



Article technique

La Flavescence Dorée et sa gestion au vignoble : contenir la maladie et éviter sa propagation

La Flavescence Dorée (FD) est une maladie grave, classée parmi les jaunisses de la vigne et détectée depuis les années 1950 en France. Depuis cette date, des maladies similaires ont été signalées dans d'autres pays européens (la maladie du Bois Noir par exemple). La Flavescence Dorée est causée par un phytoplasme qui est classé comme organisme de quarantaine et indexé sur la liste A2 EPPO (directive n°2009/297CE). Le principal vecteur de la Flavescence Dorée est une cicadelle, inféodée à la vigne, et qui transmet le phytoplasme en se nourrissant. La Flavescence Dorée est l'une des maladies les plus dommageables du vignoble européen et celle-ci peut avoir un impact sévère, tel que des pertes de rendement ou le dépérissement des plantes et d'importantes conséquences économiques dans la majorité des pays viticoles. Sans mesures de contrôle, la maladie se propage rapidement, et peut affecter la totalité des ceps en quelques années. Malgré le contrôle son obligatoire en Europe, elle se répand rapidement et exige un suivi permanent afin de détecter de nouvelles zones contaminées.

1. Propagation de la FD et de son vecteur en Europe

Le principal vecteur de la Flavescence Dorée, la cicadelle *Scaphoideus titanus*, a été introduit en Europe depuis l'Amérique dans les années 1950 (Papura et al., 2012). Son introduction a été attribuée à l'import de plants de vigne. Cependant, *S. titanus* était probablement déjà présent en Europe en 1927 à une échelle spatiale et un niveau de population moindre, si bien qu'il n'a pas été recensé. L'invasion des vignobles par *S. titanus* est un processus continu, la zone de présence de l'insecte s'étend en Europe d'ouest en est, du Portugal à la Serbie et du nord de la France au sud de l'Italie. La distribution de *S. titanus* en Europe est plus large que celle du phytoplasme, puisqu'il est également présent dans des régions jusqu'alors indemnes de Flavescence Dorée (par exemple, le nord de l'Espagne ou l'Alsace en France). La première épidémie de Flavescence Dorée date de 1957, depuis la maladie se propage rapidement dans d'autres régions viticoles européennes. Aujourd'hui, le phytoplasme de la Flavescence Dorée est présent dans les principaux pays viticoles d'Europe, à savoir l'Autriche, la Croatie, la France, la Hongrie, l'Italie, le Portugal, la Slovaquie, l'Espagne, la Suisse et la Serbie (figure 1). Dans plusieurs pays, la présence du phytoplasme est limitée à certaines zones géographiques. La propagation de la maladie est fortement liée à la répartition de *Scaphoideus titanus*, qui est basée sur la dispersion des populations introduites et les activités humaines (Pavan et al., 1997; Bertin et al., 2007; Papura et al., 2009). La propagation de *Scaphoideus titanus* n'est pas encore terminée : les populations de *S. titanus* pourraient s'établir en Europe du Nord ou en Chine en raison de conditions climatiques favorables dans ces zones (Maixner, 2005; Steffek et al., 2007).

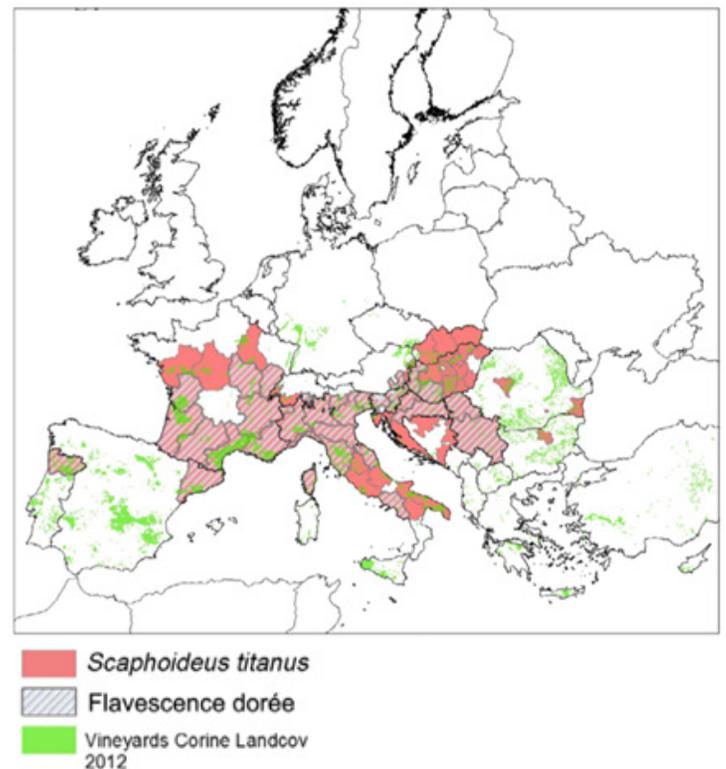


Figure 1: Présence de *Scaphoideus titanus* et de la Flavescence Dorée en Europe (EFSA 2016). Depuis l'été 2016, *S. titanus* a également été détecté en Alsace en France.

