

Une fertilisation équilibrée est toujours une garantie de santé pour l'arbre et de résistance aux maladies et pathogènes, mais il est nécessaire de préciser les doses et types de fertilisants.

Ainsi l'excès d'azote dans l'arbre fait que les tissus sont plus tendres et sensibles à l'attaque du champignon. Au vu des connaissances actuelles, il faut réduire l'apport d'azote au minimum dans les parcelles infectées, et faire un suivi par analyses chimiques foliaires pour qu'ils n'y ait pas de carences.

Au contraire le phosphore et le potassium améliorent la résistance à la sécheresse et à l'attaque de pathogènes. Il faut faire

des amendements de P et K, en contrôlant les teneurs et apports pour ne pas faire d'excès mais maintenir les niveaux adéquats, en faisant un suivi par analyses des feuilles et du sol. L'excès d'irrigation, dans l'intention de réduire les symptômes de stressse hydrique, ne fait qu'empirer la situation. Réduire l'irrigation au printemps et à l'automne paraît être une stratégie adéquate pour combattre le champignon, mais cela est contraire aux stratégies d'optimisation de l'irrigation déficitaire. Toutefois il faut encore approfondir les recherches dans cette voie.

### Contrôler le champignon dans l'arbre

Contrôle chimique : consiste à appliquer des fongicides autorisés sur olivier par voie foliaire ou par injections.

— Voie foliaire : Actuellement on ne connaît pas de fongicide enregistré qui soit capable de contrôler la Verticilliose en l'appliquant sur les feuilles. Les développer est l'objectif de beaucoup de chercheurs et entreprises. Les applications à fortes concentrations de composés cupriques sont inutiles, et peuvent même se montrer contre-productives, car le cuivre à hautes doses affecte négativement les micro-organismes du sol, très que les champignons antagonistes qui peuvent se montrer bénéfiques dans la lutte contre Verticillium dahliae.

— Injections : Il existe des fongicides capables de contrôler le champignon en conditions de laboratoire. Cependant les résultats de contrôle grâce aux fongicides autorisés ou en essai n'ont jusqu'ici pas été significatifs lorsqu'ils étaient appliqués par injection dans le tronc. Entre autres motifs :

— L'arbre réagit face au champignon en bouchant ses vaisseaux, ce qui rend difficile le déplacement du fongicide.

— Les rameaux et racines sont connectées par ce que nous appelons « veines de sève » et il se produit toujours un mouvement préférentiel dans le côté injecté. Ceci oblige à faire de multiples piqûres et fait monter le prix du contrôle, surtout lorsque les troncs sont moyens ou gros.

Nb d'individus	Coût par injection (€)	Coût par ha pour 200 injections (€)
0 – 5.000	1,2	240
5.000 – 10.000	1,13	226
10.000 – 15.000	1,08	216
15.000 – 20.000	1,04	208
> 20.000	1	200

Contrôle biologique : l'utilisation de micro-organismes dans le contrôle de la Verticilliose, principalement des champignons et bactéries antagonistes, a fait l'objet de nombreuses études. L'une des voies de recherche tente d'identifier des organismes vivants capables de limiter la croissance de Verticillium dahliae dans le sol ou qui empêchent l'infection de l'olivier.

Jusqu'à aujourd'hui ces travaux n'ont pas permis la mise sur le marché de produits qui réduisent les symptômes causés par le champignon une fois l'arbre infecté. Dans le registre des Produits Phytosanitaires du MARM, il existe un produit enregistré comme fongicide contre la Verticilliose dont la « substance active » est biologique, à base de différentes souches de champignon du genre Trichoderma, sélectionnés spécifiquement pour les racines d'olivier. Mais son utilisation est surtout recommandée en pépinière pour protéger l'olivier de l'attaque initiale. (Plus d'information : Site web du Registre des Produits Phytosanitaires du MARM Ministère de l'Environnement, du Milieu Rural et de la Merne). D'un autre côté il a été étudié des substances d'origine organique capables de réduire le développement du champignon ou dans notre cas d'améliorer la réponse de la plante contre l'infection grâce à la stimulation de ses propres mécanismes de défense. Les résultats ont montré que ce type de produits améliorent la croissance de l'arbre mais n'ont aucun effet direct sur la maladie. Définitivement il n'a été mis au point aucune technique qui réduit la sévérité des symptômes une fois l'arbre infecté. Ainsi la stratégie de contrôle de la maladie doit mettre l'emphase tout spécialement sur le contrôle des foyers d'infection pour ne pas augmenter le nombre d'arbres malades.

