

LA PYRALE DU MAÏS : HISTORIQUE, INNOVATIONS EN RECHERCHE ET PERSPECTIVES FUTURES

Annie-Ève Gagnon



Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture et
Agroalimentaire Canada



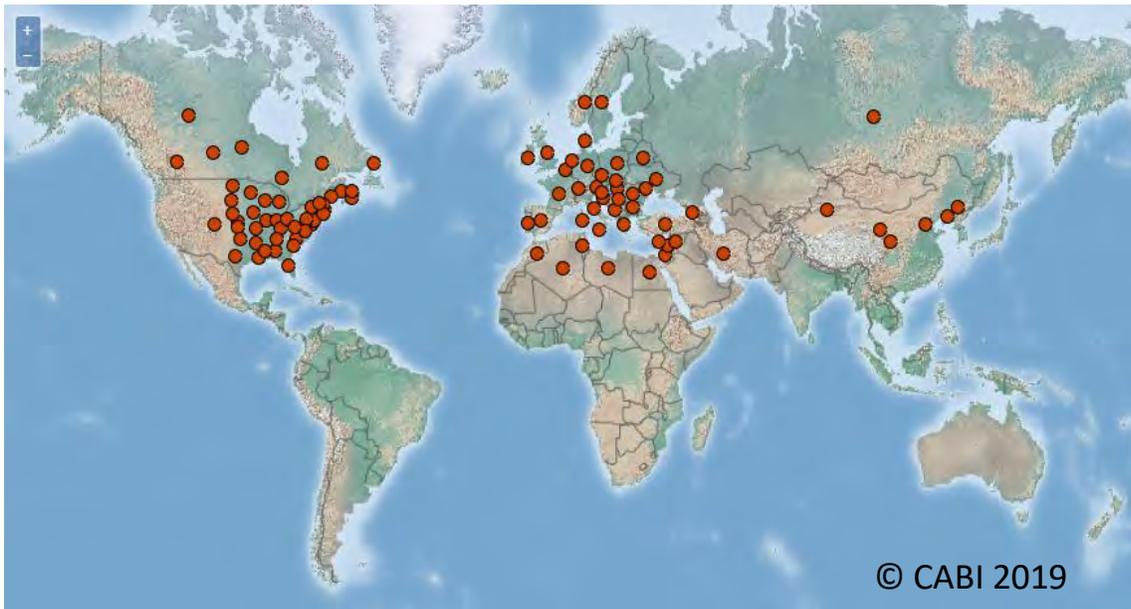
PLAN

- Biologie de la pyrale du maïs
- Les deux races de la pyrale
- Déclin des populations de la pyrale
- Les menaces futures:
 - Développement de résistance
 - Changements climatiques

INTRODUCTION DE LA PYRALE DU MAÏS



- Espèce exotique d'origine européenne
- Introductions en Amérique du Nord à proximité de Boston (MA), Amsterdam (NY) et St. Thomas (ON) entre 1909 et 1914, via l'importation de sorgho
- Accroissement rapide de sa répartition à travers l'Amérique du Nord
- 200 espèces de plantes hôtes -> maïs grain et maïs sucré