2. Symptômes et impacts de la FD

Les vignes infectées par la Flavescence Dorée développent des symptômes qui ne peuvent pas être distingués de ceux provoqués par d'autres phytoplasmes de la vigne, appartenant au groupe des jaunisses qui peuvent être facilement confondus avec d'autres maladies.

Une fois affectée par la Flavescence Dorée, la vigne présente les symptômes caractéristiques des jaunisses. Les premiers symptômes peuvent parfois être observés au début du développement végétatif : le premier symptôme visible peut être un retard de débourrement ou un mauvais débourrement (Caudwell, 1964), mais de telles observations doivent être complétées ultérieurement en surveillant les symptômes typiques de Flavescence Dorée en été.

Au printemps, on peut observer une réduction de la croissance des rameaux fructifères, une coloration et un enroulement des feuilles. Les symptômes plus évidents sont mieux visibles en septembre. Sur la vigne infectée, on peut observer un manque ou une absence de lignification des rameaux. Les feuilles s'enroulent, sont craquantes au toucher et deviennent rougeâtres pour les cépages rouges ou jaunâtres pour les cépages blancs. Le dessèchement des inflorescences et des baies peut se produire en été. À l'intérieur de la plante, le phytoplasme réduit l'activité photosynthétique et le transport des nutriments, diminue la qualité du raisin ou peut même entraîner un dessèchement total des grappes, provoquant des pertes de rendement significatives (jusqu'à 100%).



Symptômes de FD sur feuilles et grappes.

Les symptômes peuvent être plus ou moins visibles selon le cépage et les porte-greffes peuvent être asymptomatiques (porteurs sains du phytoplasme de la Flavescence Dorée).

Les symptômes de la Flavescence Dorée peuvent être confondus avec d'autres maladies, des carences ou des troubles physiologiques. En cas de doute, il faut vérifier la présence des trois symptômes typiques (décoloration et enroulement des feuilles, absence de lignification des rameaux et dessèchement des grappes). Ensuite, une analyse en laboratoire peut être effectuée. Comme les symptômes de Flavescence Dorée sont similaires aux symptômes de la maladie du Bois Noir, seule une analyse PCR peut déterminer quel phytoplasme est responsable des symptômes observés. La méthode PCR permet de diagnostiquer et d'identifier le phytoplasme à l'intérieur des organes de la vigne (feuille et pétiole) en analysant un fragment d'ADN.

Lorsque les vignes infectées ne sont pas encore dépériées-ce qui est très rare-l'infection par le phytoplasme de la Flavescence Dorée peut avoir un impact sur la qualité du raisin et du vin en raison d'une maturation retardée ou imparfaite, affectant les concentrations en sucre et en divers composés. Néanmoins, en comparaison à l'impact des pertes de rendement, la réduction de la qualité est une conséquence mineure. En pépinière, la Flavescence Dorée peut avoir une incidence significative sur la production. En cas de détection du phytoplasme, le lot de production contaminé perd le passeport phytosanitaire et des mesures d'éradication et de confinement accrues seront exigées. Dans les zones infectées, les pépinières doivent mettre en œuvre des mesures de contrôle de la Flavescence Dorée, telles que la surveillance des vignes mères et le contrôle de la population de vecteur.

3. Le modèle tripartite de la Flavescence Dorée

Pour exister, la Flavescence Dorée nécessite la présence simultanée de 3 éléments : l'agent infectieux (le phytoplasme), le vecteur (la cicadelle de la flavescence Dorée) et l'hôte (la vigne).

A. Le phytoplasme

Les phytoplasmes sont des bactéries intracellulaires dépourvues de paroi qui vivent dans les tubes criblés du phloème. Le phytoplasme de la Flavescence Dorée n'est transmis d'un hôte à l'autre que par un insecte vecteur dans lequel il peut se multiplier et circuler, ou encore lors du greffage.

