

Maladies du bois de la vigne: état des lieux et axes de recherche d'Agroscope

Valérie HOFSTETTER¹, Pierre-Henri DUBUIS¹, Vivian ZUFFEREY², Anne-Lise FABRE¹, Olivier VIRET³ et Katia GINDRO¹

¹Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon, Suisse

²Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1009 Pully, Suisse

³Service de l'agriculture et de la viticulture (SAVI), avenue de Marcelin 29, 1110 Morges, Suisse

Renseignements: Valérie Hofstetter, e-mail: valerie.hofstetter@agroscope.admin.ch, tél. +41 58 460 43 53, www.agroscope.ch



Grappes d'un cep apoplectique foudroyé par l'esca. (photo Carole Parodi, Agroscope)

Introduction

Dans la littérature, le terme «maladies du bois» (MDB) désigne différentes maladies fongiques qui s'attaquent aux organes pérennes de la vigne en menant, la plupart du temps, à la mort de la plante (Bertsch *et al.* 2013; Viret et Gindro 2014). Ces maladies sont considérées comme émergentes parce que leur incidence a sensiblement augmenté durant les dernières décennies (Bertsch *et al.* 2009; Bertsch *et al.* 2013). Les MDB

comprennent l'esca, la maladie de Petri ('*young esca*' en anglais = «esca des plantes jeunes»), le BDA ('*black dead arm*' = «bras noir mort»), l'eutypiose ('*eutypa dieback*'), la maladie du pied noir ('*black foot disease*') et l'excoriose. Différents groupes de champignons sont considérés comme responsables de ces maladies, à l'exception de la maladie de Petri qui est provoquée par une partie des champignons impliqués dans l'esca.

De nombreuses publications récentes ont paru sur les MDB, mais les causes de leur émergence restent

inexpliquées. Souvent présents dans le bois de vignes apparemment saines (González et Tello 2010; Hofstetter *et al.* 2012; Casieri *et al.* 2009), les champignons des MDB sont considérés comme des pathogènes latents, même si leur mode d'action n'est pas encore clairement élucidé. Les facteurs pédoclimatiques (précipitations, réserve en eau des sols), culturels (systèmes de taille, entretien des sols) et variétaux (sensibilité des cépages) semblent également impliqués dans l'incidence et la sévérité des MDB (Surico *et al.* 2006; Bertsch *et al.* 2013). Il n'existe actuellement aucun moyen de maîtriser ces maladies. Il est donc urgent de trouver les facteurs responsables de leur émergence afin de pouvoir les contrôler.

Enquête internationale sur les MDB

Lancée à l'initiative de l'association française Lien de la vigne (Vinlink International), cette enquête a été réalisée par le groupe de mycologie et de biotechnologie d'Agroscope en 2015. Elle comprenait deux volets de questions axées sur les MDB, l'un destiné aux professionnels de la branche viticole et l'autre aux chercheurs travaillant sur les MDB.

Synthèse des réponses des professionnels de la branche viticole

La majorité des professionnels interrogés considèrent l'impact des MDB comme faible actuellement dans leur domaine viticole, mais tous reconnaissent le réel danger que les MDB représentent pour l'avenir de la viticulture. Ils s'estiment bien informés sur les risques liés à l'émergence des MDB par les organismes de recherche travaillant sur le sujet. Si les MDB n'entraînent pas de lourdes pertes économiques actuellement, les professionnels pensent que les dégâts causés par ces maladies vont augmenter dans les années à venir. Ils regrettent que, hormis la directive de brûler les ceps malades, la recherche ne fournisse pas d'outil de décision et de solution pour contrôler ces maladies.

Certains pépiniéristes et viticulteurs ont adopté des stratégies de lutte contre les MDB bien que, la plupart du temps, leur efficacité n'ait pas été démontrée scientifiquement. Cette lutte repose sur le mode de taille (respectueux du flux de sève), le nettoyage et le masticage des plaies de taille et, plus rarement, sur le contrôle de la qualité des plantes de pépinière et l'utilisation d'agents biologiques antagonistes.

Les points de vue des professionnels de la viticulture divergent fortement sur les axes de recherche qu'ils estiment prioritaires pour les MDB. Une petite

Résumé

En 2015, Agroscope a conduit une enquête internationale lancée par l'association française Lien de la Vigne (Vinlink International, www.liendelavigne.org/).

Ce sondage portait sur les préoccupations des viticulteurs et des scientifiques au sujet des maladies du bois de la vigne. La présente publication résume les points forts de cette enquête et présente les directions de recherche adoptées par Agroscope pour répondre à ces préoccupations en fonction des connaissances actuelles sur ces maladies. Elle vise aussi à familiariser les viticulteurs et le public à la problématique complexe des maladies du bois de la vigne.

moitié d'entre eux pense que la recherche devrait étudier l'impact du mode de taille sur l'incidence et la sévérité des MDB. D'autres professionnels pensent que les MDB pourraient être maîtrisées par une meilleure connaissance de la sensibilité variétale et la sélection de cépages plus résistants à ces maladies.

Synthèse des réponses des chercheurs sur les MDB

Les axes de recherche des chercheurs s'intéressant aux MDB sont variés. La plupart d'entre eux œuvrent sur les causes de l'émergence des MDB, surtout de l'esca (épidémiologie et étiologie des champignons pathogènes) et cherchent à développer de nouvelles stratégies de lutte chimique ou biologique (par des organismes antagonistes des champignons des MDB). Certains pensent que l'émergence des MDB n'est pas seulement liée aux pathogènes et étudient la réaction physiologique de la vigne aux méthodes culturales et aux conditions pédoclimatiques pour mieux cerner les facteurs d'expression des MDB. D'autres s'intéressent à la caractérisation et à la dynamique du microbiome de la vigne (bactéries et champignons) et à l'identification de différents pathotypes fongiques (souches virulentes ou non). Enfin, quelques chercheurs s'attachent à l'interaction hôte-pathogène, au mode d'action de l'arsénite de sodium ou au développement d'outils de décision dans le cadre d'une viticulture durable.

