



Réduction possible de l'apport de fongicides de synthèse grâce à l'utilisation de l'indice NDVI, indicateur précoce du risque de pourriture grise au vignoble

Marc Fermaud¹, Carolina Pañitur-De la Fuente², Jean Roudet¹, Nicolás Verdugo-Vásquez², Mario Herrera Défaz⁵, Jean Pascal Goutouly^{3,4}, César Acevedo-Opazo⁶, Héctor Valdés-Gómez⁵

¹ Inrae, UMR Save, Bordeaux Science Agro, ISVV, 33882 Villenave d'Ornon, France

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro de Investigación Intihuasi, Colina San Joaquín s/n, PO Box 36-B, La Serena, Chile

³ Inrae, UMR EGFV, ISVV, 33882 Villenave d'Ornon, France

⁴ Inrae, UEVB, ISVV, 33882 Villenave d'Ornon, France

⁵ Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Fruticultura y Enología, Santiago, Chile

⁶ Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2 norte 685, Talca, Chile

Lors du développement d'outils d'aide à la décision pour les producteurs, les indicateurs précoces et prédictifs du risque épidémique sont essentiels pour optimiser les applications prophylactiques, phytosanitaires et/ou de biocontrôle. Au vignoble, la pourriture grise causée par *Botrytis cinerea* est une maladie très grave dont le cycle est complexe et extrêmement multifactoriel. Parmi les différents facteurs d'influence, cette étude nous a permis de cibler deux indicateurs principaux de grand intérêt, car précoces et prédictifs du risque épidémique. Leur importance est également justifiée par nos résultats convergents et cohérents dans deux grands pays producteurs de vin (la France et le Chili) correspondant aux conditions pédoclimatiques les plus contrastées à l'échelle mondiale. L'étude présente non seulement le choix de ces indicateurs précoces, mais aussi une manière pratique de les mesurer au vignoble, avec un point très important précisant le stade exact auquel procéder à ces mesures d'agriculture de précision¹. Trois indicateurs de risque précoces ont été évalués : i) un indicateur lié à la composition en pectines et en tanins de la pellicule des baies, ii) un autre lié à la vigueur précoce de la vigne estimée par NDVI, et iii) une combinaison de ces deux derniers indicateurs avec des données météorologiques.

Les expérimentations² ont été réalisées dans deux vignobles plantés de Merlot. L'un se trouvait en Nouvelle-Aquitaine (France) sur le site de la Grande Ferrade (Villenave-d'Ornon) et l'autre, également planté de Sauvignon Blanc, se trouvait dans la région de Maule au Chili (Panguilemo). Le Sauvignon Blanc, un cépage très sensible au *B. cinerea*, a été inclus afin d'exprimer les symptômes de la pourriture grise dans les conditions climatiques chiliennes, qui ne sont pas très favorables à son développement². L'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) a été mesuré à l'aide d'un GreenSeeker® RT-100 manuel (Trimble Agriculture division, Sunnyvale, Californie, USA) comme décrit dans Drissi *et al.* (2009)¹.

Corrélations entre les composants de la pellicule et l'intensité de la pourriture grise à la récolte

Des corrélations significatives entre la sensibilité de la vigne à la pourriture grise et le contenu phénolique de la pellicule avaient déjà été établies, mais uniquement en laboratoire^{3,4,5}. Durant cette étude², des corrélations positives ont été observées entre la teneur en pectines dans la pellicule et l'incidence et la sévérité de la pourriture grise à la récolte (Figure 1a, c). De plus, des corrélations négatives ont été établies entre la teneur en tanins et l'incidence et la gravité de la

La pourriture grise de la vigne, due au *Botrytis*, est une maladie majeure des vignobles dans le monde entier. La lutte contre cette maladie, encore largement basée sur des pulvérisations de fongicides de synthèse à intervalles prédéterminés, conduit souvent à des résidus dans les raisins et les vins pouvant avoir des effets négatifs sur l'environnement et/ou la santé humaine. Afin de rationaliser la gestion de la pourriture grise, des indicateurs précoces de risque de maladie ont été développés et évalués dans le cadre d'expérimentations de terrain menées entre 2010 et 2019 en France et au Chili.

