



**HAL**  
open science

# Création et analyse d'un système d'information géographique des foyers de flavescence dorée dans le vignoble bordelais

Lovasoia Ramalanjaona

## ► To cite this version:

Lovasoia Ramalanjaona. Création et analyse d'un système d'information géographique des foyers de flavescence dorée dans le vignoble bordelais. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02388891

**HAL Id: dumas-02388891**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02388891>**

Submitted on 14 Oct 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année universitaire :2018.- 2019.

Spécialité/Mention :

Horticulture.....

Spécialisation/Parcours :

AGROGER.....

### Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

## Création et analyse d'un système d'information géographique des foyers de flavescence dorée dans le vignoble Bordelais

Par : Lovasoa RAMALANJAONA



**Soutenu à Bordeaux Sciences Agro**

**le 27 Septembre 2019**

**Devant le jury composé de :**

Président : Lucia GUERIN

Maître de stage : Frédéric FABRE

Enseignant référent : Lucia GUERIN

Autres membres du jury

Brice GIFFARD – Enseignant BSA

Philippe BLONDEAU – Développement

Julia CLAUSE – Recherche

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»

disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>





MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE des SCIENCES AGRONOMIQUES de  
BORDEAUX  
AQUITAINE  
1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex (1)

M E M O I R E de fin d'études  
pour l'obtention du titre  
d'Ingénieur d'Agrocampus Ouest

Création et analyse d'un système d'information  
géographique des foyers de flavescence dorée dans le  
vignoble Bordelais

*RAMALANJAONA Lovasoa*

**Spécialisation : Agroécologie et GEstion des Ressources (AGROGER)**

**Étude réalisée à : INRA Bordeaux – Aquitaine, UMR Santé et Agroécologie  
du Vignoble (SAVE). 71 avenue Edouard Bourlaux, BP 81  
33883 Villenave d'Ornon cedex**

The French Ministry of Agriculture, Agrifood and Forestry

**NATIONAL SCHOOL of AGRICULTURAL SCIENCES and ENGINEERING,  
BORDEAUX AQUITAINE**

**1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex, France**

**MASTER THESIS**

**Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of  
Agricultural Engineer, Agrocampus Ouest**

**Creation and analysis of a geographical information  
system of Flavescence Dorée focuses in the Bordelais  
vineyard**

**RAMALANJAONA Lovaso**

**Specialisation : Agroécologie et GEstion des Ressources (AGROGER)**

**Study completed at: INRA Bordeaux – Aquitaine, UMR Santé et  
Agroécologie du Vignoble (SAVE). 71 avenue Edouard Bourloux, BP 81  
33883 Villenave d'Ornon cedex**

# Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué au bon déroulement de ce stage et à la rédaction de ce mémoire de fin d'étude. Ce présent rapport est l'aboutissement d'un travail de six mois, très enrichissant et professionnalisant, durant lequel j'ai pu acquérir de nouvelles connaissances et compétences, mais également rencontrer de nouvelles personnes, qui m'ont accompagnées, soutenues et conseillées.

Pour commencer, je remercie mes encadrants de stage Frédéric Fabre et Sylvie Malembic-Maher pour la confiance qu'ils m'ont témoignée durant ce stage. Je les remercie également pour leur écoute, disponibilité et conseils qu'ils m'ont apportés sur toute la durée du stage et pour la rédaction du mémoire.

Je tiens également à remercier Adrien Rusch, co-encadrant, pour l'aide et les conseils apportés durant ce stage.

Un grand merci à l'équipe du GDON, en particulier Sophie Bentejac et Morgane Le Goff pour l'aide et le temps accordé pour répondre à mes nombreuses questions.

Mes remerciements vont également à la FREDON de Bourgogne, en particulier à Sylvie Jacob et Solène Dubuisson pour leur accueil lors de mon séjour en Bourgogne, ainsi que leur disponibilité pour répondre à mes interrogations.

Je remercie également Lucie Michel, Marie Grosdidier, Marine Marjou et Olivier Martin, pour ces moments de partage et de discussion autour des méthodes de création et d'analyse de base de données.

Je remercie tout le personnel de l'UMR SAVE et de l'UMR BFP pour leur accueil chaleureux, leurs conseils, et le partage de connaissances.

Enfin, je remercie tous les stagiaires pour les moments passés ensemble, aussi bien à l'INRA qu'en dehors, sans qui le stage n'aurait pas été pareil.



# Table des matières

Introduction .....	1
Etat de l'art .....	3
I.  La Flavescence dorée de la vigne.....	3
1.  Origine et répartition de la FD.....	3
2. <i>Scaphoideus titanus</i> : cicadelle vectrice du phytoplasme de la FD.....	4
3.  Cycle de la flavescence dorée.....	6
II.  Moyens de lutte actuels .....	8
1.  Cadre règlementaire.....	9
2.  Organismes de surveillance de la flavescence dorée.....	10
III.  Epidémiologie spatiale et temporelle .....	11
IV.  Statistiques spatiales .....	12
1.  Un outil de base en géostatistique : Le variogramme.....	12
2.  Les modèles de régression classique .....	13
3.  Les modèles de régression spatiale explicite.....	13
Matériels et méthodes.....	14
I.  Obtention des données de prospection du GDON des Bordeaux.....	14
1.  Protocole de prospection du GDON .....	14
2.  Données de prospection.....	15
II.  CVI .....	15
1.  Données du CVI .....	15
2.  Réorganisation du CVI en sous-CVI.....	16
III.  Compilation des données et création de la base de données .....	17
1.  Harmonisation des données de prospection.....	17
2.  Fusion des années de prospection du GDON .....	17
IV.  Fusion des données GDON avec le CVI .....	18
V.  Intégration des facteurs du paysage.....	19
VI.  Nombre de traitements insecticides .....	20
VII.  Analyses spatiales.....	21

Résultats .....	25
I. Informations de la base de données.....	25
1. Données brutes GDON.....	25
2. Fusion des années GDON.....	26
3. Fusion des données GDON et du CVI.....	28
4. Contrôle de la correspondance des couleurs des cépages entre les données du GDON et du CVI.....	28
II. Visualisation de la base de données .....	28
III. Résultats de la modélisation statistique .....	34
1. Autocorrélation spatiale.....	34
2. Effets des variables explicatives sur la présence de FD .....	35
3. Ajustement du modèle aux données de prévalence de la FD .....	36
Discussion .....	37
I. Qualité et fiabilité des données .....	37
1. Données de prospection GDON .....	37
2. Hétérogénéité des notations des données GDON.....	38
3. Données du CVI .....	38
II. Effets variables explicatives sur la présence de FD .....	40
1. Autocorrélation spatiale.....	40
2. Effets des variables locales.....	40
3. Effet des variables paysagères .....	41
III. Perspectives .....	42
1. Création des buffers paysagers .....	42
2. Autres variables explicatives .....	42
3. Elaboration de cartes de risques pour optimiser la prospection .....	43
Conclusion.....	44
Bibliographie.....	46
Annexes.....	51
Annexe i : Fréquence des cépages du CVI.....	51
Annexe ii : Explication détaillée de la fusion des années de prospection GDON.....	51

Annexe iii : Carte du nombre de parcelles infectées par commune lors de leur première prospection.....	53
--	----

**Liste des figures :**

Figure 1 : Distribution de la cicadelle <i>S titanus</i> et des épidémies de FD en Europe. (Jeger et al. 2016).....	4
Figure 2 : Cycle de vie de <i>Scaphoideus titanus</i> .....	5
Figure 3 : Schéma du cycle de la maladie (Boudon-Padieu, 2015) .....	7
Figure 4 : Extrait du CVI brut de 2016, pour la commune d'Abzac, dans le bordelais.....	16
Figure 5 : Extrait du sous-CVI de 2012, pour la parcelle cadastrale « 330010000B1236 »....	17
Figure 6: Illustration des parcelles de 2017 de type polygone et des parcelles de 2016 de type centroïde pour la fusion de ces deux années.(Source : GDON des Bordeaux).....	18
Figure 7 : Non superposition des parcelles cadastrales du CVI avec les parcelles culturelles du GDON. ....	19
Figure 8 : Statut de prospection des parcelles GDON chaque année, à partir des données brutes du GDON .....	25
Figure 9 : Nombre de parcelles infectées et prospectées par an, à partir des données brutes du GDON. ....	25
Figure 10 : Nombre de parcelles dans la base GDON chaque année, après fusion des six SIG. ....	26
Figure 11 : Causes de la perte d'information concernant des parcelles lors de la fusion des SIG GDON. A : Parcelle d'une année n n'étant plus dessinée dans la base fusionnée. B : Causes géométriques des parcelles.....	27
Figure 12 : Nombre de parcelles infectées lors de la première prospection, après fusion des six SIG du GDON.....	27
Figure 13 : Proportion de flavescence dorée par commune .....	30
Figure 14 : Variogrammes empirique et théorique sur les cas de première détection de la FD dans les parcelles. Le variogramme théorique (ligne rouge) ajustée au variogramme empirique (point noir) est un variogramme sphérique avec un seuil (c'est-à-dire sa valeur maximale à grande distance) de 0.018 et une portée (c'est-à-dire la distance à laquelle le seuil est atteint) de 37.4 km.....	31
Figure 15: Représentation des résultats d'analyse à la flavescence dorée des parcelles, de 2012 à 2017 .....	32
Figure 16 : Représentation des cépages des parcelles, en 2014.....	33

Figure 17 : Variogrammes empirique et théorique sur les résidus de Pearson issus de l'analyse des données avec des glm classique (en noir – seuil = 0.19; portée = 30) et spatialement explicite (en rouge – seuil = 0.08 ; portée = 4.5). .....	34
Figure 18 : Représentation des résidus du glm classique dans le territoire du Gdon des Bordeaux. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes agrégées à l'échelle des communes.....	34
Figure 19 : Représentation des résidus du glm spatialement explicite dans le territoire du Gdon des Bordeaux. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes agrégées à l'échelle des communes.....	35
Figure 20: Relation entre les prévalences observées de la FD (agrégées à l'échelle des communes) et ces mêmes valeurs ajustées par le modèle. Ne sont retenues ici que les communes pour lesquelles nous disposons de plus de 5 observations parcellaires (206 communes).....	36

### Liste des tableaux :

Tableau 1 : Stratégies de lutte contre le vecteur <i>S. titanus</i> dans le GDON des Bordeaux. ....	10
Tableau 2 : Variables explicatives à l'échelle de la parcelle .....	22
Tableau 3 : Variables explicatives à l'échelle du paysage. Toutes les métriques paysagères sont calculées dans un rayon de 1 km autour de la parcelle GDON.....	23
Tableau 4 : Perte d'information de certaines parcelles après fusion des SIG du GDON. ....	26
Tableau 5 : Nombre de parcelles ayant une information du CVI.....	28
Tableau 6 : Matrice de confusion des cépages entre le GDON et le CVI.....	28
Tableau 7 : Estimation de l'effet des paramètres locaux et paysagers avec la méthode R-INLA spatialement explicite.....	35

# Liste des abréviations

AIC : Akaike Information Criterion

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

CAVB : Confédération des Appellations et de Vignerons de Bourgogne

CESBIO : Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère

CVI : Casier Viticole Informatisé

DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

EVV : Entreprise Viti-Vinicole

FD : Flavescence Dorée

FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

GDON : Groupement de Défense contre les Organismes Nuisibles

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

PLO : Périmètre de Lutte Obligatoire

RPG : Registre Parcellaire Graphique

SAU : Surface Agricole Utile

SIG : Système d'Information Géographique

SRAL : Service Régional de l'Alimentation

SVJ : Société de Viticulture du Jura



# Introduction

L'utilisation massive de produits phytosanitaires en agriculture est aujourd'hui bien connue comme ayant de nombreux impacts sur l'environnement et sur la santé. La France est actuellement le premier pays européen consommateur de produits phytosanitaires, et troisième à l'échelle mondiale (Aubertot et al. 2005). La France a ainsi mis en place le plan Ecophyto 2, suite à l'échec du plan Ecophyto 1, dans le but de diminuer la consommation en produits phytosanitaires de 25% d'ici 2020 et de 50% d'ici 2050.

Ce plan Ecophyto 2, et la volonté de diminuer l'utilisation de pesticides, ont notamment permis le développement de plateformes d'épidémiosurveillance, dans le but de suivre l'évolution des maladies et pathogènes aussi bien dans l'espace que dans le temps. En effet, les maladies épidémiques peuvent avoir des impacts économiques très importants.

Ainsi, les études d'épidémiologie permettent d'étudier et de comprendre comment se réalise la transmission d'agents pathogènes entre les individus hôtes dans le but de prévoir de futures épidémies ainsi que leur envergure dans le temps et dans l'espace (Guegan et Choisy 2009). La surveillance est par conséquent une activité indispensable. Elle permet tout d'abord d'observer la présence précoce d'un nouveau risque épidémique sur le territoire, et de ce fait, de prendre des mesures afin de gérer un potentiel risque dans de courts délais. Par ailleurs, les données ainsi récoltées sont une source d'information précieuse pour mieux caractériser l'agent pathogène et son épidémiologie.

Dans le domaine agricole, les épidémies sont majoritairement des maladies transmissibles, dont la transmission de l'agent pathogène d'un individu infecté à un individu sain fait intervenir des vecteurs de nature très variés, aussi bien abiotique (eau, vent, machines agricoles) que biotique (insecte notamment) (Rapilly 1991). Dans le cas d'insecte vecteur, comme pour la flavescence dorée de la vigne, il est ainsi essentiel d'étudier les interactions entre l'agent pathogène, le vecteur, et la vigne afin de mieux comprendre les processus écologiques qui, à différentes échelles, sont favorables à la propagation de la maladie.

La flavescence dorée (FD) est une maladie de la vigne, classée maladie de quarantaine. Elle est ainsi soumise à une lutte obligatoire sur le territoire français stipulée par l'arrêté ministériel du 19 décembre 2013 à l'échelle nationale, et à une échelle régionale par arrêtés

préfectoraux, réalisés par les SRAL<sup>1</sup> et DRAAF<sup>2</sup> et mise en œuvre avec l'aide des FREDON<sup>3</sup>. La lutte contre la flavescence dorée passe principalement par l'implantation d'un matériel végétal sain, par la gestion des cicadelles vectrices de la maladie au moyen d'insecticides, et par l'arrachage systématique des pieds de vigne contaminés.

La volonté d'acquérir davantage de connaissances afin de mieux prévoir et mieux gérer les risques liés à la flavescence dorée a permis l'émergence du projet Co-Act : « Les connaissances en action contre le dépérissement du vignoble. Risques biologiques, Sensibilités Variétales et Organisations de Gestion de la Flavescence dorée » ; coordonné par l'INRA de Bordeaux. Ce projet, d'une durée de 39 mois, vise à mieux évaluer les risques biologiques dans le but d'optimiser les stratégies de gestion de la flavescence dorée.

C'est dans le cadre de ce projet que s'insère ce stage de fin d'étude. Son but est de créer et d'analyser un système d'information géographique (SIG) des foyers de flavescence dorée dans le vignoble Bordelais et Bourguignon. Seul le cas du vignoble Bordelais sera présenté dans ce rapport. La réalisation de cette base de données implique de jongler avec des données provenant de sources différentes. Les objectifs de ce stage sont donc de : 1) créer un SIG regroupant les données épidémiologiques disponibles, dans le bassin viticole bordelais de 2012 à 2017 ; 2) garantir la qualité et de fiabilité de la base de données, 3) d'identifier, par l'analyse statistique, des facteurs de risque épidémique.

La première partie de ce rapport sera dédiée aux connaissances disponibles qui découlent de la problématique. En effet, nous verrons comment la flavescence dorée se propage, les stratégies de lutte mises en place actuellement, mais également la diversité des approches de statistiques et de modélisation mobilisables pour traiter des données épidémiques. La partie suivante décrira le matériel et méthode mis en place afin de créer la base de données SIG et de permettre son analyse. La troisième partie détaillera les résultats obtenus. Enfin, la dernière partie permettra d'interpréter et de discuter sur ces résultats, avant de conclure.

---

<sup>1</sup> Service Régional de l'Alimentation

<sup>2</sup> Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

<sup>3</sup> Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

# Etat de l'art

## I. La Flavescence dorée de la vigne

La flavescence dorée de la vigne est due à un phytoplasme, bactérie sans paroi appartenant à la classe des Mollicutes habitant dans le phloème des plantes, dans lequel circule la sève élaborée. Le phytoplasme de la FD est transmis de vigne à vigne par l'intermédiaire d'un insecte vecteur, la cicadelle *Scaphoideus titanus* qui, en prélevant la sève élaborée d'une plante infectée, deviendra infectieuse et transmettra le phytoplasme à de nouvelles vignes. Il peut également être transmis par la greffe d'une plante infectée sur une plante saine. Le phytoplasme de la flavescence dorée est un parasite obligatoire, et de ce fait, ce dernier dépend de l'insecte vecteur ou de la plante-hôte pour se multiplier. Il existe trois groupes de souches de flavescence dorée : FD1, FD2 et FD3 (Arnaud et al. 2007).

### 1. Origine et répartition de la FD

L'apparition de la flavescence dorée en Europe serait due au transfert de phytoplasmes génétiquement très proches de souches de la flavescence dorée et déjà présents en Europe, depuis le compartiment non cultivé, à la vigne cultivée *Vitis vinifera*, par l'intermédiaire d'insectes vecteurs occasionnels, autres que la cicadelle *S. titanus* (Arnaud et al. 2007). L'introduction de cette dernière depuis les Etats-Unis aurait ensuite permis au phytoplasme de se propager de vigne en vigne (Caudwell 1983). La cicadelle *Oncopsis alni* est ainsi capable de transmettre des phytoplasmes de l'aulne proches des phytoplasmes FD (Maixner et al. 2000) à la vigne de manière accidentelle. Des phytoplasmes des groupes génétiques FD1, FD2 et FD3 ont été identifiés dans différents ligneux comme les aulnes, les noisetiers et les saules (Malembic-Maher et al. 2009; Casati et al. 2017), la cicadelle *Orientalus ishidae* semble capable de les transférer vers la vigne (Lessio et al. 2016). Enfin, un phytoplasme identique à la souche FD3 a été retrouvé dans les clématites *Clematis vitalba*, et le fulgore *Dictyophara europaea* peut les transmettre à la vigne (Filippin et al. 2009).

La maladie est caractérisée par un changement de coloration des feuilles, qui deviennent jaunes ou rouges selon le cépage ; un enroulement des feuilles, un dessèchement des inflorescences et des grappes, ainsi que l'absence de lignification des nouvelles pousses (Caudwell 1990). Sa détection reste néanmoins difficile puisque les symptômes qui la caractérisent peuvent être provoqués par d'autres phytoplasmes, comme celui du bois noir, non épidémique sur vigne. Seul le diagnostic moléculaire permet de différencier les deux maladies (Pelletier et al. 2009). La maladie de la flavescence dorée a été identifiée pour la première fois sur la vigne en Armagnac au début des années 50, mais sur un nombre de ceps restreint, ces

derniers étant regroupés sur une petite zone géographique (Caudwell 1957). La maladie s'est ensuite propagée en Languedoc-Roussillon, Aquitaine, Charente, Rhône-Alpes, PACA, et en Bourgogne causant d'importants foyers et la perte conséquente de vigne. Elle est également présente dans d'autres pays du sud de l'Europe, comme en Italie (dès 1975), Espagne (1996), Serbie (2002), Suisse (2004), Portugal (2005), Slovénie (2008), Hongrie ou encore la Roumanie (Boudon-Padieu 2015; Jeger 2016).

