

Exploiter les données de prospection pour améliorer les stratégies de gestion de la flavescence dorée : 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

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 leur utilité directe pour enrayer la propagation du phytoplasme, ces données constituent des sources d'informations précieuses pour (i) mieux comprendre l'épidémiologie de cette maladie et (ii) améliorer sa gestion. L'objectif de ce travail, réalisé dans le cadre des projets RISCA et CO-ACT2 financés par le PNDV, était donc de « faire 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 en œuvre 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, Figure 1A). La première étape consistait à créer un système d'information géographique (SIG) regroupant plusieurs sources de données issues : (i) du GDON des Bordeaux avec les données de prospection FD entre 2012 et 2016 (ii) du cadastre viticole informatisé (CVI) avec les informations sur les cépages, les années et les densités de plantation des parcelles cadastrales cultivées en vigne jusqu'en 2016 et (iii) de l'IGN et du CESBIO pour les données d'occupation du sol (17 classes d'occupation du sol avec une résolution de 10*10 mètres). Le SIG créé contient ainsi les données de prospection de 34581 parcelles de vigne, toutes intégralement renseignées sur 38 variables (Figure 1B).

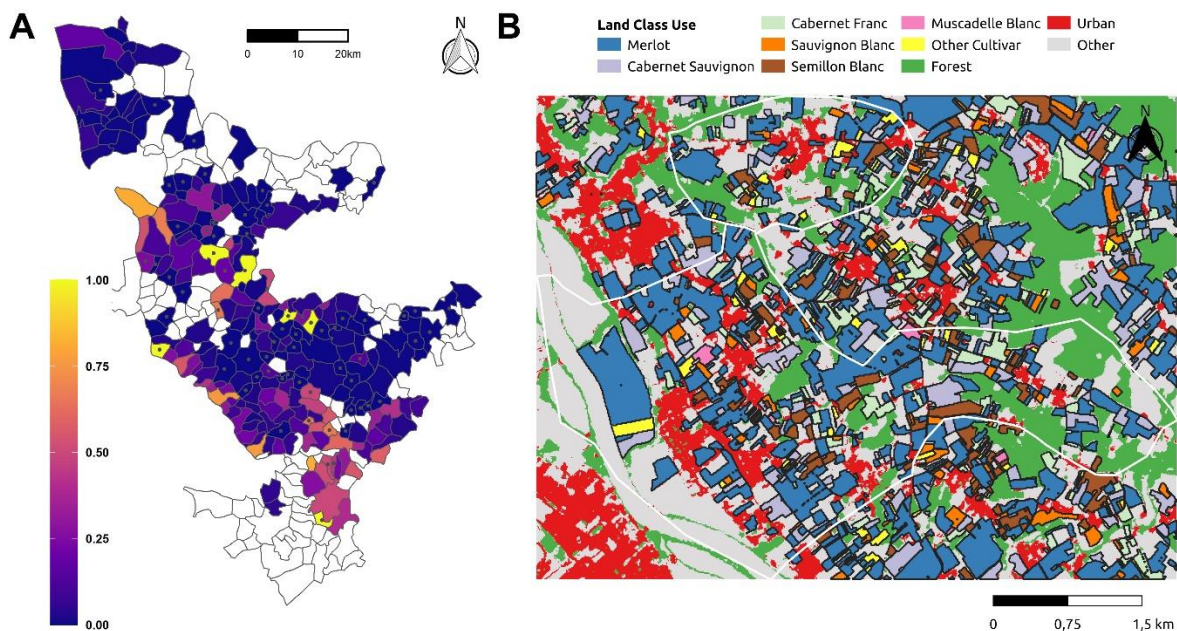


Figure 1 : Données de prospection de la Flavescence dorée (FD) à l'échelle régionale et paysagère. **A :** Carte de la zone d'étude dans le Bordelais. La carte montre les limites des 347 communes suivies par le GDON des Bordeaux. L'échelle de couleur indique la prévalence de détection de la FD dans les 239 communes prospectées de 2012 à 2016. Les communes non prospectées sont représentées en blanc et celles comptant moins de 10 parcelles prospectées signalées par un point. **B :** Carte extraite du SIG développée illustrant, sur quelques communes délimitées par une bordure blanche, les parcelles de vigne, classées selon leur cultivar (sept niveaux) ainsi que trois catégories d'occupation du sol (forêt, urbanisée, autre).