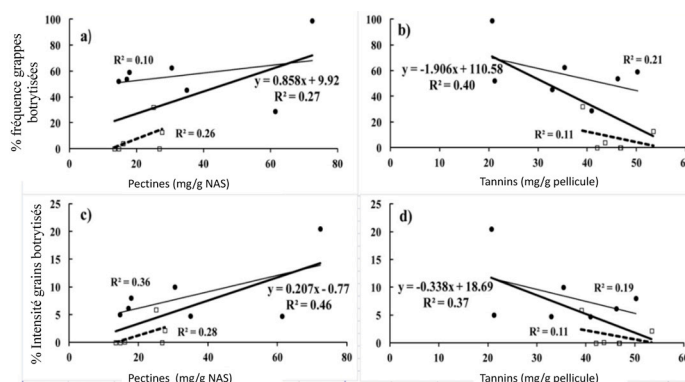


FIGURE 1. Corrélations entre l'incidence de la pourriture grise (%) et la concentration de (a) pectines et (b) tanins dans la pellicule des jeunes baies. Corrélations entre la sévérité de la pourriture grise (%) et la concentration de (c) pectines et de (d) tanins dans la pellicule des jeunes baies. En France (●), le cépage est le Merlot Noir et au Chili (□), les cépages sont le Merlot Noir ou le Sauvignon Blanc. Chaque point correspond à une campagne d'étude. La ligne principale noire, en gras et au milieu, indique la corrélation entre toutes les données (France et Chili).

maladie à la récolte (Figure 1b, d). Toutes les corrélations, y compris les données regroupées de France et du Chili, étaient significatives à $p = 0,05$, à l'exception de celle entre la pectine et l'incidence de la pourriture grise.

Corrélations entre la croissance végétative et l'intensité finale de pourriture grise

La vigueur végétative de la vigne a été évaluée tôt dans la saison, approximativement au stade petit pois. Dans nos conditions d'essai, cela correspondait à environ 40 jours avant la véraison. D'un point de vue pratique, un indicateur aussi précoce est une qualité très importante, car permettant aux producteurs d'utiliser des mesures NDVI, à faible coût, comme une stratégie de contrôle de la pourriture grise dans leur vignoble. Le NDVI présente également l'avantage de dépendre d'un moment d'évaluation précis et reproductible au cours de chaque saison. Le meilleur moment pour le mesurer, sur la base du modèle thermo-phénologique facilitant la programmation des mesures, est défini à 300 degrés-jours de croissance (DJC) (température de base = 10 °C, accumulés à partir de la mi-floraison précise ; c'est-à-dire, 50 % de la floraison, code 23, selon les stades phénologiques d'Eichhorn-Lorenz). Ces mesures du NDVI effectuées tôt dans la saison



nous ont permis d'éviter les effets négatifs de la saturation du NDVI due à la fermeture de la canopée du vignoble. Le seuil de saturation du NDVI varie entre 0,8 et 0,86 selon différentes études^{6,7}. Dans cette étude², les valeurs de NDVI n'ont pas dépassé 0,85.

Pour la première fois, nous avons donc établi des corrélations exponentielles entre les valeurs NDVI mesurées à 300 DJC après la mi-floraison et l'incidence et la sévérité de la pourriture grise à la récolte (Figure 2). La relation entre la pourriture grise (incidence et sévérité) et la croissance végétative précoce (NDVI) a été tracée et modélisée à l'aide d'un modèle non linéaire d'équation suivante : pourriture grise inc/sev = $a \cdot (\text{NDVI})^b$, qui était le meilleur modèle selon la valeur du coefficient R^2 . Les corrélations entre ces variables étaient positives, montrant que les vignes ayant une croissance végétative plus élevée à un stade phénologique précoce étaient plus susceptibles d'être infectées par *B. cinerea* pendant la saison. Le schéma était similaire pour les deux variables de la maladie, mais avec une courbe plus raide entre le NDVI et la sévérité de la maladie (Figure 2b). Une tendance était perceptible, montrant un changement dans l'incidence et la sévérité de la pourriture grise lorsque les valeurs de NDVI atteignaient environ 0,5 et 0,6 respectivement.