La plupart des chercheurs consultés travaillent sur l'esca, la maladie la plus préoccupante en Europe. Celle-ci impliquant différents groupes de champignons, plusieurs MDB sont souvent étudiées simultanément par un même groupe de recherche. Une grande majorité des chercheurs interrogés estime l'incidence des MDB plutôt élevée, voire très élevée. Plu-

sieurs pays européens n'ont pas encore de suivi coordonné de la progression annuelle de ces maladies (Portugal, Hongrie, Luxembourg, Angleterre), mais quelques pays l'ont évaluée (France: 13 %; Espagne: 3–20 %; Luxembourg: 10 %; Suisse: 0,5–5 %; UK: 5–50 %). Les chercheurs consultés pensent que la grande variabilité des MDB selon les cépages et les conditions pédo-climatiques rend difficile, voire impossible, l'estimation de leur gravité.

Les chercheurs s'accordent sur l'idée qu'il faut sensibiliser les professionnels à l'augmentation des MDB dans le monde et à la complexité de la recherche liée à ces maladies. La plupart s'accordent aussi sur la nécessité d'une stratégie de contrôle combinant pratiques culturales (taille conservant le flux de sève, nettoyage et protection des plaies de taille), lutte chimique et lutte biologique. Certains chercheurs soulignent l'importance d'utiliser un matériel de propagation sain et de mieux comprendre le rôle des champignons dans l'expression des MDB pour tenter de les contrôler.

Les chercheurs interrogés rappellent les lacunes qui subsistent au sujet des MDB dans de nombreux domaines, notamment dans:

- l'épidémiologie: le mode d'action spécifique de la plupart des champignons pathogènes des MDB est inconnu, les interactions plante-pathogènes sont très peu documentées ainsi que les métabolites secondaires potentiellement phytotoxiques produits par les champignons des MDB. L'absence de méthode fiable et reproductible de détection de ces champignons empêche le diagnostic précoce;
- la physiologie de la plante: le rôle exact des conditions pédo-climatiques sur la physiologie de la vigne, en particulier sur l'état hydrique des souches et la fluidité de la sève dans les vaisseaux (transport des spores de champignons) qui pourraient être des facteurs de déclenchement et de propagation de l'infection dans la plante;
- les pratiques culturales: l'impact du mode de conduite (taille longue ou courte), de l'entretien des sols (enherbement ou désherbage chimique) et du choix des porte-greffes dans la gestion de la vigueur de la vigne n'est pas clairement établi à ce jour;
- la sensibilité variétale: la raison de la forte sensibilité de certains cépages aux MDB n'est pas élucidée;
- le contrôle des MDB: un produit comme l'Esquive® WP (Bayer S.A.S, Lyon, [F]), à base d'une souche naturelle de *Trichoderma atroviride* (champignon antagoniste), est commercialisé pour lutter contre les MDB au vignoble. Cependant, son efficacité

à long terme reste à prouver scientifiquement. Des travaux de l'IFV (Institut français de la vigne et du vin) ont montré que les *Trichoderma* (treize espèces testées) étaient inefficaces pour protéger les plaies de taille contre les champignons des MDB, excepté un léger retard de croissance chez le champignon responsable de l'eutypiose (Larignon 2009).

L'efficacité des *Trichoderma* pour le contrôle des MDB est donc sujette à controverse.

Axes de recherche d'Agroscope sur les MDB

Comme la plupart des chercheurs interrogés, les travaux d'Agroscope portent principalement sur l'esca, la maladie du bois la plus néfaste en Suisse, mais aussi sur l'eutypiose.

Epidémiologie des MDB

Incidence des MDB en Suisse: suivis de l'esca et eutypiose

Durant des siècles, les MDB étaient vues comme des maladies mineures de la vigne, qui préoccupaient peu les vigneron et les chercheurs jusqu'à leur émergence dans les années nonante. Depuis, la recherche sur les MDB a fait un bond dans tous les pays viticoles (Bertsch *et al.* 2009; Mugnai *et al.* 1999). Bien des études ont rapporté leur incidence locale, décrit les symptômes des plantes atteintes, identifié et caractérisé les champignons potentiellement responsables de ces maladies et étudié les interactions vigne-pathogènes ainsi que les facteurs environnementaux susceptibles d'influencer l'expression des symptômes associés aux MDB (Bertsch *et al.* 2013). Malgré la rapidité avec laquelle ces maladies ont augmenté dans tous les pays cultivant la vigne, l'information actuelle demeure incomplète, principalement parce que la plupart des données collectées se limitent à une seule maladie, un seul cépage ou clone et à une seule région ou pays. Les symptômes d'une MDB comme l'esca varient ainsi fortement selon la parcelle étudiée, le cépage, le porte-greffe, le climat et le type de sol (Armengol *et al.* 2001; Gramaje et Armengol 2011; Larignon 2012; Mugnai, Graniti et Surico 1999; Surico *et al.* 2006; Sosnowski *et al.* 2007; Van Niekerk *et al.* 2011, etc.).

Agroscope s'est intéressé aux MDB dès le début de leur émergence dans les vignobles suisses. L'incidence de l'esca et de l'eutypiose a été suivie dès 2001 en Suisse romande, année où la France a également commencé à les surveiller au niveau national (Fussler *et al.* 2008). Ces suivis se sont d'abord limités aux régions de La Côte et du Lavaux, pour s'étendre au Chablais

dès 2004, puis au Valais dès 2006 et enfin à Neuchâtel depuis 2012. L'incidence de ces deux MDB est aujourd'hui relevée dans 87 parcelles, chacune incluant quatre répétitions de 100 plantes. Chaque année, la présence ou l'absence de symptômes est ainsi notée sur 34 800 plantes.

Les relevés de l'incidence de l'esca en Suisse romande (Viret *et al.* 2004) indiquent qu'elle évolue comme dans d'autres pays européens (Bertsch *et al.* 2009; Larignon *et al.* 2009; Luque *et al.* 2009; Quaglia, Covarelli et Zazzerini 2009), même sans traitement à l'arsénite de sodium, un fongicide non homologué en Suisse et en Allemagne. Dès le début des suivis, l'esca était déjà présente dans plus de 80 % des parcelles de La Côte et de Lavaux, à l'instar de celles d'autres pays d'Europe, (Larignon et Dubos 1997 [F]; Fischer et Kassemeyer 2003 [D]; Graniti *et al.* 2000 [I]; Reizenzein *et al.* 2000 [A], Armengol *et al.* 2001 [E]; Rumbos et Rumbou, 2001 [GR]).

