



SERG-i Project FPL-786 Dynamics and management of rising spruce budworm outbreaks

Interim Report February 2018.

Régnière J, Delisle J, Martel V, Seehausen ML, Boulanger Y, Béchard A, Labrecque A, Trudeau S, St-Amant R.

Laurentian Forestry Centre, Quebec City, QC.

Abstract.

In 2017, work on the dynamics and management of rising spruce budworm outbreaks progressed on four fronts.

1. Monitoring of the endemic SBW populations of Armagh and Epaule.

1.1 SBW populations were monitored by foliage sampling (no SBW larvae were recovered on 200 host branch tips), pheromone and light traps. Moth populations were higher in 2017 than in 2016, but remained < 100 males per pheromone trap, well below the range expected of epidemic populations (Fig. 1a). No clear mass immigration events were recorded in 2015, 2016 or 2017 in Armagh or Epaule. Total catch in pheromone traps in 2015 and 2017, along a transect west from Rimouski to Quebec City, was closely related to distance from Rimouski (near the outbreak front), an indication that even in the absence of mass immigration, there is a spatial gradient in moth abundance suggesting of spread by movement of moths (Fig. 1b).

1.2 The impact of natural enemies was again measured on implanted insects using the sentinel and cohort methods. Overall parasitism rates have remained very high in both locations, which explains why those populations have not been rising. Among sentinel larvae, parasitism by the ichneumonid *Tranosema rostrale* has continued its slow decline initiated in 2011. However, this decline has been compensated by a rise in the contribution of the ectoparasitic eulophid *Elachertus cacoeciae* to total mortality (Fig. 2). In Epaule, mortality from those two wasps has remained very high and has fluctuated without clear trend in recent years (Fig. 2). It is interesting to note the strong negative correlation in attack rates of *T. rostrale* and *E. cacoeciae* at the yearly level (Fig. 3), a feature that had already been clearly observed at the daily level.

2. Modeling of the seasonal ecology of the parasitic wasp *Tranosema rostrale*. The seasonal biology model of *T. rostrale* (Seehausen, PhD thesis, 2017, University of Toronto), was linked to the seasonal biology model of the spruce budworm and that of a likely alternate host, the obliquebanded leafroller (*Choristoneura rosaceana*) developed from literature data. The interaction between the parasitoid and its two hosts was mediated through Holling's disk equation relating parasitoid attack rates to host density. This hybrid model allows us to investigate the consequences of synchrony between adult

parasitoids and host larvae on the overall fitness of the parasitoid in response to weather across the landscape (Fig. 4). This work is in progress.

3. Results of three large-scale aerial applications of pheromone for mating disruption (2008, 2013, 2014) were compiled and analysed, and a manuscript is in advanced stages of preparation. While pheromone applications had a clear effect on male captures in pheromone traps and on the success of caged females at capturing males or getting mated (Fig. 5), no effect on egg densities or apparent fecundity (E/M ratios) was found (Fig. 6). Thus, pheromone applications failed to reduce SBW populations.

4. Flight modeling, now fully incorporated in the BioSIM/11 software, and Doppler radar image processing were further advanced 2017. The flight model was improved by adding wing-frequency modifications representing the energy required for horizontal moth displacement and through that flight altitude in the wind field. Tools for the incorporation of high-resolution 3D weather data in BioSIM/11, and for overlaying animated flight model output on radar images were developed. The team, composed of Canadian and US researchers or computer scientists, is now developing analytical tools aimed at calibrating and validating the flight model based on radar images and trap networks. Among the most interesting products that the SBW flight model can now deliver are annual egg deposition maps, compiling the cumulative egg deposition of immigrating moths during a season (Fig. 7).

Résumé.

En 2017, la recherche dans le cadre du projet sur la dynamique et la gestion des populations de la TBE en début d'épidémie a progressé sur quatre fronts.

1. Suivi des populations endémiques d'Armagh et Épaule.

1.1 Les niveaux de populations de la TBE ont été mesurés par échantillonnage du feuillage (aucune larve n'a été trouvée sur plus de 200 bouts de branches), et à l'aide de pièges à phéromones ou lumineux. Les populations de papillons ont augmenté de 2016 à 2017, mais sont demeurées sous les 100 mâles par piège à phéromones, bien en deçà du niveau attendu d'une population épidémique (Fig. 1a). Aucun événement clair d'immigration massive n'a été enregistré en 2015, 2016 ou 2017 à Armagh ou Épaule. La capture totale saisonnière en 2015 et 2017, le long d'une ligne de piégeage entre Rimouski et Québec, était corrélée étroitement avec la distance de Rimouski (près du front épidémique), une indication que même en l'absence de migration massive il y a un gradient d'abondance des papillons suggérant l'expansion par mouvement des papillons (Fig. 1b).