PLANTES HÔTES

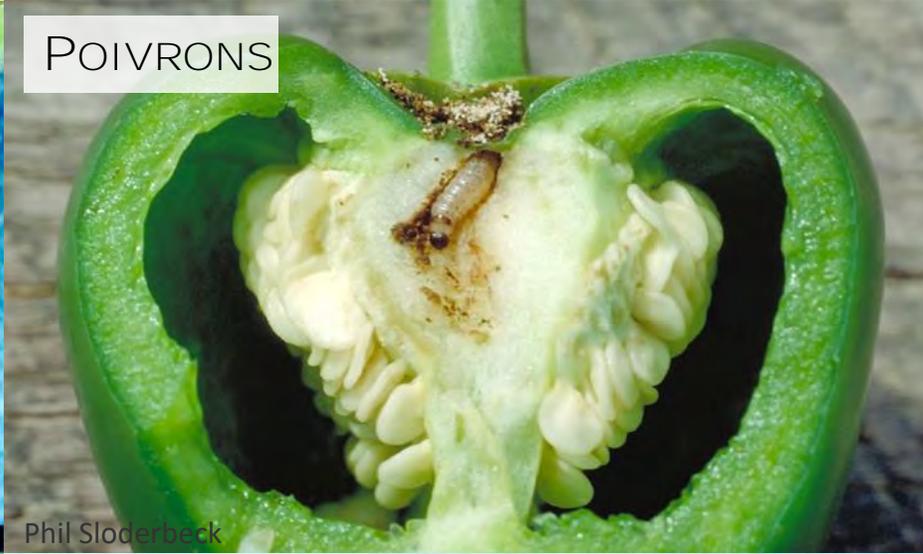
HARICOTS



Phil Sloderbeck

5507003

POIVRONS



Phil Sloderbeck

CANNABIS



E. Runno-Paurson

POMME DE TERRE



2015/08/04 15:40

Manitoba Department of Agriculture

BLÉ



K. Lynch

HOUBLON



Erin Lizotte

CYCLE DE VIE DE LA PYRALE DU MAÏS



Masse d'œufs [15-20]



5 stades larvaires



DIAPAUSE 



Chrysalide



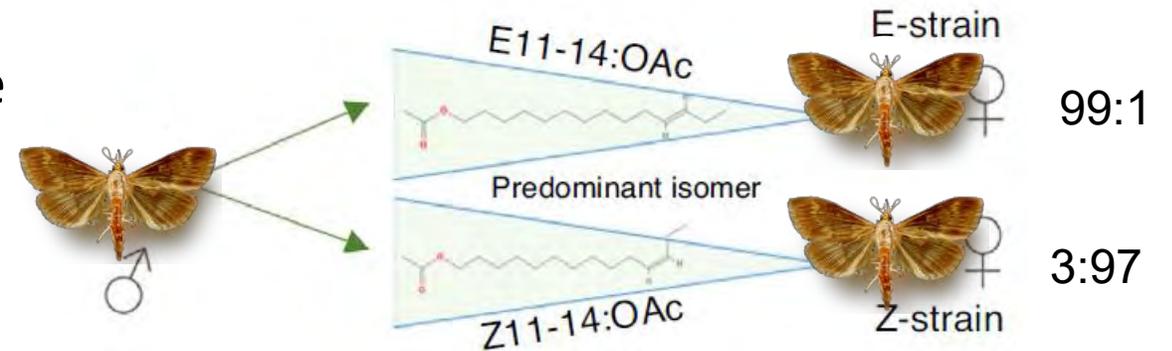
Adulte

1x Univoltine
2x Bivoltine



LES DEUX RACES DE LA PYRALE DU MAÏS

- 2 races distinctes associées à l'émission de phéromones divergentes (concentrations)
- Au Québec, ces différences coïncident également avec un voltinisme différent: **univoltine = Z et bivoltine = E**
- Hybrides possibles: femelles hybrides produisant un mélange de 65:35 d'E11-Z11-14:OAc sont retrouvées dans la nature
- Distribution de la race E restreinte dans l'Est de l'Amérique du Nord