L'esca a atteint progressivement (fig. 1) aujourd'hui 100 % des parcelles suivies par Agroscope sur La Côte, à Lavaux et dans le Chablais. Cette augmentation pourrait être en partie liée au vieillissement des parcelles suivies. Ces relevés suggèrent aussi qu'une variabilité régionale existe, l'esca étant moins répandue en Valais (35–88 %) que dans les autres régions étudiées (92–100 %). Cette variabilité spatiale se reflète aussi dans le décompte des plantes atteintes dans les différentes régions (fig. 2). Le taux de plantes symptomatiques d'esca est moins élevé en Valais (0,5–1,1 %) que dans les autres régions étudiées (La Côte: 1,9–5,4 %; Lavaux: 1,9–5,4 %; Chablais: 1,5–4,4 %). Une comparaison de l'incidence (fig. 1) et de la sévérité (fig. 2) de l'esca dans les différentes régions montre aussi que si son occurrence a augmenté entre 2006 et 2015, sa gravité a diminué. Une analyse détaillée de ces relevés, incluant aussi des données sur l'eutypiose, fera l'objet d'une prochaine publication. ➤

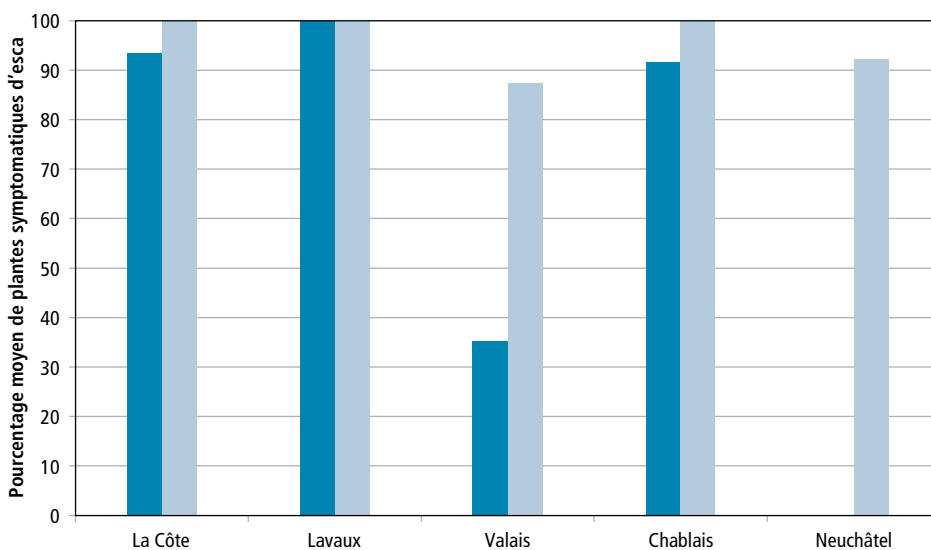


Figure 1 | Incidence de l'esca (= % de parcelles dans lesquelles l'esca est présent) dans cinq régions viticoles de Suisse romande. Nombre de parcelles suivies: La Côte = 31, Lavaux = 12, Valais = 17, Chablais = 12, Neuchâtel = 15.

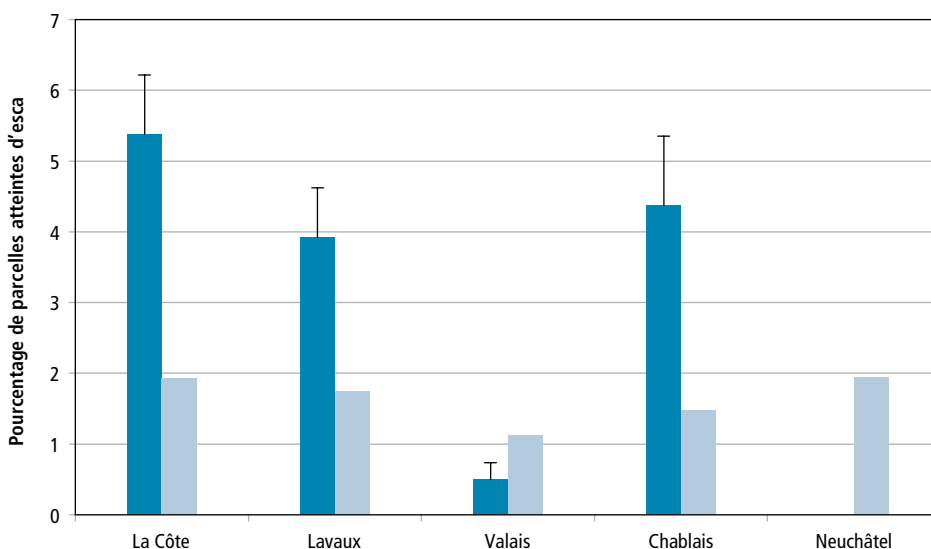


Figure 2 | Sévérité de l'esca (= nombre moyen de plantes, sur 4 x 100 plantes observées par parcelle, avec symptômes foliaires d'esca ou apoplexie [%]) dans cinq régions viticoles de Suisse romande. Nombre de parcelles suivies: La Côte = 31, Lavaux = 12, Valais = 17, Chablais = 12, Neuchâtel = 15.

Champignons associés aux MDB

L'esca est la MDB de la vigne la plus préoccupante en Suisse et en Europe, et de ce fait la plus étudiée. Surico (2009) l'a redéfinie comme une maladie complexe qui implique les champignons responsables de la maladie de Petri ('*young esca*' en anglais = «esca des plantes jeunes» Surico *et al.* 2008; Surico 2009), due à plusieurs groupes de champignons (*Phaeoconiella chlamydospora* et plusieurs espèces du genre *Phaeoacremonium*) et à certaines espèces des genres *Fomitiporia* (Fischer 2002; Fischer 2006; Fischer et Binder 2004; Fischer *et al.* 2005), *Fomitiporella*, *Inocutis* (Andolfi *et al.* 2011), *Trametes* ainsi que *Pleurotus pulmonarius* (Fischer et Kassemeyer 2003) et *Stereum hirsutum* (Larignon et Dubos 1997; Armengol *et al.* 2001). Le BDA ('*black dead arm*'; Úrbez-Torres et Gubler 2009; Úrbez-Torres 2011; Úrbez-Torres *et al.* 2012) est dû à plusieurs espèces de la famille des *Botryosphaeriaceae*, l'eutypiose ('*eutypa dieback*'; Rolshausen *et al.* 2008; Kuntzmann *et al.* 2010; Trouillas et Gubler 2010) à *Eutypa lata* et d'autres espèces de *Diatrypidae*, la maladie du pied noir ('*black foot disease*'; Alaniz *et al.* 2007; Halleen *et al.* 2006) à des espèces du genre *Cylindrocarpon* et l'excoriose (Úrbez-Torres *et al.* 2013) à plusieurs espèces du genre *Phomopsis*.