1.2 L'impact des ennemis naturels a de nouveau été mesuré sur des insectes implantés par les méthodes de sentinelles et de cohortes. Les taux de parasitisme global sont demeurés très élevés, ce qui explique pourquoi ces populations n'ont montré aucune tendance à l'augmentation. Parmi les sentinelles, le parasitisme dû à l'ichneumone *Tranosema rostrale* a poursuivi son lent déclin depuis 2011. Par contre ce déclin a été compensé par une augmentation de la contribution à la mortalité totale par l'eulophide ectoparasitique *Elachertus cacoeciae* (Fig. 2). À Épaule, la mortalité due à ces deux guêpes est demeurée très élevée et a fluctué sans tendance claire au cours des dernières années (Fig. 2). Il est intéressant de noter la forte corrélation négative entre les taux d'attaque de *T. rostrale* et *E. cacoeciae* au niveau annuel (Fig. 3), une caractéristique qui avait déjà été notée au niveau quotidien.

2. Modélisation de l'écologie saisonnière de la guêpe parasitique *Tranosema rostrale*. Le modèle de biologie saisonnière de *T. rostrale* (Seehausen, thèse de PhD, 2017, Université de Toronto), a été couplé au modèle saisonnier de la TBE et celui d'un hôte alterne probable, la tordeuse à bandes obliques (TBO, *Choristoneura rosaceana*) mis au point à partir de données provenant de la littérature. L'interaction entre le parasitoïde et ses deux hôtes a été approximée par l'équation des disques de Holling qui met en relation les taux d'attaque et la densité des hôtes. Ce modèle hybride nous permet d'explorer les conséquences de la synchronie entre adultes du parasitoïde et les larves des ses hôtes sur la performance globale (fitness) du parasitoïde en réponse au climat à l'échelle du paysage (Fig. 4). Ces travaux se poursuivent.

3. Les résultats de trois applications à grande échelle de phéromones pour la confusion sexuelle de la TBE (2008, 2013, 2014) ont été compilés et analysés, et un manuscrit est en préparation avancée. Bien que les applications aient eu un effet clair sur les taux de capture de papillons dans les pièges à phéromones et sur le succès de femelles en cages à capturer des mâles et à s'accoupler (Fig. 5), aucun effet sur la densité des œufs ou la fécondité apparente (rapport œufs/papillon) n'a été décelé (Fig. 6). Donc, l'application de phéromones a échoué à réduire les populations de TBE.

4. La modélisation du vol de la TBE, désormais incorporée dans le logiciel BioSIM/11, et le traitement d'images de radar Doppler, ont été avancés en 2017. Le modèle de vol a été amélioré en introduisant un facteur de fréquence alaire représentant l'énergie requise pour le déplacement horizontal des papillons et par son truchement l'altitude de croisière de ceux-ci dans le champ de circulation de l'air. Des outils pour l'incorporation de données météo tridimensionnelles à haute résolution dans BioSIM/11 et pour la superposition des extraits du modèle de migration sur des images radar ont été mis au point. L'équipe, composée de chercheurs et informaticiens canadiens et américains, est maintenant à mettre au point des outils analytiques qui permettront de calibrer et valider le modèle de vol à partir d'images radar et de réseaux de pièges. Parmi les produits les plus prometteurs que peut désormais livrer le modèle de vol, figurent des cartes de déposition totales annuelles des œufs par les migrants (Fig. 7).

Financial

Much of this project (Sections 1 to 3) was funded through the EIS/SBW project to the amount of \$73,500 (ACOA, FPL and Newfoundland Department of Natural Resources). Section 4 (the moth flight modeling and radar work) was funded outside of SERG through CANUSA funds (project FS-NRS-13) to the tune of \$60,000 USD. CSF O&M totaled \$24,500 (\$9,000 to each Johanne Delisle and Véronique Martel, and \$6,500 to Jacques Régnière). All external funds (from SERG/I and CANUSA) were handled through a contract between FPL and SOPFIM, and we express our gratitude to both organisations, especially to SOPFIM, for making this collaboration possible.