Le phytoplasme provoquant la Flavescence Dorée présente une grande diversité génétique : plusieurs souches de phytoplasme peuvent provoquer la Flavescence Dorée et sont dispersées dans toute l'Europe. Jusqu'à présent, 3 groupes génétiques de phytoplasmes de la Flavescence Dorée sont identifiés en Europe (Malembic-Maher, 2009) :

- FD1, principalement localisé dans le Sud-Ouest de la France et plus rarement ailleurs

- FD2, le groupe majeur présent en Europe (France, Italie, Portugal, Croatie, Hongrie)

- FD3, rapporté majoritairement en Italie

D'autre part, certaines plantes hôtes peuvent servir de réservoirs de phytoplasmes, comme *Alnus glutinosa*, *Clematis vitalba* et les espèces sauvages de *Vitis* (Malembic-Maher et al., 2007; Filipin et al., 2009). En Europe, l'hypothèse principalement acceptée est que ces phytoplasmes ont été hébergés dans ces plantes avant d'être transmis à la vigne.

B. Le vecteur

i. Cycle de vie

Scaphoideus titanus est une espèce univoltine. Les œufs sont pondus à la fin de l'été sous l'écorce du vieux bois, puis après un stade de diapause de 6 à 8 mois, variable en fonction des conditions climatiques et des caractéristiques du vignoble, les œufs éclosent (Chuche & Thiery, 2012).

La durée de la période d'éclosion varie selon les régions et les longues périodes d'éclosion sont typiques des vignobles avec des hivers doux. Les températures régulent le début et la durée de la période d'éclosion ainsi que la reproduction (Chuche & Thiery, 2014). Après l'éclosion, 5 stades larvaires se suivent en 5 à 8 semaines, selon les conditions climatiques avant l'apparition des adultes. Les larves restent habituellement sur la plante où elles éclosent, mais sautent parfois d'une plante à l'autre (Maixner et al., 1993). Elles se nourrissent préférentiellement sur les pampres à la base du tronc ou sur les feuilles inférieures. Les adultes apparaissent généralement à partir de juillet, sont très mobiles et volent de vigne à vigne. Pour s'accoupler, *Scaphoideus titanus* émet des signaux de communication vibratoires. Les femelles, si elles se sont accouplées, peuvent commencer à pondre des œufs 10 jours après la dernière mue.

ii. Comportement alimentaire

Scaphoideus titanus est un insecte piqueur suceur qui se nourrit sur les feuilles de vigne. Il est généralement admis que *S. titanus* s'alimente surtout dans les vaisseaux du phloème, mais il peut se nourrir de sève dans le phloème ou le xylème. La larve préfère se nourrir sur les petites nervures et les adultes se nourrissent davantage en piquant les nervures principales ou les pétioles (Chuche & Thiery, 2014). A partir du premier stade larvaire, *S. titanus* peut acquérir le phytoplasme lorsqu'il s'alimente sur une plante infectée, puis après une période d'incubation d'un mois devient infectieux pour le reste de sa vie. Au cours de la période d'incubation, le phytoplasme se multiplie et circule dans la cicadelle pour atteindre les glandes salivaires, où le taux de multiplication est très élevé. Lorsque la concentration en phytoplasme dans les glandes salivaires est suffisante, l'agent infectieux peut être transmis à une plante saine lors de chaque prise alimentaire.

C. La plante hôte

En Europe, *S. titanus* est inféodé à *Vitis vinifera* mais peut parfois être rencontré sur d'autres plantes comme *Salix viminalis* et *Prunus persica* (Chuche & Thiery, 2014). *S. titanus* pourrait avoir des préférences variétales puisque dans les vignobles composés de plusieurs cépages, des niveaux de population différents ont été observés en fonction des variétés (Schvester et al., 1962, Posenato et al., 2001).

S. titanus est associé à la vigne, mais le phytoplasme de la Flavescence Dorée peut être retrouvé dans d'autres espèces comme *Alnus glutinosa*, *Clematis vitalba* et *Ailanthus altissima*. D'autres espèces de vecteurs, comme *Dictyophara europaea* et la cicadelle *Oncopsis alni* peuvent transmettre le phytoplasme à la vigne depuis ces espèces. Ce phénomène semble très occasionnel avec une probabilité de transmission faible car ces vecteurs se nourrissent de façon exceptionnelle sur la vigne, à la différence de *S. titanus* (Maixner et al., 2000; Arnaud et al., 2007; Filippin et al., 2009).

Lorsqu'une vigne est infectée, le phytoplasme colonise toutes les parties de celle-ci (feuilles incluses) par le phloème et constitue donc une source d'infection. En se nourrissant sur la vigne et en volant de cep à cep, *S. titanus* répand la maladie. Par conséquent, le taux d'infection de l'année N est fortement corrélé aux populations de vecteurs de l'année N-1 (Morone et al., 2007). Sans traitement insecticide, les populations de *S. titanus* dans le vignoble peuvent s'élever à plusieurs milliers d'individus par hectare (Schvester, 1969) conduisant à une propagation rapide de la maladie, avec un nombre de vignes infectées pouvant être multiplié par 10 chaque année !

