

Exploiter les données de prospection flavescence dorée pour améliorer les stratégies de lutte: un cas d'étude dans le vignoble Bordelais

FRÉDÉRIC FABRE¹, HOLA KWAME-ADRAKEY¹, LUCIE MICHEL², LUKE RILEY², ADRIEN RUSCH¹ ET SYLVIE MALEMBIC-MAHER³

¹ INRAE, Bordeaux Sciences Agro, UMR SAVE, Villenave d'Ornon F-33882, France

² INRAE, UR BioSP, Equipe OPE - Plateforme ESV, Avignon, France

³ INRAE, Univ. Bordeaux, UMR BFP, Villenave d'Ornon F-33882, France

Email: frederic.fabre@inrae.fr

Les prospections annuelles conduites par les GDON/FREDON pour gérer la flavescence dorée (FD) génèrent des bases de données regroupant des dizaines de milliers d'observation de terrain. Outre leurs utilités directes pour enrayer la propagation de la FD, ces données peuvent constituer des sources d'informations précieuses pour (i) mieux comprendre son épidémiologie et (ii) améliorer les stratégies de gestion. L'objectif de ce travail, réalisé dans le cadre des projets CO-ACT et RISCA financés par le PNDV, était donc de « parler ces données », acquises au prix de milliers d'heures de prospection, au moyen des outils de la modélisation statistique. Cette démarche a été mise à l'épreuve sur le territoire du GDON des Bordeaux en charge de la gestion de la FD sur les 2/3 du vignoble Bordelais (75000 ha de vigne). La première étape consistait à créer un système d'information géographique (SIG) regroupant plusieurs sources de données : (i) source GDON des Bordeaux avec les données de prospection FD entre 2012 et 2017, (ii) source cadastre viticole informatisée (CVI) avec les informations sur les cépages, les années et les densités de plantation des parcelles cadastrales cultivées en vigne et (iii) source CESBIO pour les données d'occupation du sol (17 classes d'occupation du sol pour l'année 2017 à une résolution de 10*10 mètres). Le SIG créé contient ainsi les données de prospection de 40246 parcelles de vigne, toutes intégralement renseignées sur 38 variables.

Une fois ce SIG constitué et consolidé, nous avons mis œuvre une démarche de modélisation statistique visant à identifier des facteurs de risque de détection et d'infection d'une parcelle par la FD lors de la première année de prospection par le GDON, c'est-à-dire avant la mise en place des mesures d'arrachage des ceps infectés. Ces mesures de gestion modifient en effet (et fort heureusement) le processus épidémique localement alors que l'objectif de nos analyses était de rechercher des variables explicatives du risque d'infection parcellaire en condition « naturelle » d'épidémie. Le CVI à notre disposition sur Bordeaux étant daté de 2016, nous avons finalement retenu les 34581 parcelles prospectées pour la première fois par le GDON des Bordeaux entre 2012 et 2016. La FD a été détectée dans 7.5% de ces parcelles. Pour chaque parcelle, nous avons renseignées des variables explicatives caractérisant la parcelle (9 variables) et son environnement paysager (6 variables) (Tableau 1). Nous avons ensuite analysé l'effet de ces variables sur la probabilité qu'une parcelle soit infectée par la FD à l'aide d'un modèle de régression logistique spatiale. Dans ces analyses nous avons considéré 16 rayons possibles d'effet des variables paysagères. Ces rayons s'échelonnent de 50 à 6000 mètres autour des parcelles.

Echelle	Variable	Description	Moy (sd) / Niveaux
Parcelle	Area	Surface de la parcelle	0.76 (0.77)
	Year	Année de première prospection	5 niveaux
	Season	Saison de prospection (Eté/Automne)	2 niveaux
	Practice	Pratique culturale (Bio/Conventionnelle)	2 niveaux
	AOC	Appellation d'Origine Contrôlée	6 niveaux
	Age	Age de la parcelle	23 (14)
	Cultivar	Cépage	7 niveaux
	Density	Densité de plantation	4131 (1008)
	Altitude	Altitude de la parcelle	59.5 (29)
Paysage	L_vineyard	Pourcentage de vigne	66.7 (20.2)
	L_merlot	Pourcentage de Merlot (au sein de la vigne)	62.2 (32)
	L_organic	Pourcentage de parcelle en bio	8 (21.3)
	L_urban	Pourcentage de zone urbanisée	8.2 (10)
	L_forest	Pourcentage de forêt	5.6 (9.8)
	L_np	Complexité du paysage	12.5 (5.5)

Tableau 1: Description des variables explicatives utilisées pour caractériser les parcelles et le paysage alentour. Les variables paysagères sont calculées dans des cercles de rayon croissant (de 50 m à 6000m) centrés sur chaque parcelle. Elles caractérisent la composition du paysage et sa complexité. Pour les variables qualitatives, le nombre de niveau est indiqué ; pour les variables quantitatives, la valeur moyenne et l'écart-type sont calculés pour l'ensemble des 34581 parcelles étudiées. Dans ce calcul, un rayon de 150 m autour des parcelles est utilisé pour les variables paysagères.