Coates *et al.*, 2018

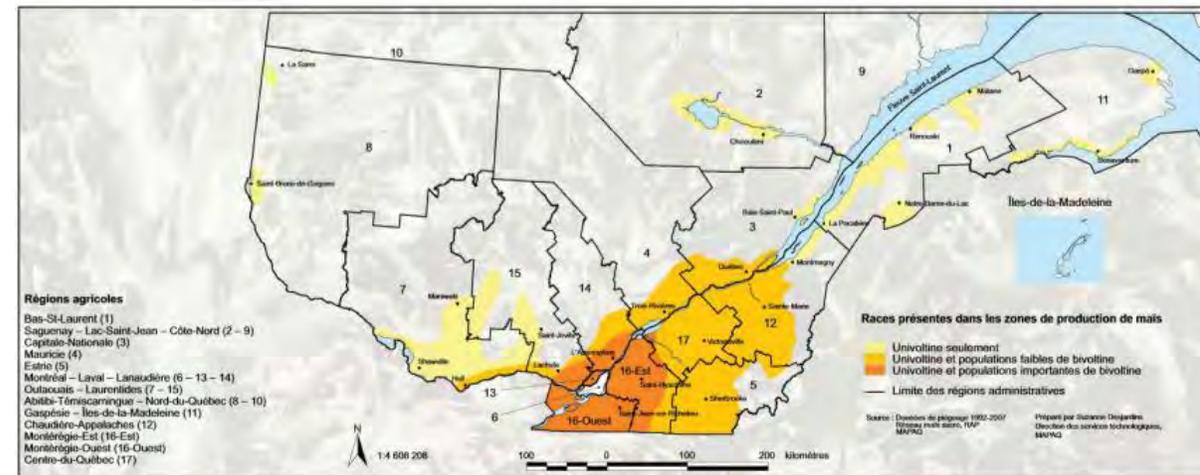


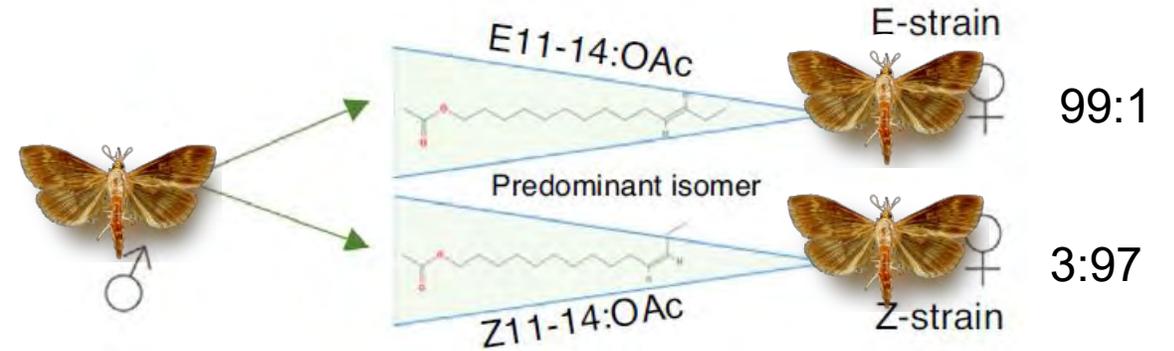
Figure 2 : Distribution des races de pyrale présente dans les zones de production de maïs sucré
Source : Boisclair et Jean, 2009

LES DEUX RACES DE LA PYRALE DU MAÏS



FIG. 4. Pie charts show proportions of *E* (black) and *Z* (white) pheromone races of ECB in the eastern and central United States based on captures in pheromone traps. See Appendix A for sources and details of samples.

(Coates *et al.*, 2019; O'Rourke *et al.*, 2010)