Une fois ce SIG constitué et consolidé, nous avons mis œuvre une démarche de modélisation statistique visant à identifier des facteurs reliés au 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. Notre objectif était en effet dans ce travail de rechercher des variables explicatives du risque d'infection parcellaire en condition « naturelle » d'épidémie. La FD a été détectée dans 7.5% des 34581 parcelles retenues dans notre étude (Figure 1A). Pour chaque parcelle, nous avons renseigné 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.

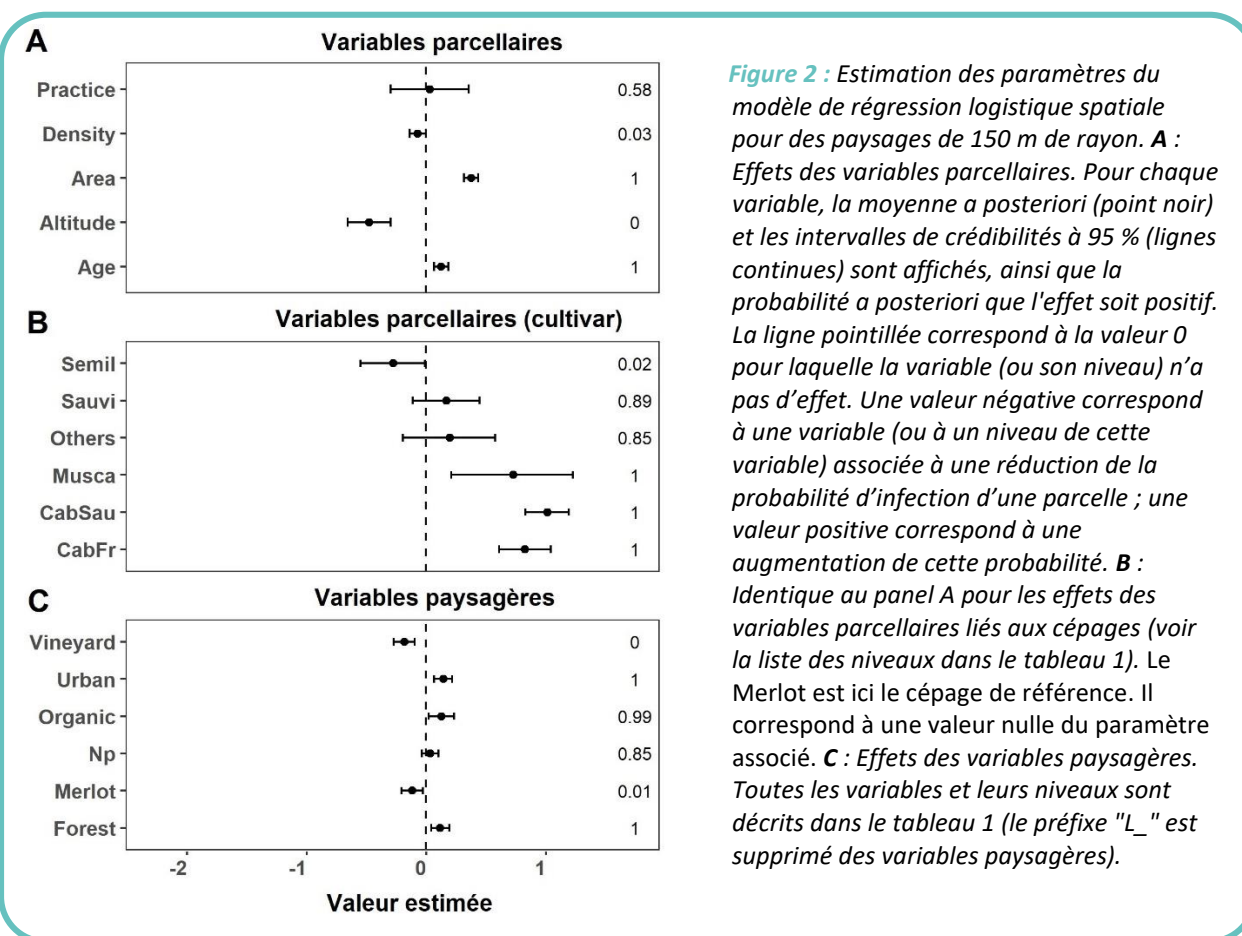
Tableau 1 : Description des variables explicatives utilisées pour caractériser les parcelles et le paysage alentour. Les variables paysagères sont calculées ici dans des cercles de 150 m de rayon centrés sur chaque parcelle. Elles caractérisent la composition du paysage et sa complexité. Pour les variables qualitatives, le nombre de niveaux est indiqué ; pour les variables quantitatives, la valeur moyenne et l'écart-type sont calculés pour l'ensemble des 34581 parcelles étudiées.