Notre analyse souligne à la fois l'importance des variables locales et du contexte paysager. Les effets des facteurs parcellaires, qui décrivent caractéristiques physiques et pratiques culturales, sont toutefois les plus forts. Ainsi, l'altitude, l'âge de la parcelle et son cépage étaient les principaux facteurs affectant l'infection par la FD (Figure 1AB). En particulier, le rapport des cotes (« odd ratio ») de l'infection par la FD dans les parcelles cultivées avec les cépages Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc ou Muscadelle étaient environ deux fois plus élevé que dans les champs plantés avec le Merlot, cultivar peu sensible et le plus répandu dans la région. Par ailleurs, dans la zone étudiée, la probabilité d'infection par le FD diminue de manière significative avec l'altitude : une augmentation de 20 m de l'altitude est associée à un rapport des cotes de 0.72. Pour finir, si peu de différences marquées existent entre années de prospection, la saison de prospection a, elle, un fort effet sur la probabilité de détecter la maladie. Cette probabilité est bien plus faible en été (Juillet-Août) qu'en automne (Septembre-Octobre) comme le souligne le rapport de cotes de 0.24 (Figure 1C). Cet effet était attendu, l'expression des symptômes de la FD se renforçant à l'approche des vendanges.

L'infection des parcelles est également affectée par leur environnement alentour (dans un cercle de 150 m à 200 m de rayon), correspondant à des paysages de 7 à 12 ha (Figure 1D). Nous retenons par la suite un rayon de 150 m. En particulier, la probabilité d'infection par la FD augmente avec les proportions de forêts et de zones urbaines. Les raisons sous-jacentes à ces corrélations peuvent être diverses : environnements associés à des vignes ensauvagées (forêt) ou cultivées (jardin en zone urbaine), mais dans les deux cas réservoirs de FD, moindre propension à traiter à proximité des habitations... De façon moins intuitive, la probabilité d'infection par la FD diminue avec la proportion de vigne dans le paysage. Cette corrélation pourrait être médié par des effets directs (protection insecticide plus homogène, dilution de l'inoculum) ou indirects via, par exemple, la valeur économique des vignobles. Pour finir, la probabilité d'infection par la FD augmente également avec la proportion des cépages plus sensibles, cet effet démontrant que la composition du paysage variétale a un impact sur l'épidémiologie de la maladie.

