



Étude des rétro-trajectoires des vents pour comprendre la migration du ver-gris noir au Canada

La recherche en biovigilance est essentielle pour comprendre et anticiper les déplacements des ravageurs, pour adapter les pratiques agricoles et améliorer la santé des cultures. Les vers-gris constituent un complexe de ravageurs causant des dommages à un large éventail de cultures, incluant des espèces migratrices telles que *Agrotis ipsilon*, le ver-gris noir (VGN). À leur arrivée, ces papillons nocturnes iront pondre dans les champs avec des mauvaises herbes ou des résidus de culture à la surface du sol. Environ un mois plus tard, les larves (**Figure 1**) causeront des dommages aux cultures.



Appuyée par de nombreuses études ayant démontré son utilité aux États-Unis, dans les Prairies canadiennes et en Europe du Nord, la modélisation des trajectoires des ravageurs migrants, tels que le VGN permet d'améliorer la capacité à estimer leur arrivée^{1,2}. Cette approche n'a toutefois jamais été utilisée pour prédire les infestations de vers-gris dans l'est du Canada. En Amérique du Nord, des études antérieures ont montré que la migration du VGN se produit principalement dans ce que l'on appelle le courant-jet nocturne de basse altitude³ provenant des grandes plaines américaines⁴.

L'objectif de ce projet consiste à étudier la migration du VGN dans l'est du Canada. Les vents issus de modèles climatiques et les captures de papillons provenant de réseaux provinciaux de piégeage ont été analysés afin d'identifier les trajectoires de vent et les conditions météorologiques favorables à la migration des papillons vers le Canada. Cette étude s'inscrit dans un projet plus vaste portant sur la modélisation du risque d'infestations des vers-gris au Canada dans un contexte de changements climatiques, et pour l'optimisation des méthodes de lutte.

Approche méthodologique et statistique

Les épisodes de migration du VGN dans le sud du Québec ont été étudiés à l'aide de données météorologiques historiques décrivant les rétro-trajectoires des vents, les conditions climatiques associées à ces trajectoires, ainsi que les captures de papillons dans les réseaux provinciaux de piégeage, pour la période de 2010 à 2024. Des trajectoires de vent ont été générées à l'aide du modèle HYSPLIT et des données météorologiques du NOAA - Air Resources Laboratory (www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php).



Figure 1 : Larve de ver-gris noir (VGN).

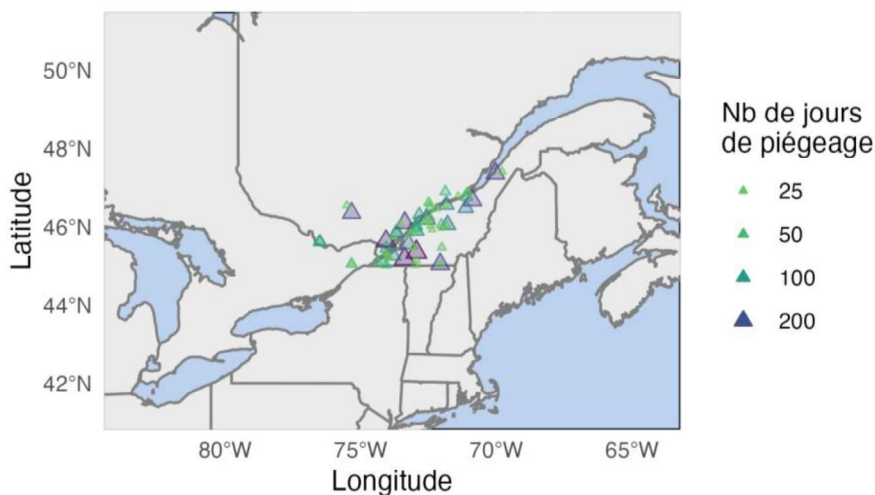


Figure 2 : Site et durée de piégeage du VGN.

Pour chaque site et année, des rétro-trajectoires des vents ont été modélisées avec l'application HYSPLIT durant toute la période de capture (c.-à-d. de la fin avril à la mi-juin). Cette modélisation a été réalisée en intégrant certaines contraintes liées aux comportements du papillon en vol, notamment sa période d'activité nocturne (de 20 h à 5 h), des limites d'exposition à la pluie et des températures froides⁵, ainsi que son incapacité de se poser sur un plan d'eau. Des seuils de précipitation moyenne (< 0,1 mm/h ou 0,5 mm/h) et de température moyenne (> 1°C ou 5°C)^{6,7} ont été appliqués au modèle. Pour chaque jour de piégeage à chacun des sites, les rétro-trajectoires de 3 nuits de vol du papillon ont été calculées à des altitudes d'arrivée de 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, et 700 m. Ces altitudes ont été choisies pour refléter l'étendu probable des altitudes de vol des papillons qui suivent le courant jet de basse altitude^{8,9}. Par la suite, le territoire fut quadrillé (60 km²) et les trajectoires ont été converties en fréquence de passage des vents par chaque cellule en conservant le taux de capture, la date et les conditions météorologiques qui sont associées ces vents.