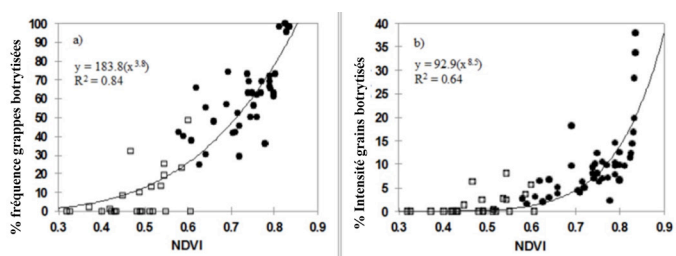


FIGURE 2. Corrélations entre (a) l'incidence de la pourriture grise (%) avec l'évaluation précoce du NDVI et (b) la sévérité de la pourriture grise (%) avec l'évaluation précoce du NDVI, en France (●) et au Chili (□).

La pourriture grise à la récolte reliée à des variables explicatives : croissance végétative et climat

Premièrement, le meilleur modèle expliquant l'incidence de la pourriture grise comprenait les variables : i) pluviométrie cumulée 35 jours avant la récolte (PL35) comme variable explicative prédominante, et ii) NDVI en début de saison. La Figure 3 montre une bonne corrélation (proche de $Y = X$) entre les incidences de pourriture grise observées et modélisées suite à nos expérimentations à long terme en France et au Chili (2010-2017). Deuxièmement, pour estimer la sévérité de la pourriture grise, le meilleur modèle de régression était également basé sur deux variables : i) la croissance végétative (NDVI), qui était la variable explicative prédominante, et ii) la pluviométrie cumulée 15 jours avant la récolte (PL15).

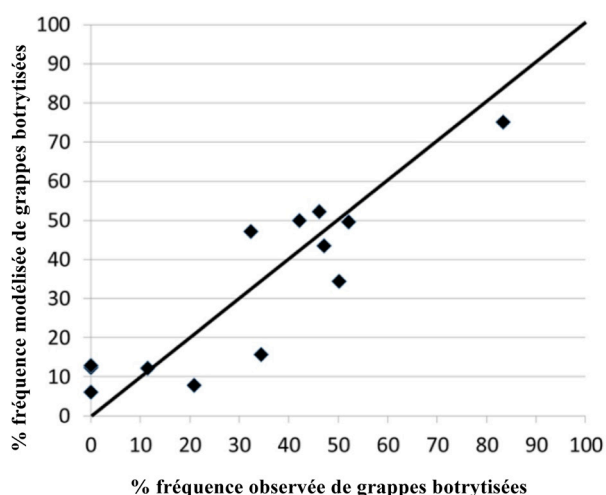


FIGURE 3. Corrélation entre les incidences observées et modélisées de la pourriture grise (Tableau 4, premier modèle d'incidence dans Pañitir-De la Fuente *et al.*, 2020)². L'équation $Y = X$ est également indiquée.

