

Interactions entre dynamique spatio-temporelle des ravageurs et structure des paysages agricoles : approches démo-génétiques appliquées à la mouche orientale des fruits *Bactrocera dorsalis* dans les bassins de production de mangue sénégalais

Cécile Caumette

Soutenance de thèse le 19 novembre 2025

Résumé — Les insectes ravageurs constituent une cause majeure de pertes agricoles, et les méthodes de lutte peinent encore à contrôler efficacement leurs populations. Dans ce contexte, une approche intégrée fondée sur les principes de l'agroécologie peut favoriser le développement de stratégies de gestion durable à l'échelle territoriale. Dans cette perspective, il est essentiel d'améliorer notre compréhension des processus écologiques qui sous-tendent la persistance des populations à l'intersaison et la ré-infestation saisonnière des cultures. Dans cet objectif, nous avons développé une approche de démo-génétique paysagère appliquée à la mouche orientale des fruits, *Bactrocera dorsalis* (Diptera, Tephritidae), espèce invasive et principale menace pour la filière mangue au Sénégal. Dans les principaux bassins de production (Niayes et Casamance), les populations présentent de fortes fluctuations annuelles, avec un pic d'abondance à la saison des mangues, suivi d'un effondrement, voire d'une extinction locale. Nous avons ainsi analysé trois suivis longitudinaux pluriannuels, contrastés par leur échelle et leur structure spatiales, en combinant des données spatio-temporelles à la fois démographiques (abondance), génétiques (SNP) et environnementales (pratiques culturales, structure du paysage et variables bioclimatiques).

Nous avons tout d'abord couplé modélisation mécaniste et apprentissage automatique afin d'identifier les facteurs environnementaux favorisant la persistance des populations à l'intersaison, ainsi que la précocité de ré-infestation des cultures. Nos résultats montrent que les dynamiques saisonnières sont dépendantes des conditions environnementales. Dans les Niayes arides, lorsque l'hôte est absent en saison sèche, les populations se contractent fortement dans des habitats refuges qui limitent les stress hydrique et thermique, délétères pour la survie et la reproduction. Ces refuges constituent alors des sources de ré-infestation à la saison des mangues. À l'inverse, en Casamance tropicale, les densités de population demeurent plus élevées tout au long de l'année et semblent moins dépendantes des conditions locales durant l'intersaison.

Nous avons ensuite cherché à estimer la taille des populations et l'intensité de la dispersion aux différentes phases du cycle saisonnier, dans une zone restreinte située au sein des habitats refuges des Niayes. Nous avons caractérisé les changements spatio-temporels de variation génétique, et mis en œuvre des méthodes d'inférence de la taille efficace des populations et de la distance moyenne de dispersion parent-enfant. La performance de ces méthodes a été évaluée par simulation sous divers scénarios de fluctuation. Cette étude a révélé, en phase résiduelle, une taille efficace de quelques centaines à milliers d'individus et une distance moyenne de dispersion de l'ordre du kilomètre. La sensibilité des méthodes d'inférence aux densités élevées n'a pas permis d'estimer ces paramètres en phase de croissance à l'échelle de notre zone d'étude.

Enfin, nous avons analysé les changements spatio-temporels de la variation génétique à l'échelle des bassins et les avons confrontés aux structures démographique et paysagère, sous l'hypothèse que la dispersion joue un rôle majeur dans la diffusion des pullulations. Nos résultats suggèrent des mécanismes différents entre les Niayes, où les zones de refuges constituent des épicentres précoces à partir desquels la dispersion permet l'invasion rapide des zones moins favorables, et la Casamance tropicale, où l'envahissement du bassin à partir de populations résiduelles plus nombreuses et uniformément réparties semble essentiellement modulé par la présence de l'estuaire de la rivière Casamance, qui constitue un frein à la dispersion.

Ce travail montre que l'approche démo-génétique paysagère est pertinente pour appréhender les interactions entre l'hétérogénéité environnementale et les processus démographiques des ravageurs de culture. Au delà, l'approche multi-paysage souligne l'importance de prendre en compte les spécificités régionales dans la conception de stratégies de gestion agroécologique.

Mots-clés — *Bactrocera dorsalis*, ravageur, Sénégal, RAD-capture, génétique du paysage, dynamique spatio-temporelle, dispersion

Interactions between spatio-temporal pest population dynamics and agricultural landscapes: demo-genetic approaches applied to the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* in Senegalese mango production basins

Cécile Caumette

PhD defence on 19 November 2025

Abstract — Insect pests are a major cause of agricultural losses worldwide and control methods struggle to effectively contain their populations. In this context, an integrated approach, based on agroecological principles, could promote the implementation of sustainable and territorial management strategies. From this perspective, it is essential to improve our understanding of the ecological processes underlying population persistence during the off-season and the seasonal reinfestation of crops. To this end, we developed a landscape demo-genetic approach applied to the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera, Tephritidae), an invasive species and the main threat to the mango sector in Senegal's two main production basins (Niayes and Casamance), where populations exhibit strong annual fluctuations, with a rapid growth during the mango season, followed by a demographic collapse, sometimes leading to local extinction. Thus, we analysed three multi-year longitudinal studies that differ in spatial scale and structure, combining spatio-temporal demographic (abundance), genetic (SNP), and environmental data (agricultural practices, landscape structure, and bioclimatic variables).

First, we coupled mechanistic modeling with machine learning to identify the main environmental factors promoting populations persistence during mango off-season and the timing of orchard re-infestation. Our results reveal contrasting dynamics between environments. In the sub-Saharan Niayes, populations contract sharply into humid and shaded refuges that buffer thermal and hydric stresses, which are detrimental to survival and reproduction. These residual populations serve as sources for re-infestation at the onset of the mango season. Conversely, in the tropical Casamance, population densities remain higher throughout the year and appear less dependent on local conditions during the mango off-season.

Second, we aimed to estimate population size and dispersal intensity at different phases of the seasonal cycle within a 60 km² area located in refuge habitats of the Niayes. We characterized the spatio-temporal changes in genetic variation and used inference methods to estimate effective population size and mean parent-offspring dispersal distance. The accuracy of these demographic estimates was assessed through simulations under various scenarios of fluctuations. During the residual phase, our results revealed effective population sizes ranging from a few hundred to a few thousand individuals and mean dispersal distances around one kilometer. The sensitivity of the inference methods to high densities did not allow estimation of these parameters during the growth phase at the scale of our study area.

Finally, we analyzed spatio-temporal changes in genetic variation at the scale of the production basins and compared them with demographic and landscape structures, under the assumption that dispersal plays a major role in the spread of outbreaks. While our results suggest that dispersal is indeed a key process in the invasion dynamics of both basins, the underlying mechanisms differ. In the arid Niayes, refuge areas where population growth begins earlier act as epicenters from which dispersal drives the rapid invasion of less favorable zones, whereas in the tropical Casamance, invasion from more numerous and evenly distributed residual populations appears to be slowed by the Casamance River estuary, which acts as a barrier to dispersal.

This work demonstrates that a landscape demo-genetic approach is a powerful framework for understanding the interactions between environmental heterogeneity and the demographic processes of crop pests. Beyond this, the multi-landscape perspective emphasizes the importance of accounting for regional specificities when designing agroecological management strategies.

Keywords — *Bactrocera dorsalis*, pest, Senegal, RAD-capture, landscape genetics, spatio-temporal dynamics, dispersal