

Potentiel rédox, pH et pathogènes de la vigne



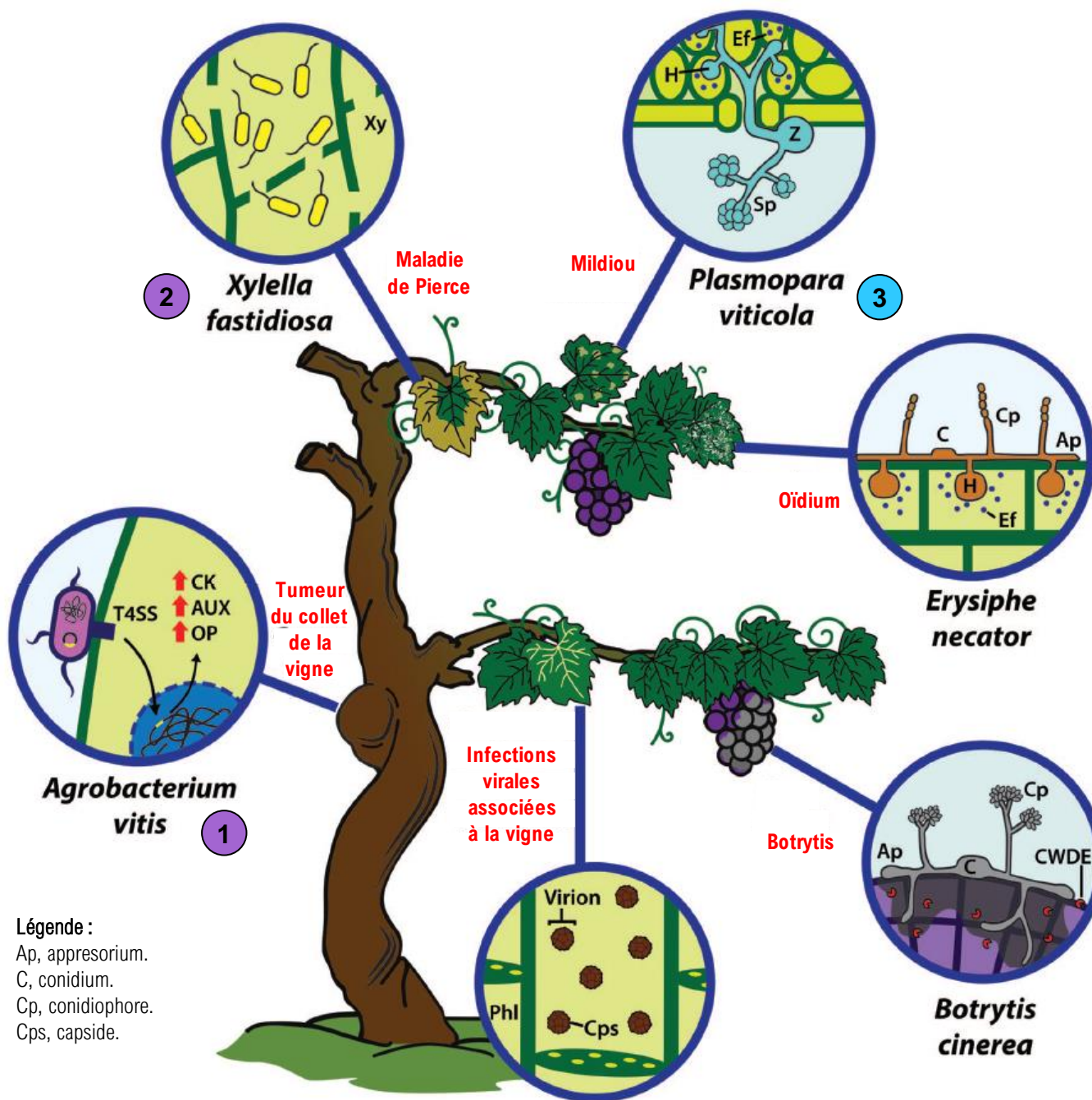
INTRODUCTION

La vigne est affectée par différents types de microorganismes tels que les bactéries, les champignons, les oomycètes et les virus.

Agrobacterium vitis (1) provoque la tumeur du collet de la vigne (broussin de la vigne) par l'injection de séquences d'ADN-T via un système de sécrétion de type IV (T4SS) et les incorporant dans le génome de l'hôte pour induire la synthèse de cytokinines (CK), d'auxines (AUX) et d'opines (OP).