### Réduction de l'inoculum et du champignon dans le sol

#### Désinfection chimique des sols

La désinfection chimique fut la méthode traditionnellement utilisée en agriculture, mais ces dernières années elle est remise en cause car ses inconvénients augmentent, comme le vide biologique qu'elle produit dans le sol ou la nécessité de personnel spécialisé pour la mener au bout. Des produits comme Metam sodium ou Bromure de méthyl permettent un contrôle quasi total des organismes vivants dans le sol, tant pathogènes que bénéfiques, ce qui permettrait de contrôler le Verticillium.

**Avant la plantation**

— Bromure de méthyl : Son utilisation n'est pas autorisée en Espagne. Ce produit a été pratiquement éliminé du marché européen à cause de su pouvoir élevé de contamination qui affecte la couche d'ozone.

— Metam sodium (ou autres produits qui pourraient être autorisés) : Il peut s'appliquer sur les lignes de la future plantation. Le sol doit être couvert pendant au moins 15 jours après l'application avec un plastique ou être irigué, ce qui limite son usage à la disponibilité en eau. (problème de traduction « el suelo debe sellarse »)

Dans les démonstrations réalisées par l'IFAPA au Centre Alameda del Obispo de Cordoue, le résultat ne fut pas totalement satisfaisant, si bien que les causes ne peuvent pas être attribuées avec certitude au manque d'efficacité du produit ou à l'absence d'infections posténeures. Le vide biologique qui se crée avec l'utilisation de ces produits d'ample spectre constitue un risque de colonisation postérieure par les pathogènes ou d'épidémies.

Le coût du produit et de l'application (sans inclure l'irrigation ni le plastique) est compris entre 1.600 et 2.400 /ha (TVA non incluse, à date de 2010).

**En présence d'oliviers**

Il existe de nombreux produits chimiques qui se montrent efficaces contre V. dahliae en laboratoire, mais en conditions de plein champ les applications au sol n'ont pas pu démontrer cette effectivité. Des produits fertilisants ont été enregistrés qui améliorent l'état de l'olivier, mais il n'ont pas montré de contrôle du champignon.

#### Solarisation du sol

**Fondements techniques**

C'est une technique contrastée et utilisée en culture de plein air et en serre pour combattre les pathogènes du sol. Elle consiste à provoquer une augmentation de la température du sol jusqu'aux limites létales pour la survie du champignon. Elle se réalise en couvrant avec du plastique transparent la surface du sol pour produire un effet de serre. Bien effectuée la solarisation est très efficace, bien que l'effet est plus grand dans la zone la plus superficielle, elle atteint des profondeurs allant jusqu'à 30 cm avec une efficacité suffisante.

La radiation, c'est à dire la lumière d'onde courte, arrive sur le plastique et le traverse, mais la réflexion de cette radiation est d'onde large et n'est pas capable de retraverser le plastique. Il en résulte une production de chaleur, le sol surchauffe et le champignon meurt. Ce n'est pas un effet de la chaleur mais de la lumière, c'est il ne faut pas utiliser un plastique noir car il laissera passer très peu de radiations. Toutefois le refroidissement nocturne lui sera affecté par la température ambiante : c'est pourquoi il faudra profiter des mois les plus lumineux et les plus chauds pour faire la solarisation. Pour l'Andalousie la date optimale sera comprise entre le 15 mai et le 15 septembre. Dans le nord de l'Espagne, la solarisation est peu effective.

Le plastique devra être le plus fin possible pour faciliter le passage de la lumière, mais comme il existe un plus grand risque de rupture en le déroulant et de détérioration par le passage du temps, il est conseillé qu'il fasse au minimum entre 250 et 300 galgas (50 microns) si l'ont veut obtenir de bon résultats en pratique. Les bordures longitudinales du plastique ne doivent pas être trop large pour éviter que le vent ne puisse les rompre ou les lever ; si le risque est grand, il ne faut pas dépasser 50 à 60 m par bordure.