La présence de ces diverses espèces de champignons est bien mise en relation avec les nécroses du bois, mais les conditions amenant à l'expression des symptômes foliaires de l'esca et à l'apoplexie restent un mystère. L'eutypiose, l'excoriose et la maladie du pied noir présentent chacune des symptômes foliaires typiques, facilement reconnaissables, tandis que les symptômes foliaires du BDA et de l'esca sont très similaires (Luque *et al.* 2009). Il serait aléatoire de diagnostiquer l'une ou l'autre de ces maladies uniquement sur la base des symptômes foliaires au vignoble (Luque *et al.* 2009; Viret et Gindro 2014). On ignore aussi si l'esca est due à des champignons qui agissent conjointement ou successivement (Graniti *et al.* 2000). *Phaeoconiella chlamydospora*, les espèces du genre *Phaeoacremonium* et les *Botryosphaeriaceae* sont considérés comme des pathogènes latents au sens de Verhoeff (1974), car ils ont été isolés de plantes malades, mais aussi, à des fréquences variables, de plantes saines de pépinière (Casieri *et al.* 2009), de porte-greffes (Gramaje et Armengol 2011; Aroca *et al.* 2010) ainsi que de plantes adultes apparemment saines (González et Tello 2010; Hofstetter *et al.* 2012). Dans le cas des *Botryosphaeriaceae*, certaines espèces ont même été isolées d'inflorescences de vigne (Wunderlich *et al.* 2011).

Une étude d'Agroscope (Hofstetter *et al.* 2012) a comparé les communautés fongiques respectivement

associées à des plantes symptomatiques d'esca et à des plantes saines dans une même parcelle. Les résultats ont montré que le bois des deux types de plantes hébergeait tous les champignons des MDB en quantités très similaires (Hofstetter *et al.* 2012). Ainsi, le taux de colonisation du bois par les champignons des MDB n'est pas le facteur limitant dans l'apparition des symptômes de l'esca.

Une étude de la communauté fongique de plantes atteintes d'eutypiose, incluant une caractérisation poussée des souches fongiques responsables de cette maladie (*Eutypa lata* et autres *Diatrypidae*) a été effectuée par Agroscope. Cette communauté fongique sera comparée avec celle de plantes saines et de plantes atteintes d'esca dans une prochaine publication.

Les suivis des MDB effectués par Agroscope montrent que certaines parcelles sont encore totalement exemptes de symptômes d'esca en Valais (fig. 2). La communauté fongique d'une de ces parcelles a été isolée pour déterminer si les champignons des MDB sont présents même en l'absence totale de symptômes d'esca et si la communauté fongique associée à un vignoble sain diffère de celle d'un vignoble symptomatique. La communauté fongique de ce vignoble sain sera aussi prochainement publiée.

Les symptômes foliaires des MDB pourraient résulter de l'action toxique de métabolites secondaires produits par les champignons des MDB seuls ou en confrontation. Certains métabolites produits par *Eutypa lata* inhibent la respiration mitochondriale (Kim *et al.* 2004) et attaquent les cellules des plantes (Amborabé *et al.* 2001), mais il reste à démontrer qu'ils sont toxiques pour la vigne. Plusieurs études ont montré que les champignons de l'esca produisent eux aussi des composés phytotoxiques qui, appliqués sur des feuilles, des cals cellulaires et/ou des protoplastes, peuvent générer des symptômes très similaires à ceux de l'esca (Rudelle *et al.* 2005; Kim *et al.* 2004; Martos *et al.* 2008; Sparapano *et al.* 2000; Tabacchi *et al.* 2000; Bénard-Gellon *et al.* 2015). Cependant, ces résultats ne suffisent pas à prouver que ces métabolites déclenchent l'expression de la maladie, leurs modes d'action étant pour la plupart inconnus (White 2010; Andolfi *et al.* 2011). De même, comme les champignons des MDB vivent exclusivement dans le bois, il faut prouver que le système vasculaire des plantes transporte leurs métabolites phytotoxiques du bois aux feuilles et en quantité suffisante pour générer des symptômes (Mugnai *et al.* 1999; Andolfi *et al.* 2011). En admettant l'existence de ce processus, la diversité des symptômes foliaires d'esca observés pourrait alors s'expliquer par des différences dans l'assemblage des champignons des MDB associés

à chaque plante et/ou par la capacité variable des souches fongiques d'une même espèce à produire de ces métabolites.

La plupart des études sur les métabolites secondaires produits par les champignons des MDB ont analysé les composés produits par une seule espèce alors que les champignons sont connus pour produire une grande diversité de composés lorsqu'ils sont en confrontation (mise en culture de deux espèces différentes dans la même boîte de Petri fig.3A) ou lorsqu'ils se rencontrent naturellement dans le bois (fig. 3B), en partie distincts de ceux qu'ils produisent en culture individuelle (Bertrand *et al.* 2014; Keller *et al.* 2005). A notre connaissance, seules deux études portent sur les métabolites produits par des champignons des MDB en confrontation (Bruno et Sparapano 2007; Glauser *et al.* 2009).