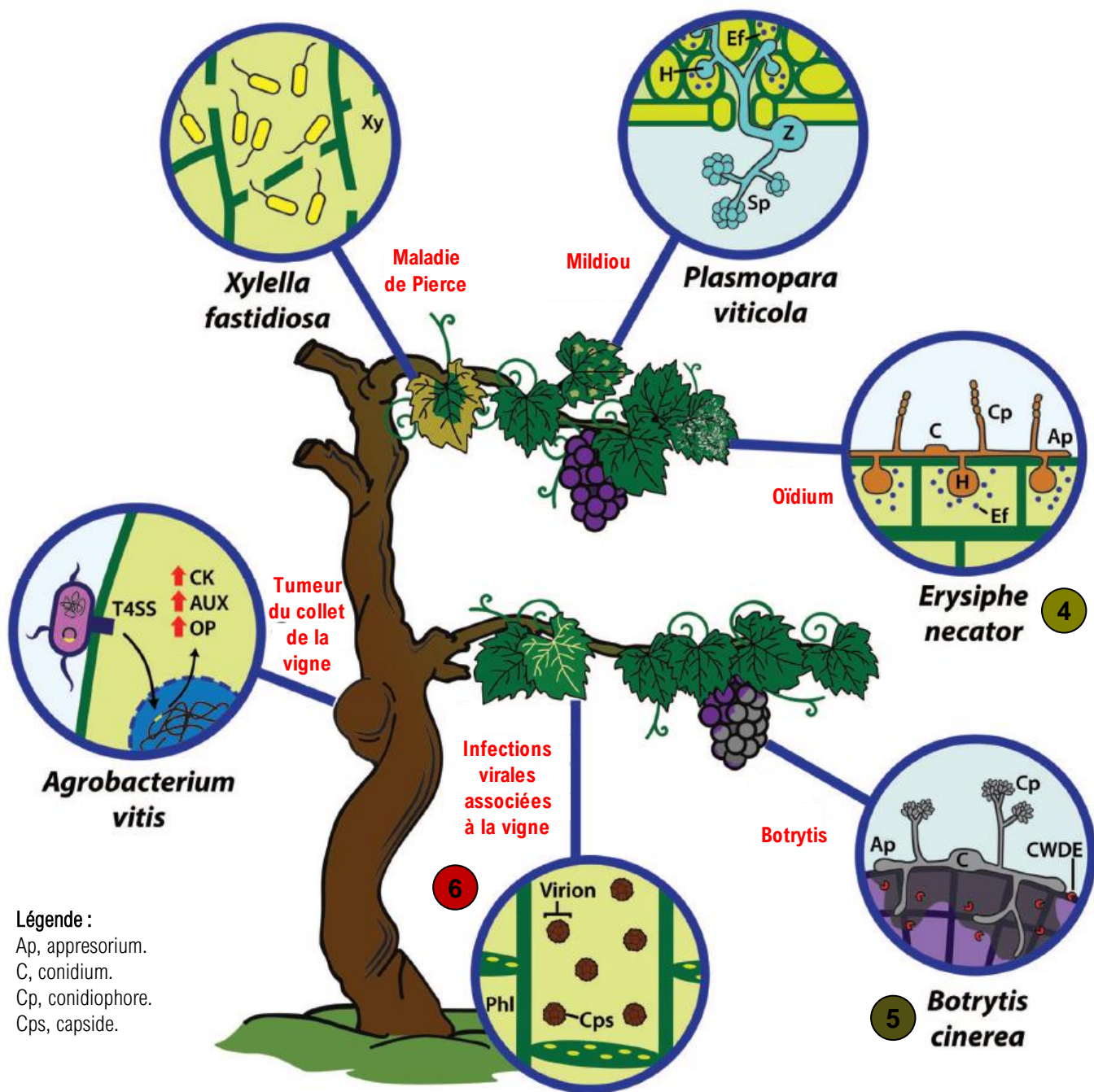
Xylella fastidiosa (2) est transmise par des insectes vecteurs. Elle se développe et s'accumule dans les vaisseaux du xylème (Xy), ce qui provoque la maladie de Pierce.

Les zoospores (Z) de *Plasmopara viticola* (3) infectent le stomate afin de s'accommoder sur l'hôte, générant le sporangium (Sp) et générant la maladie du mildiou de la vigne.



Légende :
Ap, appressorium.
C, conidium.
Cp, conidiophore.
Cps, capside.

Figure 1: Stratégie d'infection des principaux microorganismes pathogènes de la vigne et symptômes associés à la maladie (Armijo et al, 2016).



Les conidies (C) de *Erysiphe necator* (4), l'agent causant l'oïdium, infectent les couches épidermiques. Cependant, *P. viticola* et *E. necator* établissent leur biotrophie en développant des haustories (H) et en sécrétant des facteurs de virulence ou effecteurs (Ef) dans l'hôte pour manipuler le métabolisme et les réponses de défense.

Les conidies (C) de *Botrytis cinerea* (5) germent et pénètrent dans le tissu végétal en nécrosant le tissu de l'hôte (principalement dans les baies de raisin) par la sécrétion d'enzymes de dégradation de la paroi cellulaire (CWDE), provoquant la maladie de la pourriture grise.

Les virus (6) sont des microorganismes limités au phloème (Phl), dont les infections peuvent provoquer différents symptômes chez l'hôte.

Figure 1: Stratégie d'infection des principaux microorganismes pathogènes de la vigne et symptômes associés à la maladie (Armijo et al, 2016).



RAPPEL

Les plantes ne se feront pas nécessairement attaquer par les bioagresseurs : elles le seront quand elles seront déséquilibrées, en particulier sur le plan Eh-pH.

Par les pratiques culturales et les systèmes de culture, on peut modifier ces conditions bio-physico-chimiques du sol et des plantes pour les rendre défavorables aux bioagresseurs (figure 2) : c'est une gestion agronomique des bioagresseurs ou une protection agroécologique des cultures (lutte Bio-Logique).

- *Eh-pH et champignons pathogènes* (Davet, 1996; Benada, 1966) :

Les champignons pathogènes se développent en condition Eh-pH acide et oxydé (figure 2).

- *Eh-pH et bactéries pathogènes* (Patsoukis et Georgiou, 2007; Dyakov et al., 2007) :

Les bactéries pathogènes se développent en condition Eh-pH alcalin et réduite (figure 2).

Les plantes acquièrent une immunité contre les bactéries pathogènes lorsqu'elles vieillissent (plus la plante vieillit, plus elle devient oxydé et acide).





- *Eh-pH et virus* (Brugidou et *al.*, 2002 ; Gillet et *al.*, 2013) :

Les virus se développent en condition Eh-pH alcalin et oxydé (figure 2).

Par exemple, le virus de la panachure jaune du riz (RYMV) a besoin d'un pH élevé pour se « gonfler », sortir son ARN pour se multiplier et se déplacer dans la plante, et d'un Eh élevé pour contourner les défenses de la plantes par oxydation/polymérisation de protéines.

- *Eh-pH et insectes* (Kerchev et *al.*, 2013 ; Goggin et *al.*, 2010) :

Des mécanismes d'oxydo-réduction sont impliqués dans les interactions entre plantes et insectes (figure 2).

Il existe des mécanismes de résistance des plantes contre les insectes par les antioxydants (phénols, vitamine C, etc...)

