
IMPACT DES AGENTS PATHOGÈNES SUR LE BILAN HYDRIQUE ET CARBONE DE LA VIGNE : CONSÉQUENCES POUR LE DÉPÉRISSEMENT DE LA VIGNE

Thèse de Giovanni **BORTOLAMI**¹

Analysée par Pere **ARÚS**²

Directeurs de thèse : Chloé **DELMAS**, Chargée de Recherche INRAE SAVE, Bordeaux et Gregory **GAMBETTA**, Professeur de Viticulture, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, Université de Bordeaux, ISVV

Le dépérissement des espèces ligneuses est un processus à long terme qui aboutit à la nécrose progressive des organes végétaux, de l'extrémité des branches jusqu'à leur base, et qui souvent conduit à la mort de la plante. Il est actuellement l'un des problèmes sanitaires les plus importants de la culture des arbres fruitiers et de la vigne à l'échelle mondiale, vraisemblablement accru par les effets du changement climatique. Son origine est complexe et méconnue, ce qui augmente la difficulté de son diagnostic, de son traitement et de sa prévention. La thèse de G. Bortolami a pour objectif de mieux comprendre les causes de ce phénomène, en évaluant l'état physiologique de la plante, selon deux critères de mesure pertinents, son état hydrique et l'évolution du métabolisme carboné. La vigne et la maladie vasculaire appelée « mal d'Esca » sont utilisées comme des modèles pour cette analyse.

Dans le premier chapitre, il y a une description détaillée et très bien documentée sur les mécanismes essentiels de la mortalité des plantes résultant du dépérissement et les hypothèses formulées quant à ses causes : les effets de l'infection fongique des pathogènes, probablement responsables de l'Esca sur le système vasculaire, les conséquences de la sécheresse sur la plante et sur son système vasculaire, et les effets conjoints de la maladie et de la sécheresse, synergiques ou antagonistes, pour la manifestation et le développement des symptômes. Les objectifs de la thèse sont exposés faisant état de considérations théoriques et expérimentales, incluant des éléments techniques pertinents, ainsi que des dispositifs expérimentaux innovants pour aborder,

¹Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux, préparée à l'UMR 1065 « Santé et Agroécologie du Vignoble » 33882 Villenave d'Ornon, France, soutenue le 31 mars 2021.

² Membre associé de l'Académie d'agriculture de France (Espagne), Section 1 « Productions végétales » Chercheur à l'Institut de Recherche et Technologie Agroalimentaire (IRTA).

dans des conditions contrôlées, les effets d'une maladie qui se manifeste avec une dynamique saisonnière et à long terme.

Les deux hypothèses basiques sur l'origine des symptômes du dépérissement sont testées dans le deuxième chapitre :

- le dysfonctionnement hydraulique par embolie gazeuse, occlusion du xylème par le champignon ou occlusion par les gels et thylloses développés par la plante comme réponse à l'infection.

- l'effet des toxines ou éliciteurs produits par le pathogène.

Les résultats sur les plantes, avec et sans symptômes, montrent qu'il n'y a pas une relation significative entre les symptômes foliaires et les changements de la conductivité hydraulique, que les feuilles symptomatiques ont un niveau significativement majeur de vaisseaux avec obstructions produites par thylloses et gels, et que les champignons potentiellement responsables de l'Esca se trouvent dans le tronc, mais non dans les feuilles symptomatiques. Ces résultats suggèrent que les deux hypothèses ne sont pas incompatibles et que les pathogènes peuvent stimuler de façon systémique la détérioration du système vasculaire responsable des symptômes observés sur les feuilles.

L'anatomie du xylème foliaire de variétés de vigne, avec ou sans symptômes foliaires d'Esca, déficience en magnésium et senescence automnale, est étudiée dans le chapitre 3 de la thèse. La présence d'occlusions vasculaires dans les nervures centrales des feuilles est significativement plus fréquente dans les plantes avec symptômes d'Esca que dans les autres cas, où la présence de ces occlusions est presque inexistante, et détermine cette caractéristique comme unique de l'Esca par rapport aux autres contraintes abiotiques analysées dont les symptômes foliaires sont visuellement semblables. Ces résultats donnent un support additionnel à la relation cause-effet entre les occlusions des vaisseaux et le dysfonctionnement hydraulique qui entraîne la dessiccation foliaire. L'augmentation de la présence d'obstructions dans les vaisseaux est aussi observée dans les feuilles de plantes symptomatiques obtenues de différents pays (France, Espagne, Italie et Californie). Les variétés 'Sauvignon blanc' et 'Caset' ont aussi un comportement concordant avec ces observations, bien que la variété 'Caset' présente un niveau d'occlusion vasculaire mineur par rapport à la variété 'Sauvignon blanc', ce qui indique des différences de résistance à l'Esca associées au génotype.