Deux des publications précitées (Bertrand *et al.* 2014; Glauser *et al.* 2009) sont le fruit d'une collaboration entre Agroscope et l'Université de Genève. Agroscope est ainsi pionnier en métabolomique des champignons des MDB et s'intéresse aussi à les confron-

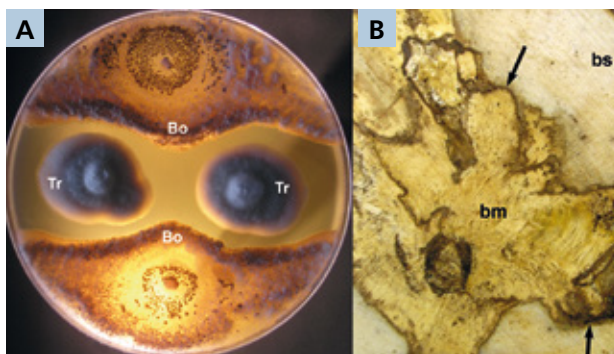


Figure 3 | Confrontations fongiques. A. *Bionectria ochroleuca* (Bo) – *Trichophyton rubrum* (Tr), B. Zones de confrontation (flèches noires) entre champignons non identifiés dans du bois de vigne (bs: bois sain, bm: bois malade).

ter aux espèces fréquemment isolées du bois de vigne. Si, en effet, l'esca résulte d'une guerre chimique entre champignons, la production de métabolites phytotoxiques pourrait aussi procéder de la rencontre entre pathogènes des MDB et d'autres champignons endophytes, mais non pathogènes du bois de la vigne. Agroscope cherche aussi à déterminer si des métabolites secondaires des champignons des MDB produits en culture pure ou en co-culture peuvent être isolés de feuilles de vigne symptomatiques d'esca et être absents des feuilles asymptomatiques.

Physiologie de la vigne

Agroscope étudie surtout les facteurs pédoclimatiques et physiologiques connus pour leur influence sur l'expression de l'esca.

Les symptômes de l'esca (fig. 4) se manifestent uniquement chez les plantes adultes (de dix ans ou plus) et sous deux formes: une forme lente caractérisée par des symptômes foliaires et une forme rapide (apoplexie) qui tue la plante en quelques jours (Mugnai *et al.* 1999). Les symptômes de ces deux formes d'esca s'expriment cependant très différemment selon le type de sol, l'année et l'état physiologique des plantes (Molot *et al.* 2002). Les facteurs pédoclimatiques connus pour favoriser l'apoplexie sont les sols à forte capacité de rétention hydrique (lourds et argileux) et les fortes variations climatiques estivales, alternant des périodes fraîches et pluvieuses et des épisodes secs et chauds (Fischer 2003; Surico *et al.* 2006). Ces variations climatiques induisent une forte évapotranspiration du feuillage chez les souches vigoureuses, qui augmente le risque de rupture du flux de sève brute vers le feuillage et d'apoplexie foudroyante. Le réchauffement climatique et les variations qu'il entraîne pourraient donc être l'une des causes, si ce n'est la principale, de l'émergence des MDB. L'expression de l'esca semble aussi être

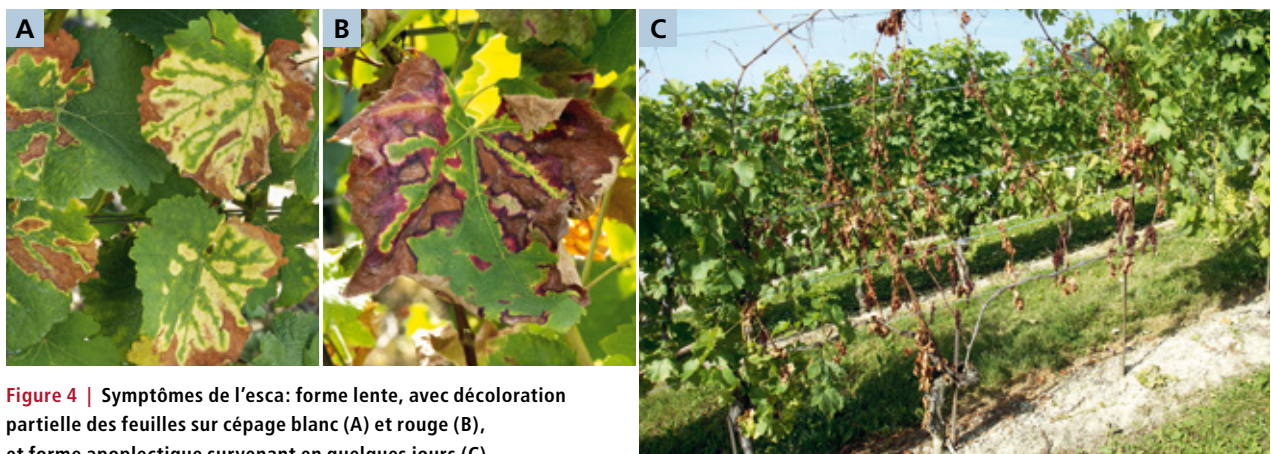


Figure 4 | Symptômes de l'esca: forme lente, avec décoloration partielle des feuilles sur cépage blanc (A) et rouge (B), et forme apoplectique survenant en quelques jours (C).

influencée par l'état hydrique de la plante durant ses phases de croissance, par sa vigueur (surface foliaire), le rapport carbone/azote dans ses tissus (Berger *et al.* 2007) et l'état de son système vasculaire (Edwards *et al.* 2007; Andreini *et al.* 2009).

Des études préliminaires d'Agroscope révèlent que des ceps exprimant des symptômes de l'esca, même minimes, souffrent déjà de défaillances hydriques importantes par rapport à des plantes asymptomatiques. Ces défaillances proviennent principalement d'une baisse de la conductivité hydraulique (transport de la sève brute dans les vaisseaux) des pétioles et des rameaux. Ces défauts de conductivité hydraulique sont attribués à diverses causes: la colonisation des vaisseaux par les champignons, la sécrétion de gommes et de gels par la plante (Morton 1995), la formation de tylose et/ou de nécroses du bois liées à la taille de la vigne. Les causes de cette conductivité hydraulique déficiente doivent encore être détaillées pour voir si, individuellement ou conjointement, elles réduisent le nombre de vaisseaux fonctionnels dans la plante et l'exposent davantage aux stress abiotiques (Zufferey et Smart 2012) et aux accidents physiologiques (embolies; Zufferey *et al.* 2011), et ainsi à l'apparition de la forme lente ou foudroyante de l'esca.

Pratiques culturales: taille de la vigne

Les champignons des MDB pénètrent dans le bois de la vigne principalement par les plaies de taille (Eskalen *et al.* 2007; Díaz et LaTorre 2013). C'est pourquoi la plupart des chercheurs interrogés dans l'enquête précitée s'accordent pour sensibiliser les viticulteurs à pratiquer une taille qui respecte les flux de sève et sur la nécessité d'éviter ou de réduire les plaies de taille. Ils confirment aussi que les connaissances actuelles de l'impact du mode de taille sur les MDB sont lacunaires.