Un modèle additif généralisé mixte (GAMM) a été utilisé pour modéliser le taux de capture associé aux vents de différentes régions géographiques et selon le jour de l'année. Ce modèle permet un lissage en trois dimensions (coordonnées x, y et jour de l'année). Des bases de lissages simulant un processus gaussien ont été utilisées pour prendre en compte la corrélation spatio-temporelle propre aux trajectoires. La variation entre années a été incluse en facteur aléatoire. Les captures, étant des données de dénombrement, sont modélisés avec une distribution binomiale négative (log) pondérée par la durée de piégeage.

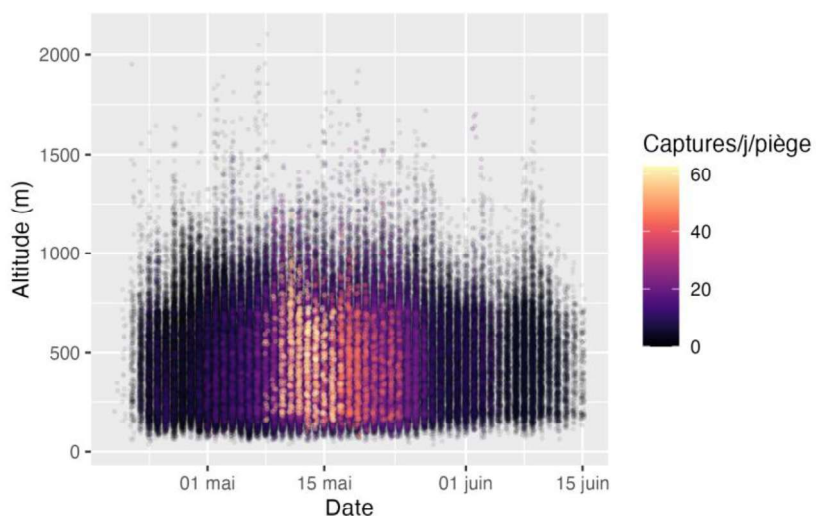


Figure 3 : Captures historique de VGN de 2010 à 2024 par date et en fonction de l'altitude des rétro-trajectoire.

Résultats

La **Figure 3** représente les taux journalier de captures de papillons de VGN au cours de l'année, en fonction de l'altitude des rétro-trajectoires. Les valeurs de captures les plus élevées se retrouvent majoritairement durant les 2^e et 3^e semaines de mai. Les altitudes des rétro-trajectoires se limitent majoritairement à 1000 m, et ce peut importe les captures associées. La variabilité des altitudes s'explique en partie par le fait que six altitudes d'arrivée différentes sont utilisées dans les simulations HYSPLIT. Il est important de préciser que ces altitudes d'arrivée correspondent uniquement à l'altitude des masses d'air à 5 h du matin, et non à leur altitude tout au long de la trajectoire.