Dans le chapitre 4, l'analyse est réalisée dans le système vasculaire d'organes pérennes : tiges de plantes de vigne asymptomatiques ou naturellement infectées, obtenues d'une plantation de 1992, transplantées en pots et maintenues dans des conditions contrôlées. Dans ce cas, seulement certaines plantes symptomatiques présentent la formation de thylloses dans les vaisseaux, et ces formations ne sont pas en relation avec l'âge de la détection du symptôme. Une observation additionnelle d'intérêt est que les plantes qui présentent des symptômes foliaires pour la première fois, le font dans un moment plus tardif de la saison que les plantes qui présentaient des symptômes lors des années précédentes. Finalement, les champignons potentiellement responsables de l'Esca ne se trouvent pas non plus dans les tiges, et les mesures de dysfonctionnement hydraulique réalisées dans ces organes sont plus faibles que celles des feuilles obtenues dans le chapitre précédent. La présence du DNA de ces champignons dans le tronc dépend de la saison d'échantillonnage, mais elle augmente aussi avec la présence de symptômes lors des

saisons antérieures. L'accumulation de pathogènes dans le tronc augmenterait donc le risque de mort de la plante.

L'interaction entre Esca et sécheresse est analysée dans le chapitre 5. Des plantes de vigne avec une histoire de symptômes d'Esca sur les feuilles n'en présentaient aucun quand elles étaient soumises pendant deux ans à un traitement continu de trois mois de sécheresse contrôlée ; ceci pourrait s'expliquer par la réduction du transport des toxines due à une réduction de la transpiration produite par la sécheresse. Le tissu affecté par les deux types de stress est le xylème, mais les conséquences physiologiques de chaque type de stress sont bien différentes :

- dans le traitement de sécheresse, seul le potentiel hydrique diminue.
- l'Esca n'est pas causé par une baisse du potentiel hydrique, et se distingue par des dynamiques saisonnières différentes de la sécheresse en ce qui concerne les échanges gazeux et les teneurs en carbohydrates non-structuraux.

L'originalité de cette thèse est l'étude d'un phénomène, le dépérissement des espèces ligneuses et en particulier de l'Esca de la vigne, d'une extrême complexité. Cette complexité vient de la méconnaissance des causes, avec plusieurs facteurs qui peuvent être impliqués et interagir, et d'un phénotypage particulièrement difficile à cause d'une symptomatologie saisonnière et manifestée à long terme, qui doit être réalisé sur des plantes ligneuses de grande taille, difficiles à gérer en conditions contrôlées. Les résultats de la thèse montrent que, malgré cette complexité, il est possible d'avancer clairement dans la compréhension du dépérissement et obtenir des résultats importants : l'évidence qu'une cause des symptômes observés se trouve dans le système vasculaire, et que le dépérissement se base dans un nouveau type d'embolie nommé dans ce travail « non-gazeuse », ou que le fonctionnement physiologique de la plante est différent lorsque la vigne est soumise à la sécheresse ou exprime les symptômes de l'Esca.

Dans la discussion (chapitre 6), et comme conséquence des connaissances acquises, il y a plusieurs nouvelles questions auxquelles l'auteur donne une réponse préliminaire à certaines d'entre elles : possible association de la présence d'éthylène dans les feuilles et de la production de thylloses, réduction du transport de toxines fongiques aux feuilles avec un taux de transpiration diminué, et finalement une première étude métagénomique de la flore fongique du tronc de la vigne, qui est présentée dans l'Annexe 1.

En conclusion, les résultats de la thèse constituent un avancement important par rapport à l'information précédemment disponible, posent de nombreuses questions scientifiques nouvelles et pertinentes et, bien qu'encore loin de proposer des solutions au problème de l'Esca de la vigne, permettent d'imaginer certaines premières applications (par exemple, la gestion de la taille et le contrôle de l'état hydrique de la plante), qui pourraient mener à des pratiques agricoles visant à l'atténuation de ses effets.

La qualité de la recherche présentée justifie que cette analyse de thèse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France, à titre de valorisation.

Mots clés : dépérissement des plantes pérennes, Esca de la vigne, dysfonctionnement vasculaire, embolie non-gazeuse, thylloses, stress biotique, stress hydrique, interaction sécheresse-esca.

Publications à comité de lecture

Bortolami G, Gambetta GA, Delzon S, Lamarque LJ, Pouzoulet J, Badel E, Burlett R, Charrier G, Cochard H, Dayer S, Jansen S, King A, Lecomte P, Lens F, Torres-Ruiz JM, Delmas CEL (2019). Exploring the hydraulic failure hypothesis of esca leaf symptom formation. *Plant Physiology* 181(3): 1163-1174; DOI: 10.1104/pp.19.00591.

Bortolami G, Farolfi E, Badel E, Burlett R, Cochard H, Ferrer N, King A, Lamarque LJ, Lecomte P, Marchesseau-Marchal M, Pouzoulet J, Torres-Ruiz JM, Trueba S, Delzon S, Gambetta GA, Delmas CEL (2021). Seasonal and long-term consequences of esca grapevine disease on stem xylem integrity. *Journal of Experimental Botany* 72(10): 3914-3928 DOI :10.1093/jxb/erab117.