## 2. *Scaphoideus titanus* : cicadelle vectrice du phytoplasme de la FD

### a) Origine et répartition

Suite aux importants dégâts causés par la flavescence dorée dans les années 50, de nombreuses études ont été menées afin d'identifier le vecteur à l'origine de la transmission de la maladie. Elles ont mené à la découverte de la cicadelle *S. titanus* dans des vignobles du Sud-Ouest de la France en 1958 (Bonfils et Schvester 1960). Sa présence résulterait de l'introduction

par importation de matériel végétal des Etats-Unis pour faire face au Phylloxera (Granett et al. 2001; Chucho et Thiéry 2014). La cicadelle s'est ensuite progressivement propagée dans

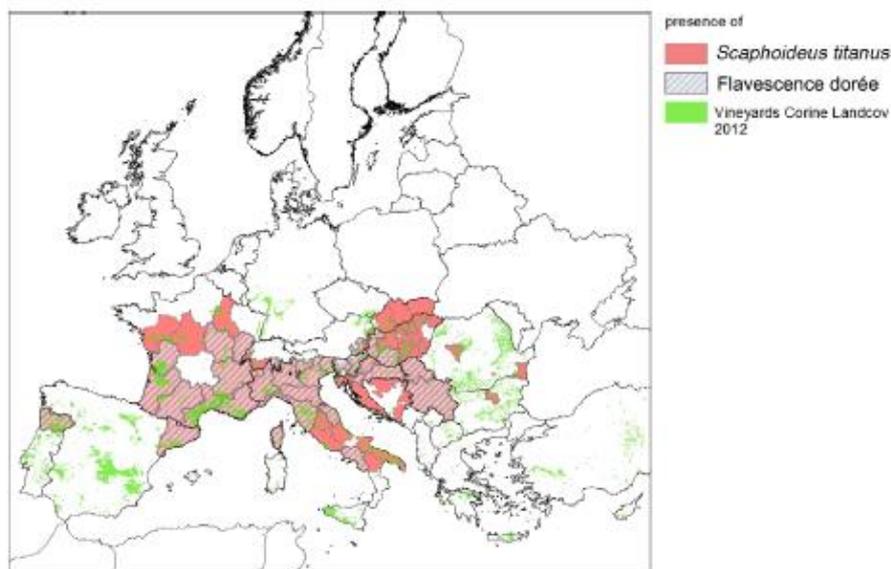


Figure 1 : Distribution de la cicadelle *S. titanus* et des épidémies de FD en Europe. (Jeger et al. 2016)

différents pays européens, comme le montre la Figure 1. Cette propagation serait principalement due aux activités humaines, notamment au commerce de boutures de vigne (Papura et al. 2009). La faible diversité génétique des populations européennes par rapport aux populations américaines indiquerait que la présence massive de la cicadelle *S. titanus* en Europe serait liée à une seule introduction (Bertin et al. 2007; Papura et al. 2012).

*S. titanus* est présente dans les régions où les conditions climatiques lui sont favorables : des zones où la saison chaude est suffisamment longue afin qu'elle puisse effectuer l'ensemble de son cycle de développement et pondre, et des hivers suffisamment froids et longs afin que

les œufs soient en diapause et puissent ensuite éclore (Chuche 2010). Ainsi, sa distribution au Nord et au Sud de l'Europe reste restreinte.

## b) Cycle de développement

*S. titanus* effectue la totalité de son cycle de développement sur la vigne, et réalise une seule génération par an : il s'agit ainsi d'une espèce univoltine. Les cicadelles adultes pondent sous l'écorce des bois de vignes de plus d'un an, à la fin de l'été, vers septembre-octobre. Les œufs entament ensuite une diapause hivernale pendant 6 à 8 mois, et éclosent fin mai. La dynamique d'éclosion dépend des conditions climatiques et donc de l'altitude, de la latitude et de la température des vignobles, mais l'exposition à des températures négatives n'est pas obligatoire (Chuche et Thiéry 2012). Se succèdent ensuite cinq stades larvaires nymphaux pendant environ 7 à 8 semaines en France (Boudon-Padieu 2000; Vidano 1964) avant d'arriver au stade adulte en été (Figure 2).

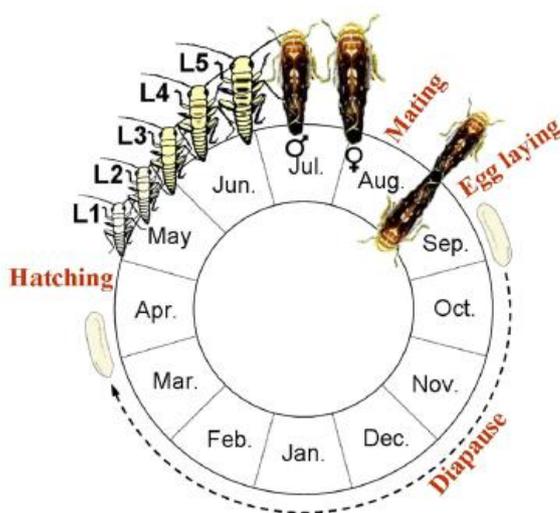


Figure 2 : Cycle de vie de *Scaphoideus titanus*

## c) Interactions *Scaphoideus titanus*/Vitis

En Europe, la cicadelle *S. titanus* se trouve principalement sur *Vitis vinifera*, les greffons des vignes cultivées. Pourtant, en Amérique du Nord, zone d'origine de la cicadelle, cette dernière s'observe davantage dans les vignes sauvages tels que *Vitis labrusca* et *Vitis riparia*, plutôt que dans les vignes cultivées (Maixner et al. 1993; Beanland et al. 2006; Chuche et Thiéry 2014). La cicadelle *S. titanus* a également été observée, mais de manière occasionnelle, sur *Salix viminalis* et *Prunus persica*, situés à proximité des vignes ; mais également dans des forêts, prairies, vergers et marais (Hill et Sinclair 2000). La cicadelle *S. titanus* effectue ainsi la totalité de son cycle sur la vigne, mais peut aller se nourrir sur d'autres plantes, celles-ci n'étant pas forcément un réservoir à vecteurs.

En Europe, cette préférence pour les *Vitis* américains est également observée. En effet, les vignes abandonnées et ensauvagées qui sont souvent des repousses de porte-greffes américains représentent des réservoirs de vecteurs. Les niveaux de population de *S.titanus* sont souvent plus importants qu'en vigne cultivée. En effet, ces zones sont dépourvues de traitements insecticides. Situées à proximité de vignes cultivées et traitées, elles représentent un risque d'infection, puisque les cicadelles peuvent se déplacer des vignes non traitées sauvages aux vignes cultivées traitées, pouvant ainsi propager le phytoplasme de la flavescence dorée, si la zone non traitée est infectée (Pavan et al. 2012; Lessio et al. 2014).

De plus, il semblerait que le cépage ait une influence sur le niveau de population de la cicadelle *Scaphoideus titanus* (Schvester et al. 1962), sachant que les cépages n'ont pas tous la même sensibilité à la flavescence dorée. Par exemple, les cépages Cabernet-Sauvignon, Chardonnay, Sauvignon et Sémillon seraient plus sensibles à la flavescence dorée que le Cabernet franc, ou que le Merlot (Boudon-Padieu 2000; Eveillard et al. 2016).

### 3. Cycle de la flavescence dorée

#### a) Interaction *Vitis/Scaphoideus titanus*/phytoplasme

La cicadelle *S. titanus* acquiert le phytoplasme lorsque celle-ci se nourrit sur une vigne infectée. L'acquisition du phytoplasme peut se faire à n'importe quel stade de développement de la cicadelle (Boudon-Padieu et Larrue 1986); cette dernière restera ensuite infectée à vie. Une fois que l'insecte a acquis le phytoplasme, ce dernier se multiplie et se propage dans le corps du vecteur et principalement dans les glandes salivaires. Les glandes sexuelles, elles, ne sont pas touchées par les phytoplasmes, la descendance n'est donc pas infectée par le phytoplasme de la flavescence dorée. Cette phase de multiplication du phytoplasme dans la cicadelle correspond à une période de latence, qui dure 30 jours, durant laquelle l'insecte ne peut transmettre le phytoplasme (Beanland et al. 2006). Le phytoplasme cause chez le vecteur une diminution de la durée de vie, ainsi que la fécondité et fertilité des femelles (Bressan et al. 2005).

En été, les cicadelles *S. titanus* infectées inoculent les vignes et leur transmettent le phytoplasme de la flavescence dorée. Il colonise les feuilles par l'intermédiaire du phloème, c'est l'incubation. Les symptômes de jaunisses n'apparaissent au minimum que l'été suivant, soit un an après (Schvester et al. 1969). Ces plantes infectées, mais asymptomatiques l'année n représentent une source d'inoculum par les vecteurs pour la propagation de la maladie dès le début de l'année n+1 (Figure 3).

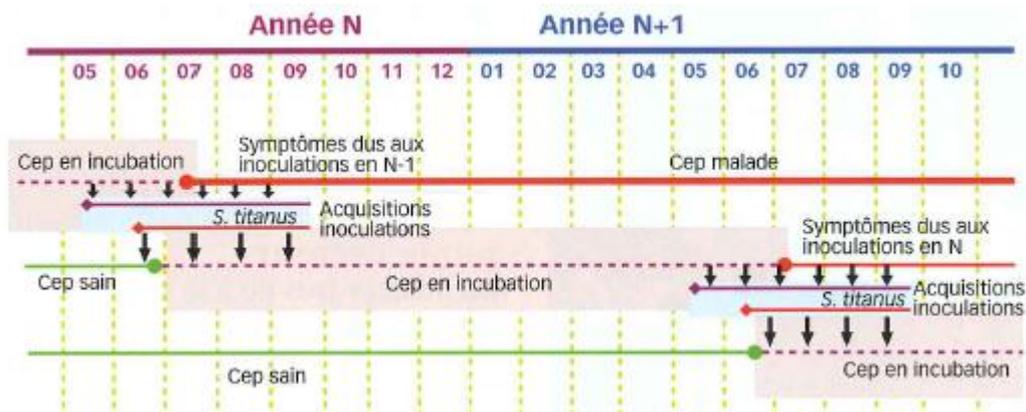


Figure 3 : Schéma du cycle de la maladie (Boudon-Padieu, 2015)

### b) Facteurs influençant les dynamiques de la maladie

D'après la bibliographie citée précédemment, il existe de nombreux facteurs jouant sur les dynamiques de la maladie, dans le temps comme dans l'espace.

La densité de vecteurs *S. titanus* à une année n influence le taux d'infection l'année n+1 (Morone et al. 2007). Cette densité de vecteurs dépend elle-même de la présence de plantes hôtes jouant le rôle de réservoirs, comme les vignes abandonnées ou ensauvagées, non traitées, où les densités de population peuvent être très importantes. D'ailleurs, la densité de vecteurs diminue avec la distance depuis le compartiment sauvage. Par ailleurs, elle dépend également du cépage mais également de l'année de plantation des ceps, et surtout des traitements insecticides réalisés ou non.

La dispersion des *S. titanus* est également un élément jouant sur les dynamiques de flavescence dorée, puisque c'est en se déplaçant de cep en cep que le vecteur permet la propagation de la maladie. L'activité de vol des cicadelles dépend de la photopériode. Le pic d'activité de vol est réalisé entre la fin d'après-midi et le crépuscule (Lessio et Alma 2004). De plus, la densité de plantation des ceps ainsi que la structure de la canopée sont des facteurs jouant sur les mouvements du vecteur, qui a tendance à se déplacer le long des rangs, plutôt qu'entre les rangs (Lessio et Alma 2004). La portée de déplacement est en moyenne de 200 mètres, mais peut tout de même monter jusqu'à 300 mètres (Lessio et Alma 2004; Lessio et al. 2011). Le vecteur se déplace préférentiellement dans la vigne, et peut se déplacer depuis les vignes sauvages vers les vignes cultivées.

Le taux de contamination dépend aussi de la sensibilité des cépages au phytoplasme de la flavescence dorée. En effet, pour les cépages très sensibles à la flavescence dorée, comme le Cabernet-Sauvignon par exemple, les phytoplasmes sont beaucoup plus présents et circulent dans toute la plante tandis que pour les cépages moins sensibles comme le Merlot, la

concentration de phytoplasmes est plus faible et est principalement limitée à la zone d'inoculation (Eveillard et al. 2016). De plus, il existe une corrélation positive entre la concentration de phytoplasmes dans un cep contaminé, et l'efficacité d'acquisition du phytoplasme par le vecteur sur ce cep. En effet, plus il y a de phytoplasmes dans une plante, plus l'acquisition du phytoplasme par le vecteur sur cette plante est efficace (Galetto et al. 2014).

Des réservoirs de phytoplasmes, comme les vignes ensauvagées ou abandonnées, situées à proximité des parcelles de vignes cultivées ; ou la présence de pieds infectés au sein même de la parcelle, pourraient augmenter le taux de contamination. En effet, la présence de ceps infectés au sein d'une parcelle de vigne, relativement dispersés les uns des autres, serait le résultat d'une première infection pouvant être due à l'arrivée de vecteurs infectés. A l'inverse, une forte agrégation des ceps infectés dans une parcelle serait due à une infection secondaire, causée par la présence de vecteurs qui acquièrent et transmettent le phytoplasme au sein même de la parcelle. Enfin, la présence d'aulnes ou de clématites, réservoirs de phytoplasmes, dans les environs pourrait également influencer le taux de contamination, mais de manière moins importante que les vignes ensauvagées et abandonnées.

Le climat peut également avoir une influence sur les épidémies de flavescence dorée. En effet, la multiplication des phytoplasmes au sein d'une plante peut dépendre de la température. Plus la température est importante, plus la multiplication des phytoplasmes est rapide, et plus les plantes deviennent symptomatiques rapidement (Salar et al. 2013). Par ailleurs, les dynamiques d'éclosion des œufs de *S.titanus* varient en fonction de la latitude, de l'altitude et de l'année. La présence de froid en hiver n'est pas obligatoire pour déclencher l'éclosion mais influence tout de même les dynamiques d'éclosion. Les températures hivernales influent sur les dates et durées d'éclosion. Des températures hivernales froides entraînent une durée d'éclosion plus courte que des températures hivernales douces. De plus, les femelles sont plus sensibles à la variation des températures hivernales, et les températures hivernales relativement chaudes entraînent moins de protandrie (Chuche 2010; Chuche et Thiéry 2014).

## **II. Moyens de lutte actuels**

Les dégâts provoqués par la flavescence ainsi que son caractère épidémique a abouti en 1993 à son classement en tant que maladie de quarantaine dans toute l'Union Européenne (Directive Européenne 2000/29/CE). La lutte contre la flavescence dorée est ainsi réglementée et obligatoire.

## 1. Cadre réglementaire

L'arrêté ministériel du 19 décembre 2013 stipule que la lutte contre la flavescence dorée et son vecteur *S. titanus* est obligatoire sur tout le territoire français. Il a été rédigé par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Des arrêtés préfectoraux, rédigés par les DRAAF et SRAL, permettent de détailler et préciser les modalités de lutte pour chaque région.

### a) Surveillance

Les vignerons sont tenus de surveiller ou de faire surveiller leurs parcelles, et de déclarer tout cas de flavescence auprès de la SRAL. La lutte contre le vecteur est obligatoire dans les pépinières viticoles et dans les vignes mères de porte-greffes ou greffons. Lorsqu'un cep est positif à la flavescence dorée, la parcelle dans laquelle il se trouve est contaminée, et un cercle de rayon 500 mètres autour de la parcelle définit la zone contaminée. La commune de la parcelle en question est donc elle aussi considérée comme contaminée. Un Périmètre de Lutte Obligatoire (PLO) est alors établi et correspond aux communes contaminées ainsi que les communes proches de celles-ci, susceptibles d'être contaminées (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt 2013). La liste des communes en PLO est détaillée chaque année par les arrêtés préfectoraux.

Pour l'ancienne région Aquitaine, les propriétaires de vignes qui sont situés dans le PLO doivent être accompagnés par des organismes de surveillance, dans le but de détecter des symptômes de la maladie, et ce, sous le contrôle de la FREDON. Un cahier des charges, rédigé par la DRAAF-SRAL, détaille comment doit s'organiser la surveillance (DRAAF 2018).

### b) Arrachages et lutte insecticide

En l'état actuel, il n'existe pas de lutte directe contre le phytoplasme de la flavescence dorée. Les seules solutions sont donc d'adopter des mesures préventives et prophylactiques, en s'assurant d'avoir un matériel végétal sain et en détruisant les plantes contaminées d'une part, et d'autre part de lutter contre le vecteur *S. titanus*.

Ainsi, chaque cep contaminé par la flavescence dorée doit être arraché. Lorsque la contamination d'une parcelle est supérieure à un seuil fixé par arrêté préfectoral (seuil ne pouvant dépasser les 20%), alors la parcelle doit être entièrement arrachée. L'arrêté ministériel mentionne également l'obligation d'arracher les repousses de vignes ainsi que les vignes abandonnées.

Dans le Bordelais, les stratégies de modulation de la lutte insecticide sont basées sur le niveau de contamination par le phytoplasme et de population de l'insecte vecteur estimée par

piégeage après les premiers traitements larvicides. En effet, le traitement adulticide (Xtraitements +1 pour le Bordelais) est déclenché en fonction des résultats de piégeage.

Tableau 1 : Stratégies de lutte contre le vecteur *S. titanus* dans le GDON des Bordeaux.

Risque de contamination	Nombre de traitements
Commune avec un gros foyer ou soumise à aucun traitement insecticide l'année précédente	2 +1 traitements
Commune contaminée, non prospectée par le GDON	2 traitements obligatoires
Commune contaminée, prospectée à moitié par le GDON	1 + 1 traitement
Commune voisine d'une commune contaminée	1 traitement obligatoire
Aucun pied FD dans la commune ou à proximité	0 traitement obligatoire

### c) Plantation de matériel végétal sain

Le contrôle de la production de matériel végétal sain est réalisé par FranceAgriMer. Les pépinières viticoles et les vignes mères de porte-greffes ou de greffons doivent produire un matériel végétal exempt de flavescence dorée. La lutte contre le vecteur y est obligatoire, et se réalise à l'aide de produits phytopharmaceutiques. Un traitement à l'eau chaude des plants peut être réalisé en complément de ces traitements, pour les parcelles de vignes mères de porte-greffe situées en dehors du PLO ; ou en remplacement, pour les parcelles de vignes mères de greffons situées hors PLO.

En cas de détection de flavescence dorée au sein des pépinières et des parcelles de vignes mères de greffons et porte-greffes, les plants contaminés, ainsi que les plants appartenant au même lot sont arrachés, et le passeport phytosanitaire européen du lot permettant sa circulation n'est pas délivré.

## 2. Organismes de surveillance de la flavescence dorée

Les DRAAF-SRAL sont chargés de décrire les modalités de lutte contre la maladie pour chaque région à travers les arrêtés préfectoraux. Ils délèguent ensuite la prospection des vignobles à des organismes de surveillance, comme le GDON des Bordeaux.

Le Groupement de Défense contre les Organismes Nuisibles (GDON) des Bordeaux est un organisme créé en 2011, par des viticulteurs dans le but de mieux organiser la surveillance et la lutte contre la flavescence dorée de la vigne, qui s'étend de manière importante sur le territoire bordelais, et ce, depuis les années 90s. Ces viticulteurs appartiennent à treize Syndicats Viticoles et Organismes de Défense et de Gestion (ODG), et sont au nombre de 5 400

(GDON des Bordeaux, 2019). Adhérant au GDON, ces derniers cotisent 5,5€ par hectare et par année (Panziera 2018) afin de réduire la pression de la maladie et les surfaces en traitement obligatoire sur le territoire bordelais, mais aussi pour communiquer, former et mobiliser les particuliers et les professionnels autour de la flavescence dorée. Le territoire du GDON des Bordeaux s'étend sur 74 000 hectares de vigne et comprend 348 communes. Néanmoins, seulement 10% du territoire du GDON est prospecté chaque année, cela étant dû aux faibles moyens financiers mis à disposition.