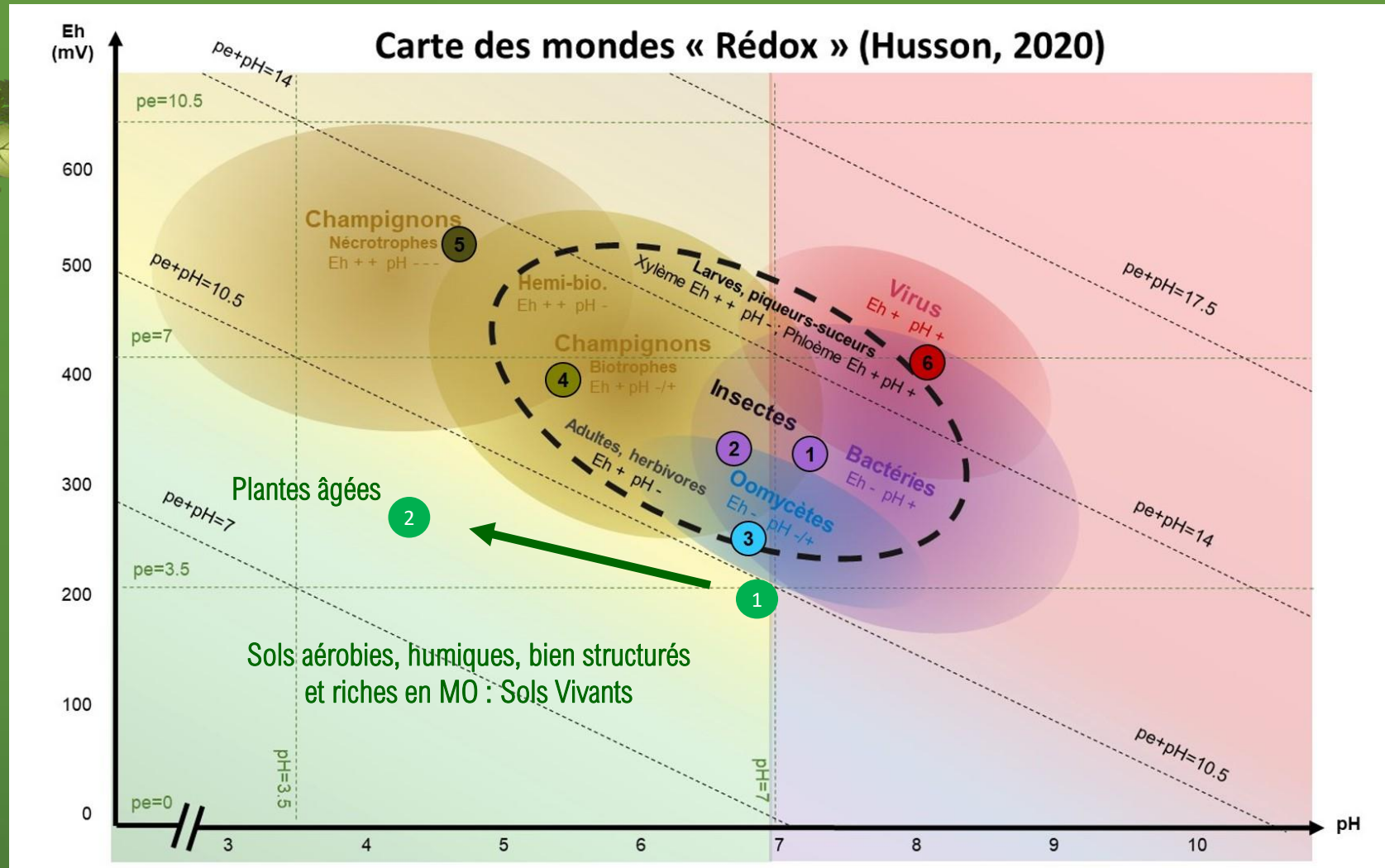


Figure 2 : la carte des mondes rédox représentant les différentes gammes Eh-pH de développement des principaux bioagresseurs de la vigne (Husson, 2020).

- De manière générale, les jeunes plantes sont réduites (activité photosynthétique intense) et ont un pH neutre (1, figure 2).
- En vieillissant elles deviennent acides et oxydées (2) : c'est le cycle normal de développement d'une plante dans un sol aérobie, bien structuré riche en MO et en humus (sols vivants, légèrement acide et réduit que l'on appelle aussi des sols suppressifs des maladies). Dans ce type de sol la vigne ne se fera pas nécessairement attaquer par les bioagresseurs : c'est vers ce statut Eh-pH que nos sols doivent donc évoluer.

Agrobacterium vitis et *Agrobactérium tumefaciens* (broussin et galle du collet)

Agrobacterium vitis et *Agrobacterium tumefaciens* sont des bactéries du sol responsables respectivement de la tumeur du collet de la vigne (ou broussin de la vigne) et de la galle du collet de la vigne (ou crown gall).

- ***Mode de contamination***

Ces bactéries vont pénétrer dans la vigne par des blessures souvent consécutives à un fort gel d'hiver. Elles peuvent aussi pénétrer par des plaies de taille, de greffage ou surgreffage, de dégâts de grêle ou d'impacts liés à des travaux cultureux.

Agrobacterium vitis et *A. tumefaciens* peuvent alors induire la formation de tumeurs végétales parfois spectaculaires (photo 1).

- ***Localisation A. vitis et A. tumefaciens dans la vigne***

A. Vitis et *A. tumefaciens* sont présentes dans le xylème et le phloème.

- ***Réponse de la plante***

La vigne produit de l'Acide Salicylique qui déclenche la résistance systémique acquise (RSA). La RSA est une réponse immunitaire puissante et généralisée à la plante entière s'accompagnant le plus souvent d'une nécrose au niveau du site d'infection (RH ou Réponse Hypersensible). Cette production d'acide salicylique entraîne une acidification et réduction de la plante.



Photo 1 : broussin de la vigne (IFV).



- *Virulence d'A. vitis et d'A. tumefaciens*

Elles détournent le système enzymatique de la vigne et stimulent la production d'auxine, de cytokinine, d'opine, de tartrate et d'acide abscissique qui ont pour conséquence la formation de galle.

- *Facteurs favorisant la contamination*

Le gel, les blessures mécaniques et les zones basses mal drainées qui favorisent une alcalinisation et une réduction du sol (figure 3).

- *Traitement*

Aucun traitement efficace à ce jour.

- *Méthodes préventives*

Désinfection des équipements.

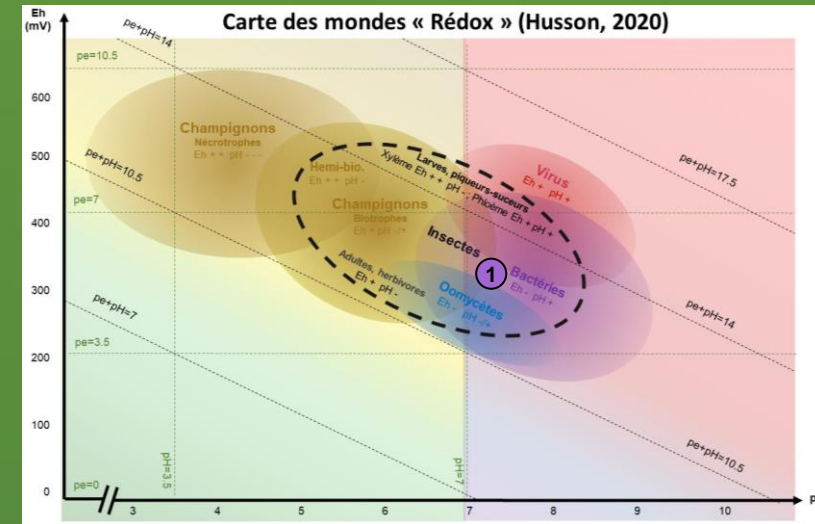


Figure 3 : localisation de *Agrobacterium vitis* et *Agrobacterium tumefaciens* sur la carte des mondes « rédox » (Husson, 2020).