4 Gestion de la maladie dans les régions où la FD est présente

A. Contrôle du vecteur

i. Stratégies de traitement

Les traitements insecticides visant *Scaphoideus titanus* sont essentiels pour diminuer les populations de vecteurs, et diminuer la vitesse de propagation et/ou le risque d'épidémie de Flavescence Dorée. *Scaphoideus titanus* étant un insecte extrêmement efficace pour propager la Flavescence Dorée dans le vignoble, les traitements insecticides doivent être appliqués au bon moment.

Le moment opportun et le nombre de traitements insecticides sont définis par des décrets nationaux dans la plupart des pays européens, en raison du statut de quarantaine de la Flavescence Dorée. La date du premier traitement obligatoire est généralement déterminée par une organisation spéciale, car elle requiert un bon niveau de connaissance sur *Scaphoideus titanus*. Pour déterminer cette date, des cages d'émergence peuvent être utilisées et la surveillance du premier stade larvaire (au minimum) se fait sur des parcelles témoins. Les cages d'émergence contiennent du bois de 2 ans d'une parcelle infectée l'année précédente et un piège englué. Lorsque les œufs présents sur

l'écorce éclosent, les larves se collent sur le piège englué. La date d'observation des premières larves est enregistrée et confirmée quelques jours plus tard sur le terrain. Le premier traitement insecticide est positionné un mois après la première éclosion. Le deuxième traitement peut être positionné soit à la fin de la rémanence du premier traitement (1 semaine en production biologique et jusqu'à 3 semaines en production conventionnelle) dans le but de couvrir la fin de l'éclosion dans les régions où la population de *S. Titanus* est élevée, ou de viser les adultes dans des régions où la population de *S. Titanus* est faible. Selon les zones, un troisième traitement peut être appliqué ou non. Celui-ci est déterminé par décret selon l'historique de Flavescence Dorée de la région. Un suivi sur les adultes peut aider à déterminer si un troisième traitement doit être appliqué. Une fréquence élevée d'adultes signifie que le risque de contamination est élevé et qu'un traitement supplémentaire peut/doit être appliqué.

ii. Cas des productions biologiques

En viticulture biologique, la prévention est cruciale. La présence de *Scaphoideus titanus* dans le vignoble doit être surveillée avec précision, surtout lorsque la parcelle est proche d'une zone où la présence de FD a été confirmée. Des traitements insecticides à base de pyrèthre naturel peuvent être effectués contre le vecteur de la FD (Règlement de la CE 889/08).

En plus des traitements insecticides qui doivent être régulièrement renouvelés, les observations du vignoble sont essentielles pour prévenir et limiter la propagation de la FD.

Le pyrèthre naturel est une molécule délicate, sensible aux températures élevées et aux rayonnements UV. Son temps de demi-vie est estimé à 10-12 minutes pour une solution de pyrèthre directement exposée au soleil. Le produit a une «action choc» et agit par contact sur la conduction nerveuse de l'insecte. L'application du pyrèthre naturel peut être effectuée en association avec une application de cuivre ou de soufre (Sudvinbio, 2013). Le pyrèthre naturel présente la meilleure efficacité sur les stades larvaires L1 à L3 de *S.titanus* mais malheureusement, celle-ci est variable et l'application de pyrèthre doit être couplée à la surveillance des populations de vecteurs et à des observations successives de la parcelle, avant et après traitement. Toute vigne symptomatique doit être arrachée immédiatement.

iii. Prévention de l'infection en retirant les réservoirs potentiels de vecteurs

Les vignes sauvages ainsi que d'autres espèces représentent un réservoir pour *Scaphoideus titanus* et pour le phytoplasme de la FD. Le phytoplasme de la FD a été signalé sur des espèces sauvages comme la clématite et l'aulne et peut être transmis de façon exceptionnelle à la vigne (Filipin et al., 2009; Lessio et al., 2014).

Ce compartiment sauvage présente donc un risque connu d'émergence épidémique. Cependant, il pourrait également

fournir des services écosystémiques au vignoble. Par exemple, la régulation naturelle de certains parasites par les auxiliaires. Ainsi, il est important d'examiner et d'estimer les relations entre les risques épidémiques et les services qu'offrent ces zones. Ainsi, au-delà du vignoble lui-même, l'extension de la surveillance et la lutte contre la Flavescence Dorée dans ces compartiments sauvages n'est pas facile.

iv. Surveillance du vecteur : surveillance des stades larvaires et des adultes

Scaphoideus titanus est difficile à détecter et à reconnaître, car ses larves sont petites et mobiles. De plus, la cicadelle peut être confondue avec d'autres cicadelles ou insectes vivant sur la vigne. Les premiers stades larvaires de *S.titanus* sont d'abord de couleur blanche à translucide, puis se colorent en vieillissant. Les nymphes sont identifiables grâce à deux points noirs symétriques en position dorso-latérale, près de l'extrémité arrière de l'abdomen. *Scaphoideus titanus* arbore une couleur marron et des rayures sur la tête, sa taille adulte est comprise entre 4,8 et 5,8 mm.