Coates *et al.*, 2018

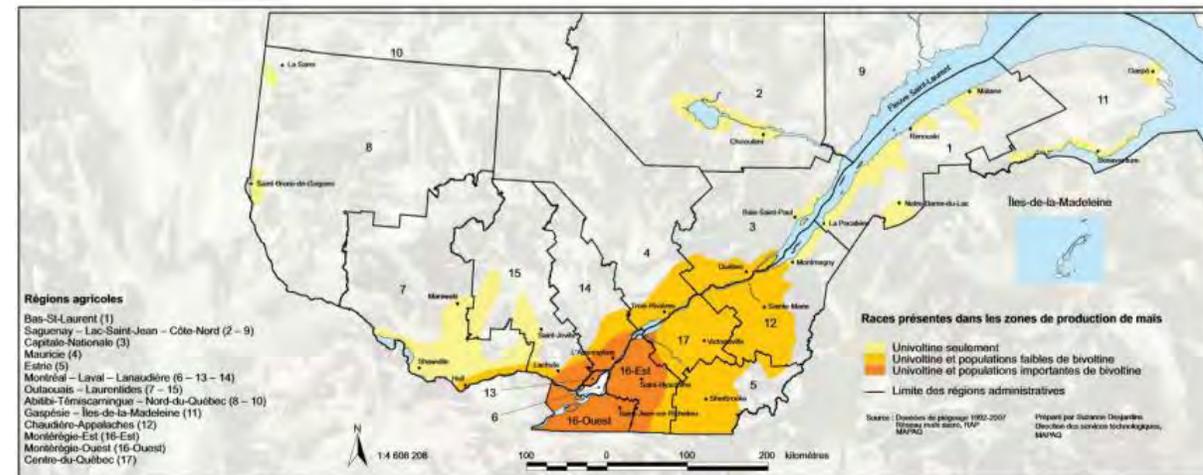