Xylella fastidiosa (maladie de Pierce)

Xylella fastidiosa est une protéobactérie biotrophe responsable de la maladie de Pierce (Photo 2) qui touche principalement le continent américain. Cette bactérie ne s'est pas encore attaquée au vignoble européen à ce jour. Plus de 200 espèces végétales ligneuses ou herbacées appartenant à au moins 50 familles botaniques différentes pourraient héberger et donc conserver cette bactérie.

- ***Mode de contamination***

Cette bactérie est transmise par des insectes piqueurs/suceurs (cicadelles, cercopes) et elle va ainsi contaminer le xylème. La bactérie y forme alors un gel (biofilm) qui empêche la circulation de la sève brute à travers les tissus de la plante provoquant la chute des feuilles et finalement le dépérissement des sarments.

- ***Localisation Xylella fastidiosa dans la vigne***

Cette bactérie est uniquement présent dans le xylème de la plante.



Photo 2 : Détail de lésions foliaires sur feuille de vigne dues à *Xylella fastidiosa*, maladie de Pierce (EPPO, M. Scortichini, Istituto Sperimentale per la Frutticoltura, Rome).

- **Réponse de la plante**

Pour lutter contre cette bactérie, la plante va produire des thylloses, des gommages et de l'éthylène.

- **Virulence de *Xylella fastidiosa***

Xylella fastidiosa digère la pectine grâce à la polygalacturonase.

- **Facteurs favorisant la contamination**

Des pH compris entre 6,5 et 6,9 ainsi que la chaleur (figure 4).

- **Traitement**

Utilisation d'antibiotiques naturels et de tests de bactériophages.

- **Méthodes préventives**

Sélection variétale et contrôle des vecteurs de la maladie.

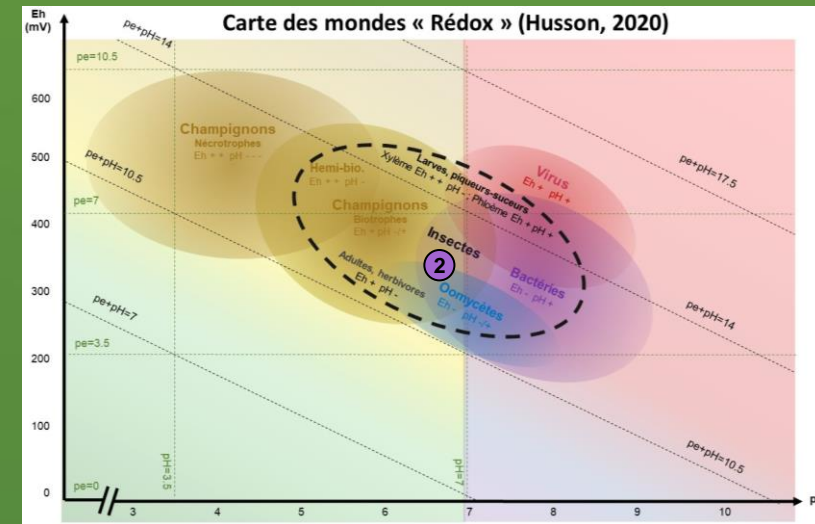


Figure 4 : localisation de *Xylella fastidiosa* sur la carte des mondes « rédox » (Husson, 2020).



Plasmopara viticola (Mildiou)

Plasmopara viticola est un oomycète qui existe sous forme de spores libres ou de mycélium qui ne peut croître qu'en parasitant les tissus de la vigne.

- ***Mode de contamination***

Au cours des périodes pluvieuses printanières, les zoospores contaminent les organes aériens de la vigne. Une fois en place sur les feuilles et les jeunes rameaux, ils émettent un promycélium qui pénètre notamment le limbe par l'intermédiaire des stomates gagnant les tissus plus internes. Les premiers symptômes se manifestent une dizaine de jours après les contaminations correspondant à la période d'incubation (photo 3).

- ***Réponse de la plante***

Pour lutter contre cet oomycète, la plante va produire des calloses, de l'acide salicylique et de l'acide jasmonique.



Photo 3 : Tâches foliaires provoquées par *Plasmopara viticola* (Bugarety, INRA).

- **Virulence de *Plasmopara viticola***

Plasmopara viticola va déréguler les stomates en envoyant des glycoprotéines qui bloquent l'action de régulation des stomates par l'acide abscissique.

- **Facteurs favorisant la contamination**

Les fortes pluies, les engorgements et la compaction qui favorisent des conditions de réduction (figure 5).

- **Traitement**

Les traitements seront à base de cuivre (condition Eh-pH acide et oxydé).

- **Méthodes préventives**

Sélection variétale.

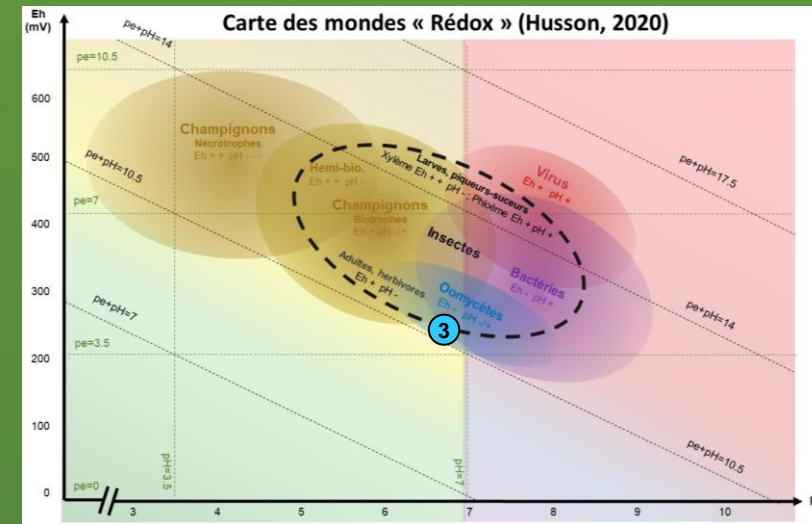


Figure 5 : localisation de *Plasmopara viticola* sur la carte des mondes « rédox » (Husson, 2020).