Agroscope a planté, en 2011, une parcelle de Merlot au Tessin (CH) pour étudier l'impact du mode de taille sur les MDB. La communauté fongique des barbues a été isolée avant la plantation. Les plantes sont conduites en taille longue (Guyot simple classique, Guyot simple type Poussard-Simonit) et courte (cordon Royat et cordon à tourelles Simonit). La communauté fongique associée au bois de ces quatre systèmes de taille est actuellement en cours d'analyse. Cette étude permettra d'établir si le mode de taille a une influence sur l'incidence et l'abondance des champignons des MDB et un impact significatif sur la composition et la structure de la communauté fongique associée à la vigne. Des essais similaires sont menés par Agroscope sur du Chasselas et du Gamaret à Changins et de l'Humagne rouge à Leytron.

Conclusions

- L'enquête internationale menée par Agroscope pour l'association Lien de la Vigne (Vinelink International) a montré que la principale préoccupation des viticulteurs était d'arriver à contrôler les maladies du bois (MDB), en particulier l'esca.
- Cette même enquête indique aussi que les chercheurs considèrent les connaissances actuelles comme trop lacunaires pour contrôler une maladie comme l'esca. Les investigations doivent se poursuivre dans de nombreux domaines, tels que l'épidémiologie des champignons pathogènes, les réponses physiologiques de la vigne aux variations de température et d'humidité et les pratiques culturales.
- La recherche d'Agroscope sur les MDB vise à combler une partie de ces lacunes car, comme le pense la majorité des chercheurs interrogés lors de l'enquête, il est probable qu'elles font obstacle à la découverte de solutions pour endiguer ces maladies. Agroscope étudie l'épidémiologie des MDB, le rôle et le mode d'action des champignons du bois, l'état physiologique de la plante et l'impact de pratiques culturales comme le mode de taille.
- Pour expliquer l'émergence des MDB, Agroscope a adopté une ligne de recherche systémique en étudiant simultanément la communauté fongique de la vigne, la métabolomique des champignons pathogènes et l'état physiologique des plantes. Cette approche est rendue possible par le suivi épidémiologique d'un réseau de parcelles qui permet de choisir les vignobles selon les questions à étudier. ■

Remerciements

Nous tenons à remercier tous les collaborateurs impliqués dans l'entretien des vignobles expérimentaux d'Agroscope.