Larves et adulte de *Scaphoideus titanus* (IFV Sud-Ouest, INRA Bordeaux)

La surveillance du vecteur est utile pour détecter toute nouvelle présence de *S. titanus* et peut commencer dès les premiers stades larvaires avec des techniciens formés. Pour être suffisamment précis, le contrôle visuel doit être effectué sur une base de 100 à 200 feuilles (pampres incluses) en retournant délicatement les feuilles.

Les traitements insecticides doivent être appliqués en respectant les dates obligatoires. La surveillance des cicadelles adultes sur la vigne à l'aide de pièges englués jaunes est généralement effectuée pour décider si un troisième traitement est requis.

B. Pratiques atypiques observées sur le terrain pour contrôler la population du vecteur

Les pratiques décrites ci-dessous ont été observées sur le terrain et n'ont pas fait l'objet d'une évaluation scientifique, aucun résultat scientifique n'est disponible sur leur efficacité. Ce sont des solutions alternatives aux traitements insecticides réalisées par les producteurs eux-mêmes.

Sur le terrain, partout en Europe, des méthodes alternatives aux produits phytosanitaires pour contrôler les populations du vecteur de la Flavescence Dorée sont testées, et sont principalement utilisées en production biologique pour réduire l'utilisation des pesticides et protéger l'environnement.

i. L'application d'huile essentielle d'orange

Une alternative au contrôle chimique de *Scaphoideus titanus* pourrait être l'utilisation d'huile essentielle d'orange. Ce produit est utilisé par certains vigneron en Europe pour contrôler les populations de *S. titanus* mais de façon complémentaire au traitement chimique car cette substance n'est pas homologuée comme insecticide. L'ingrédient actif de l'huile d'orange est un terpène, le D-limonène, qui est identifié comme insecticide naturel. Le D-limonène a un effet asséchant sur la cuticule des larves et peut être efficace sur les jeunes stades larvaires de *Scaphoideus titanus*. L'efficacité de ce produit doit encore être démontrée. Il est important de noter que des effets secondaires négatifs sur d'autres parasites de la vigne ont été rapportés.

ii. L'application d'argile kaolinite calcinée

L'argile kaolinite agit principalement comme insectifuge mais certaines études montrent également une mortalité des larves. Elle est principalement utilisée en agriculture biologique, où le seul insecticide admis est le pyrèthre. Ce n'est pas une alternative mais une intégration possible. L'argile kaolinite est plus efficace sur les premiers stades larvaires que chez les adultes. Étant donné le coût élevé du produit et son efficacité, même partielle, le moment du traitement et les doses doivent être plus étudiés afin d'être optimisés.

C. La gestion des vignes infectées

La surveillance du vignoble est l'un des principaux éléments clé de la gestion de la FD et doit être effectuée à la fois à l'échelle régionale d'un vignoble et à l'échelle individuelle. Pour être efficace, il est fortement recommandé que le suivi soit organisé et contrôlé par un organisme dédié. Quoi qu'il en soit, la surveillance devrait également être faite individuellement par chaque viticulteur sur son propre vignoble (inspection de tous les rangs).

Lorsque les symptômes de Flavescence Dorée ou de Bois Noir sont signalés, des analyses en laboratoire doivent être effectuées pour confirmer le diagnostic

L'arrachage et la destruction de la vigne infectée est toujours recommandé, voire obligatoire dans la plupart des régions par décret national. Pendant la période de présence de cicadelles (de mai à octobre) dès qu'une vigne infectée est détectée, elle doit être déclarée officiellement, échantillonnée afin de réaliser une analyse de laboratoire, puis arrachée et détruite. L'arrachage des ceps contaminés doit se faire le plus rapidement possible, pour éviter que *Scaphoideus titanus* ne se nourrisse sur les ceps infectés et propage la maladie.

Le déracinement doit se faire de manière méticuleuse en évitant toute repousse de gourmands ou de porte-greffe. L'éradication de ces pousses doit être réalisée dans la parcelle de vigne mais aussi à l'extérieur.

Dans le cas où l'arrachage ne peut être effectué rapidement pendant la saison, il peut être reporté après la récolte, mais la vigne ou les parties symptomatiques de la végétation doivent être coupées aussi tôt que possible et la souche doit être clairement marquée pour une éradication totale ultérieure. Le foyer de la maladie s'étend de vigne en vigne depuis la vigne initiale, c'est la raison pour laquelle aucun cep symptomatique ne doit être laissé dans la parcelle. L'incidence de la maladie augmente très rapidement, la quantité de vignes malades peut être multipliée par 10 chaque année.