Erysiphe necator (Oïdium)

Erysiphe necator est un champignon parasite obligatoire qui est strictement inféodé au genre *Vitis*. Il se développe en grande partie à la surface des organes aériens verts et sa présence y est matérialisée par un feutrage conidien plus ou moins poudreux (photo 4).

- ***Mode de contamination***

Erysiphe necator attaque les très jeunes feuilles et les vieilles feuilles, les jeunes rameaux et les grappes par une pénétration directe de leur cuticule grâce à la production d'enzymes et d'eau oxygénée.

- ***Réponse de la plante***

La plante va produire du jasmonate de méthyle, de l'acide jasmonique, de l'acide salicylique et des phytoalexines (resvératrols).



Photo 4 : Feutrage poudreux sur la face supérieure d'une feuille de vigne due à *Erysiphe necator* (Blancard, INRA).

- *Virulence de Erysiphe necator*

Erysiphe necator agit sur les transporteurs de nitrate pour récupérer l'azote.

- *Facteurs favorisant la contamination*

La chaleur (26°C), l'humidité et un ciel couvert (faible photosynthèse) qui favorisent des conditions d'oxydation (figure 6).

- *Méthodes préventives*

Les traitements seront à base de soufre (réduction).

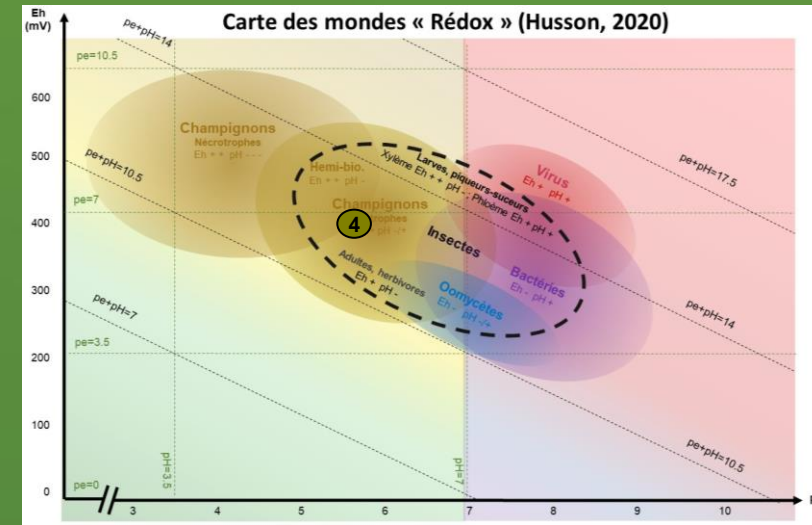
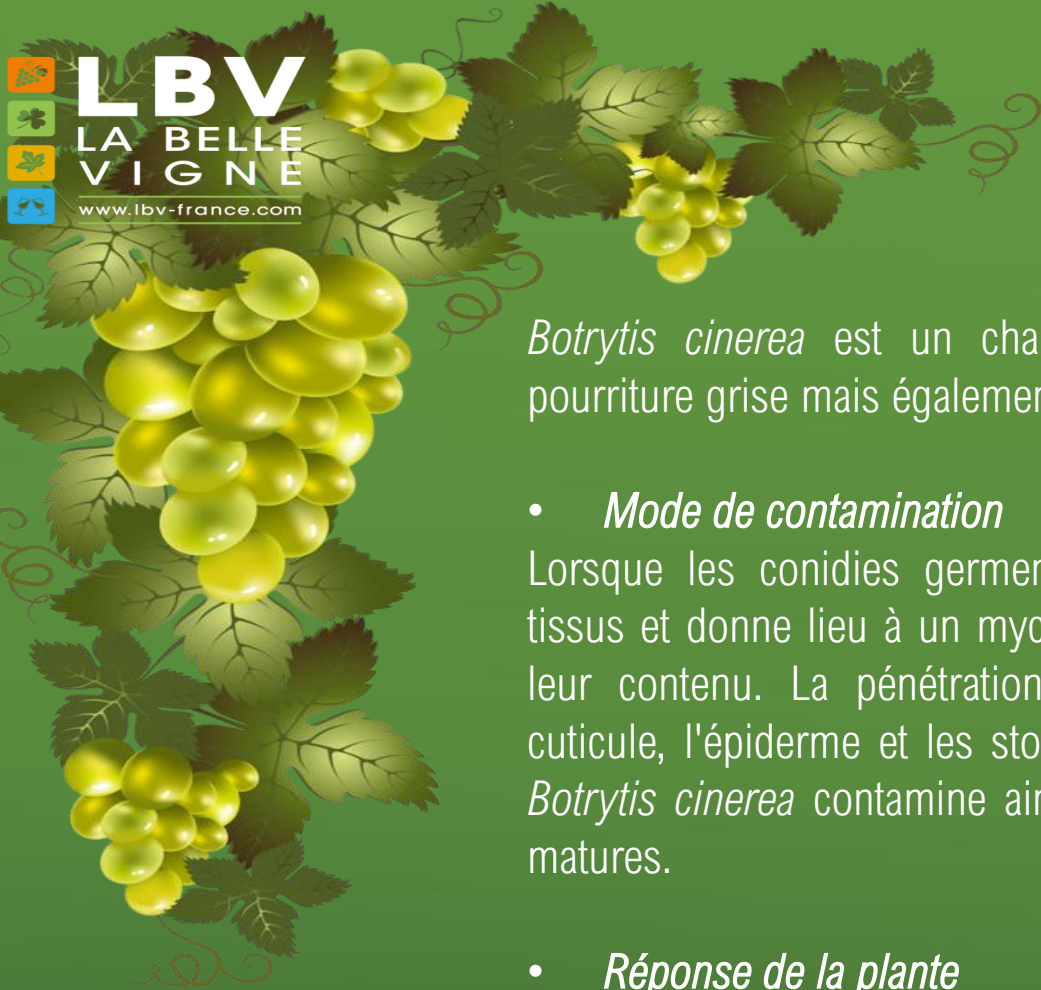


Figure 6 : localisation de *Erysiphe necator* sur la carte des mondes « rédox » (Husson, 2020).