Echelle	Variable	Description	Moy (sd) / Niveaux
Parcelle	Area	Surface de la parcelle (ha)	0.76 (0.77)
	Year	Année de première prospection (2012 à 2016)	5 niveaux
	Season	Saison de prospection (Eté/Automne)	2 niveaux
	Practice	Pratique culturale (Biologique/Conventionnelle)	2 niveaux
	AOC	Appellation d'Origine Contrôlée	6 niveaux ^A
	Age	Age de la parcelle (ans)	23 (14)
	Cultivar	Cépage	7 niveaux ^B
	Density	Densité de plantation (pieds par ha)	4131 (1008)
	Altitude	Altitude de la parcelle (m)	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 parcelles en agriculture biologique	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)

^A les 6 niveaux sont des regroupements d'AOC : AOC1 (Côtes de Bordeaux Saint-Macaire), AOC2 (Premières Côtes de Bordeaux), AOC3 (Loupiac, Sainte-Croix-du-Mont et Graves supérieures), AOC4 (Fronsac et Canon Fronsac), AOC5 (Côtes de Bordeaux Blaye) et AOC6 (Bordeaux). ^B les 7 niveaux sont : Merlot, Cabernet-sauvignon, Cabernet-franc, Muscadelle, Sauvignon, Semillon and Autre cépage.

Notre analyse souligne à la fois l'importance des variables locales et du contexte paysager. Les effets des facteurs parcellaires, qui décrivent les caractéristiques physiques et les pratiques culturales, sont toutefois les plus forts. Ainsi, l'altitude, l'âge de la parcelle et son cépage sont les principaux facteurs affectant l'infection par la FD (Figure 2AB). En particulier, le risque relatif (tel qu'appréhé par les rapports des cotes estimés dans notre étude) de l'infection par la FD dans les parcelles cultivées avec les cépages Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc ou Muscadelle était environ deux fois plus élevé que dans celles 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 risque relatif 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. Le risque relatif de détecter la FD est quatre fois plus faible en été (juillet-août) qu'en automne (septembre-octobre). Cette tendance se retrouve sur un pas de temps hebdomadaire entre la deuxième semaine d'août et la troisième d'octobre (Figure 3A). Cet effet était attendu, l'expression des symptômes de la FD se renforçant à l'approche des vendanges. Sa force plaide toutefois en faveur de la réalisation d'un maximum de prospection en septembre.

L'infection des parcelles est également affectée par leur environnement proche (dans un cercle de 150 m à 200 m de rayon), correspondant à des paysages de 7 à 12 ha (Figure 2C). 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 (lisières de forêt, friches péri-urbaines) ou cultivées (jardins en zone urbaine), possibles 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 s'expliquer 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 décroît lorsque la proportion de Merlot au sein du vignoble augmente. Cet effet, médié par la moindre sensibilité du Merlot à la FD, démontre que la composition du paysage variétal a un impact sur l'épidémiologie de la maladie (Figure 3B).