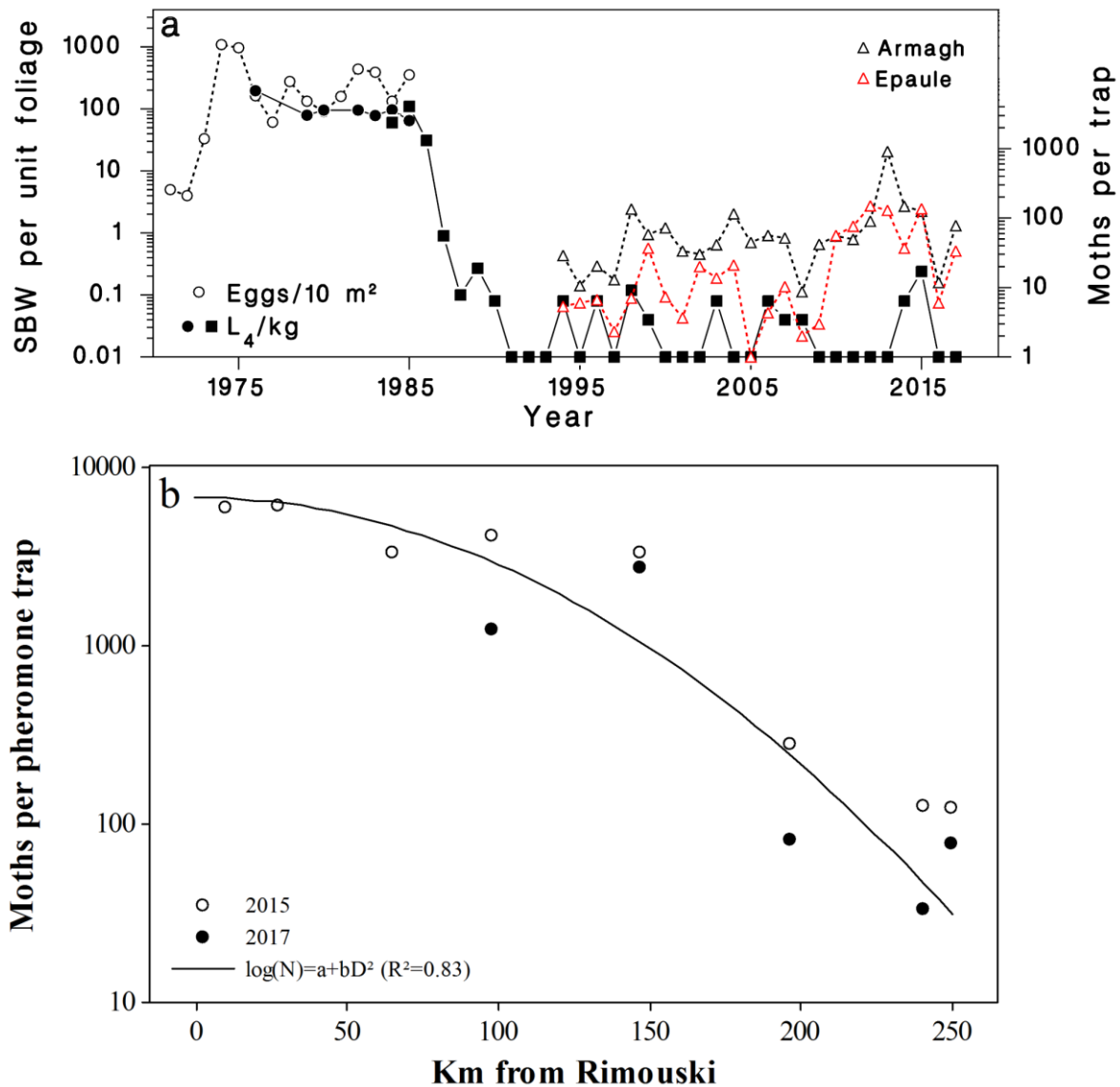


Figure 1. (a) History of spruce budworm population density fluctuations in Armagh and Epaule, 1971-2017 (○: eggs/10m²; ●: larvae/kg; Δ: males per pheromone trap, black in Armagh, red in Epaule). (b) Relationship between total seasonal catch of male SBW moths in pheromone traps and distance from the main outbreak front (Rimouski) in 2015 and 2017 (Armagh and Epaule are at 249 and 240 km from Rimouski, respectively).

Figure 1. (a) Historique des fluctuations de populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette à Armagh et Épaule de 1971 à 2017 (○: oeufs/10m²; ●: larves/kg; Δ: mâles par pièges à phéromones, noir à Armagh, rouge à Épaule). (b) Relation entre la capture saisonnière totale de papillons mâles de la TBE dans des pièges à phéromones et la distance du front épidémique (Rimouski) en 2015 et 2017 (Armagh et Épaule sont à 249 et 240 km de Rimouski, respectivement).