Laisser les vignes infectées dans la parcelle augmentera considérablement le niveau d'infection les années suivantes.

Chaque viticulteur devrait, à son échelle, mettre en place une surveillance régulière des vignes et détecter les premiers symptômes de la FD. Une formation sur la reconnaissance des symptômes est importante pour tous les vignerons exploitant dans une zone infectée parce que leur vignoble peut être infecté par la FD et, dans ce cas, il est essentiel d'éradiquer les vignes infectées dès que possible. En cas de nouvelle infection, les autorités locales compétentes doivent être informées et informeront des mesures obligatoires à prendre. En cas de doute, il est possible de demander un test en laboratoire de la vigne suspecte.

Pour contenir et éradiquer la maladie de la FD dans une zone, la gestion collective et individuelle est essentielle, une bonne communication entre les vignerons, les groupes collectifs et les organismes dédiés est indispensable

5. Les recherches sur la gestion du vecteur et de la maladie

A. Sensibilité des cépages

Afin d'améliorer la gestion de la FD, il est important de connaître les différences de sensibilité des cépages, en ce qui concerne la quantité et la dissémination des phytoplasmes dans les plantes. Plusieurs chercheurs (Boudon-Padiou, 1996; Jagoueix-Eveillard et al., 2012) ont montré qu'il existe une gamme de sensibilité à la Flavescence Dorée entre différents cépages de vigne et porte-greffes. Certains cépages expriment plus ou moins

de symptômes de FD, tout comme certains porte-greffes qui peuvent exprimer des symptômes très légers voire aucun symptôme, lorsqu'ils sont infectés par le phytoplasme. Par exemple, le Cabernet Sauvignon exprime des symptômes rapidement, il est donc très sensible à la FD. Au contraire, le Merlot est peu sensible à la FD et exprime moins de symptômes que le Cabernet Sauvignon (Jagoueix-Eveillard et al., 2012). A l'échelle de la parcelle, l'incidence de la Flavescence Dorée est plus faible sur Merlot que sur Cabernet Sauvignon. À l'intérieur de la plante, la sévérité des symptômes est plus faible et la diffusion des phytoplasmes dans les vaisseaux du phloème est plus limitée chez le Merlot par rapport au Cabernet sauvignon. Pour les porte-greffes, une étude a montré que même si certains porte-greffes n'expriment pas les symptômes, ils sont porteurs d'une forte concentration de phytoplasme (Galletto et al., 2014 ; Malembic-Mayer, 2015). Un résultat encourageant de cette étude est que moins le cépage exprime les symptômes, moins le phytoplasme ne se diffuse et se multiplie.

B. Voies de recherche sur le phytoplasme et son hôte

• Recherche de sources de résistance sur les espèces de *Vitis* et recherche de mécanismes de défense de la vigne

À la suite des résultats de recherche, un moyen d'approfondir la sensibilité des espèces *Vitis* consiste à identifier des cépages et des porte-greffes non attractifs pour l'insecte ou à identifier des cépages avec un faible taux de multiplication du phytoplasme de la FD. Des travaux sont encore nécessaires sur la caractérisation des mécanismes et des bases génétiques de la résistance pour améliorer les variétés de vigne et pour exploiter les mécanismes de défense à travers des Stimulateurs des Défenses Naturelles (SDN).

• Inhibiteurs moléculaires

La recherche travaille actuellement sur des inhibiteurs moléculaires permettant d'éviter la reconnaissance entre le phytoplasme et les cellules de l'insecte. L'objectif est de bloquer le phytoplasme avant qu'il n'atteigne les cellules internes de l'insecte. Lorsque l'insecte se nourrit sur une vigne infectée, le phytoplasme peut être aspiré et peut infecter le vecteur en traversant plusieurs barrières tissulaires. Ce phénomène nécessite des interactions entre les protéines du phytoplasme et les cellules de l'insecte. Les chercheurs ont l'intention de bloquer cette interaction en inhibant la protéine responsable du transfert. Aucun résultat n'est disponible à ce jour.

• Cartographie aérienne du vignoble

L'identification précoce des symptômes de la Flavescence Dorée est primordiale dans la prise en charge de cette maladie. C'est pourquoi plusieurs entreprises privées et publiques tentent de développer l'utilisation d'images aériennes prises par les drones, afin de faciliter la reconnaissance de la Flavescence Dorée. Les recherches sont toujours en cours, et à ce jour, il n'existe

aucun moyen efficace et reconnu de distinguer les symptômes de Flavescence Dorée des autres symptômes de maladies avec l'utilisation de cette technologie.