### III. Epidémiologie spatiale et temporelle

Pour la flavescence dorée, les modèles mis en place dans le but d'étudier les dynamiques de la maladie se focalisent à l'échelle de la parcelle. Lessio et al. (2015) réalisent ainsi un modèle mathématique afin de comprendre la dynamique temporelle de la flavescence dorée à l'échelle d'une parcelle viticole. Il s'agit d'un modèle épidémiologique à compartiments type « Sain, Infectée, Retirée ». Les auteurs analysent l'effet d'un ensemble de paramètres sur la dynamique du système, à savoir le taux d'acquisition de la maladie, les durées des phases de latence et d'apparition des symptômes, le taux de guérison, l'arrachage et le remplacement des plantes infectées, les traitements insecticides et les effets des foyers. Néanmoins, le modèle de Lessio et al. (2015) utilise des valeurs de paramètres tirées de la littérature et se concentre sur la dynamique dans une parcelle unique « isolée du monde extérieur » dans laquelle, initialement, une petite quantité de plantes infectées est introduite. Ce faisant, le modèle ignore l'échelle du paysage et les facteurs qui, à cette échelle, jouent sur les paramètres du modèle, en particulier sur l'abondance des populations de *S. titanus*, ou encore la présence de foyers FD à proximité de la parcelle focale. Ces questions sont abordées par l'épidémiologie du paysage. Cette discipline étudie les dynamiques de pathogènes dans les paysages en appliquant des méthodes et des concepts issues de l'écologie du paysage. Plantegenest et al. (2007) et plus récemment Meentemeyer et al. (2012) décrivent notamment comment les notions de composition et de configuration du paysage, peuvent influencer les dynamiques, la dispersion et l'évolution d'un pathogène.

La composition du paysage fait référence aux différents éléments et habitats qui le constituent. Elle mesure la fréquence relative des différents types d'occupation du sol dans un paysage donné. La composition du paysage autour d'une parcelle d'intérêt pourrait impacter par exemple la pression d'inoculum du pathogène. Une autre caractéristique du paysage est sa configuration. Cette métrique paysagère décrit la position géographique relative des différents patches entre eux ainsi que leurs formes. Elle dépend donc de l'hétérogénéité et la fragmentation du paysage. Ses effets sont contrastés sur les risques épidémiques dans la littérature

(Plantegenest et al. 2007). Elle est soit associée à des effets positifs avec une réduction du risque de maladie pour les paysages diversifiés et fragmentés (Ericson et al. 1999; Colling et Matthies 2004); soit à des effets négatifs, en fonction du ratio bordure sur surface. Cet effet bordure peut par exemple être illustré par l'épidémie causée par *Phytophthora ramorum* touchant les chênes de la côte californienne, où la proximité à de la lisière de forêt augmentait le risque de contamination (Rizzo et Garbelotto 2003). En effet, la proximité à des écosystèmes différents serait favorable aux dynamiques du pathogène. De plus, la taille des patchs jouerait également sur le risque d'infection, les patchs de grandes tailles seraient moins vulnérables, les plantes situées au centre auraient moins de risques d'être contaminées. Certains éléments du paysage pouvant jouer le rôle de corridor, peuvent être favorables à la propagation d'une maladie, tandis que d'autres éléments, en jouant le rôle de barrière, limite la dispersion du pathogène. Enfin, les caractéristiques du paysage auraient également une influence sur les dynamiques évolutives des pathogènes, en impactant la taille de population par exemple. Au final, il n'existe pas de règles générales sur l'effet du paysage sur les épidémies. Aussi ces effets doivent être analysés pour chaque pathosystème et au sein des grands types paysagers propres à chaque bassin de production.

## **IV. Statistiques spatiales**

Il ressort du paragraphe précédent que l'étude et l'analyse des dynamiques d'une maladie impliquent de prendre en considération dans les analyses statistiques non seulement la dimension temporelle, mais aussi la dimension spatiale des dynamiques épidémiques. Ainsi, pour les maladies transmises par des insectes vecteurs dont les distances de vol et de dispersion sont souvent de l'ordre de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres, une parcelle située à proximité d'une parcelle infectée a plus de chance d'acquérir la maladie qu'une parcelle plus éloignée. C'est typiquement le cas de la flavescence dorée du fait des caractéristiques de vol de *S. titanus*. De façon symétrique, une parcelle située à proximité d'une parcelle non infectée a plus de chance de rester saine. Ces caractéristiques biologiques induisent, du point de vue statistique, de la dépendance spatiale entre les observations de maladie. De telles dépendances doivent être caractérisées et prises en compte dans les analyses statistiques sans quoi les conclusions issues de ces analyses peuvent être fortement erronées. C'est le vaste champ d'étude de la géostatistique.

### **1. Un outil de base en géostatistique : Le variogramme**

Les variogrammes sont un des outils classiques de la géostatistique (Cressie 1993). Ils permettent de représenter la dépendance spatiale de la variable d'intérêt sur le domaine d'observation. Pour un ensemble de points d'observations spatiales, il est tout d'abord possible

d'estimer le variogramme empirique. Il représente comment la demi-variance de la différence entre deux observations varie avec la distance entre ces observations. Parmi ses caractéristiques fondamentales, sa portée caractérise la distance entre sites de mesures au-delà de laquelle les dépendances spatiales sont nulles. Le variogramme empirique sert souvent de base pour choisir, et estimer, un modèle de variogramme théorique (par ex. : variogramme exponentiel, sphérique...). En pratique les variogrammes empiriques et théoriques peuvent être obtenus dans le logiciel R avec le package `gstat` (fonction `variogram`).

## 2. Les modèles de régression classique

Classiquement, les épidémiologistes dénombrent les individus sains et infectés présents sur un territoire. Les données produites ainsi correspondent donc à des données de type Poisson, binomiale ou, dans notre cas d'étude, Bernoulli (données présence/absence). Le modèle statistique classique pour analyser les effets d'un ensemble de variables explicatives sur ces données de comptage est le modèle linéaire généralisé. Ce modèle ne fait intervenir que des effets fixes et assume que toutes les observations sont indépendantes. Ainsi les dépendances spatiales entre les observations sont ignorées. En pratique ce type de modèle peut être facilement ajusté avec la fonction `glm` du logiciel R.

## 3. Les modèles de régression spatiale explicite

Ces modèles introduisent dans les modèles précédents des effets aléatoires afin de prendre en compte explicitement les dépendances spatiales inter-sites (inter-parcelles dans notre cas) et donc de modéliser correctement l'autocorrélation spatiale. Les dépendances spatiales sont modélisées à des effets aléatoires corrélées, soit en spécifiant une relation de voisinage entre observations, soit avec une fonction de corrélation paramétrique de la distance entre observations. Dans ce dernier cas cette fonction modélise la décroissance de la corrélation avec la distance qui sépare les observations. Une telle fonction, qui ne dépend que de la distance, est dite stationnaire. En pratique, plusieurs packages du logiciel R permettent d'ajuster ces modèles (`geoRglm`, `glmmfields`). Ces dernières années la méthode INLA (« Integrated Nested Laplace Approximation », et le package homonyme, ont gagné en popularité du fait de sa versatilité et de sa rapidité (Lindgren et Rue 2015; Zuur et al. 2015). Il s'agit d'un algorithme d'estimation Bayésien qui repose, entre autres, sur l'utilisation d'une fonction de corrélation de Matérn.

# Matériels et méthodes

La création de la base de données des foyers de flavescence dorée de la vigne s'appuie d'une part, sur les données épidémiologiques obtenues lors des prospections sur le terrain dans le but d'observer des ceps ayant les symptômes de phytoplasmoses, et d'autre part, sur le Casier Viticole Informatisé et sur la carte d'occupation des sols OSO. Cette partie présente ainsi le protocole de prospection, dans le territoire du GDON des Bordeaux; les données disponibles suites à ces prospections ; et pour finir, la manière dont toutes les informations sont traitées pour la création du SIG.

## I. Obtention des données de prospection du GDON des Bordeaux

### 1. Protocole de prospection du GDON

La prospection sur symptômes est organisée par le GDON, et se réalise entre août et mi-octobre chaque année, depuis 2012. L'objectif est d'identifier les symptômes de phytoplasmoses, de marquer et prélever des échantillons de pieds symptomatiques pour analyse. Les données de prospection ainsi recueillies sont répertoriées sur un système d'information géographique (SIG).

Dans les parcelles de cépages blancs, les équipes GDON et les saisonniers prospectent un rang sur deux ; tandis qu'ils passent un rang sur quatre dans les parcelles de cépages rouges. Dès que cinq pieds symptomatiques d'une même parcelle ont été identifiés, la prospection de cette parcelle est interrompue et les marcheurs passent à une autre parcelle. Si le résultat d'analyse de ces cinq prélèvements groupés est positif à la flavescence dorée, une équipe GDON réalisera un second passage sur la parcelle en question afin de marquer cette fois-ci tous les pieds symptomatiques.

Les parcelles infectées par la flavescence dorée une année  $n$  sont systématiquement prospectées l'année suivante, en  $n+1$ , et ce, jusqu'à ce qu'elles ne le soient plus. De plus, si une parcelle présente des pieds symptomatiques de phytoplasmoses, et qu'elle était infectée flavescence dorée l'année précédente, alors aucun prélèvement d'échantillon et aucune analyse ne sont réalisés et on considère que la parcelle est infectée par la maladie.

Chaque année, un nombre déterminé de parcelles entre dans la base de données du GDON. Elles sont dessinées sur un SIG sous la forme de polygones et possèdent un « CodeUnikG » qui permet de les identifier. Les parcelles prospectées pour une année donnée correspondent aux parcelles qui ont été infectées par la flavescence dorée l'année précédente, et à de nouvelles

parcelles viticoles, qui n'ont pas été prospectées l'année précédente, présentant environ à un dixième du territoire.

Il est nécessaire d'indiquer que les « CodeUnikG » des parcelles ne sont pas les mêmes d'une année sur l'autre. Ainsi, une même parcelle peut avoir différents « CodeUnikG » dans le temps.

## 2. **Données de prospection**

Lors des prospections, les marcheurs disposent d'un GPS, permettant de géolocaliser les parcelles prospectées avec leur « CodeUnikG » pour une année donnée. Pour chacune de ces parcelles, les prospecteurs indiquent la géolocalisation et le nombre des pieds symptomatiques identifiés, s'il y en a. Ils relèvent également si des pieds devant être arrachés l'année précédente sont toujours sur place. Enfin, les résultats d'analyse des échantillons prélevés sur 5 pieds groupés au maximum sur chaque parcelle, permettent de déterminer s'ils sont infectés ou non par la flavescence dorée et/ou le bois noir.

Toutes les informations géolocalisées ont été transmises à l'INRA de Bordeaux, au format shapefile (.shp), et ainsi utilisable sur le logiciel QGIS. En complément, les bilans chiffrés de chaque année de campagne nous ont également été remis au format pdf.

## II. **CVI**

Les données de prospection du GDON renseignent sur la présence ou non de flavescence dorée. Les facteurs tels que le cépage ou l'année de plantation, pouvant expliquer les dynamiques de la maladie ne sont pas informés dans les résultats de prospection GDON ; mais sont présents dans le Casier Viticole Informatisé.

### 1. **Données du CVI**

Le Casier Viticole Informatisé (CVI) est un outil informatique créé par les services de viticulture de la Direction Générale des Douanes et Droits Indirects (DGDDI), et fonctionnel depuis 1998. Ce fichier administratif permet de recenser toutes les parcelles cadastrales viticoles de France ainsi que leurs caractéristiques, comme le propriétaire de la parcelle, la surface, le cépage, l'année de plantation, la densité de plantation, l'écartement, etc. Ce document, qui assure une traçabilité de la production viticole, est ainsi mis à jour chaque année. Chaque exploitant déclare son patrimoine viticole auprès de la DGDDI (*Douanes et Droits Indirects* 2019). Nous disposons du CVI de 2016 anonymisé pour le territoire Bordelais fourni par le GDON des Bordeaux avec autorisation du SRAL Nouvelle Aquitaine.

Il est important de comprendre que les informations apportées par le CVI concernent les parcelles cadastrales viticoles. Une parcelle cadastrale est un ensemble de terres appartenant à

un même propriétaire (Direction Générale des Finances Publiques 2012). Chaque parcelle cadastrale possède un code unique, qui permet de l'identifier. Par ailleurs, une parcelle cadastrale peut contenir plusieurs parcelles culturales, qui sont composées de terrains dont les cultures implantées sont de mêmes variétés, datent de la même année, et dont la conduite des pratiques agricoles est la même (Agreste 2017).

De plus, le CVI est un historique des cultures au sein d'une parcelle cadastrale, et non un état des lieux pour une année donnée. Il détaille ainsi l'ensemble des parcelles culturales qui ont été implantées jusqu'à maintenant, à l'intérieur d'une parcelle cadastrale. Ainsi, en regardant le CVI, il est possible de voir qu'une parcelle a été replantée, entièrement ou partiellement, dans le temps.

Il est ainsi possible de voir dans la Figure 4, extraite du CVI de 2016, que la parcelle cadastrale identifiée «330010000B1236», possède trois parcelles culturales, dont deux en Merlot et une en Cabernet Franc.

Une distribution des cépages présents en 2016 a été réalisée Annexe i. Les cinq principaux cépages sont ainsi : le Merlot, le Cabernet-Sauvignon, le Cabernet Franc, le Sauvignon et le Semillon. Les autres cépages seront par la suite classés dans la catégorie « Autres ».

## 2. Réorganisation du CVI en sous-CVI

A l'état originel, chaque ligne du CVI informe sur les parcelles culturales qu'une même parcelle cadastrale contient. Or lors de la création de la couche vecteur du CVI sur QGIS, expliquée dans la sous-partie suivante, seule les parcelles cadastrales sont géolocalisées. Ainsi, l'objectif d'une réorganisation du CVI, est d'obtenir un tableau, dont chaque ligne correspond à la composition culturelle au sein d'une parcelle cadastrale (Figure 5).

Commune	Superf_Viti	Superf_cult1	Annee	Cepage	Code_Unik ▲
ABZAC	1.8505	0.32	2002	MERLOT N	330010000B1236
ABZAC	1.8505	0.5505	2002	CABERNET FRANC N	330010000B1236
ABZAC	1.8505	0.98	2001	MERLOT N	330010000B1236

Figure 4 : Extrait du CVI brut de 2016, pour la commune d'Abzac, dans le bordelais

De plus, le CVI étant un historique des parcelles culturales à l'intérieur des parcelles cadastrales, cinq sous-CVI ont été réalisés, un sous-CVI correspondant à une année de prospection du GDON, et correspondant à un état des lieux des parcelles culturales des parcelles cadastrales pour l'année en question. Nous avons ainsi un sous-CVI pour 2012, 2013, 2014, 2015 et 2016.

Le but est donc d'avoir un sous-CVI similaire à celui de la Figure 5 :

Code	Annee	Surface_Cada	Surf_Merlotn	Surf_Caber.sauvignonn
330010000B1236	2001.470413401...	1.8505	1.3	0

Surf_Cabernetfrancn	Surf_Sauvignonb	Surf_Semillonb	Surf_Autre
0.5505	0	0	0

Figure 5 : Extrait du sous-CVI de 2012, pour la parcelle cadastrale « 330010000B1236 »

L'année de plantation, qui a donc été recalculée, correspond à une moyenne pondérée par la surface de chaque parcelle culturale. Les valeurs des surfaces des différents cépages ont été calculées en faisant la somme des valeurs de « Superf\_cult1 » de la Figure 4 pour chaque cépage. Ces surfaces ont permis de calculer la proportion de ces cépages dans la parcelle cadastrale. Six champs « Pr\_+ Cépage en question » ont donc été créés. Cela a également permis de savoir le cépage majoritaire correspondant au cépage dont la surface est la plus grande sur la parcelle cadastrale. Ce champ est nommé « CepMaj ». Enfin, la densité, l'écartement entre les pieds et l'écartement entre les rangs ont été recalculés en faisant une moyenne pondérée par les surfaces culturales.

### III. Compilation des données et création de la base de données

#### 1. Harmonisation des données de prospection

Les données de prospection étant déjà au format shapefile, celles-ci sont simplement ajoutées sur QGIS, dans le Système de Coordonnées de Référence (SCR) Lambert-93.

Les tables attributaires des données de prospection ne possédaient pas forcément les mêmes champs d'une année sur l'autre. En effet, la notation des observations a évolué avec les années. De plus, les tableaux contenaient des doublons, qui pouvaient fausser l'analyse par la suite. Par conséquent, une simplification et une harmonisation des données ont été réalisées. Pour cela, les colonnes jugées pertinentes pour la base de données SIG et pour son analyse ont été sélectionnées puis renommées. La liste de champs et leur description est disponible en Annexe ii.

#### 2. Fusion des années de prospection du GDON

Dans le but d'étudier l'évolution dans le temps et dans l'espace de la flavescence dorée sur le territoire, il est nécessaire de fusionner toutes les tables attributaires de prospection, chacune d'entre elles correspondant à une année, afin d'avoir un historique des cas de maladie pour chaque parcelle de la base GDON.

Néanmoins, il n'existe aucun champ commun pour chaque année permettant de relier les parcelles dans le temps : les identifiants des parcelles GDON changent chaque année. La seule donnée liant une parcelle dans le temps est sa localisation, donc le seul moyen de reconstituer l'historique d'une parcelle est de réaliser une jointure spatiale. Par ailleurs, le dessin des parcelles n'était pas toujours le même d'une année à une autre, pouvant être dû par exemple à la fusion de deux parcelles en une seule. En 2016, l'ensemble de toutes les parcelles a été redessiné par le GDON. Ainsi, les dessins des parcelles ne se superposent pas exactement dans le temps.

Afin de réaliser la jointure spatiale permettant de fusionner toutes les années de prospection GDON, les centroïdes des polygones pour les années 2012 à 2016 ont été créés, les parcelles de la couche de 2017 restant de type polygone. Ainsi, lorsqu'un centroïde est localisé à l'intérieur d'un polygone, les attributs du centroïde sont rajoutés à ceux du polygone (Figure 6). Les cas de non-correspondances entre un centroïde et un polygone ont tout de même été conservés dans la couche résultant du processus de fusion.

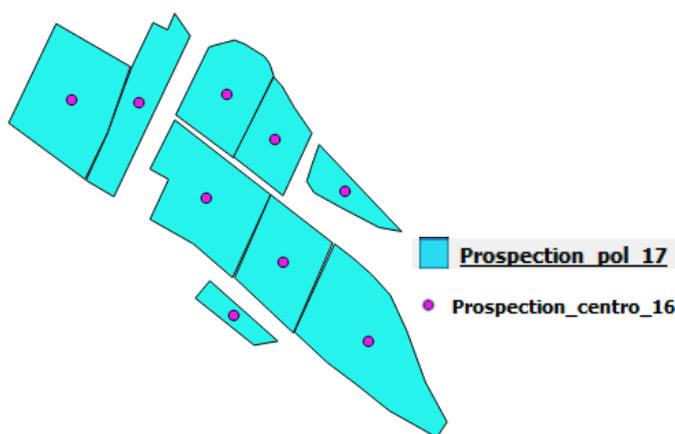


Figure 6: Illustration des parcelles de 2017 de type polygone et des parcelles de 2016 de type centroïde pour la fusion de ces deux années. (Source : GDON des Bordeaux)

A l'issue de cette fusion, deux champs ont été rajoutés. Le premier, nommé « AnEntreBase », correspond à l'année d'entrée d'une parcelle dans la base GDON et a été rajouté directement sur QGIS. Le second intitulé « AnNotPar » correspond à la première année de notation d'une parcelle, et a été fait sur R. L'objectif est en effet d'étudier les dynamiques épidémiques lorsque les parcelles ont été prospectées pour la première fois, avant la mise en œuvre des moyens de lutte pour celles qui sont infectées FD.

#### IV. Fusion des données GDON avec le CVI

L'objectif est d'avoir pour chaque parcelle du GDON, une information sur la présence ou non de FD et sur le cépage, l'année de plantation, la densité de plantation, des variables qui d'après la bibliographie aurait une influence sur la diffusion de la maladie. Il est donc nécessaire de fusionner les données GDON avec les informations qu'apporte le CVI.