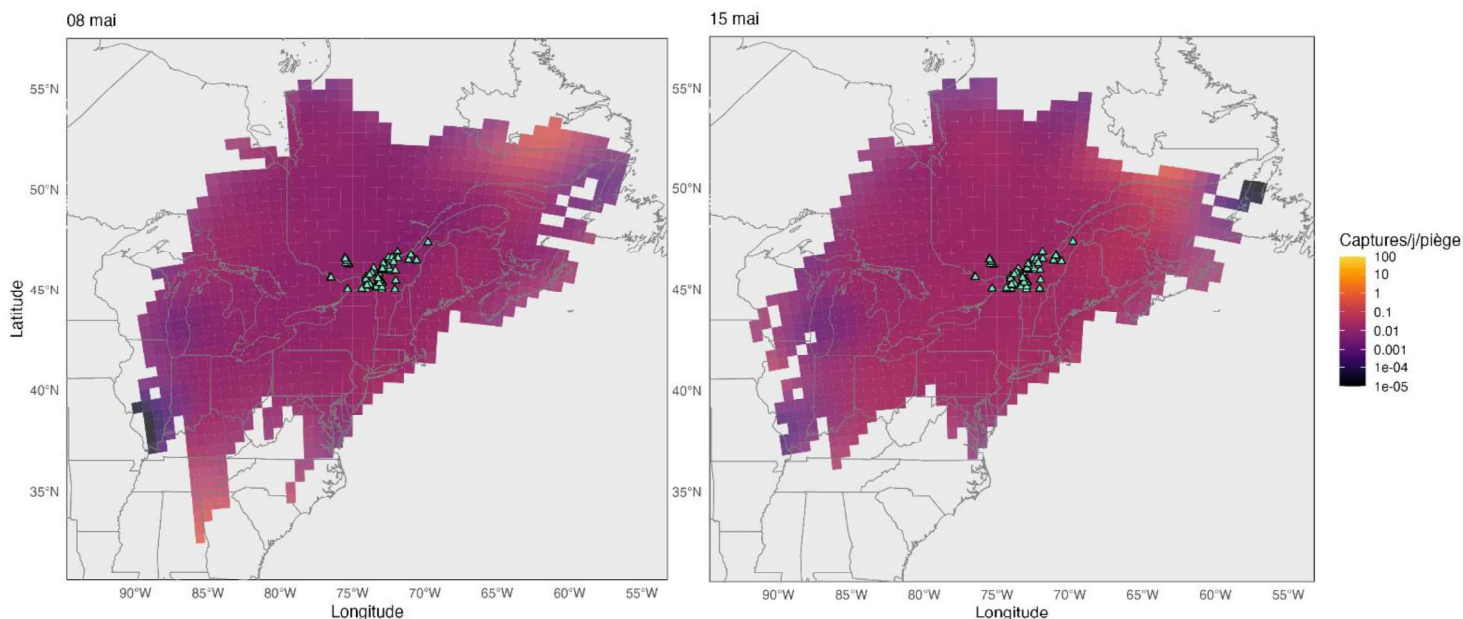


Figure 4 : Répartition géographique des rétro-trajectoires générées à partir des sites de piégeage et visualisation des taux de capture journaliers de VGN par piège. Des taux de capture élevés en début mai sont associés à des vents provenant du sud des États-Unis et de la Côte Nord/ Terre-Neuve-Labrador (gauche). À la mi-mai, des taux de captures légèrement plus élevés sont associés à des vents provenant du nord-est du Québec (droite).

Les résultats présentés sont basés sur les simulations HYSPLIT avec des seuils de 0,5 mm/h de pluie et une température de 1°C. Lorsque la modélisation est effectuée avec des simulations où des seuils plus restrictifs de 0,1 mm/h de pluie et 5°C sont utilisés, l'étendue des trajectoires est légèrement plus limitée, avec des patrons similaires.

Le modèle explique environ 35% de la déviance, dont 16% par les différences entre années et 19% par la composante spatio-temporelle. La déviance est une mesure de la qualité de l'ajustement du modèle statistique et serait 100% pour un modèle qui prédit parfaitement les captures. Donc pour une nouvelle année, plus de 80% de la déviance ne sera pas expliquée par le modèle. Prédire avec précision les captures à partir d'une seule occurrence de vent n'est pas possible par cette approche. Une grande partie de la variation des captures de papillons est demeurée inexpliquée dans une étude antérieure similaire¹⁰ visant à prédire les captures de VGN. Néanmoins, nos travaux nous permettent d'observer deux régions où passent les vents associés à de fortes captures (**Figure 4**). Il s'agit du sud-est des États-Unis et de la région de la Côte Nord et Terre-Neuve-Labrador. Les vents en provenance du sud sont beaucoup plus chauds (21,0°C; intervalle : 19,5°C- 24,2°C, min- max) que les vents provenant du nord-est (2,0°C; intervalle : -1,5°C- 4,8°C, min- max). En moyenne, ces vents qui se dirigent chez nous ont passé par ces régions trois jours avant les captures de VGN, à des altitudes moyennes de 599 m (intervalle : 398- 913 m, min- max) pour le sud des États-Unis et 497 m (245- 730 m, min- max) pour la région du nord-est.

Les zones identifiées par notre analyse reflètent des conditions propices à la migration des insectes vers le sud du Québec, notamment le sud-est des États-Unis⁸ ainsi que des vents du nord pouvant constituer un indicateur de zones de convergence atmosphérique et, par conséquent, un contexte favorable à des zones d'atterrissage¹¹. En effet, les insectes migrateurs se concentrent fréquemment dans des régions de convergence des flux atmosphériques, c'est-à-dire des zones où différentes masses d'air se rencontrent, notamment à proximité des fronts froids ou chauds. Ces structures peuvent entraîner une accumulation locale importante d'insectes dans ces zones¹². Dans notre cas, un front météorologique provenant de la Côte-Nord en direction du sud du Québec pourrait être un indice de ce phénomène. Ces vents sont généralement associés à des configurations synoptiques impliquant soit un anticyclone situé sur le Labrador, soit une dépression positionnée au sud du Québec, créant ainsi un gradient de pression favorable à un flux dirigé vers le sud¹³.