Conclusions

Les nouveaux indicateurs de gestion et de risque, découverts et développés dans cette étude, étaient significativement liés au développement de la pourriture grise à la récolte. Ainsi, nous proposons que ces nouveaux outils soient utilisés, dans un futur proche, pour développer des systèmes/outils d'aide à la décision (OAD) spécifiques pour limiter les traitements anti-*Botrytis* dans les vignobles. Les modèles de régression incluaient le cumul des précipitations quelques semaines avant la récolte, corroborant l'importance du facteur climatique dans le développement de la pourriture grise. D'un point de vue pratique, il a été démontré que la croissance végétative précoce de la vigne (NDVI tel que mesuré dans cette étude) est un facteur majeur régissant également l'infection par *B. cinerea*. En ce qui concerne la teneur en tanins de la pellicule, évaluée approximativement au stade petit pois, cet indicateur de risque de *B. cinerea* peut également être intégré dans les stratégies de lutte intégrée (IPM).

D'autres études devraient examiner la compacité des grappes et l'inoculum de l'agent pathogène tout au long de la saison, afin de mieux comprendre leurs liens potentiels avec la pourriture grise à la récolte. Tous ces éléments permettront de progresser encore pour optimiser les méthodes de gestion et de contrôle dans les stratégies de lutte intégrée contre ce champignon pathogène, le *Botrytis cinerea*, très nuisible pour la vigne en termes quantitatifs comme qualitatifs (vins, raisins de table, eaux de vie)⁸. ■

Source : "Vigor thresholded NDVI is a key early risk indicator of Botrytis bunch rot in vineyards" (OENO One, 2020).

Remerciements : Les auteurs remercient pour leur soutien financier de l'étude, le Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux (CIVB), la bourse doctorale 2013 N° 21130505 du CONICYT chilien et les projets chiliens CONICYT-FONDECYT/Regular 1191244 et Inserción académica PUC. Les auteurs souhaitent également remercier l'Unité Mixte Technologique Bordeaux INRAE - BSA - IFV (UMT SEVEN).

1 Drissi R., Goutouly J.-P., Forget D. and Gaudillère, J.-P., 2009. Nondestructive Measurement of Grapevine Leaf Area by Ground Normalized Difference Vegetation Index. *Agronomy Journal* 101, 226–231.

2 Pañitir-De la Fuente, C., Valdés-Gómez, H., Roudet, J., Verdugo-Vásquez, N., Mirabal, Y., Laurie, V. F., Goutouly, J. P., Acevedo Opazo, C., & Fermaud, M. (2020). Vigor thresholded NDVI is a key early risk indicator of Botrytis bunch rot in vineyards. *OENO One*, 54(2), 279–297. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.2.2954>

3 Sarig P., Zutkhi Y., Lisker N., Shkelerman Y., Ben Arie R., Bielski R., Laing W. and Clark C., 1998. Natural and induced resistance of table grapes to bunch rots. *Acta Horticulturae* 464, 65–70.

4 Pezet R., Viret O. and Gindro K., 2004. Plant microbe interaction: The Botrytis gray mold of grapes. In A. Hemantaranjan. Ed. *Advances in plant physiology India: Varanasi*, vol. 7, pp. 75–120.

5 Deytieu-Belleau C., Geny L., Roudet J., Mayet V., Donèche B. and Fermaud M., 2009. Grape berry skin features related to ontogenic resistance to Botrytis cinerea. *European Journal of Plant Pathology* 125, 551–563.

6 Yang J., Guo N., Huang L.N. and Jia J.H., 2008. Analyses on MODIS-NDVI Index Saturation in Northwest China. *Plateau Meteorology* 27, 896–903.

7 Zhang K., Ge X., Liu X., Zhang Z., Liang Y., Tian Y., Cao Q., Cao W., Zhu Y. and Liu X., 2017. Evaluation of the chlorophyll meter and GreenSeeker for the assessment of rice nitrogen status. *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture 2017*, 8(2), 359–363.

8 Ky, I., Lorrain, B., Jourdes, M., Pasquier, G., Fermaud, M., Geny, L., Rey, P., Doneche, B., Teissedre, P.-L., 2012. Assessment of grey mould (*Botrytis cinerea*) impact on phenolic and sensory quality of Bordeaux grapes, musts and wines for two consecutive vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2012.00191.x>