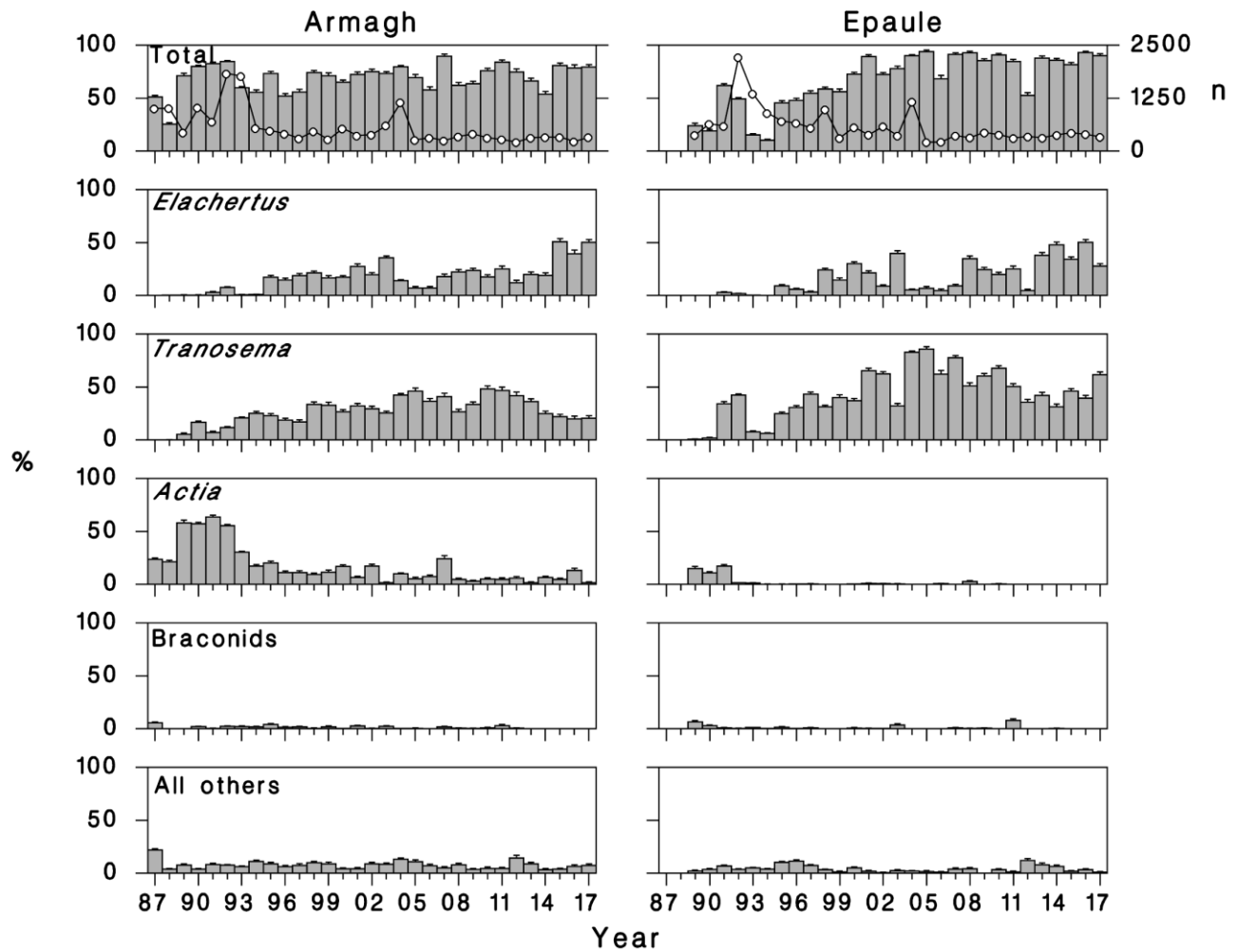


Figure 2. Annual fluctuations of parasitism rates among the implanted SBW sentinel larvae since the collapse of the last outbreak in Armagh and Epaule (1987 to 2017).

Figure 2. Fluctuations annuelles des taux de parasitisme parmi les larves de TBE implantées (sentinelles) depuis le déclin de la dernière épidémie à Armagh et Épaule (1987 à 2017).