Cependant, les parcelles cadastrales du CVI et les parcelles du GDON se superposent peu (Figure 7). Les parcelles de la base fusionnée GDON ont donc été transformées en centroïdes. En effet, les parcelles du GDON sont en général plus petites que les parcelles cadastrales du CVI, et ont donc plus de chance d’avoir une information CVI, plutôt que l’inverse. Dans un premier temps, seul le champ « code\_unik » du CVI a été ajouté à la base fusionnée GDON par jointure spatiale. Ainsi, lorsque les centroïdes des parcelles GDON sont situées à l’intérieur des polygones du CVI, le code unique de parcelle cadastrale est informé pour chaque parcelle GDON. Les parcelles culturales n’ayant pas de code unique de la parcelle cadastrale du CVI ont tout de même été conservées dans la base de données finale.

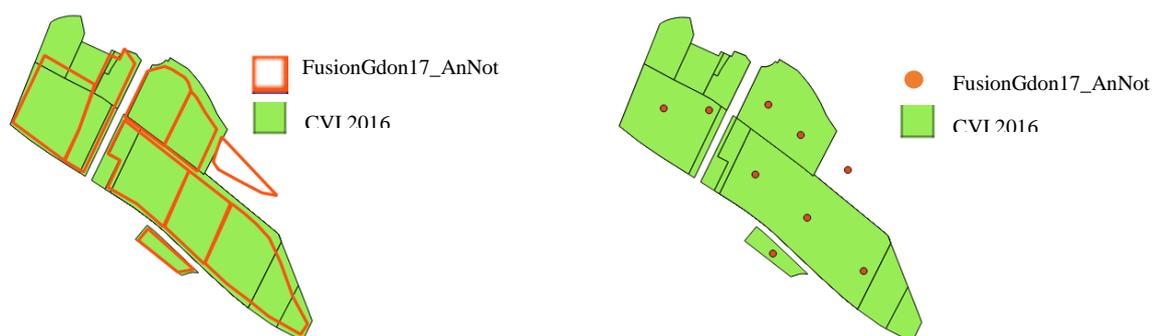


Figure 7 : Non superposition des parcelles cadastrales du CVI avec les parcelles culturales du GDON.

Après le rajout de ce champ « code\_unik », le reste des informations CVI à savoir les surfaces, densité, écartement des différents cépages a été implémenté. En fonction de la valeur de « AnNotPar » et de celle de « code\_unik » de chaque parcelle GDON, les informations concernant le code unique de la parcelle cadastrale présentes dans le sous-CVI de l’année correspondant à celle de « AnNotPar » ont été ajoutées. Finalement, le fichier résultant de tous ces processus de fusion des données GDON et CVI est appelé « FusionGdon\_CVI ».

## V. Intégration des facteurs du paysage

Les données d’occupation du sol de 2017 ont été téléchargées sur le site du CESBIO (Centre d’Etudes Spatiales de la BIOSphère) : <http://osr-cesbio.ups-tlse.fr/~oso/> au format vecteur. Parmi les types d’occupation du sol disponibles nous avons retenus les six classes suivantes : les forêts, les prairies, les landes ligneuses, les vignes, l’urbain dense et les zones commerciales et l’urbain diffus.

En parallèle, une couche vecteur informant de la nature des sols en Gironde a été rajoutée, puis jointe par jointure spatiale aux attributs de la couche « FusionGdon\_CVI ».

Dans le but de décrire le paysage de chaque parcelle GDON, des buffers d’occupation du sol de 1 km de rayon, distance choisie arbitrairement, ont été tracés autour des centroïdes de

polygones représentant les parcelles GDON, sur le logiciel R. Par ailleurs, la création de ces buffers s'est faite uniquement pour les 40 246 parcelles disposant d'une information du CVI.

Par la suite, des métriques du paysage ont été calculés pour chaque buffer avec le logiciel R grâce au package *landscapemetrics* (Hesselbarth et al. 2019). Ils renseignent la composition et la configuration du paysage (Tableau 3). Concernant la composition du paysage, la métrique PLAND choisi correspond au pourcentage du paysage occupé par une classe de patch. Pour la configuration du paysage, le nombre de patch NP par classe d'occupation du sol et l'Edge Density ED ont été calculés. La métrique NP est croissante avec la fragmentation du paysage. La métrique ED mesure elle le rapport entre le périmètre et la surface d'un patch : ce rapport est croissant avec le degré d'agréation des patchs dans le paysage.

De plus, un indice calculant la proximité d'une parcelle de vigne focale aux autres d'un même buffer tout en prenant en compte leur taille a été calculé. Il correspond à la somme des aires des parcelles de vigne divisée par le carré de la distance à la parcelle focale.

$$PROX = \sum_{s=1}^n \left( \frac{a_{ijs}}{h^2_{ijs}} \right)$$

$$a_{ijs} = \text{aire (m}^2\text{) du patch } ijs$$

$$h^2_{ijs} = \text{distance(m}^2\text{) entre le patch } ijs \text{ et le patch focal}$$

Des matrices de corrélation ont ensuite été calculées pour l'ensemble de ces indices afin notamment d'enlever des indices très corrélés (positivement ou négativement) entre eux. De telles variables explicatives fortement colinéaires peuvent en effet engendrer des problèmes dans l'estimation des modèles statistiques.

## VI. Nombre de traitements insecticides

Le champ « NbTraitCum » a été rajouté à la base de données et correspond au nombre cumulé de traitements insecticides obligatoires de 2012 à l'année de première prospection de la parcelle, dans la commune où celle-ci se situe. Pour cela, des fichiers excel de la stratégie de traitement pour chaque commune du territoire, croisés aux SIG des piégeages de cicadelles, ont permis d'estimer le nombre de traitements insecticides effectués chaque année et pour chaque commune. Cette opération a été effectuée sur QGIS, par jointure par le champ « Commune ». Le champ « NbTraitCum » a ensuite été créé sur R. Pour les parcelles situées sur plusieurs communes, « NbTraitCum » est une moyenne du nombre de traitements des communes sur laquelle se situe une parcelle, pondérée par les différentes surfaces de la parcelle sur chacune de ces communes.

## VII. Analyses spatiales

Des statistiques descriptives (effectifs, histogrammes, boxplot) sont réalisées à chaque étape de la création de la base de données avec le logiciel R, dans le but de vérifier le bon déroulement des processus de fusion et d'estimer la perte d'informations occasionnée.

Toujours dans le but de vérifier la fiabilité des données, une matrice de confusion portant sur la couleur de cépage fournie d'une part par le GDON et d'autre part par le CVI a été établie. Les cépages rouges sont le Merlot, le Cabernet Franc, et le Cabernet Sauvignon, tandis que le Sauvignon et le Sémillon sont des cépages blancs. Pour cela, seules les parcelles disposant d'une information CVI contenant un seul cépage sont prises en considération. Ce contrôle a été effectué sur R.

De nombreuses analyses exploratoires pourraient être conduites sur la base de données ainsi constituée. Nous avons choisi de nous focaliser sur l'analyse des données d'infection des parcelles observées lors de leurs premières années de prospection par le GDON. D'un point de vue opérationnel c'est une information importante qui pourrait par exemple à l'avenir permettre de mieux prioriser le choix des zones à prospecter. D'un point de vue biologique, cette stratégie d'analyse permet ne pas tenir compte dans les modèles de la stratégie de lutte mise en place suite à la détection de la contamination d'une parcelle. Le jeu de donnée pouvant se prêter à cette analyse contient ainsi 39 887 lignes avec en particulier :

- « ResFD » : résultat d'analyse pour la flavescence dorée. Il s'agit d'une variable qualitative binaire (loi de Bernouilli). Valeurs : 1 ou 0 (les parcelles n'ayant aucune de ces deux informations ont été supprimées)
- Des variables locales, représentées dans le Tableau 2
- Des variables paysagères, représentées dans le Tableau 3

Les variables d'année de plantation, densité de plantation, et nombre total de patchs ont été standardisées afin d'avoir des variables centrées-réduites.

Tableau 2 : Variables explicatives à l'échelle de la parcelle

Nom de la variable	Nature	Description
ResAna	Qualitative	Résultat d'analyse pour la parcelle GDON.
ResBN	Qualitative	Résultat d'analyse au Bois Noir. Valeurs : 0 ou 1
AnNotPar	Quantitative	Première année de prospection de la parcelle GDON.
Longitude	Quantitative	Longitude du centroïde de la parcelle GDON.
Latitude	Quantitative	Latitude du centroïde de la parcelle GDON.
AnneeScale	Quantitative	Année de plantation standardisée de la parcelle GDON.
SurfParc	Quantitative	Surface de la parcelle GDON en m <sup>2</sup>
LogSurfParc	Quantitative	Logarithme de la surface de la parcelle GDON
CepMaj	Qualitative	Cépage majoritaire de la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON. Nombre de niveaux : 6
Pr_Merlot	Quantitative	Proportion de la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON, occupée par du Merlot.
Pr_CabSau	Quantitative	Proportion de la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON, occupée par du Cabernet Sauvignon.
Pr_CabFran	Quantitative	Proportion de la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON, occupée par du Cabernet Franc.
Pr_Sauvi	Quantitative	Proportion de la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON, occupée par du Sauvignon.
Pr_Semill	Quantitative	Proportion de la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON, occupée par du Sémillon.
Pr_Autre	Quantitative	Proportion de la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON, occupée par un autre cépage.
DensiteScale	Quantitative	« Densite » standardisé.
EcartPied	Quantitative	Ecartement moyen entre les pieds sur la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON
EcartRang	Quantitative	Ecartement moyen entre les rangs sur la parcelle cadastrale du CVI, attribuée à la parcelle GDON
Sol	Qualitative	Texture de sol dans lequel se situe la parcelle GDON. Nombre de niveaux : 52
NbTraitCum	Quantitative	Nombre de traitement cumulé jusqu'à l'année de première prospection de la parcelle GDON.

Tableau 3 : Variables explicatives à l'échelle du paysage. Toutes les métriques paysagères sont calculées dans un rayon de 1 km autour de la parcelle GDON.

Nom de la variable	Nature	Description
Commune	Qualitative	Nom de la commune dans laquelle se situe la parcelle prospectée. Nombre de niveau : 486
CommuneMaj	Qualitative	Nom de la commune sur laquelle se situe principalement la parcelle GDON, quand celle-ci est positionnée sur plusieurs communes. Nombre de niveaux : 255
c_pland_foret	Quantitative	Pourcentage d'occupation par de la forêt
c_pland_prairie	Quantitative	Pourcentage d'occupation par de la prairie
c_pland_vigne	Quantitative	Pourcentage d'occupation par de la vigne
c_pland_landelign	Quantitative	Pourcentage d'occupation par de la lande ligneuse.
c_pland_urbaincom	Quantitative	Pourcentage d'occupation par l'urbain dense et zones commerciales
c_pland_urbdiffu	Quantitative	Pourcentage d'occupation par l'urbain diffus et zones commerciales
c_np_foret	Quantitative	Nombre de patchs de classe forêt
c_np_prairie	Quantitative	Nombre de patchs de classe prairie
c_np_vigne	Quantitative	Nombre de patchs de classe vigne
c_np_landelign	Quantitative	Nombre de patchs de classe lande ligneuse
c_ed_foret	Quantitative	Edge density de la classe forêt
c_ed_prairie	Quantitative	Edge density de la classe prairie
c_ed_vigne	Quantitative	Edge density de la classe vigne
PROX_vigne	Quantitative	Indice de proximité de la parcelle GDON aux autres parcelles de vigne
l_npScale	Quantitative	Nombre total de patch, toutes classes confondues

La méthode INLA, implémentée dans le package R-INLA, a été utilisée pour notre jeu de données afin d'analyser l'effet d'un ensemble de covariables locales et paysagères sur la variable à expliquer « ResFD ». Notre choix s'est porté sur INLA car cette méthode permet d'estimer dans un cadre inférentiel unique des modèles linéaires généralisés de type Bernouilli en intégrant, ou non, une structure de dépendance spatiale des observations.

Dans un premier temps, deux modèles, avec ou sans structuration spatiale des observations, ont été ajustés aux données en prenant en compte uniquement un sous-ensemble de variables locales. Les variables locales considérées sont : AnnéeScale, ResBN, LogSurf\_Parc, CepMaj, DensiteScale et NbTraitCumScale.

Dans un second temps deux autres modèles, avec ou sans structuration spatiale des observations également, ont été ajustés en rajoutant aux six variables explicatives locales, les sept variables paysagères suivantes : c\_pland\_foret, c\_pland\_landelign, c\_pland\_prairie, c\_pland\_vigne, c\_pland\_urbaincom, c\_pland\_urbdiffu et l\_npScale.

Les quatre modèles ainsi ajustés ont été comparés avec le critère WAIC (Watanabe Akaike Information Criterion). Ce critère évalue l'adéquation d'un modèle aux observations en prenant à la fois en compte la complexité du modèle (nombre de paramètres) et la qualité de son ajustement. Il permet de comparer plusieurs modèles. Le meilleur modèle est celui qui a le plus faible WAIC. Les effets des covariables analysées ont été évalués « significatifs » lorsque l'intervalle de crédibilité à 95% du paramètre associé exclut zéro.

En parallèle, afin de mesurer l'intérêt d'intégrer explicitement une structuration spatiale des observations, des variogrammes et des cartes des résidus de Pearson moyennés à l'échelle des communes ont été réalisés pour ces modèles.

*Les scripts réalisés sur le logiciel, permettant la création de cette base de données, n'ont pas été inclus dans le présent rapport, cela pouvant augmenter considérablement le nombre de pages.*

# Résultats

## I. Informations de la base de données

### 1. Données brutes GDON

Les données brutes GDON sont constituées de six SIG séparés, un pour chaque année. Chacun des SIG permet d'avoir une information sur le statut de prospection et d'infection des parcelles pour une année donnée.

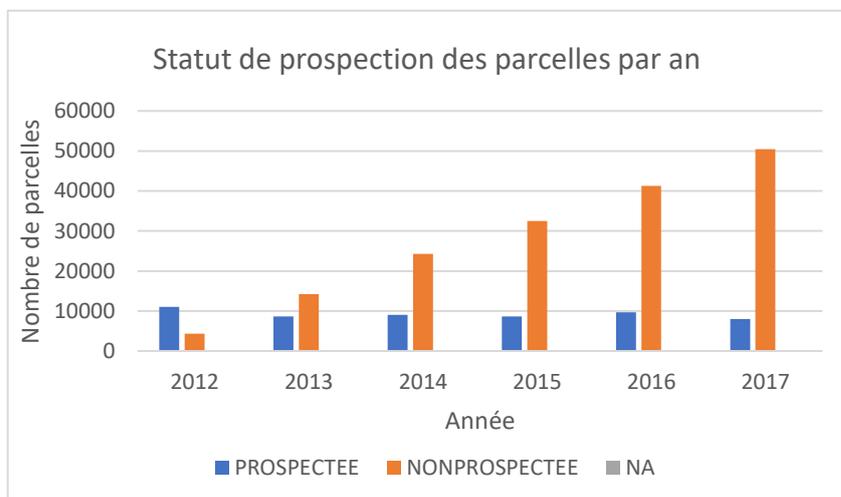


Figure 8 : Statut de prospection des parcelles GDON chaque année, à partir des données brutes du GDON

Ainsi, le nombre de parcelles prospectées chaque année reste globalement constant, avec un

peu moins de 10 000 parcelles prospectées par an, tandis que le nombre de parcelles non prospectées augmente avec les années de manière linéaire, atteignant 50 477 parcelles non prospectées en 2017. Cette augmentation du nombre de parcelles non prospectées dans le temps est liée à l'entrée de nouvelles parcelles géolocalisées dans la base GDON qui ne sont pas prospectées. Le SIG de 2017 contient ainsi 58 522 parcelles géolocalisées (Figure 8).

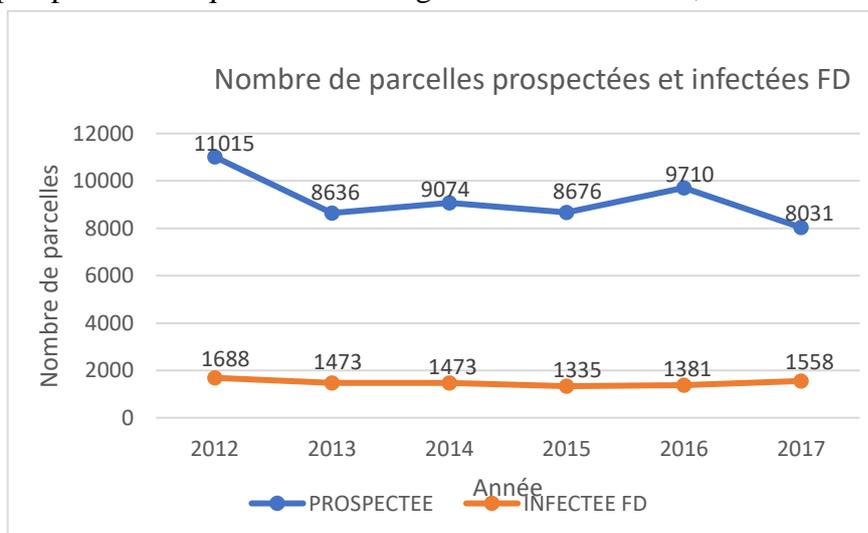


Figure 9 : Nombre de parcelles infectées et prospectées par an, à partir des données brutes du GDON.

Le nombre de parcelles infectées par la flavescence dorée reste lui aussi à peu près constant, variant entre 1 335 et 1 688 (Figure 9). En le rapportant au nombre de parcelles prospectées, variant entre 8 031 et 11 015, nous obtenons un taux d'infection annuel compris entre 14% et 19%.

## 2. Fusion des années GDON

Les six SIG du GDON ont été joints en un seul. Il est ainsi possible de suivre chaque parcelle de 2012 à 2017, contrairement à précédemment.

Le nombre de parcelles géolocalisées dans la base GDON augmente chaque année (Figure 10). En effet, chaque année, 7 490 à 10 573 parcelles entrent dans la base GDON. Ainsi, en 2017, un total de 58 522 parcelles est dans la base, dont 49 628 qui l'étaient déjà au moins en 2016, et 8 894 nouvellement incluses en 2017.

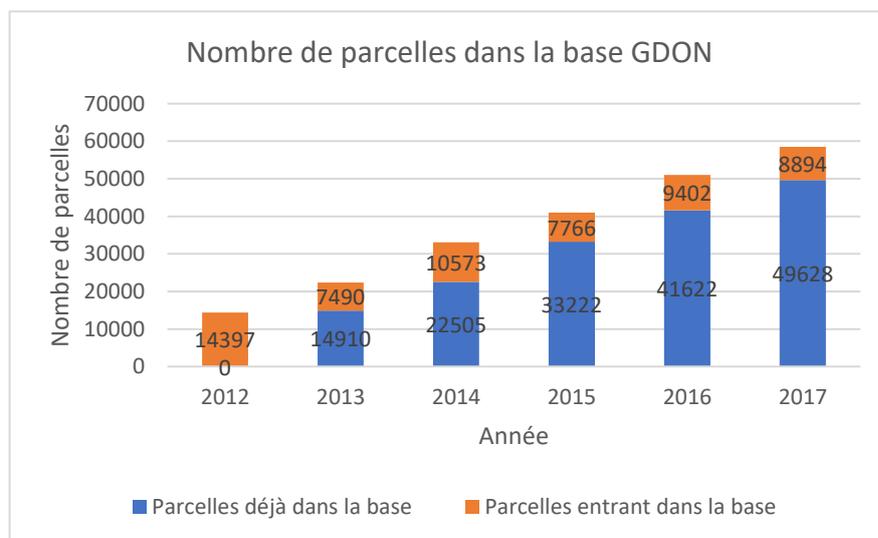


Figure 10 : Nombre de parcelles dans la base GDON chaque année, après fusion des six SIG.