Botrytis cinerea (Moisissure grise)

Botrytis cinerea est un champignon nécrotrophe responsable de la pourriture grise mais également responsable de la pourriture noble.

- ***Mode de contamination***

Lorsque les conidies germent, leur tube germinatif pénètre dans les tissus et donne lieu à un mycélium qui détruit les parois des cellules et leur contenu. La pénétration s'effectue soit directement à travers la cuticule, l'épiderme et les stomates, soit à partir de diverses blessures. *Botrytis cinerea* contamine ainsi les bourgeons, les feuilles et les baies mures.

- ***Réponse de la plante***

La plante va produire de l'acide jasmonique, de l'éthylène, des phytoalexines (resvératrols), des auxines et des chitinases (digestion de la paroi fongique).



Photo 5 : Tache nécrotique rougeâtre se développant à la périphérie d'une feuille de vigne due à *Erysiphe necator* (Blancard, INRA).



- **Virulence de *Botrytis cinerea***

Botrytis cinerea produit de l'acide oxalique qui détruit la paroi végétale et interfère avec les signaux chimiques de défense de la plante. Il est capable aussi de former de l'acide gluconique à partir de glucose grâce à la glucose oxydase.

- **Facteurs favorisant la contamination**

Un ciel couvert (faible photosynthèse) favorise des conditions d'oxydation (figure 7).

- **Méthodes préventives**

Utilisation de *Trichoderma* et d'acide salicylique.

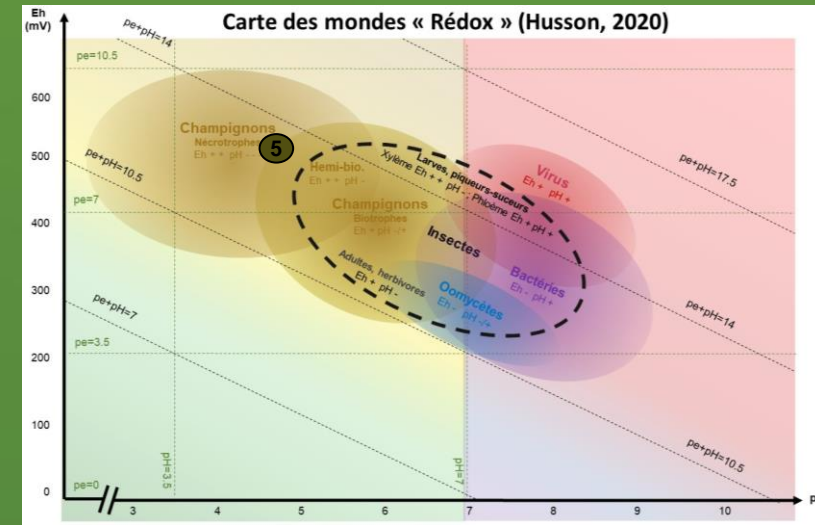


Figure 7 : localisation de *Botrytis cinerea* sur la carte des mondes « rédox » (Husson, 2020).



Grapevine Fan Leaf Virus (le court noué)

Le court noué est une maladie virale à laquelle sont associés deux nepovirus en France : le *Grapevine Fan Leaf Virus* (GFLV) le plus fréquent, et l'*Arabis Mosaic Virus* (ArMV) beaucoup plus rare.

- ***Mode de contamination***

Ces virus sont transmis par deux nématodes vecteurs différents : *Xiphinema index* pour le GFLV et *X. diversicaudatum* pour l'ArMV.

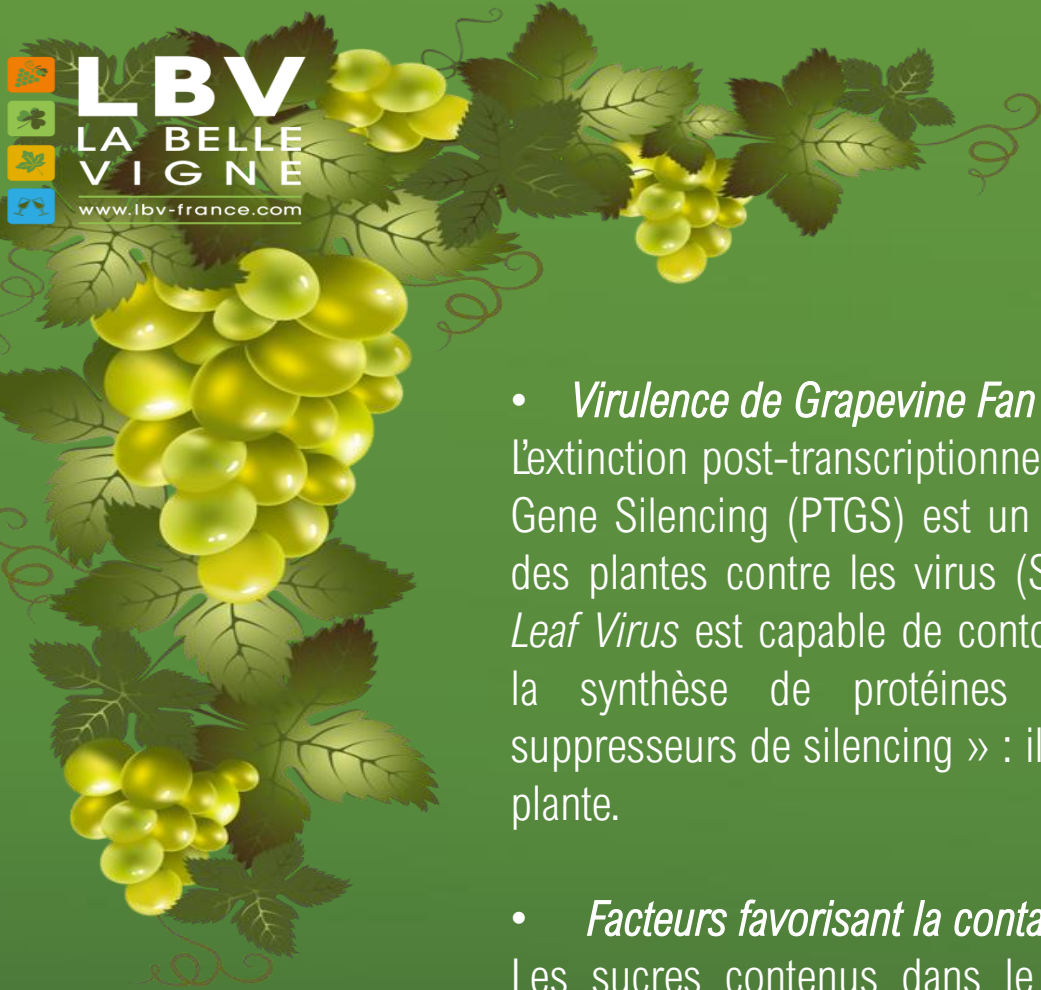
Ces nématodes sont plutôt polyphages et vivent dans la rhizosphère des plantes et notamment de la vigne. Ils se nourrissent en piquant les racines grâce à leur stylet buccal et infectent ainsi la vigne (photo 6).