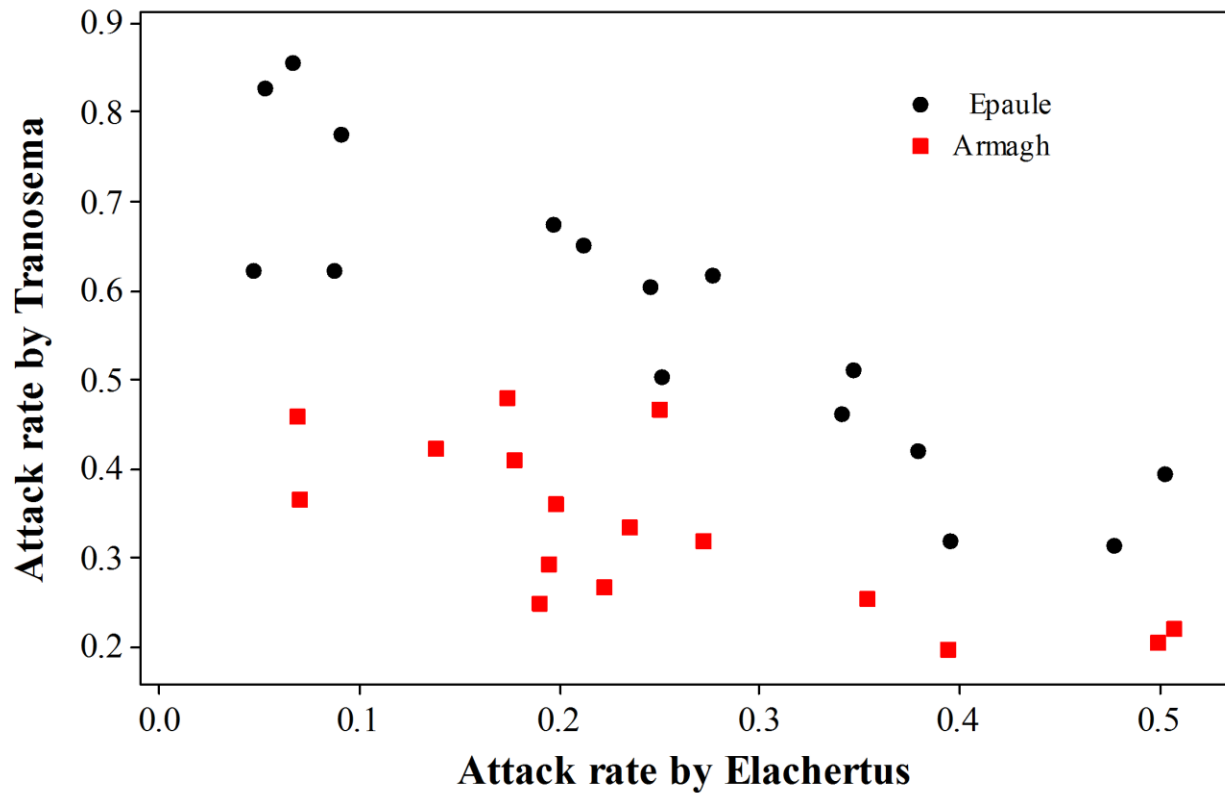


Figure 3. Negative correlation between overall attack rates by *T. rostrale* and *E. cacoeciae* in Armagh and Epaule between 2001 and 2017. This feature has been clearly observed at the daily level.

Figure 3. Corrélation négative des taux d'attaque par *T. rostrale* et *E. cacoeciae* à Armagh et Épaule entre 2001 et 2017. Cette caractéristique a été clairement observée au niveau quotidien.