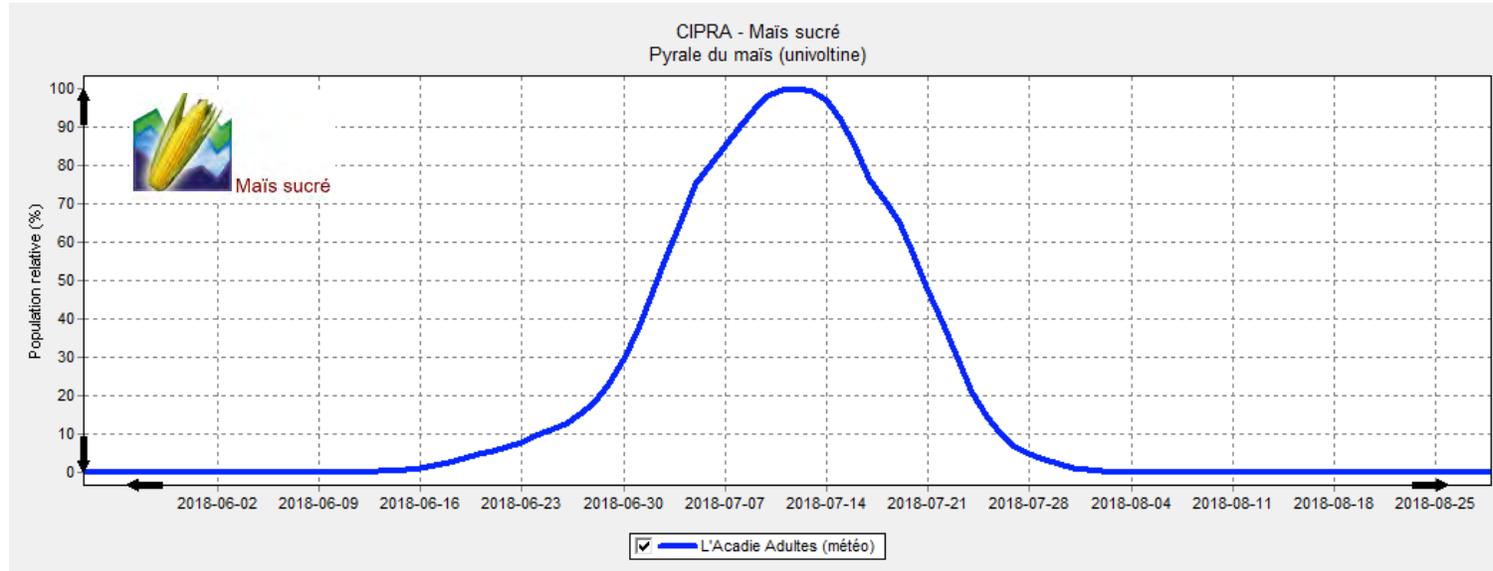
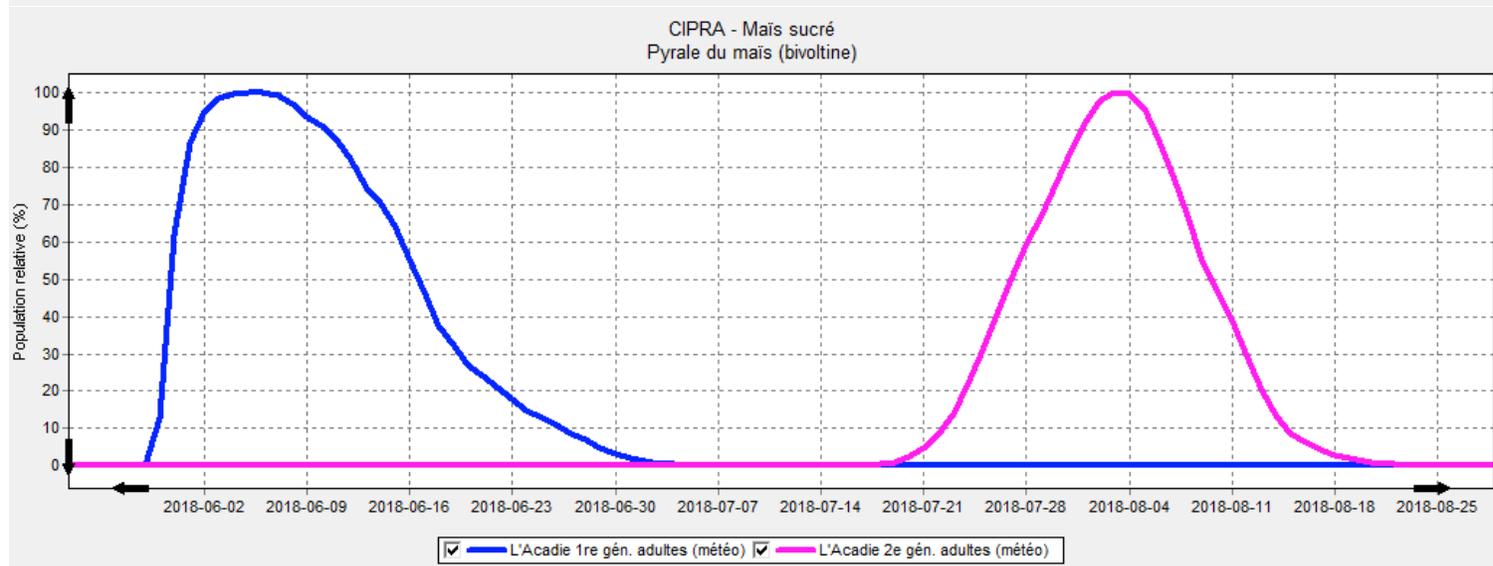