- ***Réponse de la plante***

Réponse hypersensible (RH) aboutissant au durcissement des parois végétales et à la mort cellulaire programmée (nécrose au niveau du site d'infection)



Photo 6 : Décoloration des nervures due à *Grapevine Fan Leaf Virus* (Yanitch A., INRA).



- **Virulence de Grapevine Fan Leaf Virus**

L'extinction post-transcriptionnelle des gènes ou Post Transcriptional Gene Silencing (PTGS) est un mécanisme fondamental de défense des plantes contre les virus (Séréme et al., 2009). *Grapevine Fan Leaf Virus* est capable de contourner ce mécanisme de défense via la synthèse de protéines virales antagonistes appelées « suppresseurs de silencing » : il bloque les signaux de défense de la plante.

- **Facteurs favorisant la contamination**

Les sucres contenus dans le phloème, le froid et un pH élevé (figure 8).

- **Méthodes préventives**

Limiter le développement des nématodes par l'utilisation de couverts végétaux (réduction) et en favorisant le développement des mycorhizes (non travail du sol, BRF, etc..)

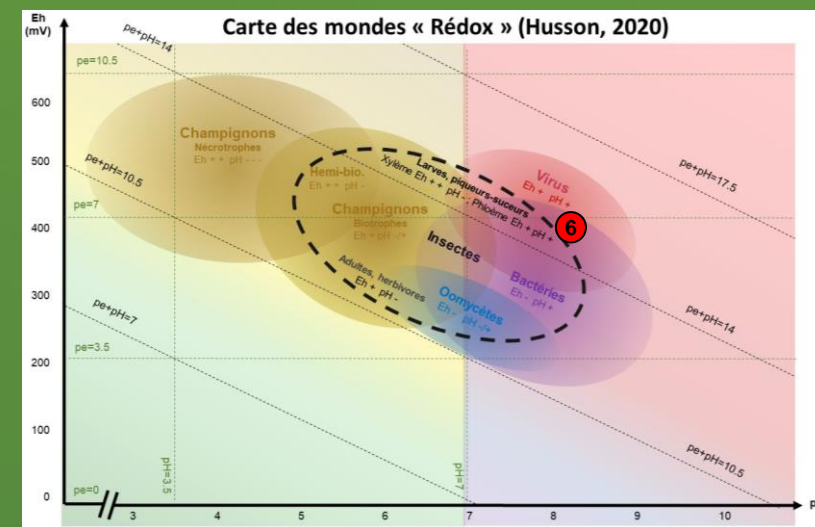
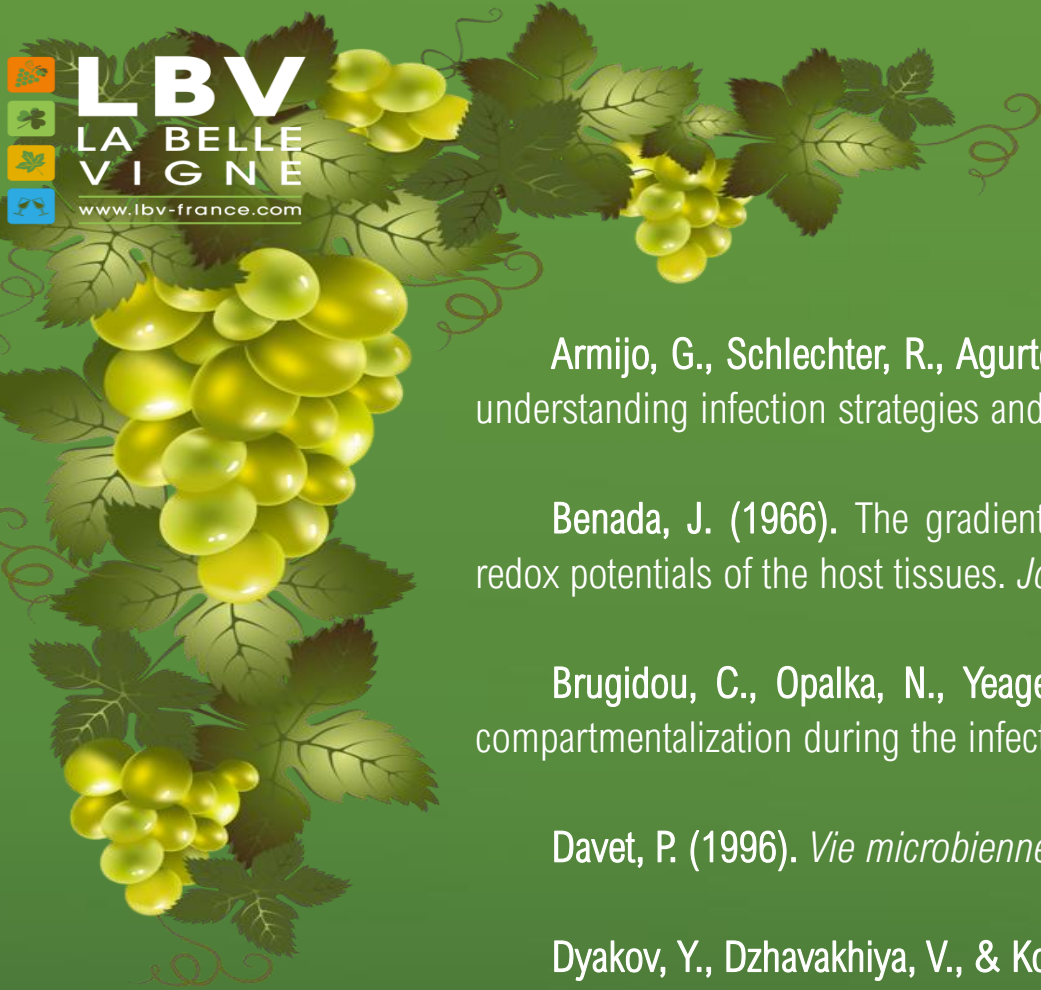


Figure 8 : localisation de *Grapevine Fan Leaf Virus* sur la carte des mondes « rédox » (Husson, 2020).