Bibliographie

- Alaniz S., León M., Vicent A., García-Jiménez J., Abad-Campos P. & Armengol J., 2007. Characterization of *Cylindrocarpon* species associated with black foot disease of grapevine in Spain. *Plant Disease* **91**, 1187–1193.
- Amborabé B. E., Fleurat-Lessard P., Bonmort J., Roustan J. P. & Roblin G., 2001. Effects of eutypine, a toxin from *Eutypa lata*, on plant cell plasma membrane: Possible subsequent implication in disease development. *Plant Physiology and Biochemistry* (Paris) **39**, 51–58.
- Andolfi A., Mugnai L., Luque J., Surico G., Cimmino A. & Evidente A., 2011. Phytotoxins produced by fungi associated with grapevine trunk diseases. *Toxins* **3**, 1569–1605.
- Andreini L., Caruso G., Bertolla C., Scalabrelli G., Viti R. & Gucci R., 2009. Gas exchange, stem water potential and xylem flux on some grapevine cultivars affected by Esca disease. *S. African Journal of Enology and Viticulture* **30** (2), 142–147.
- Armengol J., Vicent A., Torné L., García-Figueres F. & García-Jiménez J., 2001. Fungi associated with esca and grapevine decline in Spain: a three-year survey. *Phytopathologia Mediterranea* **40**, 325–329.
- Aroca A., Gramaje D., Armengol J., García-Jiménez J. & Rasposo R., 2010. Evaluation of the grapevine nursery propagation process as a source of *Phaeoacmonium* spp. and *Phaeoconiella chlamyospora* and occurrence of trunk disease pathogens in rootstock mother vines in Spain. *European Journal of Plant Pathology* **126**, 165–174.
- Bénard-Gellon M., Farine S., Goddard M. L., Schmitt M., Stempien E., Pensec F., Laloue H., Mazet-Kieffer F., Fontaine F., Larignon P., Chong J., Tarnus C. & Bertsch C., 2015. Toxicity of extracellular proteins from *Diplodia seriata* and *Neofusicoccum parvum* involved in grapevine Botryosphaeria dieback. *Protoplasma* **252** (2), 679–687.
- Berger S., Sinha A. K. & Roitsch T., 2007. Plant physiology meets phytopathology: Plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. *Journal of Experimental Botany* **58**, 4019–4026.
- Bertrand S., Bohni N., Schnee S., Schump O., Gindro K. & Wolfender J.-L., 2014. Metabolite induction via microorganism co-culture: A potential way to enhance chemical diversity for drug discovery. *Biotechnology Advances* **32**, 1180–1204.
- Bertsch C., Larignon P., Farine S., Clément C., Fontaine F., 2009. The spread of grapevine trunk disease. *Science* **324**, 721.
- Bertsch C., Ramírez-Suero M., Magnin-Robert M., Larignon P., Chong J., Abou-Mansour E., Spagnolo A., Clément C. & Fontaine F., 2013. Grapevine trunk diseases: complex and still poorly understood. *Plant Pathology* **62**, 243–265.
- Bruno G. & Sparapano L., 2007. Effects of three esca-associated fungi on *Vitis vinifera* L.: III. Enzymes produced by the pathogens and their role in fungus-to-plant or in fungus-to-fungus interactions. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **69**, 182–194.
- Casieri L., Hofstetter V., Viret O. & Gindro K., 2009. Fungal communities associated with the wood of different cultivars of young *Vitis vinifera* plants. *Phytopathologia Mediterranea* **48** (1), 73–83.
- Díaz G. A. & LaTorre B. A., 2013. Efficacy of paste and liquid fungicide formulations to protect pruning wounds against pathogens associated with grapevine trunk diseases in Chile. *Crop Protection* **46**, 106–112.
- Edwards J., Pascoe I. & Salib S., 2007. Impairment of grapevine xylem function by *Phaeoconiella chlamyospora* infection is due to more than physical blockage of vessel with "goo". *Phytopathologia Mediterranea* **46**, 87–90.
- Eskalen A., Feliciano A. J. & Gubler W. D., 2007. Susceptibility of grapevine pruning wounds and symptom development in response to infection by *Phaeoacremonium aleophilum* and *Phaeoconiella chlamyospora*. *Plant Disease* **91**, 1100–1104.
- Fischer M. & Binder M., 2004. Species recognition, geographic distribution and host-pathogen relationships: a case study in a group of lignicolous basidiomycetes, *Phellinus* s.l. *Mycologia* **96**, 799–811.
- Fischer M. & Kassemeyer H.-H., 2003. Fungi associated with esca disease of grapevine in Germany. *Vitis* **42** (3), 109–116.
- Fischer M., 2003. Esca jetzt auch in Junganlagen? *Der Badische Winzer* **11**, 26–27.
- Fischer M., Edwards J., Cunnington J. H. & Pascoe I. G., 2005. Basidiomycetous pathogens on grapevine: a new species from Australia – *Fomitiporia australiensis*. *Mycotaxon* **92**, 85–96.
- Fussler L., Kobes N., Bertrand F., Maumy M., Grosman J. & Savary S., 2008. A characterization of grapevine trunk diseases in France from the national grapevine wood diseases survey. *Phytopathology* **98**, 571–579.
- Glauser G., Gindro K., Fringeli J., De Joffrey J.-P., Rudaz S. & Wolfender J.-L., 2009. Differential analysis of mycoalexins in confrontation zones of grapevine fungal pathogens by ultrahigh pressure liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry and capillary nuclear magnetic resonance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**, 1127–1134.
- Gonzales V. & Tello M. L., 2010. The endophytic mycota associated with *Vitis vinifera* in central Spain. *Fungal Diversity* **47** (1), 29–42.
- Gramaje D. & Armengol J., 2011. Fungal trunk pathogens in the grapevine propagation process: potential inoculum sources, detection, identification, and management strategies. *Plant Disease* **95** (9), 1040–1055.
- Graniti A., Surico G. & Mugnai L., 2000. Esca of grapevine: a disease complex or a complex of diseases? *Phytopathologia Mediterranea* **39**, 16–20.
- Halleen F., Schroers H.-J., Groenewald J. Z., Rego C., Oliveira H. & Crous W. P., 2006. *Neonectria liriiodendri* sp. nov., the main causal agent of black foot disease of grapevines. *Studies in Mycology* **55**, 227–234.
- Hofstetter V., Buyck B., Croll D., Viret O., Couloux A. & Gindro K., 2012. What if esca disease of grapevine were not a fungal disease? *Fungal Diversity* **54**, 51–67.
- Keller N. P., Turner G. & Bennett J. W., 2005. Fungal secondary metabolism – from biochemistry to genomics. *Nature Reviews Microbiology* **3**, 937–47.
- Kim J. H., Mahoney N., Chan K. L., Molyneux R. J. & Campbell B. C., 2004. Secondary metabolites of the grapevine pathogen *Eutypa lata* inhibit mitochondrial respiration, based on a model bioassay using the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Current Microbiology* **49**, 282–287.
- Kuntzmann P., Villaume S., Larignon P. & Bertsch C., 2010. Esca, BDA and eutypiosis: foliar symptoms, trunk lesions and fungi observed in diseased vinestocks in two vineyards in Alsace. *Vitis* **49** (2), 71–76.
- Larignon P., 2009. L'efficacité des *Trichoderma* contre les maladies du bois non démontrée. Lettre technique IFV, Janvier 2009, http://www.vignevin.com/fileadmin/users/ifv/publications/A_telecharger/Trichoderma09.pdf
- Larignon P. & Dubos B., 1997. Fungi associated with esca disease in grapevine. *European Journal of Plant Pathology* **103**, 147–57.
- Larignon P., 2012. Maladies cryptogamiques du bois de la vigne: symptomatologie et agents pathogènes. http://www.vignevin.com/menuhaut/actualites/article.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D0=368&tx_ttnews%5BbackPid%5D0918&cHash02c0eccd030.
- Larignon P., Fontaine F., Farine S., Clément C. & Bertsch C., 2009. Esca and Black Dead Arm: two major actors of grapevine trunk diseases. *Comptes Rendus Biologies* **332** (9), 765–83.
- Luque J., Martos S., Aroca A., Raposo R. & Garcia-Figueres F., 2009. Symptoms and fungi associated with declining mature grapevine plants in northeast Spain. *Journal of Plant Pathology* **91**, 381–390.
- Martos S., Andolfi A., Luque J., Mugnai L., Surico G. & Evidente A., 2008. Production of phytotoxic metabolites by five species of Botryosphaeriaceae causing decline on grapevine, with special interest in the species *Neofusicoccum luteum* and *N. parvum*. *European Journal of Plant Pathology* **121**, 451–461.
- Molot B., Dubos B., Larignon P., Lecomte P., Magnien C., Panon M. L., Grand O., Laveau E. & Leguay M., 2002. Les maladies du bois en viticulture. Paris, INRA, 4 p. <http://prodinra.inra.fr/record/74686>
- Mugnai L., Graniti A. & Surico G., 1999. Esca (black measles) and brown wood-streaking: two old and elusive diseases of grapevines. *Plant Disease* **83** (5), 404–418.
- Quaglia M., Covarelli L. & Zizzerini A., 2009. Epidemiological survey on esca disease in Umbria, central Italy. *Phytopathologia Mediterranea* **48**, 84–91.
- Reizenstein H., Berger N. & Nieder G., 2000. Esca in Austria. *Phytopathologia Mediterranea* **39**, 26–34.
- Rolshausen P. E., Greve L. C., Labavitch J. M., Mahoney N. E., Molyneux R. J. & Gubler W. D., 2008. Pathogenesis of *Eutypa lata* in grapevine: identification of virulence factors and biochemical characterization of cordon dieback. *Phytopathology* **98**, 222–229.

Summary

Grapevine trunk diseases in Switzerland: situation and Agroscope's studies

In 2015, Agroscope performed an international inquiry for the French association "Lien de la vigne" (Vinlink International), <http://www.liendelavigne.org/>). This survey focused on the concerns of winegrowers and scientists over grapevine trunk diseases. The present publication summarizes the strengths of this inquiry and presents the research directions adopted by Agroscope to answer these concerns in relation with the available knowledge about these diseases. This publication also aims to familiarize the winegrowers and the public with the complex issue of grapevine trunk diseases.