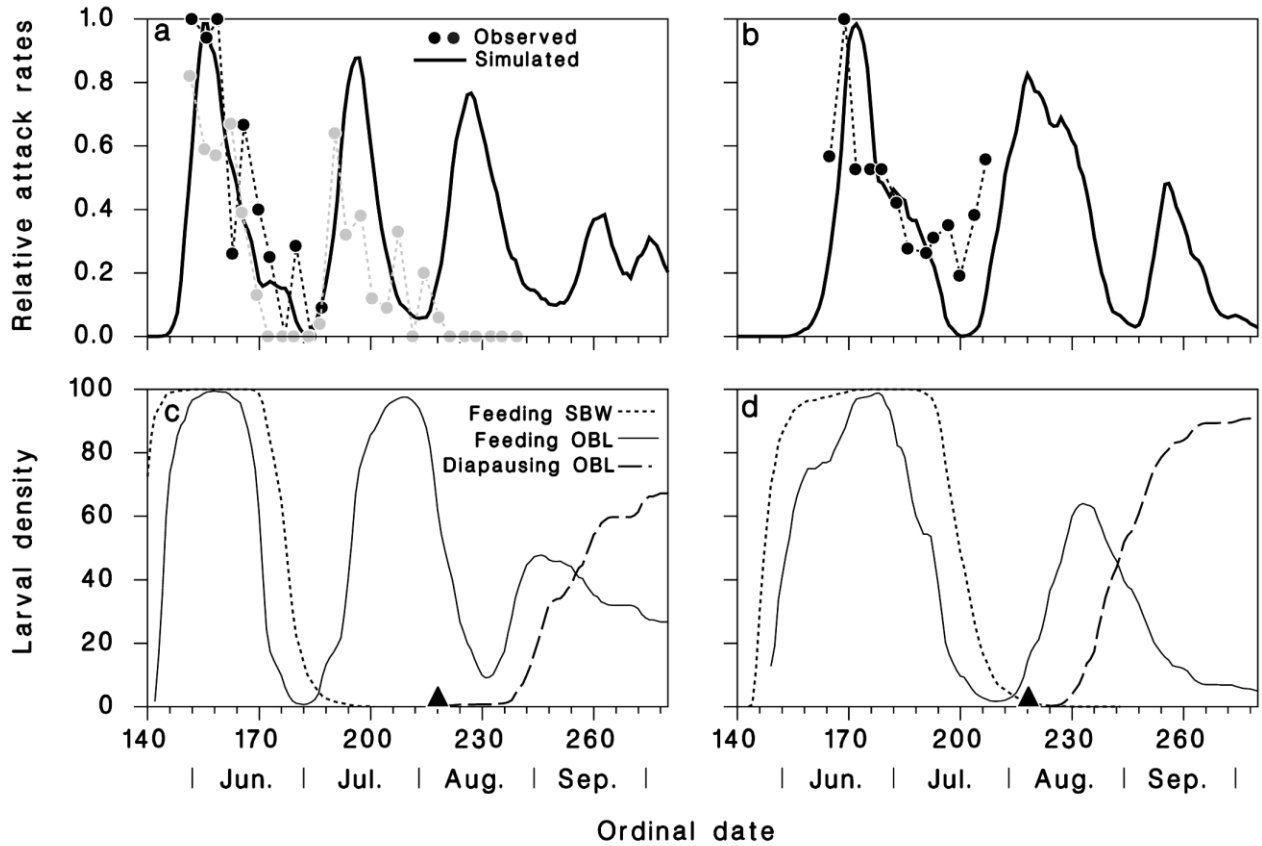


Figure 4. *T. rostrale* seasonal biology model output. Comparison of observed (●, ●) and simulated (—) seasonal oviposition trends by the parasitoid in 2016 in (a) Armagh and (b) Épaule. Corresponding predicted seasonal abundance of host larvae from the SBW and OBL models in (c) Armagh and (d) Épaule. ▲: Date at which day length < 14.5 h (OBL diapause induction).

Figure 4. Extraits du modèle de biologie saisonnière de *T. rostrale*. Comparaison des patrons saisonniers d'oviposition par le parasitoïde en 2016 à (a) Armagh et (b) Épaule. Patrons correspondants prédits pour la fréquence des larves hôtes de TBE et TBO à (c) Armagh et (d) Épaule. ▲: Date à partir de laquelle la longueur du jour < 14.5 h (induction de la diapause de la TBO).