Le sol doit être lisse et humide, libre de tout obstacle qui pourrait soulever le plastique et créer une fenêtre d'air qui empêcherait la transmission de la chaleur. Il faut également éliminer tout élément portant des épines ou des bords coupant qui pourrait rompre le plastique. La condensation qui se forme sous le plastique rend difficile la pénétration de la lumière, c'est pourquoi il est primordial que le plastique soit collé au sol afin que les gouttes de rosée ne reviennent à la terre.

L'humidité du sol est un facteur important, car un sol humide transmet mieux la chaleur qu'un sol sec. Pour cela il faut privilégier les dernières semaines du printemps pour faire la solarisation, avant que le sol soit séché par les températures estivales ou par manque d'irrigation. Une imigation normale sera de 40 à 80 mm, selon l'humidité contenue dans le sol. Ce qui pour un seul olivier correspond à environ 1.000 à 2.000 litres d'eau. La superficie minimum à solariser doit être suffisamment grande pour assurer le réchauffement du sol. Pour des plants le minimum sera de 5 m x 5 m. Ceci parce que sur les bords du plastique, sur une frange d'environ 1 m, la chaleur se dissipe avec facilité, la surface effective fera seulement 3 m x 3 m. Dans le cas d'oliviers adultes il faut solariser une surface plus grande, au minimum la dimension occupée par la frondaison plus 1 m de chaque part.

**Figures solarisation**

Les coûts de solarisation vont dépendre principalement de la possibilité de mécaniser les opérations et des besoins de chaque parcelle, bien que le coût des matériaux soit généralement élevé.

*Tableau : Prix approximatifs du polyéthylène transparent de basse densité (TVA non incluse, à date de 2010 en Espagne)*

Epaisseur (galgas)	Epaisseur (mm)	Prix (€/m²)	Prix (€/olivier) Includnt 5x6m + 0,25 m enterrés en bordures	Prix (€/ha) Includnt 10% de dépenses sup
200	0,05	0,08	2,42	880
250	0,06	0,1	3,02	31/12/99
300	0,08	0,12	3,63	31/12/19
400	0,1	0,16	4,84	1760

Une fois le champignon mort par la solarisation, les nouvelles attaques par les racines seront évitées, les arbres sains seront sauvés et les affectés auront plus de chances de récupérer. Cependant si elle est mal faite, l'effet peut être totalement insuffisant.

Problèmes qui se présentent à la réalisation de la solarisation.

— Les zones d'oliveraies ne disposent pas de machines adaptées à la mécanisation des opérations.

— La préparation du sol est indispensable, mais très délicate lorsqu'il s'agit de petites superficies isolées.

— Quand l'irrigation n'est pas possible il faut réaliser la solarisation avant l'entrée dans l'été, en mettant à profit l'eau de pluie du printemps.

— S'il y a le risque que des animaux ou le vent cassent le plastique, il faut surveiller constamment et réparer. Ce qui inclut de disposer de clôtures, électrifiées ou non, entourant la parcelle pour interdire le passage aux chiens, sangliers, etc.

— Les herbes qui ne sont pas contrôlées par la solarisation et peuvent germer et soulever le plastique, doivent être éliminées auparavant avec un herbicide qui empêche leur germination. Quelques espèces comme le sorgho d'Alep (Sorghum halepense), les Cyperus spp. et assimilés, ne se contrôlent pas avec la seule solarisation, sinon ils déchireront le plastique en repoussant.

— En utilisant les herbicides il faut prendre en compte qu'ils ne se comportent pas sous plastique comme à l'air libre, ce qui peut entraîner des phytotoxicités.

— Quand le sol ne peut pas être préparé de manière adéquate et le plastique ne peut pas être enterré sur les bords parce que la terre est trop compacte – dans les vallons, dans les sols rocailleux ou lorsque les tuyaux d'irrigation sont enterrés superficiellement – on peut faire une préparation du sol sans labour, en balayant et nettoyant bien les restes secs. Ensuite il faut dérouler un plastique plus grand que la normale, pour compenser la perte de chaleur sur les bords non enterrés, et le fixer par exemple grâce à des barres de