Tableau 4 : Perte d'information de certaines parcelles après fusion des SIG du GDON.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Nombre de parcelles perdant l'information après fusion	944	1040	990	1096	1501	0
-dont problème de dessin	249	321	317	423	402	0
-dont arrachées/ plus de vignes	695	719	673	673	1099	0

En analysant les identifiants et localisations des parcelles, avant et après fusion des années GDON, il a été constaté que les données de certaines parcelles, présentes dans les données brutes GDON avant fusion, n'apparaissent plus après fusion. Selon les années, les données de 944 à 1 501 parcelles sont perdues dans la base de données fusionnée GDON (Tableau 4), ce qui représente environ 2 à 10% de la totalité des parcelles après fusion des années GDON. Cette perte d'information est peut-être liée à la disparition totale de parcelle en 2017 par rapport à une année n, ce qui signifie qu'une parcelle, présente une année n, n'est plus dessinée l'année 2017, et ne l'est donc pas non plus dans la base de données finale (Figure 11A). Cela pourrait être également liée soit à une éventuelle erreur de la part du GDON, soit à l'arrachage de la parcelle viticole soit enfin à la géométrie des parcelles (Figure 11B). Cette dernière se traduit par :

- un dessin différent des parcelles d'une année à l'autre

- des parcelles en 2017 représentant une partie des parcelles d'une année n,
- la forme atypique des parcelles,
- la fusion de parcelles d'une année n en 2017.

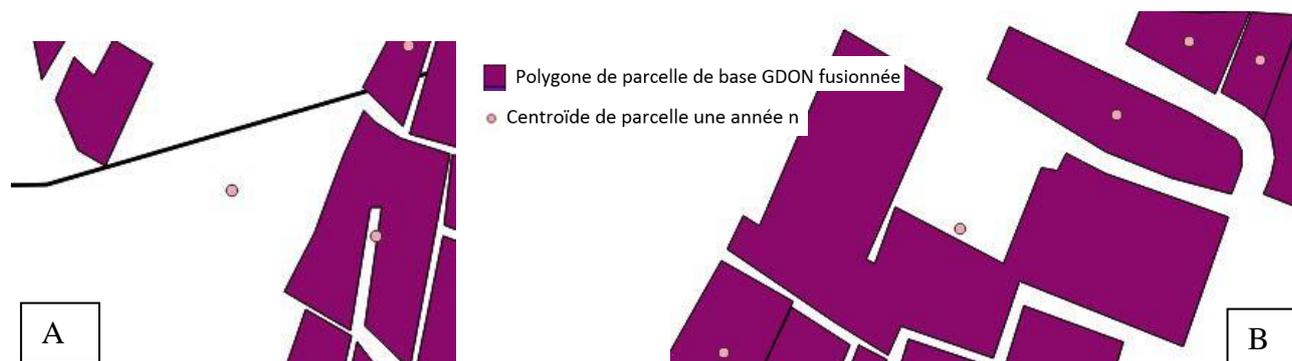


Figure 11 : Causes de la perte d'information concernant des parcelles lors de la fusion des SIG GDON. A : Parcelle d'une année n n'étant plus dessinée dans la base fusionnée. B : Causes géométriques des parcelles.

Dans tous les cas, les centroïdes de ces parcelles ne se situent pas à l'intérieur des polygones de 2017, lors de la fusion des différentes années de prospection GDON. Les parcelles ayant ces soucis de géométrie sont tout de même dessinées en 2017 et dans la base de données, mais ne possèdent plus l'information qu'elles avaient l'année n. Il serait néanmoins possible de rajouter l'information manuellement pour les parcelles concernées. Cela n'a néanmoins pas été fait dans cette base de données en raison du temps nécessaire pour mener à bien ces vérifications et corrections.

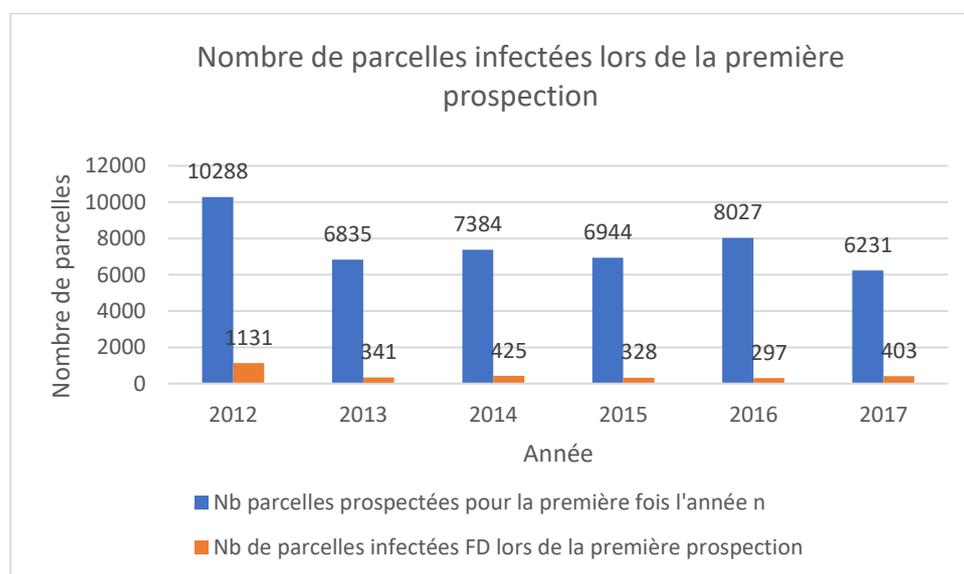


Figure 12 : Nombre de parcelles infectées lors de la première prospection, après fusion des six SIG du GDON.

Chaque année, 6231 à 10 288 parcelles sont prospectées pour la première fois (Figure 12). Il faut néanmoins préciser qu'une parcelle prospectée la première fois une année n, peut avoir été rentrée dans la base GDON antérieurement.

Parmi ces parcelles, 328 à 1131 parcelles sont infectées par la flavescence dorée, ce qui correspond à un taux d'infection variant entre 3% et 11%.

### 3. Fusion des données GDON et du CVI

Tableau 5 : Nombre de parcelles ayant une information du CVI.

Nombre total de parcelles avec une information du CVI	40 246
Nombre total de parcelles n'ayant pas d'information du CVI	18 276

Après fusion des données GDON et CVI, certaines parcelles n'avaient pas d'informations du CVI. En effet, sur un total de 58 522 parcelles qui constitue la base fusionnée, 18 276 n'ont pas de données issues du CVI, soit environ 31% des parcelles. Ces parcelles n'ont donc pas d'informations concernant les cépages, leur surface, densité et écartement (Tableau 5). Les raisons de cette perte d'importante sont détaillées dans la partie Discussion.

### 4. Contrôle de la correspondance des couleurs des cépages entre les données du GDON et du CVI

La base de données est composée de 40 246 parcelles, toutes disposant d'une information du CVI. Afin de tester la correspondance des cépages entre les notations du GDON et celles du CVI, seules les parcelles GDON assignées à une seule parcelle culturale du CVI ont été prises en compte, elles sont au nombre de 17 498, soit environ 30% du nombre initial de parcelles dans la base de données. Sur ces 17 498 parcelles, seules 2 761 d'entre elles avaient le cépage indiqué par le GDON et le CVI.

Sur ces 2 761 parcelles, la couleur de cépage de 2 615 d'entre elles correspondent bien entre les données du GDON et celles du CVI ; tandis que 146 ne correspondent pas, ce qui correspond à un pourcentage d'assignation correcte de 95% (2615/2761) (Tableau 6).

Tableau 6 : Matrice de confusion des cépages entre le GDON et le CVI

	CVI		
GDON		Blanc	Rouge
	Blanc	457	85
	Rouge	61	2158

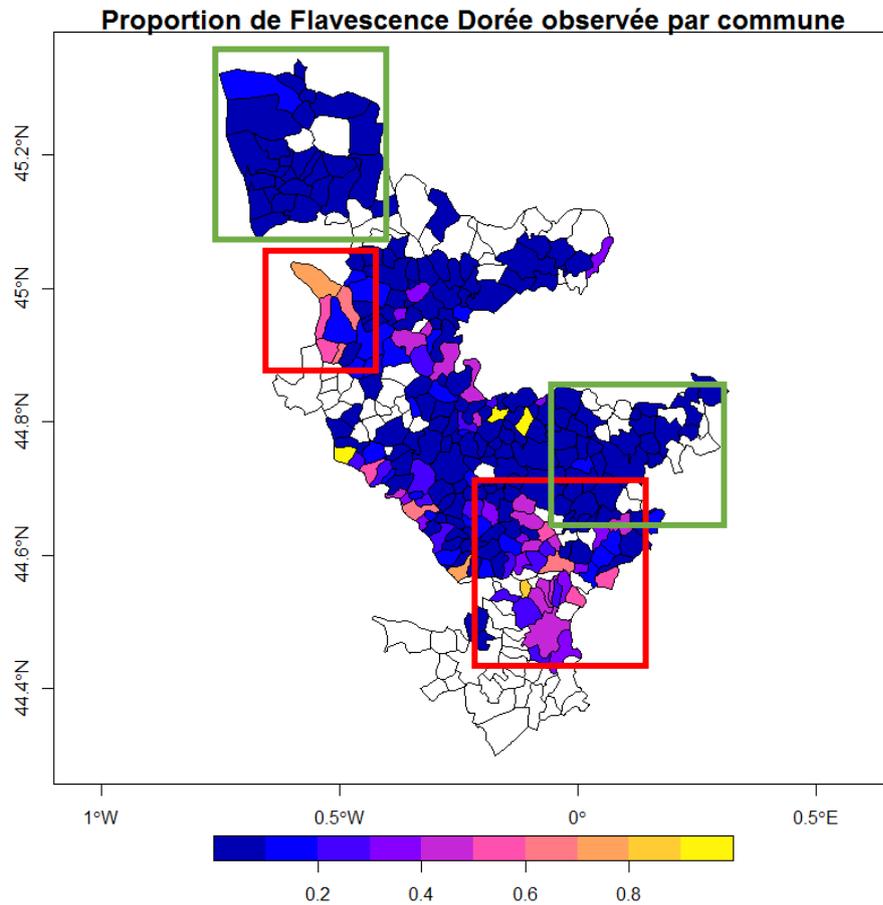
## II. Visualisation de la base de données

L'élaboration de la base de données constitue un premier résultat. Il découle de l'association de données de sources différentes mais complémentaires. Il permet ainsi d'avoir

un suivi spatio-temporel des dynamiques épidémiques de la flavescence dorée pour les zones prospectées chaque année par le GDON, de 2012 à 2017, intégrant des variables pouvant expliquer ces dynamiques. L'explication des dynamiques de la flavescence dorée n'est en effet pas possible à l'échelle du territoire du GDON puisque la prospection est partielle, et concerne environ 10% du territoire chaque année.

Ainsi, sur le jeu de données utilisé pour les analyses statistiques, regroupant les données de 39 887 parcelles GDON lors de leur première année de prospection, soit environ 68 % du nombre initial de parcelles, 2 990 d'entre elles sont infectées par la flavescence. Ces parcelles infectées sont réparties sur 176 communes, sur les 348 du territoire du GDON des Bordeaux. La carte du nombre de parcelles infectées par commune lors de la première année de prospection est disponible en Annexe iii.

Il est également possible de représenter la proportion de parcelles infectées par commune (Figure 13). Nous remarquons ainsi que certaines zones du territoire du GDON regroupent des communes dont les proportions d'observation de flavescence dorée sont relativement les mêmes. Ainsi, des zones regroupant des communes proches les unes des autres, dont la probabilité d'observer des cas de flavescence dorée est relativement élevée, sont encadrées en rouge dans la Figure 13. A l'inverse, les zones regroupant des communes dont la probabilité d'avoir de la flavescence est faible sont représentées par un encadrant vert.



*Figure 13 : Proportion de flavescence dorée par commune*

Ces observations peuvent être mises en relation avec le variogramme empirique associé (Figure 14). La semi-variance augmente de manière relativement linéaire, pour des distances allant jusqu'à 30 km, puis se stabilise. Ainsi, une autocorrélation spatiale des observations des cas FD existe dans un rayon d'une trentaine de kilomètres et n'est plus observable au-delà.

### Variogrammes empirique et théorique

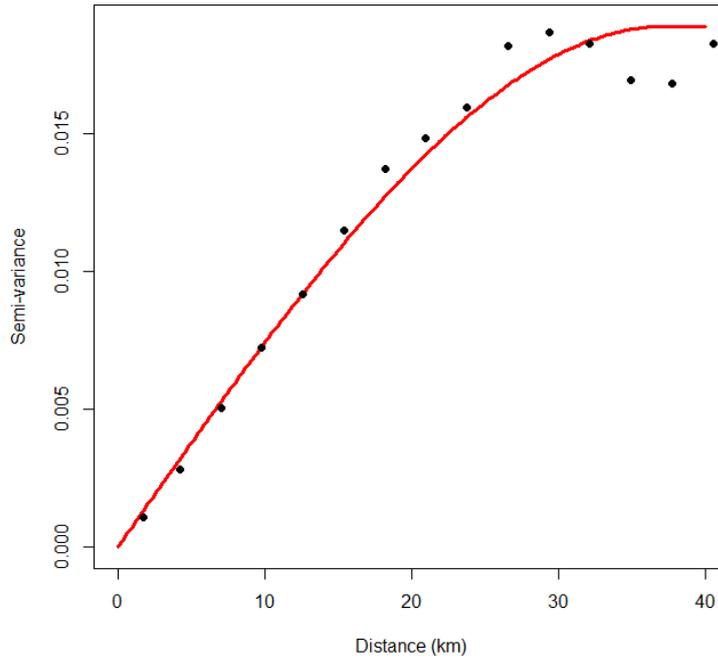


Figure 14 : Variogrammes empirique et théorique sur les cas de première détection de la FD dans les parcelles. Le variogramme théorique (ligne rouge) ajustée au variogramme empirique (point noir) est un variogramme sphérique avec un seuil (c'est-à-dire sa valeur maximale à grande distance) de 0.018 et une portée (c'est-à-dire la distance à laquelle le seuil est atteint) de 37.4 km.

En prenant en considération l'ensemble de l'information de la base de données, il est possible d'avoir une visualisation de la détection de la flavescence dorée dans l'espace et dans le temps, en considérant seulement les parcelles qui ont été prospectées (Figure 15)

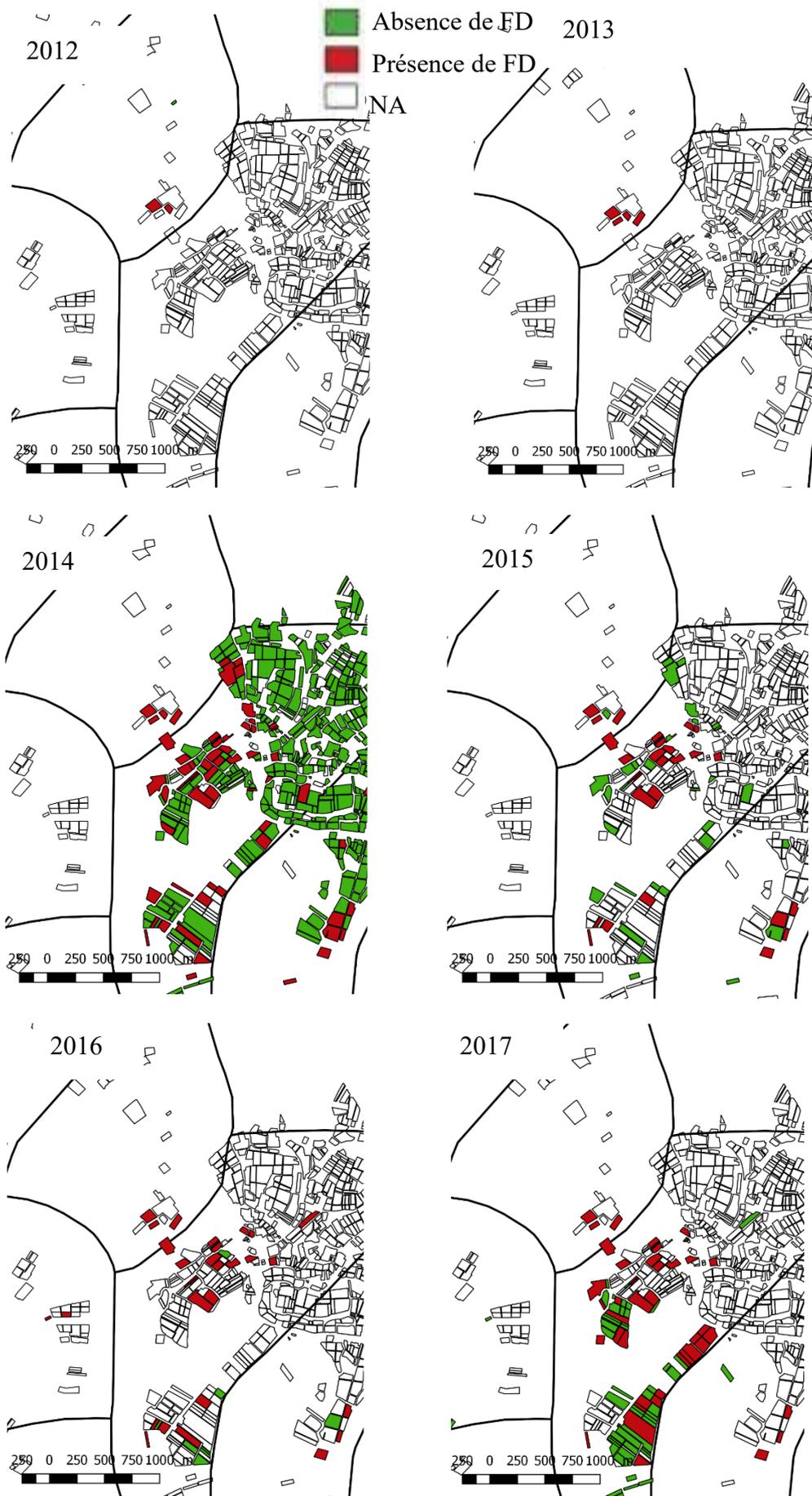


Figure 15: Représentation des résultats d'analyse à la flavescence dorée des parcelles, de 2012 à 2017

En 2012 par exemple, les parcelles infectées d'une des communes avaient sûrement été prospectées suite à des signalements de flavescence dorée. Celles-ci étant positives à la flavescence dorée, le GDON les prospecte à nouveau en 2013. En 2014, Le GDON décide de prospecter les parcelles de la commune adjacente, non prospectées jusqu'alors. De nombreux cas de flavescence dorée sont ainsi observés. Le GDON reprobe ainsi ces mêmes parcelles positives à la flavescence dorée les années suivantes.

Des variables explicatives, comme le cépage par exemple, peuvent également être représentées en parallèle de la visualisation des cas de flavescence dorée dans l'espace (Figure 16).

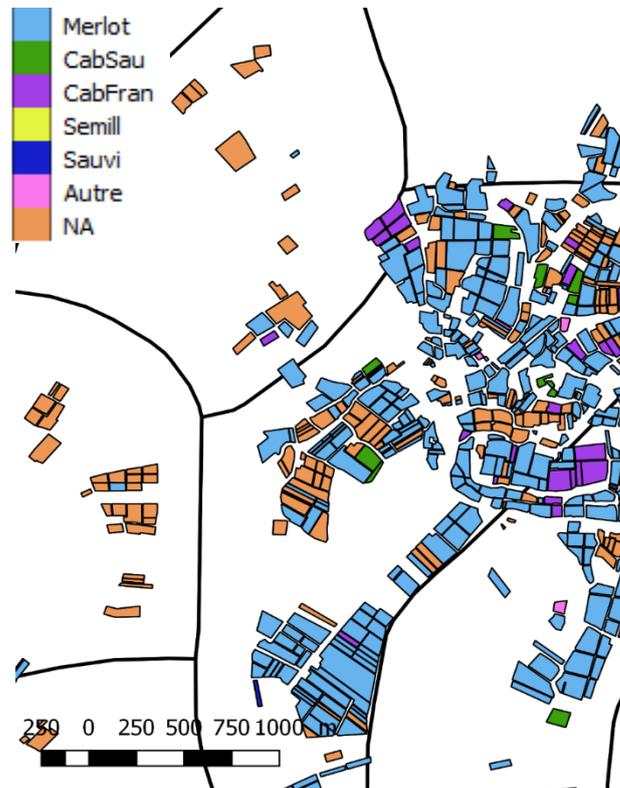


Figure 16 : Représentation des cépages des parcelles, en 2014

### III. Résultats de la modélisation statistique

#### 1. Autocorrélation spatiale

Les variogrammes des résidus des modèles avec et sans prise en compte de la structuration spatiale sont représentés Figure 17. Une forte autocorrélation spatiale des résidus, avec un seuil de demi-variance de 0.19, pour des distances inférieures à 30 km, est présente avec le modèle supposant une indépendance des observations.