C. Voies de recherche pour contrôler le vecteur

• Perturbation de la reproduction

Une méthode novatrice consisterait à empêcher les populations de *Scaphoideus titanus* de croître d'une année à l'autre en perturbant leur reproduction. La méthode consiste à perturber les signaux émis par les mâles pour attirer les femelles, ce qui empêche leur rencontre. Les adultes communiquent par des signaux vibratoires, les mâles émettent un chant de cour et les femelles émettent des signaux en réponse (Mazzoni et al., 2009). La méthode consiste à placer plusieurs mécanismes le long des rangs de vigne qui vont diffuser des signaux vibratoires à travers le fil porteur et perturber les signaux émis par les mâles, réduire le niveau d'appel et interrompre le duo établi. Il en résulte un nombre considérablement réduit de copulations (Mazzoni et al., 2009), ce qui permet de décroître la population de l'insecte. Cette méthode, bien que coûteuse, pourrait alors être utile pour faciliter la gestion à long terme en cas de fortes populations.

• Le contrôle biologique

Le contrôle biologique des populations de *Scaphoideus titanus* avec des parasitoïdes a été expérimenté avec certaines espèces *Pipunculidae*, *Anteoninae* et *Gonatopodinae*, mais un contrôle efficace à grande échelle viticole ne semble pas possible, même si certaines de ces espèces peuvent individuellement parasiter *Scaphoideus titanus*. Le contrôle biologique est également étudié en utilisant des bactéries perturbant la reproduction ou la capacité du vecteur à transmettre le phytoplasme (Chuche et al., 2017; Gonella, 2012; Marzorati, 2006)

Toutes ces stratégies sont en cours d'évaluation et doivent être considérées comme complémentaires à la lutte réelle contre la Flavescence Dorée et ne peuvent pas la remplacer.

Conclusion

Contrairement aux autres maladies de la vigne, le contrôle de la Flavescence Dorée doit être inclus dans une gestion collective pour laquelle chaque producteur doit utiliser les outils les plus efficaces à sa disposition, conformément à la réglementation. L'efficacité de la gestion de la Flavescence Dorée dépend de la cohésion entre les acteurs. Sans mesures de contrôle, la maladie se propage rapidement, affectant jusqu'à la totalité des vignes en quelques années. Une bonne gestion de la Flavescence Dorée passe par une combinaison de méthodes fonctionnant à la fois sur le vecteur, *Scaphoideus titanus* et sur la maladie, dès que les vignes sont contaminées par le phytoplasme.