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 la probabilité qu'une parcelle soit infectée 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 telle par le modèle, est de 50%. Ainsi, en aidant à cibler des zones à prospecter de façon prioritaire, le modèle pourrait devenir un outil supplémentaire à disposition des experts du GDON des Bordeaux.

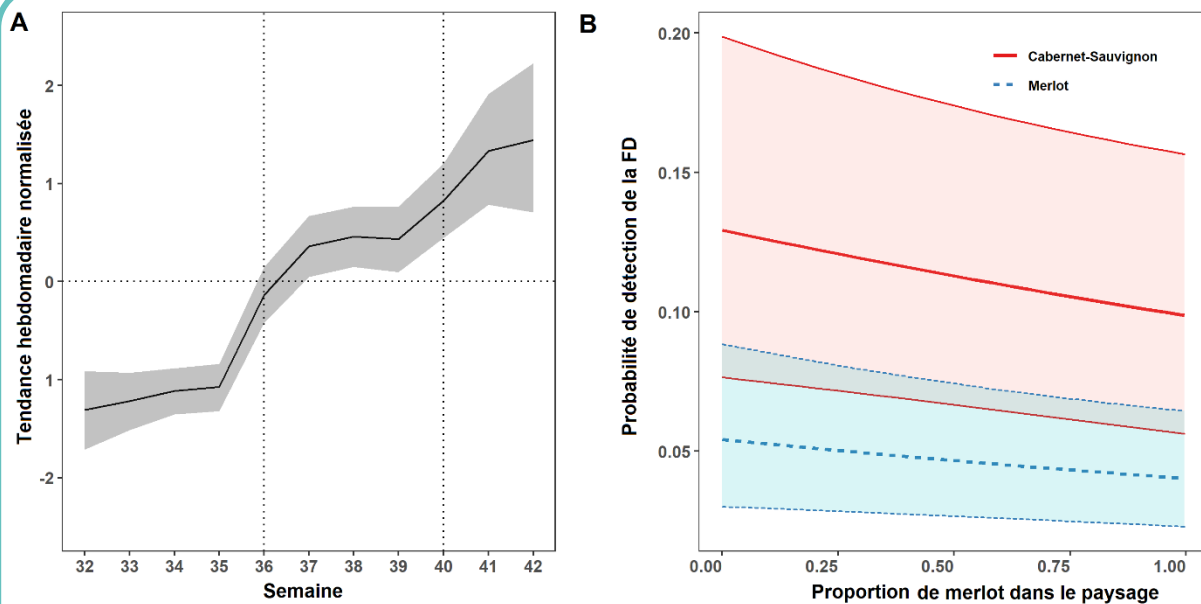


Figure 3. A : Effet de la semaine de prospection sur la probabilité de détection de la FD. La courbe montre l'effet hebdomadaire normalisé moyen (de la semaine 32, deuxième semaine d'août, à la semaine 42, troisième semaine d'octobre) ainsi qu'une enveloppe de crédibilités à 95%. **B** : Effet de la proportion de Merlot au sein des parcelles viticoles du paysage sur la probabilité de détection de la FD dans des parcelles de Merlot ou Cabernet Sauvignon conduites avec des pratiques conventionnelles. La courbe montre la probabilité moyenne ainsi qu'une enveloppe de crédibilités à 95%.

Ces travaux de modélisation se poursuivent dans le projet CO-ACT2 du PNDV au sein duquel nous travaillons, en collaboration avec la Plateforme d'Epidémiosurveillance en Santé Végétale et les partenaires régionaux, 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 en prenant en compte la dimension temporelle des dynamiques épidémiques, quand les modèles utilisés ici estiment uniquement des cartes de risque statiques.

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 disposition des données de prospection mais aussi pour leurs retours toujours très constructifs et leur incomparable expérience du terrain.

Référence : Adrakey HK., Malembic-Maher S., Rusch A., Ay JS., Riley L., Ramalanjaona L. and Fabre F. 2022. Field and landscape risk factors impacting Flavescence dorée infection : Insights from spatial Bayesian modelling in the Bordeaux vineyards. *Phytopathology*, 112: 1686-1697.

<https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-21-0449-R>