Celle-ci est fortement réduite avec le modèle glm spatialement explicite (ligne rouge), à la fois pour son intensité et pour sa portée (4.5 km), 6 fois plus faible. Une autocorrélation spatiale résiduelle reste toutefois présente.

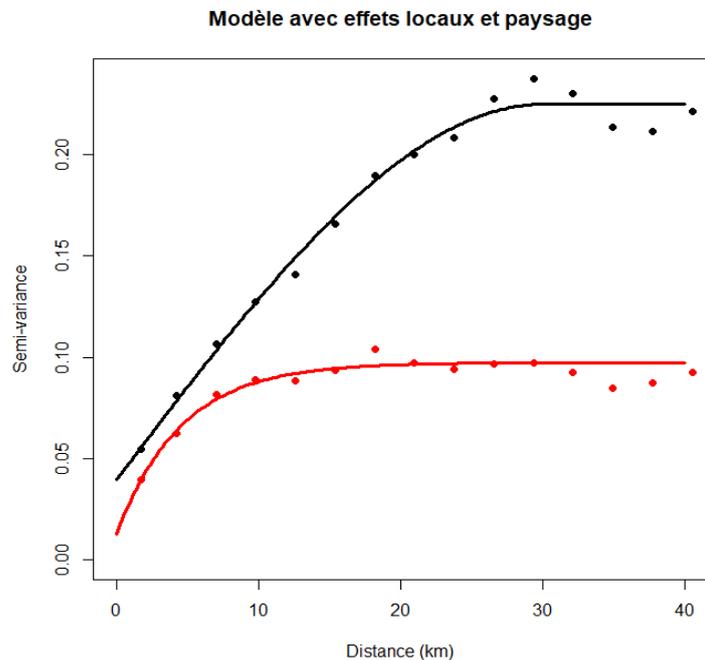


Figure 17 : Variogrammes empirique et théorique sur les résidus de Pearson issus de l'analyse des données avec des glm classique (en noir – seuil = 0.19; portée = 30) et spatialement explicite (en rouge – seuil = 0.08 ; portée = 4.5).

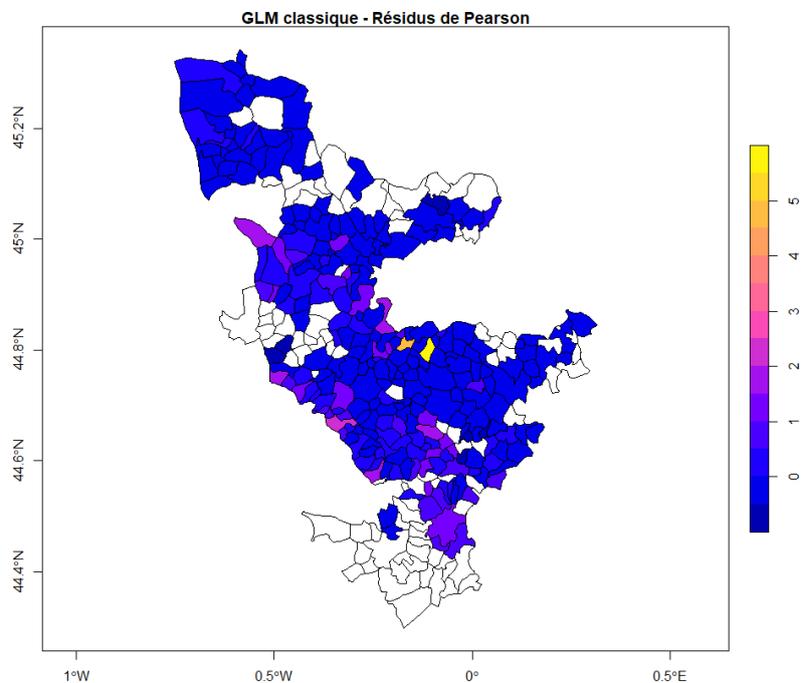


Figure 18 : Représentation des résidus du glm classique dans le territoire du Gdon des Bordeaux. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes agrégées à l'échelle des communes.

Les cartes des résidus de ces mêmes modèles sont représentées Figure 18 et Figure 19. Ainsi, Figure 18, il existe des regroupements de communes dont les résidus sont relativement proches, ce qui traduit la présence d'autocorrélation spatiale. Dans la Figure 19, le regroupement de zones avec les résidus proches est beaucoup moins flagrant. Les résidus positifs comme négatifs sont répartis de manière plus aléatoire ce qui traduit une meilleure prise en compte de l'autocorrélation spatiale et permet surtout d'avoir une meilleure estimation des effets fixes des modèles.

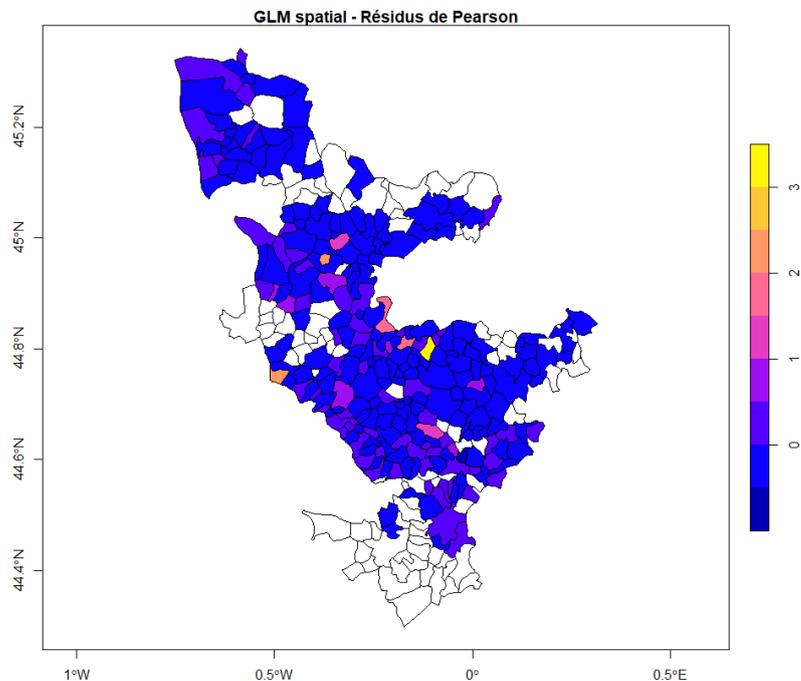


Figure 19 : Représentation des résidus du glm spatialement explicite dans le territoire du Gdon des Bordeaux. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes agrégées à l'échelle des communes.

## 2. Effets des variables explicatives sur la présence de FD

### a) Effets des variables locales

Il est possible de voir sur le Tableau 7 que l'année de plantation, la présence majoritaire de Merlot et la présence majoritaire de Sémillon ont un effet négatif significatif sur la présence de flavescence dorée, tandis que la surface de la parcelle, la présence majoritaire de Cabernet-Sauvignon et le nombre cumulé de traitements jusqu'à la première prospection des parcelles ont un effet positif significatif. La présence de bois noir, la présence majoritaire de Cabernet Franc, de Sauvignon et la densité n'ont pas d'effet significatif sur la présence de la maladie.

Tableau 7 : Estimation de l'effet des paramètres locaux et paysagers avec la méthode R-INLA spatialement explicite.

	Mean	0,025 quant	0,5 quant	0.975 quant
Intercept	-5,95	-7,14	-5,94	-4,79
AnneeScale	-0,15	-0,20	-0,15	-0,11
ResBN	-10,58	-32,51	-8,92	2,85
logSurf_Parc	0,97	0,84	0,97	1,11
CepMajCabFran	0,26	-0,03	0,26	0,55
CepMajCabSau	0,54	0,27	0,54	0,81
CepMajMerlot	-0,50	-0,76	-0,50	-0,24
CepMajSauvi	-0,06	-0,38	-0,06	0,25
CepMajSemill	-0,64	-0,94	-0,64	-0,34

DensiteScale	-0,02	-0,07	-0,02	0,04
NbTraitCumScale	0,11	0,04	0,11	0,18
c_pland_foret	-2,67	-3,97	-2,67	-1,36
c_pland_landelign	-2,59	-9,46	-2,57	4,19
c_pland_prairie	0,15	-1,28	0,15	1,58
c_pland_vigne	-3,29	-4,32	-3,30	-2,26
c_pland_urbaincom	13,45	7,85	13,44	19,15
c_pland_urbdiffu	0,26	-1,13	0,26	1,65
l_npScale	-0,01	-0,14	-0,01	0,12

### b) Effets des variables paysagères

On observe dans le Tableau 7 que l'intervalle de confiance de l'estimation de  $c\_pland\_foret$ ,  $c\_pland\_vigne$  et  $c\_pland\_urbaincom$  par le modèle exclut la valeur 0. Ainsi, le pourcentage de forêt et de vigne au sein d'un buffer de rayon 1000 mètre a un effet significatif sur la présence de flavescence dorée, qui s'avère être négatif pour la forêt et la vigne, et positif pour l'urbain dense et les zones commerciales. Les autres variables paysagères, à savoir le pourcentage de la classe lande ligneuse, prairie et urbain diffus n'ont pas d'effets significatifs. L'indice de fragmentation n'a également pas d'effet significatif sur la probabilité de présence de la maladie.

## 3. Ajustement du modèle aux données de prévalence de la FD

La qualité d'ajustement du modèle GLM spatialement explicite, aux données observées de prévalence de la FD est assez satisfaisante (Figure 20). En effet, la droite de régression entre valeurs observées et ajustées est assez proche de la première bissectrice (pour laquelle  $Y=X$ ) et son  $R^2$  vaut 0.9. Ainsi, le modèle utilisé représente et explique relativement bien les données réelles.

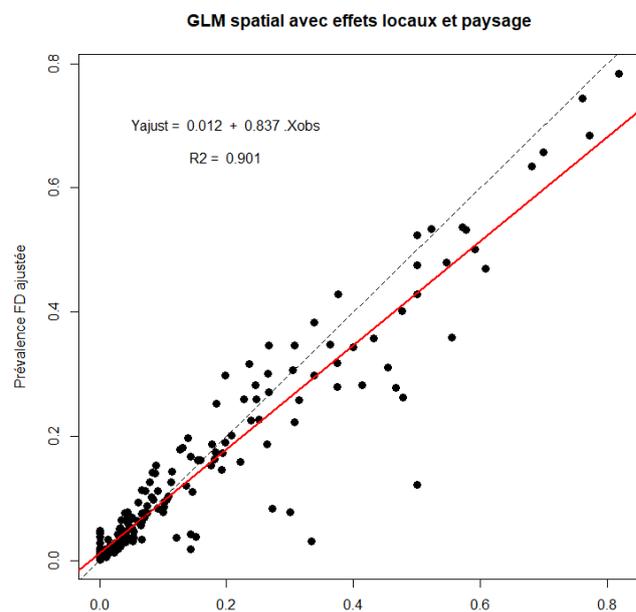


Figure 20: Relation entre les prévalences observées de la FD (agrégées à l'échelle des communes) et ces mêmes valeurs ajustées par le modèle. Ne sont retenues ici que les communes pour lesquelles nous disposons de plus de 5 observations parcellaires (206 communes).

# Discussion

## I. Qualité et fiabilité des données

### 1. Données de prospection GDON

#### a) Prospection partielle du territoire du GDON

L'analyse de la base de données s'est basée sur l'observation de flavescence dorée lors de la première prospection des parcelles. En effet, le GDON ne prospecte chaque année que 10% du territoire, en revenant chaque année sur les parcelles infectées l'année précédente, et ce, jusqu'à disparition de la maladie. Ainsi, les zones prospectées ne sont pas les mêmes d'une année sur l'autre (sauf pour les zones infectées, comme dit précédemment). Par conséquent, l'analyse et l'explication des dynamiques de la maladie n'est possible que pour les zones prospectées chaque année et non à l'échelle du territoire du GDON. Nous avons ainsi décidé de se focaliser uniquement sur la première année de notation, et par conséquent de ne pas tenir compte de la dimension temporelle des observations, qui nous a permis d'avoir un jeu de données considérant uniquement les parcelles prospectées.

#### b) Non prise en compte des ceps infectés asymptomatiques

La prospection sur symptômes est réalisée par les équipes GDON mais aussi par des saisonniers durant la période estivale. Ces saisonniers ne sont pas toujours formés dans le domaine de la viticulture et aux maladies de la vigne. Une formation est tout de même apportée lors des matinées de prospection, afin de permettre aux prospecteurs de reconnaître les symptômes de phytoplasmoses, et de les différencier des autres causes de rougissement ou jaunissement des feuilles. Sur le terrain, le prospecteur pourra faire appel à un responsable GDON pour confirmer le diagnostic d'un pied symptomatique, une analyse confirmera ou non la présence de flavescence dorée. Il pourrait néanmoins passer à côté de cas infectés asymptomatiques. En effet, le moment d'expression des symptômes peut être plus ou moins décalé dans la saison et ne pas correspondre à la période de passage des prospecteurs. Ces ceps ne sont donc pas présents dans la base de données, ce qui peut représenter un biais dans l'analyse des dynamiques de la maladie.

Une solution, nécessitant néanmoins davantage de moyens financiers et humains, serait le passage d'une seconde équipe sur les parcelles prospectées en fin de saison en cas d'apparition tardive des symptômes. La proportion de pieds détectés supplémentaires pourrait ensuite être pris en compte dans les analyses statistiques. De plus, il a été observé que le taux d'infection de flavescence dorée était constant dans le temps (Figure 9). Les méthodes de

gestion déployées par le GDON permettent donc de maintenir la maladie à un niveau constant mais pas de la faire régresser à l'échelle du territoire. Ceci peut être dû en partie au fait que la prospection des parcelles par le GDON ne se fait pas sur l'ensemble du territoire chaque année, par défaut de moyens financiers, matériels, et humains (Figure 15). Les dynamiques de la maladie, dans l'espace et dans le temps ne sont pas réellement connues. L'analyse de ces dynamiques par des variables explicatives risque ainsi d'être biaisée.

## 2. Hétérogénéité des notations des données GDON

Certaines difficultés ont été rencontrées concernant les données SIG du GDON. En effet, du fait de la succession des personnes responsables du SIG, les notations et les dessins des parcelles n'étaient pas toujours les mêmes d'une année sur l'autre. Un gros travail de compréhension et d'harmonisation des données a donc été réalisé, ce qui a demandé beaucoup de temps. L'identifiant des parcelles changeant d'une année à l'autre, le processus de fusion des six SIG par transformation des polygones en centroïdes et par jointure spatiale a entraîné une perte d'information pour quelques parcelles, pour certaines années (Tableau 4). La présence d'un même identifiant pour toutes les années permettrait de croiser plus facilement les données, et de sans doute conserver les informations qui ont été perdues à cause des problèmes de géométrie des parcelles.

De plus, les parcelles de vignes qui ont été arrachées ne sont pas forcément conservées et dessinées dans la base de données par les équipes du GDON. Néanmoins, à partir de 2015, ces derniers ont décidé de conserver et dessiner les parcelles arrachées l'année  $n$  en l'année  $n+1$ , mais elles sont tout de même supprimées de la base de données à partir de l'année  $n+2$ . Il pourrait être intéressant de conserver chaque année les parcelles qui ont été arrachées les années précédentes. Cela pourrait être un moyen d'étudier l'effet des arrachages sur la diffusion de la flavescence dorée dans le temps et dans l'espace.

## 3. Données du CVI

### a) Organisation du CVI

Les données du CVI avaient été réorganisées en sous-CVI afin que chaque parcelle du GDON ait une information précise concernant le cépage, l'année de plantation, etc. Néanmoins, cette réorganisation des données peut engendrer une perte de l'information initiale. En effet, nous avons décidé de garder seulement les cinq cépages les plus présents dans le CVI, tandis que les autres ont été regroupés dans la catégorie « Autre ». De même, l'année de plantation pour chaque parcelle cadastrale est en fait une pondération de l'année par les différentes surfaces des parcelles culturales qui la composent. L'effet de l'année de plantation risque donc

d'être biaisé. Une autre manière de conserver au plus près l'année de plantation du CVI initial serait de créer, pour chaque parcelle cadastrale, des classes d'année de plantation, par exemple moins de 5 ans ; 5 à 10 ans, etc., et ensuite d'indiquer les surfaces des parcelles culturales assignées à ces classes. Cela peut être réalisé également pour les densités et les écartements.

### b) Perte de l'information CVI lors de la fusion des données

Il a été observé que 18 276 parcelles n'avaient pas d'information du CVI après fusion de celui-ci avec les données du GDON. Plusieurs causes permettent de l'expliquer. Tout d'abord, certaines parcelles même présentes dans la base de données, n'ont jamais été prospectées, et n'ont donc aucune valeur dans le champ « AnNotPar ». Ces parcelles qui sont au nombre de 10 688 devront être supprimées de la base de données d'analyse. Ensuite, certains polygones ou centroïdes de parcelles GDON sont complètement disjoints des polygones des parcelles cadastrales du CVI. Cela peut être dû au fait que le découpage parcellaire du GDON et du CVI ne soit pas le même, ou encore que la parcelle cadastrale du CVI n'est pas dessinée. Par conséquent, lors de la fusion des deux sources de données, les parcelles GDON ne sont attribuées à aucune parcelle cadastrale. Ainsi, sur les 18 276 parcelles sans informations du CVI, 5 023 d'entre elles sont concernées par au moins une de ces deux explications. Enfin, les 2 565 restantes ont toutes été prospectées au moins une fois, et peuvent être attribuées à une parcelle cadastrale du CVI en 2016. Néanmoins, la fusion s'effectuant en fonction de la première année de prospection, la parcelle cadastrale en question n'existe sans doute pas encore, pour cette année-là.

De plus, le CVI disponible étant celui de 2016, et non celui de 2017, les modalités réelles des variables explicatives à l'échelle de la parcelle sont inconnues en 2017, notamment en ce qui concerne le cépage et l'année de plantation. En effet, les plantations, replantations et/ou arrachage de parcelles cadastrales pouvant avoir lieu en 2017 ne sont pas pris en compte dans notre analyse.

Enfin, et comme il a été dit précédemment, il semblerait que des parcelles cadastrales du CVI ne soient pas toujours dessinées, alors que des parcelles de vigne ont bien été observées. Il semblerait ainsi que le CVI ne soit pas toujours à jour et complet. La déclaration des parcelles de vignes dans le CVI étant obligatoire chaque, on s'interroge alors sur les raisons de ce manque d'information. Cela avait d'ailleurs été observé pour l'étude réalisée en Bourgogne. L'utilisation du CVI permettait dans ce cas-là d'avoir une représentation du parcellaire viticole et de pouvoir analyser l'agrégation des pieds symptomatiques et des pieds positifs à la flavescence dorée. Cela n'a donc pas pu être réalisé du fait d'un CVI très incomplet.

## **II. Effets variables explicatives sur la présence de FD**

### **1. Autocorrélation spatiale**

Si la prise en compte de la structuration spatiale des observations à travers la méthode INLA n'a pas totalement permis d'enlever l'autocorrélation spatiale, elle a permis de la réduire très fortement. Plusieurs pistes pourraient être explorées pour éliminer l'autocorrélation résiduelle observée Figure 17. Une première piste serait d'affiner le maillage spatiale utilisé dans la méthode INLA. Le maillage utilisé actuellement correspond à une triangulation de Delaunay avec 2968 sommets. Affiner ce maillage, au prix de temps de calcul plus long (l'estimation du modèle retenu prend plus de 10 heures sur un processeur Xeon à 3.7 Ghz) pourrait permettre de mieux prendre en compte l'autocorrélation à petite distance. Une seconde piste serait de considérer des fonctions de corrélation de Matérn non-stationnaires, c'est-à-dire qui en plus de dépendre de la distance dépendent également de l'espace. C'est désormais possible avec les dernières versions d'INLA.