Bibliographie

- Arnaud G., Malembic-Maher S., Salar P, Bonnet P, Maixner M, Marcone C, Boudon-Padieu E, Foissac X (2007) Multilocus sequence typing confirms the close genetic interrelatedness of three distinct flavescence dorée phytoplasma strain clusters and group 16SrV phytoplasmas infecting grapevine and alder in Europe. *Appl Environ Microbiol* 73:4001–4010.
- Bertin S, Guglielmino CR, Karam N, Gomulski LM, Malacrida AR, Gasperi G (2007) Diffusion of the Nearctic leafhopper *Scaphoideus titanus* Ball in Europe: a consequence of human trading activity. *Genetica* 131:275–285.
- Boudon-Padieu, E. (1996). Grapevine yellows induced by phytoplasmas. Diagnosis, epidemiology and research. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 82, 5-20.
- Caudwell A (1957) Deux années d'études sur la Flavescence dorée, nouvelle maladie grave de la vigne. *Ann Amélior Plant* 4:359–393
- Caudwell A (1964) Identification d'une nouvelle maladie à virus de la vigne, la "Flavescence dorée". Etude des phénomènes de localisation des symptômes et de rétablissement. *Ann Epiphyt* 15(Hors Série 1), 193 pp
- Caudwell A., Larrue J., Boudon-Padieu E., McLean G.D., 1997. Flavescence Dorée elimination from dormant wood of grapevines by hot-water treatment. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3 (1), 21-25.
- Chuche J, Thiéry D (2012) Egg incubation temperature differently affects female and male hatching dynamics and larval fitness in a leafhopper. *Ecol Evol* 2:732–739.
- Chuche J., Thiéry D., 2015. Biology and ecology of the Flavescence Dorée vector *Scaphoideus titanus* : a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2014, 34 (2), pp.381-403
- Chuche J., Auricau-Bouvery N., Danet J.L., Thiéry D., 2017. Use the insiders: could insect facultative symbionts control vector-borne plant diseases? *JL. et al. J Pest Sci* (2017) 90: 51.
- Filippin L, Jovi J, Cvrkovi T, Forte V, Clair D, Tosevski I, Boudon-Padieu E, Borgo M, Angelini E (2009) Molecular characteristics of phytoplasmas associated with Flavescence dorée in clematis and grapevine and preliminary results on the role of *Dictyophara europaea* as a vector. *Plant Pathol* 58:826–837
- Galetto L., Miliordos D., Roggia C., Rashidi M., Sacco D., Marzachi C., et al. (2014). Acquisition capability of the grapevine Flavescence dorée by the leafhopper vector *Scaphoideus titanus* Ball correlates with phytoplasma titre in the source plant. *J. Pest Sci.* 87 671–679.
- Gonella E., Crotti E., Rizzi A., Mandrioli M., Favia G., Daffonchio D., Alma A., 2012. Horizontal transmission of the symbiotic bacterium *Asaia* sp. in the leafhopper *Scaphoideus titanus* Ball, *BMC Microbiology*, January 2012.
- Jagueix-Eveillard, S., Labroussaa, F., Salar, P., Danet, J.-L., Hevin, C., Perrin, M., Masson, J., Foissac, X., Malembic-Maher, S. (Auteur de correspondance) (2012). Looking for resistance to the Flavescence dorée disease among *Vitis vinifera* cultivars and other *Vitis* species. Presented at 17. Congress of the International Council for the study of Virus and virus-like Diseases of the Grapevine, Davis, USA (2012-10-07 - 2012-10-14).
- Lessio F., Tota F. and Alma A., 2014. Tracking the dispersion of *Scaphoideus titanus* Ball (Hemiptera: Cicadellidae) from wild to cultivated grapevine: use of a novel mark–capture technique. Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Torino, Italy, *Bulletin of Entomological Research*, 2014 Aug;104(4):432-43
- Maixner M, Pearson RC, Boudon-Padieu E, Caudwell A (1993) *Scaphoideus titanus*, a possible vector of Grapevine Yellows in New York. *Plant Dis* 77:408–413.
- Maixner M, Reinert W, Darimont H (2000) Transmission of grapevine yellows by *Oncopsis alni* (Schrank) (Auchenorrhyncha : Macropsinae). *Vitis* 39:83–84
- Maixner M., 2005. Risks posed by the spread and dissemination of grapevine pathogens and their vectors. Plant protection and plant health in Europe : introduction and spread of invasive species, Symposium proceedings, No 81. The British Crop Production Council, Alton, Hampshire, UK, pp 141-146.
- Malembic-Maher et al., 2009. Ecology and taxonomy of Flavescence Dorée phytoplasmas : the contribution of genetic diversity studies. *PAV*, p132.
- Malembic-Maher S., 2015. Flavescence Dorée de la vigne: recherché menées à l'INRA et pistes pour le future. Oral communication of the congress "Rencontres Rhodaniennes" April 2015.
- Marzorati M, Alma A, Sacchi L, Pajoro M, Palermo S, Brusetti L, Raddadi N, Balloi A, Tedeschi R, Clementi E, Corona S, Quaglino F, Bianco PA, Beninati T, Bandi C, Daffonchio D (2006) A novel bacteroidetes symbiont is localized in *Scaphoideus titanus*, the insect vector of flavescence dorée in *Vitis vinifera*. *Applied Environmental Microbiology* 72:1467–1475.
- Mazzoni et. al, 2009. Disruption of the reproductive behaviour of *Scaphoideus titanus* by playback of vibrational signals. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Volume 133, Issue 2, Pages 174–185.
- Morone C, Boveri M, Giosue S, Gotta P, Rossi V, Scapin I, Marzachi C (2007) Epidemiology of flavescence dorée in vineyards in northwestern Italy. *Phytopathology* 97:1422–1427.
- Papura D, Delmotte F, Giresse X, Salar P, Danet JL, van Helden M, Foissac X, Malembic-Maher S (2009) Comparing the spatial genetic structures of the Flavescence dorée phytoplasma and its leafhopper vector *Scaphoideus titanus*. *Infect Genet Evol* 9:867–876.
- Pavan F, Villani A, Fornasier F, Girolami V (1997) Ruolo del vivaismo nella diffusione della flavescenza dorata. *Inf Agrar* 53:69–71
- Posenato G, Mori N, Bressan A, Girolami V, Sancassani GP (2001) *Scaphoideus titanus*, vettore della flavescenza dorata: conoscerlo per combatterlo. *Inf Agrar* 57:91–93
- Schvester D (1962) Sur les causes de la propagation en Armagnac et en Chalosse de la Flavescence dorée de la vigne. *Rev Zool Agr* 10–12:132–135
- Steffek R, Reizenzein H, Zeisner N (2007) Analysis of the pest risk from Grapevine flavescence dorée phytoplasma to Austrian viticulture. *EPPO Bull* 37:191–203.
- SUDVINBIO, 2013. Caractérisation des conditions d'efficacité du pyrèthre naturel pour lutter contre la cicadelle de la flavescence dorée en viticulture biologique – Résultats de 2013, 7p.