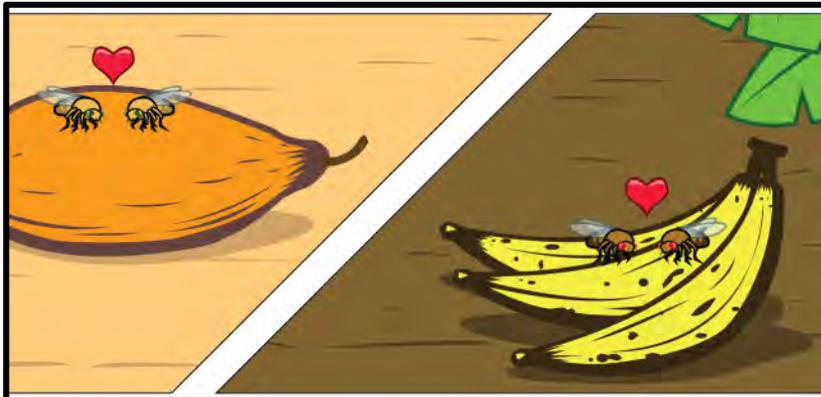
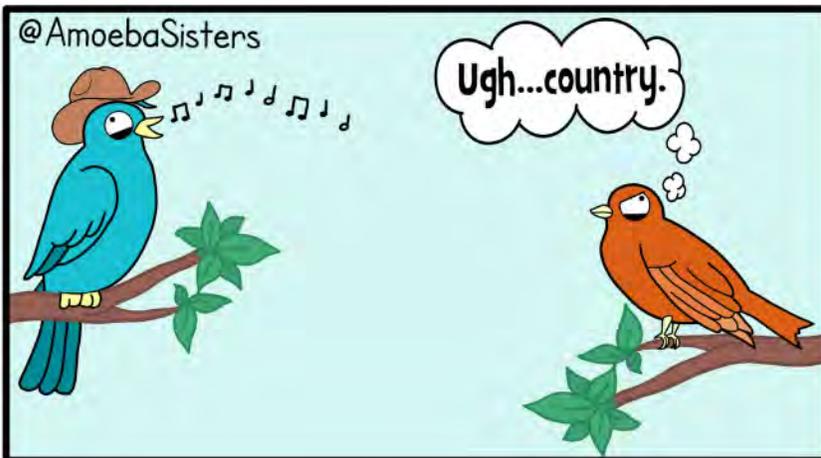
Figure 2 : Distribution des races de pyrale présente dans les zones de production de maïs sucré
Source : Boisclair et Jean, 2009