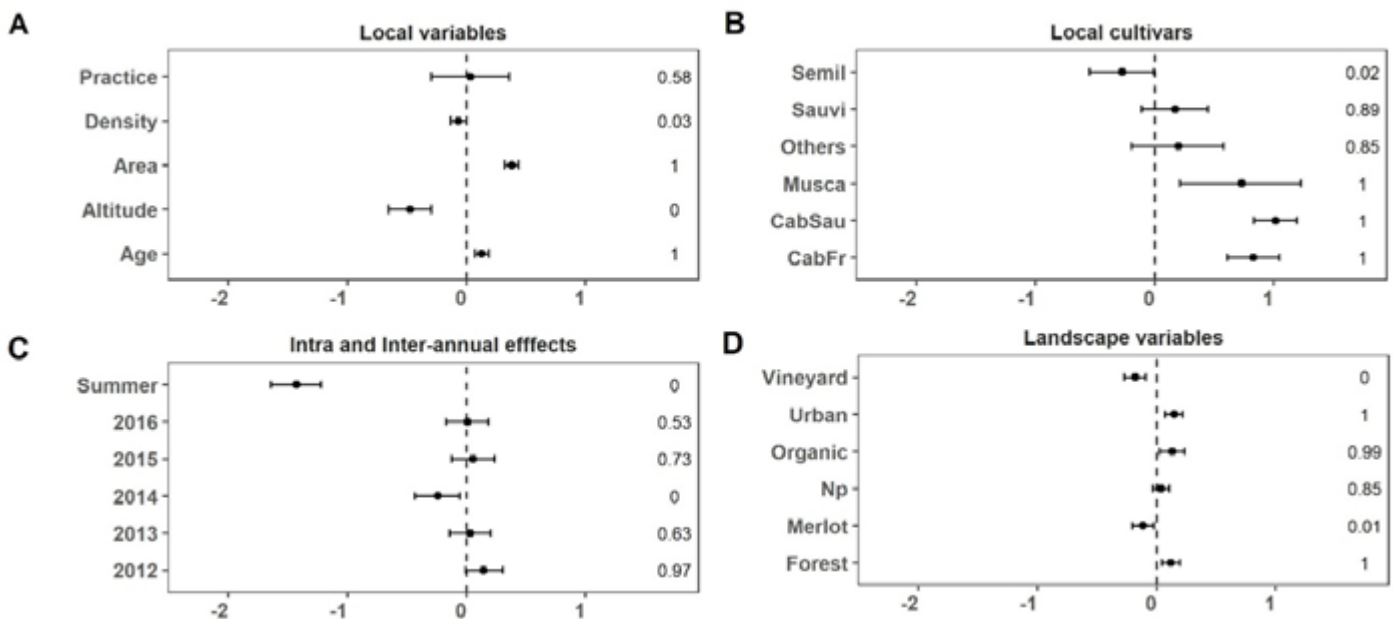


Figure 1: Estimation des paramètres du modèle de régression logistique spatiale pour une échelle de paysage de 150 m. A : Effets des variables parcellaires. Pour chaque variable, la moyenne a posteriori (point noir) et les intervalles de crédibilités à 95 % (lignes continues) sont affichés, ainsi que la probabilité a posteriori que l'effet soit positif. La ligne pointillée correspond à la valeur 0 pour laquelle la variable (ou son niveau) n'a pas d'effet. Une valeur négative correspond à une variable (ou à un niveau de cette variable) associée à une réduction de la probabilité d'infection d'une parcelle ; une valeur positive correspond à une augmentation de cette probabilité. B : Identique au panel A pour les effets des variables parcellaires liés aux cépages. C : Identique au panel A pour les effets de l'année et de la saison de prospection. D : Effets des variables paysagères. Toutes les variables et leurs niveaux sont décrits dans le tableau 1 (le préfixe «L_» est supprimé des variables paysagères).

En dernier lieu, nous avons estimé la valeur prédictive de ce modèle statistique en utilisant une approche par validation croisée. La valeur prédictive a été estimée à l'échelle des parcelles (en évaluant la capacité du modèle à prédire l'infection d'une parcelle par la FD) et à l'échelle des communes (en évaluant la capacité du modèle à prédire la proportion de parcelles infectées dans une commune). C'est à cette dernière échelle que la valeur prédictive du modèle était la plus intéressante. En particulier, le modèle permet de discriminer les communes ayant plus de 10% de parcelles infectées. Pour ce seuil, le rappel moyen du modèle (aussi appelé sensibilité), c'est-à-dire la probabilité que le modèle classe correctement une commune comme ayant plus de 10% de parcelles infectées, est de 89%. Sa précision moyenne, c'est-à-dire la probabilité qu'une commune ait réellement plus de 10% de parcelles infectées lorsqu'elle a été classée comme tel par le modèle, est de 50%. Ainsi, le modèle pourrait être utilisé pour cibler des zones dans lesquelles de futures prospections seraient les plus utiles.

Ces travaux de modélisation se poursuivent dans le projet CO-ACT2 du PNDV au sein duquel nous travaillons, en partenariat avec la plateforme d'épidémiosurveillance en santé végétale, à l'intégration des données de prospection réalisées en Bourgogne et en Savoie. Nous élargirons également la gamme des méthodes de modélisation mises en œuvre, en particulier à la prise en compte de la dimension temporelle des dynamiques épidémiques, quand les modèles utilisés jusqu'ici estiment uniquement des cartes de risque statique.

Remerciements : Les auteurs remercient l'équipe du GDON des Bordeaux, et tout particulièrement Sophie Bentejac, Morgane Le Goff et Charlotte Labit, non seulement pour la mise à dispositions des données de prospection mais aussi pour leurs retours constructifs et leurs incomparables expériences du terrain.

Références : Adrakey HK., Malembic-Maher S., Rusch A., Ay JS., Riley L., Ramalanjaona L. and Fabre F. 2022. Field and landscape risk factors impacting *Flavescence doré* infection : Insights from spatial Bayesian modelling in the Bordeaux vineyards. *Phytopathology*, sous presse.