### **2. Effets des variables locales**

En ce qui concerne les variables locales, l'effet négatif significatif du Merlot et l'effet positif significatif du Cabernet-Sauvignon semble cohérent avec la bibliographie, puisque de nombreuses études ont démontré de la faible sensibilité du Merlot à la flavescence, et une plus grande sensibilité pour le Cabernet-Sauvignon. Néanmoins, l'effet négatif significatif du Sémillon dans notre analyse est surprenant, puisque selon Boudon-Padiou (2000) ce cépage est considéré comme très sensible à la flavescence dorée. Il existe cependant des contradictions dans la littérature à ce sujet. En effet, Boudon-Padiou (1996) indique par exemple que le Sémillon serait peu sensible à la flavescence dorée. Ces références ne fournissent pas de démonstrations scientifiques de la sensibilité, se basant par exemple sur des expériences d'inoculations suivies de détection ou de quantification des phytoplasmes ou bien sur des données quantitatives d'observations réalisées sur le terrain. Ainsi des études approfondies et actualisées (l'agent infectieux et/ou son vecteur pouvant aussi évoluer en une vingtaine d'année) sur la sensibilité de ce cépage semblent nécessaires.

L'effet positif significatif de la surface de la parcellaire sur la probabilité d'observer de la flavescence dorée pourrait être lié à l'importance des infections secondaires (c'est-à-dire des infections qui ont lieu au sein d'une même parcelle) dans le processus épidémique. En effet, une fois inoculée et infectée par infection primaire qui résulte de rares intrusions de vecteurs infectieux depuis l'extérieur, les vecteurs acquièrent ensuite le phytoplasme sur cette parcelle et le transmet à d'autres pieds de la même parcelle. Dans ce scénario, plus la parcelle est grande, plus le nombre de cas issus d'infection secondaire est important, et plus la présence de maladie

est facile à détecter lors des prospections. Cela pourrait être vérifié puisque le nombre de ceps symptomatiques est noté chaque année par le GDON.

L'effet du nombre cumulé de traitement jusqu'à la première prospection des parcelles peut être surprenant dans un premier temps. En effet, plus celui-ci est important, plus forte est la probabilité d'observer de la flavescence dorée. En fait, ces résultats ne permettent pas de discuter du lien de causalité qui existent entre ces deux variables. Corrélation ne veut pas dire causalité. Ce résultat pourrait simplement signifier que les traitements, même appliqués avant la prospection des parcelles, visent des zones ayant de la flavescence dorée et que le nombre de traitement dépend du risque de contamination de la commune. Ainsi, si le nombre de traitements est important avant la prospection des parcelles, cela signifie qu'elle se situe dans une zone à risque élevé de contamination par la maladie et que la probabilité de l'observer est importante.

### **3. Effet des variables paysagères**

L'effet négatif `c_pland_vigne` sur la probabilité d'observer de la flavescence dorée est étonnant, surtout lorsqu'on le compare avec le résultat précédent, à savoir l'effet positif de la superficie de la parcelle viticole. Ainsi, plus la proportion de vigne dans le paysage est importante, moins il est probable d'être contaminé par la maladie. Néanmoins, cela pourrait s'interpréter par le fait que dans les zones très majoritairement viticoles les agriculteurs sont plus informés et soucieux de la maladie et que la surveillance est y plus organisée que les plus petits vignobles où la viticulture s'insère dans des exploitations en polycultures majoritairement.

L'urbain dense a un effet positif important sur la probabilité d'infection d'une parcelle. Un élément permettant d'interpréter ce résultat pourrait être le fait qu'il y ait des repousses de vignes ou des vignes de jardin, réservoirs potentiels de maladie, sur les terrains de particuliers présents dans ces tissus urbains. Elles sont présentes dans les anciennes parcelles de vignes, dans les talus ou fossés. Des travaux de cartographie de l'action 1 de CoAct, menés sur 2 communes viticoles du Bordelais, ont montré que près de 50 % des vignes non cultivées sont présentes sur des terrains de particuliers. Ces derniers ne sont pas toujours informés et sensibilisés aux risques que peut engendrer la présence de repousses ou vignes non cultivées sur leurs terrains, ainsi qu'aux moyens de gestion permettant de les éliminer. Néanmoins, et afin de sensibiliser la population à ce sujet, un livret de communication sur la flavescence dorée leur étant destiné a été réalisé dans la cadre du projet dont le but est de lutter contre la maladie et réduire l'impact environnemental de la lutte obligatoire. On peut également faire l'hypothèse qu'une pression sociétale vis-à-vis des pesticides peut conduire à une limitation des traitements insecticides par les viticulteurs dans ces zones urbanisées.

### III. Perspectives

#### 1. Création des buffers paysagers

L'intégration des facteurs du paysage a été réalisée en créant des buffers de 1 km de rayon autour des centroïdes des parcelles GDON, croisés ensuite avec la carte d'occupation des sols. Néanmoins, ce rayon a été choisi de manière arbitraire afin de décrire et de visualiser tout d'abord les premiers résultats possibles. Il s'agit d'une première étude exploratoire. Afin de vérifier de la pertinence de ces résultats et/ou d'identifier de nouveaux liens statistiques entre caractéristique du paysage et risque épidémique, il sera nécessaire de tester d'autres rayons de buffers, en prenant en compte par exemple la capacité de dispersion de *S. titanus*, et utiliser ensuite des méthodes de comparaison de modèles pour estimer le rayon de buffer optimal pour notre étude. Il existe également des méthodes permettant de directement estimer le rayon optimal de buffer. C'est ce que réalise par exemple la fonction `Bsiland` du package `Siland`, développé par Olivier Martin et Florence Carpentier (<https://cran.r-project.org/web/packages/siland/index.html>) (Chandler et Hepinstall-Cymerman 2016). Dans ce modèle, les buffers sont créés pour chaque observation, et chaque buffer calcule le pourcentage de chaque variable paysagère, incluse dans le modèle au format `shapefile`. Le rayon optimal du buffer est calculé pour chaque variable paysagère, en maximisant la fonction de vraisemblance. Enfin, l'analyse des effets des variables du paysage est réalisée. Une rencontre avec Olivier Martin à Avignon (Juillet 2019) a permis de mieux comprendre ce package, néanmoins le jeu de données étant très conséquent (avec presque 40 000 observations), l'application de cette méthode n'a pas été possible car trop coûteuse en temps de calcul. Le code informatique associé doit donc être optimisé.

#### 2. Autres variables explicatives

Les données présentes dans la base de données regroupent des variables explicatives à l'échelle de la parcelle et du paysage. Aux variables locales, il pourrait être intéressant de rajouter des variables relatives aux pratiques, itinéraires techniques et méthodes de lutte contre la cicadelle par des viticulteurs sur les parcelles viticoles. Par exemple, des données concernant le statut du mode de conduite (conventionnel / agriculture biologique) de la parcelle et donc l'efficacité de la lutte contre le vecteur de la FD, les niveaux de population de *S. titanus* dans la parcelle, pourraient être ajoutées à la base de données actuelle, ces variables pouvant avoir un effet substantiel sur la présence de flavescence dorée.

Des variables paysagères géolocalisant les ripisylves et zones humides où sont souvent présents des vignes non cultivées, des aulnes et clématites, qui peuvent être des réservoirs de FD pourraient être intégrées dans la base de données. Enfin les données climatiques (vent,

températures, précipitations) pouvant avoir une influence sur les dynamiques de la maladie devront également être intégrées

Enfin, d'autres données quantitatives déjà présentes dans les bases GDON, comme le nombre de pieds symptomatiques, pourraient expliquer la présence de la maladie. Les observations étant notées chaque année, il pourrait être possible d'étudier l'évolution dans le temps de la maladie pour les parcelles reinspectées.

### **3. Elaboration de cartes de risques pour optimiser la prospection**

L'analyse de la base de données a ciblé la première année de prospection des parcelles et le risque que les parcelles ainsi prospectées soient infectées par la flavescence dorée. A long terme, et en transposant ces résultats aux parcelles et aux communes non prospectées, ce type de modélisation pourrait permettre de générer des cartes de risques de contamination par la flavescence dorée à différentes échelles spatiales, lors de la première prospection. Ces cartes pourraient devenir un outil précieux pour guider les prospecteurs dans le choix des zones à prospecter en priorité.

# Conclusion

Cette étude présente la réflexion adoptée pour la création d'une base de données SIG de la prévalence de la flavescence dorée dans les parcelles du territoire du GDON, et de facteurs pouvant jouer sur celle-ci, afin de mieux comprendre les dynamiques épidémiques de la maladie dans l'espace et dans le temps.

Les recherches menées sur la flavescence dorée et son vecteur *Schaphoideus titanus* se sont multipliées ces dix dernières années afin de comprendre les effets des facteurs à l'échelle de la parcelle, et de plus en plus à l'échelle du paysage, sur les dynamiques de la maladie. Ainsi, ces études ont montré que le cépage, le climat, l'année de plantation, la densité et la dispersion de la population de vecteurs, ainsi que la présence de réservoirs à phytoplasmes/vecteurs sont des facteurs qui jouent sur la présence de la maladie.

Cette dernière, à caractère épidémique et classée maladie de quarantaine, fait l'objet d'une lutte obligatoire dans toute l'Union Européenne. La surveillance des parcelles est un des piliers dans la gestion contre la maladie et son vecteur. Elle peut être réalisée par des organismes tels que le GDON des Bordeaux, qui chaque année, géolocalise sur un SIG, les parcelles qu'il prospecte et leur statut d'infection à la flavescence dorée, afin de viser l'année suivante les zones à fort risque de contamination.

La matière première de la base de données SIG créée est le fruit des milliers d'heures de travail de prospection des parcelles sur le territoire du GDON des Bordeaux, de 2012 à 2017. Ces données géolocalisées sont une mine d'information pour les études épidémiologiques mais elles doivent être pour cela rassemblées dans une base unique et complétées avec d'autres données de sources différentes comme le Casier Viticole Informatisé qui contient également des informations géolocalisées sur les caractéristiques des parcelles viticoles, telles que l'année de plantation, le cépage, la densité ; ou encore la carte d'occupation des sols avec des proportions d'occupation du paysage par les vignes, les forêts ou l'urbain. La fusion de ces données de sources différentes a entraîné une perte de l'information initiale de l'ordre de 30%.

Afin d'étudier la prévalence de la maladie avant mise en place de la lutte, l'analyse s'est focalisée sur la première année de prospection des parcelles présentes dans la base de données. Ainsi, l'année de plantation, le cépage, ainsi que la proportion de vigne et de forêt dans le paysage ont un effet positif significatif sur la probabilité d'observer la maladie ; tandis que la surface de la parcelle viticole, le nombre cumulé de traitements insecticides jusqu'à la première prospection, ainsi que la présence d'urbain ont un effet positif significatif.

Cette base de données, qui est sûrement la première réalisée à une aussi grande échelle spatiale, représente ainsi le prémisses d'un modèle de simulation des épidémies et des stratégies de gestion de la maladie à l'échelle d'un territoire, qui pourront notamment permettre d'établir des cartes de risques de contamination par la flavescence pour mieux guider la lutte contre cette dernière.

# Bibliographie

AGRESTE, 2017. 243: *Pratiques culturales en viticulture - Campagne 2013* [en ligne]. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. [Consulté le 27 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/cd243bsva.pdf>

ARNAUD, G, MALEMBIC-MAHER, S, SALAR, P., BONNET, P., MAIXNER, M., MARCONE, C., BOUDON-PADIEU, E. et FOISSAC, X., 2007. Multilocus Sequence Typing Confirms the Close Genetic Interrelatedness of Three Distinct Flavescence Dorée Phytoplasma Strain Clusters and Group 16SrV Phytoplasmas Infecting Grapevine and Alder in Europe. *Plant Microbiology*. 2007.

AUBERTOT, J.N., BARBIER, J.M., CARPENTIER, A., GRILL, J.J., GUICHARD, L., LUCAS, P., SAVINI, I. et VOLT, M., 2005. *Expertise scientifique collective. Pesticides, agriculture Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux* [en ligne]. inra. [Consulté le 5 juin 2019]. Disponible à l'adresse : <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Pesticides-agriculture-et-environnement#>

BEANLAND, L., NOBLE, R. et WOLF, T.K., 2006. Spatial and temporal distribution of North American grapevine yellows disease and of potential vectors of the causal phytoplasmas in Virginia. . 2006. Vol. Environ Entomol, n° 35, pp. 332-344.

BERTIN, S., GUGLIELMINO, C.R., KARAM, N., GOMULSKI, L.M., MALACRIDA, A.R. et GASPERI, 2007. Diffusion of the Nearctic leafhopper *Scaphoideus titanus* Ball in Europe : a consequence of human trading activity. *Genetica*. 2007. pp. 275-285.

BONFILS et SCHVESTER, 1960. Les cicadelles (Homoptera Auchenorrhyncha) dans leurs rapports avec la vigne dans le Sud-Ouest de la France. *Annales des Epiphyties*. 1960. pp. 325-336.

BOUDON-PADIEU, E. et LARRUE, J., 1986. Diagnostic rapide de la flavescence dorée de la vigne par le test ELISA sur la cicadelle vectrice. Application à des populations naturelles de *Scaphoideus littoralis* Ball. Confirmation de la présence de la flavescence dorée dans les Bouches-du-Rhône. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 1986. Vol. 103, pp. 357-364.

BOUDON-PADIEU, E, 1996. Jaunisses à phytoplasmes de la vigne. Diagnostic, épidémiologie, et développement des recherches. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*. 1996. Vol. 82, n° 1, pp. 5-20.

BOUDON-PADIEU, E., 2000. *Cicadelle vectrice de la flavescence dorée, Scaphoideus titanus Ball*. Féret, Bordeaux. Stockel J.

BOUDON-PADIEU, E., 2015. Flavescence dorée : les bases à connaître. *Phytoma*. 2015. N° 688.

BRESSAN, A., GIROLAMI, V. et BOUDON-PADIEU, E., 2005. Reduced fitness of the leafhopper vector *Scaphoideus titanus* exposed to Flavescence dorée phytoplasma. *Entomol Exp Appl*. 2005. Vol. 115, pp. 283-290.

CASATI, P., JERMINI, M., QUAGLINO, F., CORBANI, G., SCHAEERER, S., PASSERA, A., BIANCO, P.A. et RIGAMONTI, I.E, 2017. News insights on Flavescence dorée phytoplasma

- ecology in the vineyard agro-ecosystem in southern Switzerland. *Annals of Applied Biology*. 2017. pp. 1-15.
- CAUDWELL, A., 1957. Deux années d'études sur la flavescence dorée nouvelle maladie grave de la vigne. *Annales de l'Amélioration des Plantes*. 1957. pp. 359-393.
- CAUDWELL, A., 1983. L'origine des jaunisses à mycoplasmes (MLO) des plantes et l'exemple des jaunisses de la vigne. *Agronomie*. 1983. pp. 103-111.
- CAUDWELL, A., 1990. Epidemiology and characterization of Flavescence dorée (FD) and other grapevine yellows. *Agronomie 10*. 1990. pp. 655–663.
- CHANDLER et HEPINSTALL-CYMERMAN, 2016. Estimating the spatial scales of landscape effects on abundance. *Landscape Ecology*. 2016. Vol. 31, pp. 1383-1394.
- CHUCHE, J. et THIÉRY, D., 2012. Egg incubation temperature differently affects female and male hatching dynamics and larval fitness in a leafhopper. *Ecol Evol*. 2012. Vol. 2, pp. 732–739.
- CHUCHE, J. et THIÉRY, D., 2014. Biology and ecology of the Flavescence dorée vector *Scaphoideus titanus* : a review. . 2014. Vol. Agron. Sustain. Dev., n° 34, pp. 381-403.
- CHUCHE, Julien, 2010. *Comportement de Scaphoideus titanus, conséquences spatiales et démographiques*.
- COLLING, G et MATTHIES, D, 2004. The effects of plant population size on the interactions between the endangered plant *Scorzonera humilis*, a specialised herbivore, and a phytopathogenic fungus. *Oikos*. 2004. Vol. 105, pp. 71-78.
- CRESSIE, 1993. *Statistics for spatial data*. Wiley, New York. . 1993.
- DIRECTION GÉNÉRALE DES FINANCES PUBLIQUES, 2012. *CAD - Descriptif, usage et diffusion de la documentation cadastrale - Documentation cadastrale* [en ligne]. 24 décembre 2012. [Consulté le 27 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <http://bofip.impots.gouv.fr/bofip/ext/pdf/createPdfWithAnnexePermalien/BOI-CAD-DIFF-10-20121224.pdf?doc=5359-PGP&identifiant=BOI-CAD-DIFF-10-20121224>
- Douanes et Droits Indirects*, 2019. [en ligne]. [Consulté le 27 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.douane.gouv.fr>
- DRAAF, 2018. *Arrêté organisant la lutte contre la flavescence dorée de la vigne*. 2018.
- ERICSON, L, BURDON, J.J. et MULLER, W.J., 1999. Spatial and temporal dynamics of epidemics of the rust fungus *Uromyces valerianae* on populations of its host *Valeriana salina*. *J. Ecol*. 1999. Vol. 87, pp. 649-658.
- EVEILLARD, S., JOLLARD, C., LABROUSSA, F., KHALIL, D., PERRIN, M., DESQUÉ, D., SALAR, P., RAZAN, F., HÉVIN, C., BORDENAVE, L., FOISSAC, X., MASSON, J. et MALEMBIC-MAHER, S., 2016. Constrasting Susceptibilities to Flavescence Dorée in *Vitis vinifera*, Rootstocks and Wild *Vitis* Species. *Plant Science*. 2016.
- FILIPPIN, L, JOVIC, J, CVRKOVIC, T, FORTE, V, CLAIR, D, TOSEVSKI, I, BOUDON-PADIEU, E, BORGIO, M et ANGELINI, E, 2009. Molecular characteristics of phytoplasmas associated with Flavescence dore´ e in clematis and grapevine and preliminary results on the role of *Dictyophara europaea* as a vector. *Plant Pathology*. 2009. Vol. 58, pp. 826-837.

GALETTO, L., MILIORDOS, D., ROGGIA, C., RASHIDI, M., SACCO, D., MARZACHI, C. et BOSCO, D., 2014. Acquisition capability of the grapevine Flavescence dorée by the leafhopper vector *Scaphoideus titanus* Ball correlates with phytoplasma titre in the source plant. *J Pest Science*. 2014. Vol. 87, pp. 671–679.

GDON DES BORDEAUX, 2019. *GDON des Bordeaux* [en ligne]. 21 mai 2019. [Consulté le 21 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.gdon-bordeaux.fr/>

GRANETT, D., WALKER, M.A., KOCSIS, L. et OMER, A.D., 2001. Biology and management of grape phylloxera. *Annual Review of Entomology*. 2001. pp. 387-412.

GUEGAN, Jean-François et CHOISY, Marc, 2009. *Introduction à l'épidémiologie intégrative des maladies infectieuses et parasitaires*. Edition de Boeck. ISBN 978-2-8041-5948-1.

HESSELBARTH, MHK, SCIAINI, M, WITH, KA, WIEGAND, K et NOWOSAD, J, 2019. Landscapemetrics: an open-source R tool to calculate landscape metrics. *Ecography*. 2019. Vol. 42, pp. 1-10.

HILL, G.T. et SINCLAIR, W.A., 2000. Taxa of leafhoppers carrying phytoplasmas at sites of ash yellows occurrence in New York State. *Plant Disease*. 2000. Vol. 84, pp. 134-138.

JEGER, Michael, 2016. Risk to plant health of Flavescence dorée for the EU territory. *EFSA Journal*. septembre 2016. pp. 83.