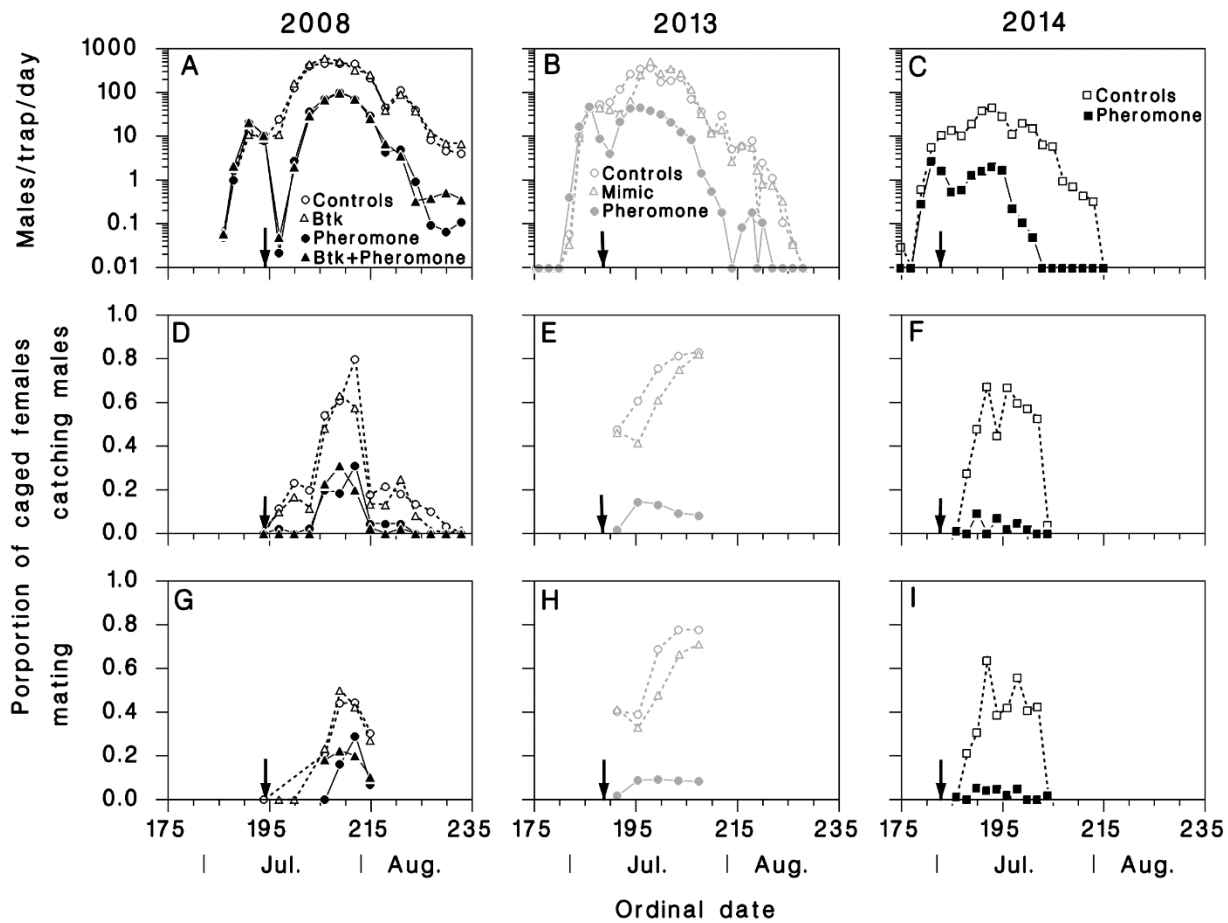


Figure 5. Daily capture rates of male spruce budworm moths in pheromone traps, success of caged virgin females at capturing males and getting mated in (A, D, G) 2008 (○, controls; △, Btk ; ●, Pheromone; ▲, Btk + pheromone), (B, E, H) 2013 (○, controls; △, Mimic ; ●, Pheromone) and (C, F, I) 2014 (□, controls; ■, Pheromone). Arrows indicate the date of pheromone treatment.

Figure 5. Taux de capture quotidien de mâles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans des pièges à phéromones, succès de femelles vierges en cage à capturer des mâles et à s'accoupler (A, D, G) en 2008 (○, témoins; △, Btk ; ●, Phéromones; ▲, Btk + phéromones), (B, E, H) en 2013 (○, témoins; △, Mimic ; ●, Phéromones) et (C, F, I) en 2014 (□, témoins; ■, Phéromones). Les flèches indiquent le moment de l'application des phéromones.