Références bibliographiques

Armijo, G., Schlechter, R., Agurto, M., Muñoz, D., Nuñez, C., & Arce-Johnson, P. (2016). Grapevine pathogenic microorganisms: understanding infection strategies and host response scenarios. *Frontiers in plant science*, 7, 382.

Benada, J. (1966). The gradients of oxidation-reduction potentials in cereals and the dependence of obligate parasites on the redox potentials of the host tissues. *Journal of Phytopathology*, 55(3), 265-290.

Brugidou, C., Opalka, N., Yeager, M., Beachy, R. N., & Fauquet, C. (2002). Stability of rice yellow mottle virus and cellular compartmentalization during the infection process in *Oryza sativa* (L.). *Virology*, 297(1), 98-108.

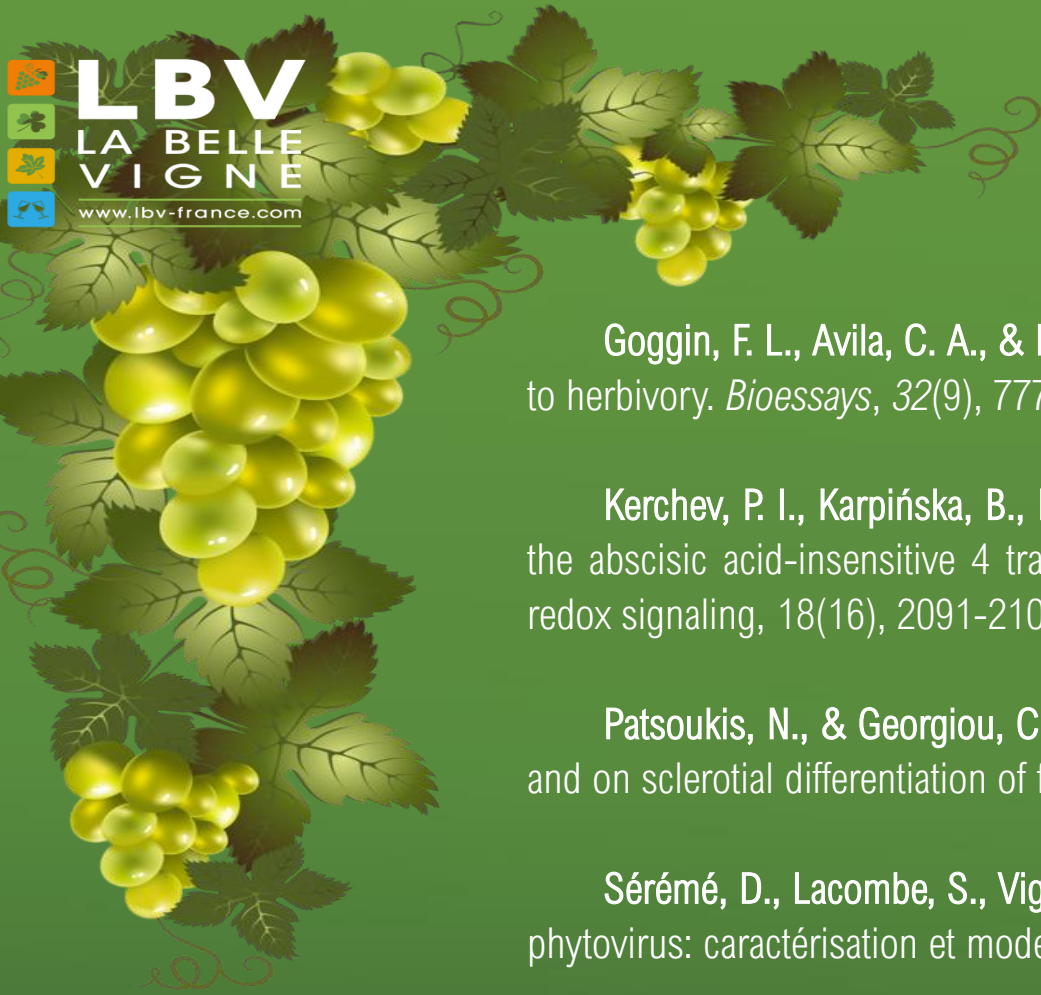
Davet, P. (1996). *Vie microbienne du sol et production végétale*. Editions Quae.

Dyakov, Y., Dzhavakhiya, V., & Korpela, T. (Eds.). (2007). *Comprehensive and molecular phytopathology*. Elsevier.

Gillet, F. X., Cattoni, D. I., Petiot-Bécard, S., Delalande, F., Poignavent, V., Brizard, J. P., ... & Brugidou, C. (2013). The RYMV-encoded viral suppressor of RNA silencing P1 is a zinc-binding protein with redox-dependent flexibility. *Journal of molecular biology*, 425(14), 2423-2435.

Husson, O., (2020, Avril 7). *Comprendre les interactions maladies-nutrition des plantes grâce au RedOx, avec Olivier Husson*. [Vidéo]. You Tube. <https://www.youtube.com/watch?v=z0ebq6uOW9U>.





Goggin, F. L., Avila, C. A., & Lorence, A. (2010). Vitamin C content in plants is modified by insects and influences susceptibility to herbivory. *Bioessays*, 32(9), 777-790.

Kerchev, P. I., Karpińska, B., Morris, J. A., Hussain, A., Verrall, S. R., Hedley, P. E., ... & Hancock, R. D. (2013). Vitamin C and the abscisic acid-insensitive 4 transcription factor are important determinants of aphid resistance in Arabidopsis. *Antioxidants & redox signaling*, 18(16), 2091-2105.

Patsoukis, N., & Georgiou, C. D. (2007). Effect of glutathione biosynthesis-related modulators on the thiol redox state enzymes and on sclerotial differentiation of filamentous phytopathogenic fungi. *Mycopathologia*, 163(6), 335-347.

Sérémé, D., Lacombe, S., Vignols, F., Konaté, G., Traoré, A. S., & Brugidou, C. (2009). Les supresseurs du RNA silencing des phytovirus: caractérisation et mode d'action. *Virologie*, 13(6), 305-316.