LESSIO, F et ALMA, A, 2004. Seasonal and daily movement of *Scaphoideus titanus* ball (Homoptera: Cicadellidae). *Environ Entomol*. 2004. Vol. 33, pp. 1689–1694.

LESSIO, F, MONDINO, E.B. et ALMA, A, 2011. Spatial patterns of *Scaphoideus titanus* (Hemiptera: Cicadellidae): a geostatistical and neural network approach. *International Journal of Pest Management*. 2011. Vol. 57, n° 3, pp. 205-216.

LESSIO, F, PICCIAU, L., GONELLA, E., MANDRIOLI, M., TOTA, F. et ALMA, A, 2016. The mosaic leafhopper *Orientalus ishidae*: host plants, spatial distribution, infectivity, and transmission of 16SrV phytoplasma to vines. *Bulletin of Insectology*. 2016. Vol. 69, pp. 277-289.

LESSIO, F, PORTALURI, A, PAPARELLA, F et ALMA, A, 2015. A mathematical model of flavescence dorée epidemiology. . 2015. pp. 1-13.

LESSIO, F, TOTA, F. et ALMA, A, 2014. Tracking the dispersion of *Scaphoideus titanus* Ball (Hemiptera : Cicadellidae) from wild to cultivated grapevine : use of a novel mark-capture technique. *Bulletin of Entomological Research*. 2014. pp. 1-12.

LINDGREN, F. et RUE, H., 2015. Bayesian spatial modelling with R-INLA. *Journal of Statistical software*. 2015. Vol. 63.

MAIXNER, M., PEARSON, R.C., BOUDON-PADIEU, E. et CAUDWELL, A., 1993. *Scaphoideus titanus*, a possible vector of grapevine yellows in New York. *Plant Disease*. 1993. pp. 408-413.

MAIXNER, M., REINERT, W. et DARIMONT, H., 2000. Transmission of grapevine yellows by *Oncopsis alni* (Schrank) (Auchenorrhyncha : Macropsinae). *Vitis*. 2000. pp. 83-84.

MALEMBIC-MAHER, S., SALAR, P., CARLE, P. et FOISSAC, X., 2009. Ecology and taxonomy of Flavescence dorée phytoplasmas : the contribution of genetic diversity studies.

- Extended abstracts 16th Meeting of ICVG. Le progrès Agricole et Viticole.* 2009. Vol. Hors série, pp. 132-133.
- MEENTEMEYER, K., HAAS, E. et VACLAVIK, Tomas, 2012. Landscape Epidemiology of Emerging Infectious Diseases in Natural and Human-Altered Ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*. 2012. Vol. 50, pp. 379-402.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT, 2013. *Arrêté du 19 décembre 2013 relatif à la lutte contre la flavescence dorée de la vigne et contre son agent vecteur* [en ligne]. 31 décembre 2013. 0304. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2013/12/19/AGRGI329211A/jo/texte/fr>
- MORONE, C., BOVERI, M., GIOSUÈ, S., GOTTA, P., SCAPIN, I. et MARZACHI, C., 2007. Epidemiology of Flavescence dorée in vineyards in Northwestern Italy. *Phytopathology*. 2007. Vol. 97, pp. 1422–1427.
- PANZIERA, Fiona, 2018. Plan national dépérissement du vignoble - Action 3c. *Co-pil: Co-Act mars 2019*. novembre 2018.
- PAPURA, D., BURBAN, C., VAN HELDEN, M., GIRESE, X., NUSILLARD, B., GUILLEMAUD, T. et KERDELHUÉ, C., 2012. Microsatellite and Mitochondrial Data Provide Evidence for a Single Major Introduction for the Nearctic Leafhopper *Scaphoideus titanus* in Europe. *Plos One*. 2012. Vol. 7.
- PAPURA, D., DELMOTTE, F., GIRESE, X., SALAR, P., DANET, J.L., VAN HELDEN, M., FOISSAC, X. et MALEMBIC-MAHER, S., 2009. Comparing the spatial genetic structures of the Flavescence dorée phytoplasma and its leafhopper vector *Scaphoideus titanus*. *Infect Genet Evol*. 2009. Vol. 9, n° 867-876.
- PAVAN, F., MORI, N., BIGOT, G. et ZANDIGIACOMO, P., 2012. Border effect in spatial distribution of Flavescence dorée affected grapevines and outside source of *Scaphoideus titanus* vectors. *Bulletin of Insectology*. 2012. Vol. 65, pp. 281-290.
- PELLETIER, C., SALAR, P., GILLET, J., CLOQUEMIN, G., VERY, P., FOISSAC, X. et MALEMBIC-MAHER, S., 2009. Triplex real-time PCR assay for sensitive and simultaneous detection of grapevine phytoplasmas of the 16SrV and 16SrXII-A groups with an endogenous analytical control. *Vitis*. 2009. Vol. 48, pp. 87-95.
- PLANTEGENEST, M., LE MAY, C. et FABRE, F., 2007. Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of the Royal Society Interface* [en ligne]. 2007. Disponible à l'adresse : <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsif.2007.1114#d3e322>
- RAPILLY, Frantz, 1991. *L'épidémiologie en pathologie végétale. Mycoses aériennes*. 1ère édition. INRA. Mieux Comprendre.
- RIZZO, D.M. et GARBELOTTO, M., 2003. Sudden oak death: endangering California and Oregon forest ecosystems. *Front. Ecol. Environ*. 2003. Vol. 1, pp. 197-204.
- SALAR, P., CHARENTON, C., FOISSAC, X. et MALEMBIC-MAHER, S., 2013. Multiplication kinetics of Flavescence dorée phytoplasma in broad bean. Effect of phytoplasma strain and temperature. *European Journal of Plant Pathology*. 2013. Vol. 135, n° 2, pp. 371–381.

SCHVESTER, D., CARLE, A. et MOUTOUS, G., 1969. Nouvelles données sur la transmission de la Flavescence dorée de la vigne par *Scaphoideus littoralis* Ball. *Ann Zool Ecol Anim.* 1969. Vol. 1, pp. 445-465.

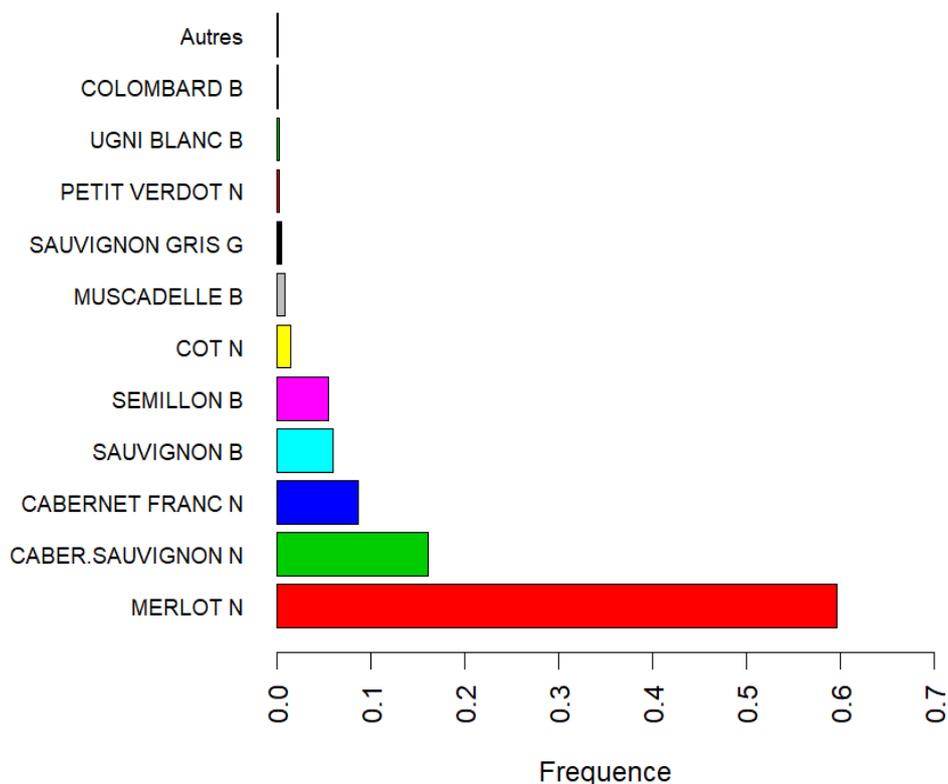
SCHVESTER, D., MOUTOUS, G. et CARLE, P., 1962. *Scaphoideus littoralis* Ball. (Homopt. Jassidae) cicadelle vectrice de la Flavescence dorée de la vigne. *Revue de zoologie Agricole et Appliquée.* 1962. pp. 118-131.

VIDANO, C., 1964. Scoperta in Italia dello *Scaphoideus littoralis* Ball cicalina americana collegata alla “Flavescence dorée” della Vite. *Ital Agric.* 1964. pp. 1031–1049.

ZUUR, A., IENO, E. et SVELIEV, A., 2015. Spatial and Spatio–Temporal Bayesian Models with R–INLA. *Wiley-Blackwell.* 2015. pp. 320.

# Annexes

## Annexe i : Fréquence des cépages du CVI



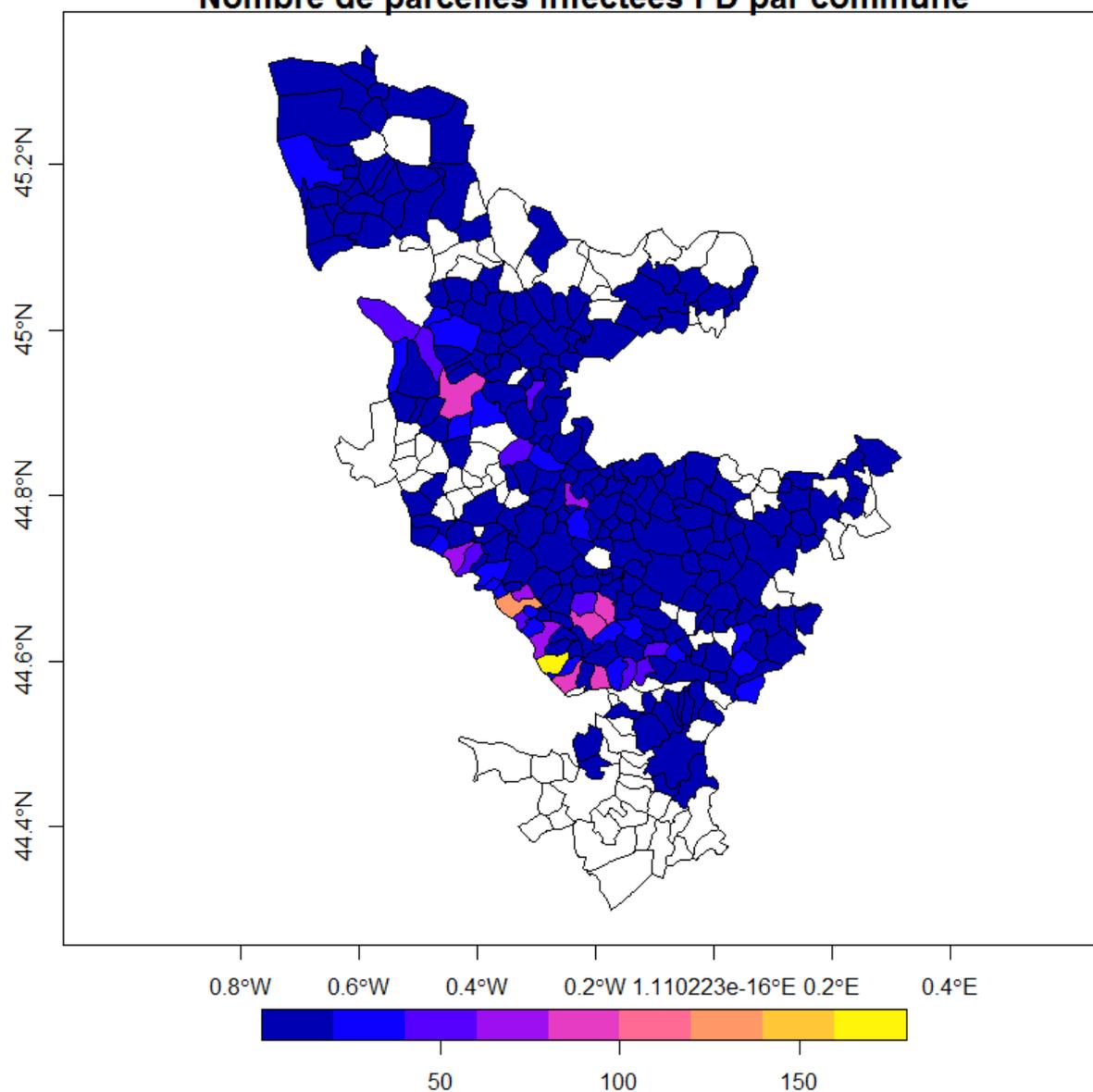
## Annexe ii : Explication détaillée de la fusion des années de prospection GDON

Nom des champs	Description
Rowid_aa	Numéro de ligne unique allant de 1 à x
code_UnikG	Code unique d'identifiant de la parcelle composé du code Insee de la commune + lettre de la commune + numéro à 4 chiffre de la parcelle
IdUnik_aa	Code unique de la parcelle construit en concaténant le champ "INSEE" et "IdParcelle"
Prosp_aa	Résultat de la prospection. Valeurs : NON PROSPECTEE = la parcelle n'a pas été prospectée soit car elle n'était pas prévue soit car c'était une jeune vigne ou une friche. PROSPECTEE = la parcelle a été prospectée mais aucun pied n'a été trouvé. INFECTEE BN = les pieds marqués sont sortis bois noir à l'analyse. INFECTEE FD = la parcelle est infectée par la flavescence dorée mais ne l'était pas en n-1. INFECTEE FD (retour 2015) = la parcelle est infectée par la flavescence dorée et l'était déjà en 2015. NON INFECTEE = le résultat d'analyse est sorti négatif. NON INFECTEE (retour 2015) = la parcelle était infectée par la flavescence dorée en 2015 mais aucun pied n'a été trouvé lors de la prospection 2016. PROBLEME ANALYSE = des pieds ont été marqués mais on n'a pas de résultat d'analyse, il faut y retourner en n+1.
IdParcl_aa	Numéro de parcelle : lettre de la commune + numéro à 4 chiffres recommence à 0 à chaque commune.

<b>Insee_aa</b>	Code Insee de la commune commençant par 33 (département) puis les 3 chiffres d'identifiant de la commune.
<b>Commune_aa</b>	Nom de la commune
<b>Surface_aa</b>	Surface du polygone déterminée par \$area et exprimé en m <sup>2</sup>
<b>ProsTot_aa</b>	Prospection totale : les équipes de prestataires marquent 5 pieds maximum sur une parcelle, puis sortent de la parcelle même si elle n'a pas été prospectée entièrement. Si le résultat d'analyse est positif à la flavescence dorée une équipe du GDON revient prospecter la parcelle entièrement. Valeurs : OUI ; NON
<b>NbPied1_aa</b>	Nombre de pieds marqués au premier passage.
<b>PrSup20_aa</b>	OUI = la parcelle est contaminée à plus de 20% et est à arracher entièrement.
<b>Cepage_aa</b>	Cépage observé par l'équipe sur la parcelle
<b>NbPiedT_aa</b>	Nombre final de pieds marqués sur la parcelle
<b>ResAna_aa</b>	Résultat d'analyse final de la parcelle. Le n=négatif, le p=positif. Valeurs : FDn/BNp ; FDn/BNn ; FDp/BNn ; FDpBNp.
<b>Jaun_aa</b>	Type de jaunisse envoyé dans le courrier d'arrachage
<b>CtArach_aa</b>	Résultat du contrôle d'arrachage
<b>DatCtAr_aa</b>	Date du contrôle d'arrachage
<b>AnneeB_aa</b> (ajouté)	Année de la prospection
<b>StaPros_aa</b> (ajouté)	Statut de prospection. Valeurs : PROSPECTEE / NONPROSPECTEE
<b>ResFD_aa</b> (ajouté)	Présence/Absence de Flavescence dorée. Valeurs : 0 / 1
<b>ResBN_aa</b> (ajouté)	Présence/Absence de Bois noir. Valeurs : 0 / 1

**Annexe iii : Carte du nombre de parcelles infectées par commune lors de leur première prospection**

**Nombre de parcelles infectées FD par commune**







	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Agroécologie et Gestion des Ressources (AGROGER) Enseignant référent : Thomas Nesme
Auteur(s) : Lovasoa RAMALANJAONA  Date de naissance* : 04/09/95	Organisme d'accueil : INRA Bordeaux-Aquitaine Adresse : 71 Avenue Edouard Bourlaux, 33140 Villenave-d'Ornon
Nb pages : 68                      Annexe(s) : 3	
Année de soutenance : 2019	Maître de stage : Frédéric FABRE
<b>Titre français :</b> Création et analyse d'un système d'information géographique des foyers de flavescence dorée dans le vignoble Bordelais.	
<b>Titre anglais :</b> Creation and analysis of a geographical information system of Flavescence Dorée focuses in the Bordelais vineyard.	
<b>Résumé (1600 caractères maximum) :</b> <p>La flavescence dorée (FD) est une maladie de quarantaine qui touche la vigne, causée par un phytoplasme et transmise par la cicadelle <i>Scaphoideus titanus</i>. La surveillance des parcelles viticoles est un des piliers de gestion de la maladie. L'objectif de ce stage était de réaliser un Système d'Information Géographique (SIG) fiable des foyers de FD dans le territoire du GDON des Bordeaux dans le but d'étudier les dynamiques de la maladie dans les zones prospectées par le GDON. Plusieurs sources de données (GDON avec les observations FD entre 2012 et 2017, CVI pour les informations sur les cépages, CESBIO pour les données d'occupation du sol) ont été combinées. Si la fusion de ces bases a entraîné une perte de l'information par rapport à l'ensemble des prospections GDON, le SIG créé contient 40246 parcelles renseignées sur 38 champs. L'analyse de cette base s'est focalisée sur le statut infectieux des parcelles lors de la première année de prospection. Une forte autocorrélation spatiale étant présente, ces données binaires ont été analysées avec un modèle glm spatialement explicite estimé avec la méthode INLA. Ainsi, l'année de plantation, les cépages Merlot et Sémillon, la proportion de vigne et de forêt dans le paysage ont un effet négatif sur la probabilité d'observer la maladie, tandis que le Cabernet-Sauvignon, le nombre de traitements insecticides, et la proportion d'urbain dans le paysage ont un effet positif sur la présence de FD. Cela constitue les prémisses d'un modèle de prédiction de cartes de risques FD qui permettra de mieux guider la stratégie de prospection.</p>	
<b>Abstract (1600 caractères maximum) :</b> <p>Flavescence dorée is a quarantine disease of grapevine, caused by a phytoplasma and transmitted by the leafhopper <i>Schaphoideus titanus</i>. The vineyards survey is one of the cornerstone to manage the disease. The objective of this intership was to (i) create a reliable Geographic Information System (GIS) of flavescence dorée focuses in the territory of GDON des Bordeaux and (ii) study the dynamics of the disease in this territory. Different sources of data (GDON with FD observations between 2012 ans 2017, CVI with data on cultivars, CESBIO with data on land occupation) were combined. If this process results to a lose of information, the GIS created contains 40 246 plots informed on 38 variables. The analysis of this database was focused on the infectious status of individual fields during the first prospection year. As a high spatial autocorrelation was present, these binary data were analysed with a spatially explicit GLM model fitted with the INLA method. Thereby, the plantation year, Merlot and Semillon cultivars, the proportion of grapevine and forest in landscape have a negative effect on the probability to observe the disease, whereas the presence of Cabernet-Sauvignon, the number of insecticides, and the proportion of urban have a positive effect on the presence of the disease. This constitutes the premises of a model of prediction of risk maps of FD which may guide, in a better way, the prospection strategy.</p>	
<b>Mots-clés :</b> Base de données, épidémiologie, flavescence dorée, INLA, SIG, statistique spatiale <b>Key Words :</b> Database, epidemiology, flavescence dorée, GIS, INLA, spatial statistic	