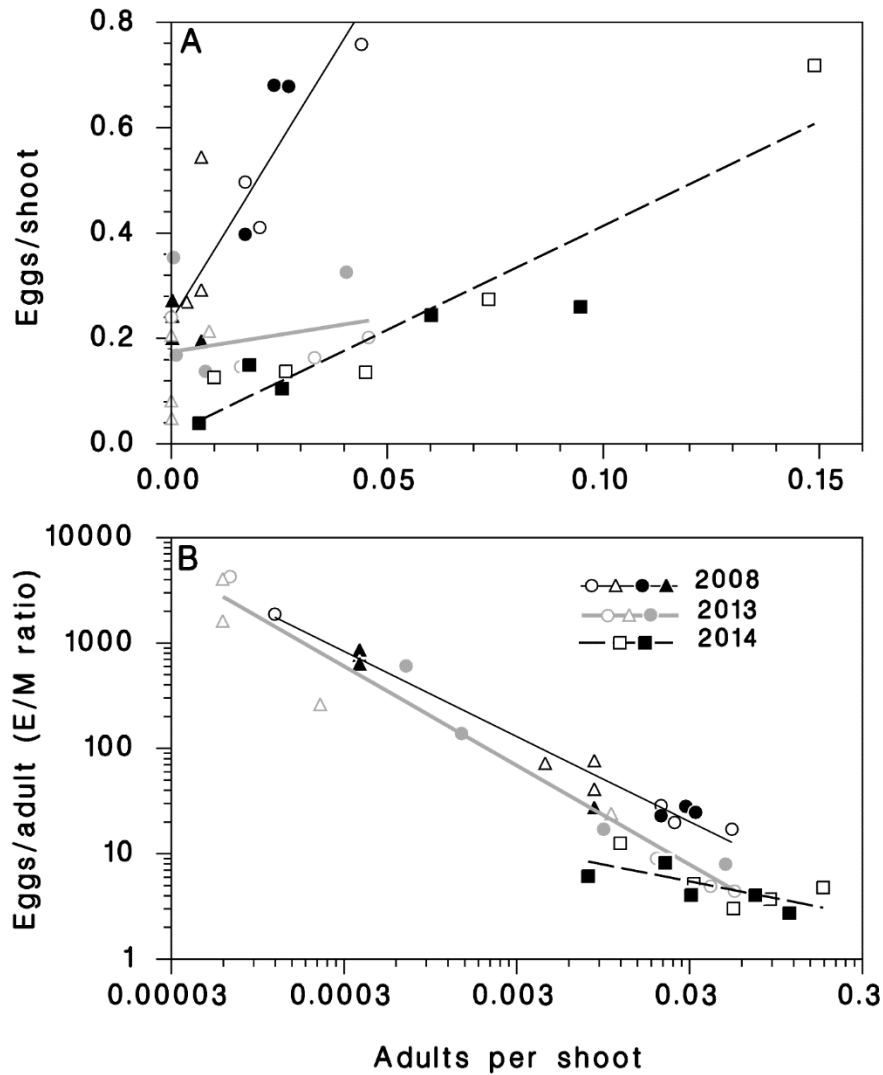


Figure 6. Relationship between adult density, (A) egg density (lines: eq. 7) and (B) apparent fecundity (eggs/adult) in 2008 (○, controls; △, Btk ; ●, Pheromone; ▲, Btk + pheromone; —, regression), 2013 (○ controls; △, Mimic ; ●, Pheromone; —, regression) and 2014 (□, controls; ■, Pheromone; - - -, regression).

Figure 6. Relation entre la densité des populations adultes, (A) la densité des œufs et (B) la fécondité apparente (œufs/adulte) en 2008 (○, témoins; △, Btk ; ●, Pheromones; ▲, Btk + phéromones; —, régression), en 2013 (○ témoins; △, Mimic ; ●, Pheromones; —, régression) et 2014 (□, témoins; ■, Pheromones; - - -, régression).

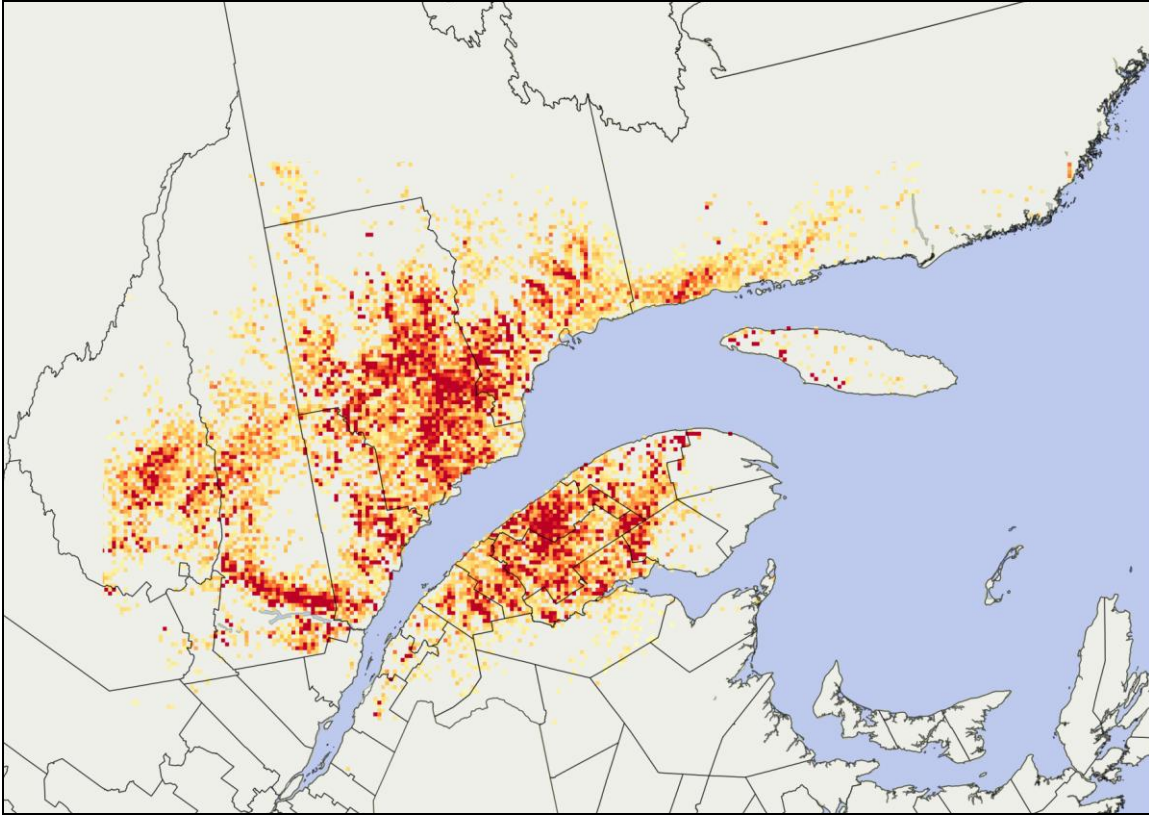


Figure 7. Example of map output from the SBW moth migration model under BioSIM/11. Density of eggs deposited over migration events of 2017. Color intensity is proportional to the density of deposited eggs.

Figure 7. Exemple d'extrant cartographique du modèle de migration des papillons de la TBE dans BioSIM/11. Densité des œufs déposés lors des événements migratoires de 2016. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la densité des œufs déposés.