Conclusion

Malgré les limites de notre modèle à anticiper avec précision les captures, notre démarche a permis d'identifier des sources de vents pertinentes à intégrer dans notre compréhension de la dynamique de migration du VGN. Elle constitue ainsi une base solide pour orienter de futurs travaux dans ce domaine. Toutefois, la modélisation des trajectoires n'a pas permis d'intégrer adéquatement les processus associés à la couche limite atmosphérique, notamment ceux liés au courant-jet de basse altitude en provenance des États-Unis. Cette contrainte a sans doute contribué à limiter la précision de notre modèle.

Une prochaine étape dans l'étude de la migration du VGN consisterait à intégrer les conditions synoptiques à l'échelle de l'Amérique du Nord afin d'améliorer notre capacité à anticiper les situations favorables aux épisodes migratoires dans nos champs. Par ailleurs, l'utilisation de pièges automatisés et l'acquisition de données de captures quotidiennes représenterait une avancée importante en permettant de réduire l'incertitude associée aux relevés hebdomadaires. L'intégration de ces données journalières, combinée à la prise en compte de variables météorologiques clés et à l'utilisation de prévisions de vent, permettrait ainsi d'accroître notre capacité à anticiper les événements de migration du VGN.

Remerciement

Cette recherche est soutenue par le programme Agri-science dans le cadre du Partenariat canadien pour une agriculture durable d'Agriculture et Agroalimentaire Canada dans le cadre de la grappe scientifique biologique 4.

Crédit photo: Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection – MAPAQ

Références

- ¹ Showers, W. B., et al. (1989). Direct evidence for meteorologically driven long-range dispersal of an economically important moth. *Ecology*, 70(4).
- ² Westbrook, J. K., et al. (2016). Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, 60(2).
- ³ Wainwright, C. E., et al. (2016). The role of the US Great Plains low-level jet in nocturnal migrant behavior. *International journal of biometeorology*, 60(10).
- ⁴ Wainwright, C. E., et al. (2020). Linking small-scale flight manoeuvres and density profiles to the vertical movement of insects in the nocturnal stable boundary layer. *Scientific reports*, 10(1).
- ⁵ Reynolds, D.R., et al. (2017). Riders on the Wind: The Aeroecology of Insect Migrants. In: Chilson, P., Frick, W., Kelly, J., Liechti, F. (eds) *Aeroecology*. Springer, Cham
- ⁶ Taylor, P. and E. Shields (1990). "Flight thresholds of the armyworm (Lepidoptera: Noctuidae)." *Environmental entomology* 19(5): 1410-1417.
- ⁷ Farrow, R.A., and Daly, J. C. (1987). Long-range movements as an adaptive strategy in the genus *Heliothis* (Lepidoptera, Noctuidae)-a review of its occurrence and detection in 4 pest species. *Australian Journal of Zoology*, 35(1), 1-24.
- ⁸ Showers, W.B. (1997). Migratory ecology of the black cutworm. *Annual Review of Entomology* 42 (1997): 393-425.
- ⁹ Ostlie, K., and Potter, B. (2017). Black Cutworm. (U. o. M. Extension, ed.). University of Minnesota Extension- Integrated Pest Management.
- ¹⁰ Smelser, R. B., et al. (1991). Atmospheric trajectory analysis to project long-range migration of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) adults. *Journal of Economic Entomology* 84(3): 879-885.
- ¹¹ Flood, B., et al. (2006). Weather and insect dispersal. *IOBC wprs Bulletin*, 2007, vol. 30, no 8, p. 37.
- ¹² Westbrook, J. and S. Isard (1999). Atmospheric scales of biotic dispersal. *Agricultural and forest meteorology* 97(4): 263-274.
- ¹³ Hufty, A. (1976). Situations synoptiques et analyse multivariée des temps à Québec. *Cahiers de géographie du Québec*, 20(49), 69-92.

Partenaires financiers et de réalisation



Une réalisation de

Maxime Lefebvre, chercheur
Mick Wu, biostatisticien
Elmer Iqura, professionnel de recherche

Des questions?

450-741-4218 p. 321
maxime.lefebvre@irda.qc.ca