Key words: esca disease, disease-associated fungi, metabolomic, plant physiology.

Zusammenfassung

Rebholzkrankheiten: Stand der Kenntnisse und laufende Forschung bei Agroscope

Im Jahr 2015 hat Agroscope auf Anfrage des Französischen Vereins «Lien de la Vigne» (Vinlink International, <http://www.liendelavigne.org/>) eine internationale Umfrage zu den Besorgnissen der Winzer und Wissenschaftler in Bezug auf Rebholzkrankheiten durchgeführt. Dieser Artikel fasst die Hauptergebnisse dieser Umfrage und den Stand der Kenntnisse zusammen und stellt die Forschungsthemen von Agroscope dar, um diesen Erwartungen entgegen zu kommen. Er soll auch die Winzer und die Allgemeinheit mit der Vielschichtigkeit der Rebholzkrankheiten vertraut machen.

Riassunto

Le malattie del legno della vite: situazione attuale e ricerche di Agroscope

Nel 2015 Agroscope a realizzato un'inchiesta internazionale iniziata dall'associazione francese «Lien de la Vigne» (Vinlink International, <http://www.liendelavigne.org/>) sulle preoccupazioni dei viticoltori e dei scientifici a proposito delle malattie del legno della vite. Questa pubblicazione riassume i punti forti di quest'inchiesta e presenta le linee direttrici delle ricerche ad Agroscope per rispondere a quelle preoccupazioni in funzione delle conoscenze attuali. Un altro scopo è anche di familiarizzare i viticoltori e il pubblico a la problematica complessa delle malattie del legno della vite.

- Rudelle J., Octave S., Kaid-Harche M., Roblin G. & Fleurat-Lessard P., 2005. Structural modifications induced by *Eutypa lata* in the xylem of trunk and canes of *Vitis vinifera*. *Functional Plant Biology* **32**, 537–47.
- Rumbos I. & Rumbou A., 2001. Fungi associated with esca and young grapevine decline in Greece. *Phytopathologia Mediterranea* **40**, 330–335.
- Sosnowski M. R., Shtienberg D., Creaser M. L., Wicks T. J., Lardner R. & Scott E. S., 2007. The influence of climate on foliar symptoms of eutypa dieback in grapevines. *Phytopathology* **97**, 1284–1289.
- Sparapano L., Bruno G. & Graniti A., 2000. Effects on plants of metabolites produced in culture by *Phaeoacremonium chlamyosporum*, *P. aleophilum* and *Fomitiporia punctata*. *Phytopathologia Mediterranea* **39**, 169–177.
- Surico G., Mugnai L. & Marchi G., 2006. Older and more recent observations on esca: a critical overview. *Phytopathologia Mediterranea* **45**, 68–86.
- Surico G., Mugnai L. & Marchi G., 2008. "The esca disease complex". In: Integrated Management of Diseases Caused by Fungi, Phytoplasma and Bacteria. A. Ciancio and K. G. Mukerji (eds) (Dordrecht: Springer Netherlands), 119–136. doi:10.1007/978-1-4020-8571-06.
- Surico G., 2009. Towards a redefinition of the diseases within the esca complex of grapevine. *Phytopathologia Mediterranea* **48**, 487–490.
- Tabacchi R., Fkyerat A., Poliard C. & Dubin G. M., 2000. Phytotoxins from fungi of esca of grapevine. *Phytopathologia Mediterranea* **39**, 156–161.
- Trouillas F. P. & Gubler W. D., 2010. Pathogenicity of Diatrypaceae species in grapevines in California. *Plant Disease* **94**, 867–872.
- Úrbez-Torres J. R., Peduto F., Smith R. J. & Gubler W. D., 2013. *Phomopsis* dieback: a grapevine trunk disease caused by *Phomopsis viticola* in California. *Plant Disease* **97** (12), 1571–1579.
- Úrbez-Torres J. R. & Gubler W. D., 2009. Pathogenicity of *Botryosphaeriaceae* species isolated from grapevine cankers in California. *Plant Disease* **93**, 584–592.
- Úrbez-Torres J. R. & Gubler W. D., 2011. Susceptibility of grapevine pruning wounds to infection by *Lasiodiplodia theobromae* and *Neofusicoccum parvum*. *Plant Pathology* **60**, 261–70.
- Úrbez-Torres J. R., Peduto F., Striegler R. K., Urrea-Romero K. E., Rupe J. C., Cartwright R. D. & Gubler W. D., 2012. Characterization of fungal pathogens associated with grapevine trunk diseases in Arkansas and Missouri. *Fungal Diversity* **52**, 169–89.
- Van Niekerk J., Bester W., Halleen F., Crous P. & Fourie P., 2011. The distribution and symptomatology of grapevine trunk disease pathogens are influenced by climate. *Phytopathologia Mediterranea* [S.l.], 98–111. <http://www.fupress.net/index.php/pm/article/view/8645>.
- Verhoeff K., 1974. Latent infections by fungi. *Annual Review of Phytopathology* **12**, 99–110.
- Viret O., Bloesch B., Fabre A.-L., Tailens J. & Siegfried W., 2004. L'esca en Suisse: situation en 2001 et évolution en 2004. Available: http://www.vignevin-sudouest.com/publications/itv-colloque/documents/COLLOQUE_Maladies-bois-integral.pdf.
- Viret O. & Gindro K., 2014. La Vigne, vol. 1. Maladies fongiques. Editions AMTRA, Nyon, 255 p.
- White C. L., 2010. The Characterization of the Basidiomycetes and other fungi associated with esca of grapevines in South Africa. Master Thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa, 125 p.
- Wunderlich N., Steel C. C., Ash G., Raman H. & Savocchia S., 2011. Association of Botryosphaeriaceae grapevine trunk disease fungi with the reproductive structures of *Vitis vinifera*. *Vitis* **50** (2), 89–96.
- Zufferey V., Cochard H., Ameglio T., Spring J.-L. & Viret O., 2011. Diurnal cycles of embolism formation and repair in petioles of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Chasselas). *Journal of Experimental Botany* **62** (11), 3885–3894.
- Zufferey V. & Smart D. R., 2012. Stomatal behaviour of irrigated *Vitis vinifera* cv. Syrah following partial root removal. *Functional Plant Biology* **39** (12), 1019–1027.