

## **MODÉLISATION ET OPTIMISATION DE LA GESTION D'UNE ÉPIDÉMIE : QUEL IMPACT DU PAYSAGE ?**

Thèse de Coralie **PICARD**<sup>1</sup>

Analyse de Guy **WAKSMAN**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Gaël Thébaud, Chargé de recherche INRA - BGPI

Co-encadrant de la thèse : Emmanuel Jacquot Directeur de recherche INRA - BGPI

Co-encadrant de la thèse : Samuel Soubeyrand, Directeur de recherche, INRA - Unité BioSP

Co-encadrant de la thèse : Pascal Hendriks, Chercheur Anses

S'appuyant sur un modèle existant de simulation des épidémies de sharka et de leur gestion, ainsi que sur un ensemble important de données déjà collectées ou résultats de simulations, cette thèse a pour but d'optimiser les stratégies de gestion de ces épidémies de sharka.

Cette thèse, tout à fait remarquable, surprend au premier abord, parce qu'elle apparaît comme un puzzle constitué de six articles parus ou à paraître, chacun intéressant par lui-même, la thèse leur apportant en quelque sorte la valeur ajoutée d'une vue d'ensemble, restituant et reliant les résultats dans un tout cohérent, les différentes pièces du puzzle s'ajustant au mieux.

Le cœur de la démarche de modélisation mise en œuvre comporte trois volets (estimation de paramètres, simulation, optimisation) :

- estimer la fonction de dispersion de la sharka à partir de données épidémiologiques et génétiques ;
- intégrer les caractéristiques paysagères dans un modèle de simulation de la maladie pour étudier l'influence du paysage sur les stratégies de gestion ;
- optimiser les stratégies de gestion d'une épidémie en prenant en compte le paysage et la possibilité d'introduction de variétés résistantes.

Au-delà de la démarche de modélisation avec des outils statistiques de très bon niveau, il est intéressant de voir comment cette thèse, s'intéressant à une maladie qui fait l'objet d'une réglementation précise, prend en compte les aspects réglementaires et économiques du problème posé par la sharka, aussi bien que les aspects épidémiologiques.

Au sein de cette thèse, une synthèse bibliographique sur les approches d'épidémiologie moléculaire ciblées sur le suivi de la dispersion des virus dans les paysages, est proposée. On est tellement habitué lors des séances de notre Académie d'agriculture à constater la « ruée » vers les analyses

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat soutenue le 16 octobre 2018 devant le Collège doctoral Languedoc-Roussillon pour le titre de Docteur délivré par Montpellier SupAgro dans le cadre de GAIA - Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau, en partenariat avec BGPI - Biologie et Génétique des Interactions Plante-Parasite (laboratoire) et de Epidémiologie végétale et vection (équipe de recherche)

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France (section 9 - Agrofournitures)

des génomes, que l'on aurait été étonné que ce ne soit pas le cas ici. On voit que de récents modèles phylodynamiques et des modèles SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Removed) prenant en compte des données épidémiologiques et génétiques peuvent être utilisés pour inférer des arbres de transmission et des paramètres épidémiologiques clés (en se basant sur des séquences de virus provenant d'épidémies intensément échantillonnées).

La prise en compte de la géographie de l'épidémie à différents niveaux (proximité entre arbres et entre vergers, structure du parcellaire) est fascinante pour le néophyte :

- Inclure les hôtes non infectés dans une analyse de données épidémiologiques et génétiques permet une meilleure compréhension de l'épidémiologie spatiale d'un agent pathogène et fournit des indications précieuses sur la dynamique de transmission.
- Une méthode pour étudier l'influence du paysage (réel ou simulé) sur les stratégies de gestion est proposée, et permet de conclure que le paysage doit influencer les stratégies de gestion de la sharka.

Au niveau pratique, il est satisfaisant de constater que l'analyse de sensibilité, sur trois paysages différents (variant par le niveau d'agrégation des parcelles concernées), permet d'identifier des stratégies de gestion optimisées, dont certaines, d'après les calculs de simulation, seraient plus efficaces que la stratégie actuelle de gestion française.

De plus, une stratégie générique (efficace pour tous les paysages) a également été identifiée, ce qui est important en pratique car il peut être difficile pour les gestionnaires du risque de délimiter des zones qui diffèrent par leur niveau d'agrégation du paysage. Cette stratégie n'inclut que de très rares interdictions de planter de nouveaux vergers (lorsque le taux de contamination dans la zone environnante est trop élevé) et très peu d'arrachages de vergers entiers ; par ailleurs, elle requiert moins de surveillance des vergers que la stratégie de gestion en vigueur actuellement.

Ainsi des stratégies optimisées dans le cas d'épidémies émergentes et installées ont été identifiées. Elles sont efficaces pour les différents niveaux d'agrégation du paysage. Et d'après le modèle, ces stratégies, dont l'optimisation de la répartition de variétés résistantes dans un paysage) sont plus efficaces économiquement que la stratégie de gestion française et plus simples à mettre en place en pratique (elles n'incluent pas d'interdiction de plantation, ni d'arrachages de vergers entiers, et requièrent moins de surveillance des vergers).

Dans une approche plus purement méthodologique d'optimisation, il a été tenté de prendre en compte les invariances locales des paramètres du modèle, ces invariances correspondant aux configurations où, par construction du modèle, la variable de sortie prend la même valeur pour plusieurs combinaisons de valeurs des variables d'entrée. Cette tentative n'améliore pas vraiment le résultat de l'optimisation, mais permet de converger plus rapidement vers l'optimum.

En conclusion, différentes pistes d'amélioration du modèle sont proposées, mais dans une perspective plus globale, la question est posée de la place des modèles épidémiologiques dans la gestion des maladies. Cette conclusion intéressera les praticiens avec notamment les réflexions suivantes :

- Pour pallier la difficulté de communication entre scientifiques et gestionnaires du risque, les modèles doivent tenir compte des incertitudes, et celles-ci doivent pouvoir être facilement interprétées. Dans cette thèse, il a été choisi par exemple de présenter la moyenne des résultats de nos simulations, ainsi que la moyenne du plus faible décile des résultats.
- Tenir compte de l'aversion au risque des praticiens alors que la plupart des modèles présentent des résultats basés sur la moyenne.
- Prendre en compte l'incertitude comme le fait par exemple Météo France pour les prévisions à partir du quatrième jour.

## ANALYSE DE THÈSE

---

- Pour que les modèles soient mieux valorisés il faut favoriser les échanges entre gestionnaires du risque et scientifiques et consolider les liens entre tous les acteurs de la gestion des maladies.

À noter :

- l'attribution à Coralie Picard du prix de la meilleure présentation de doctorant aux 16èmes rencontres de virologie végétale.
- la bibliographie importante.
- la présentation parfaite, bien que le résumé aurait pu être utilement placé au début, plutôt qu'à la toute fin.
- les six articles en anglais autour desquels se structure cette thèse.

Questions en suspens :

- En amont de cette thèse, des travaux concernant les populations de pucerons vecteurs ont-ils été réalisés ?
- Il est indiqué que la démarche mise en œuvre est en quelque sorte générique, et pourra être réutilisée pour d'autres problèmes d'épidémiologie végétale. Nous serions contents d'en savoir un peu plus sur ce point.
- En particulier, la méthodologie développée dans cette thèse pourrait être extrapolée à d'autres maladies infectieuses transmises par un insecte comme la cicadelle, vectrice de la flavescence dorée de la vigne par exemple.