LES DEUX RACES DE LA PYRALE DU MAÏS



MODÈLES BIOCLIMATIQUES
[DISPONIBLES SUR AGROMÉTÉO](#)
[QUÉBEC](#)





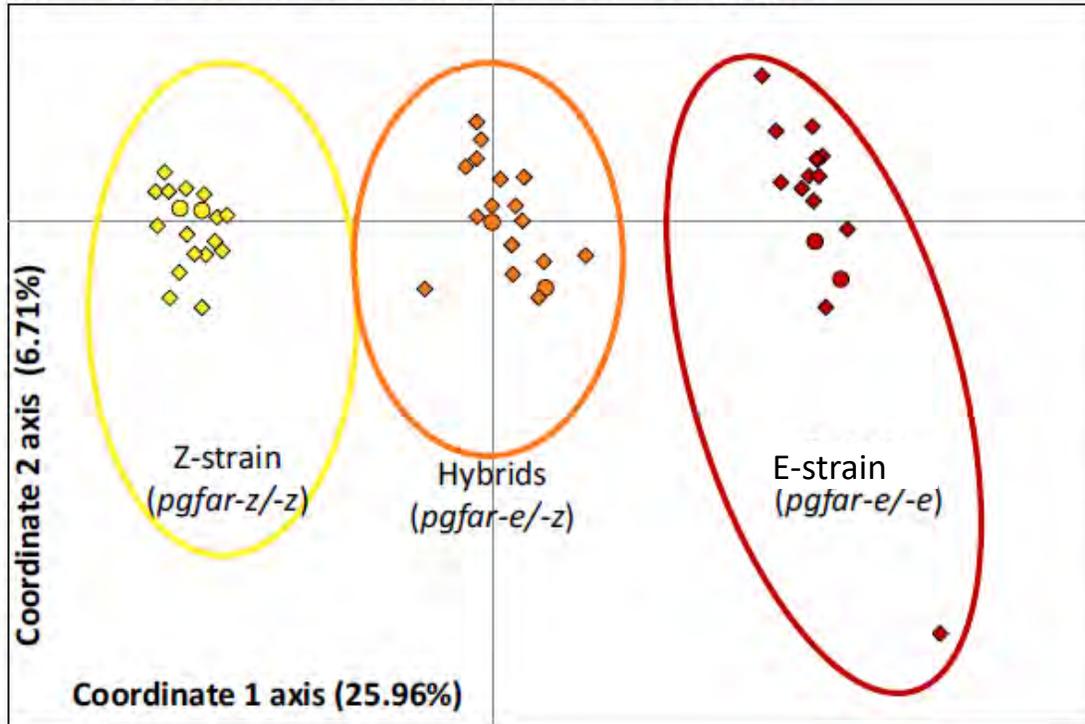
LES DEUX RACES DE LA PYRALE DU MAÏS

La pyrale du maïs représente un modèle pour l'étude des mécanismes de diversification écologique et de la formation d'espèces

- Barrière temporelle liée au voltinisme
- Barrière sexuelle liée aux phéromones
- Préférence de plante hôte
 - C4 (graminées, maïs) = race Z
 - C3 (autres plantes hôtes) = race E

LES DEUX RACES DE LA PYRALE DU MAÏS

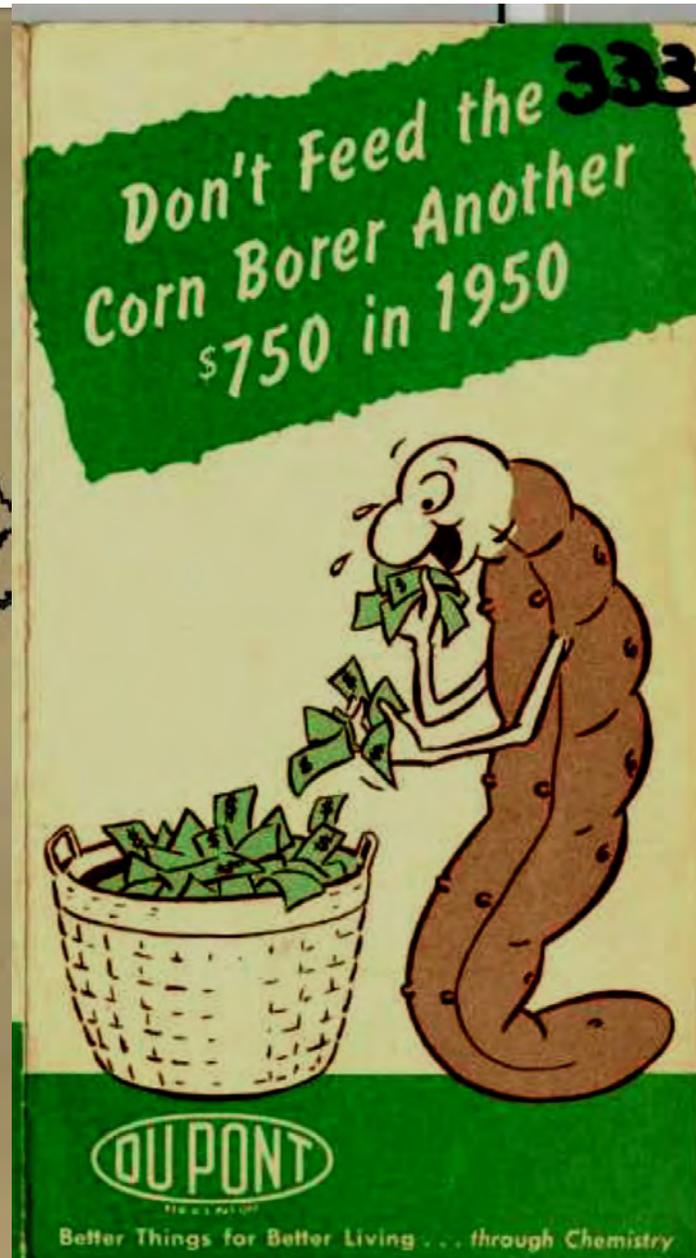
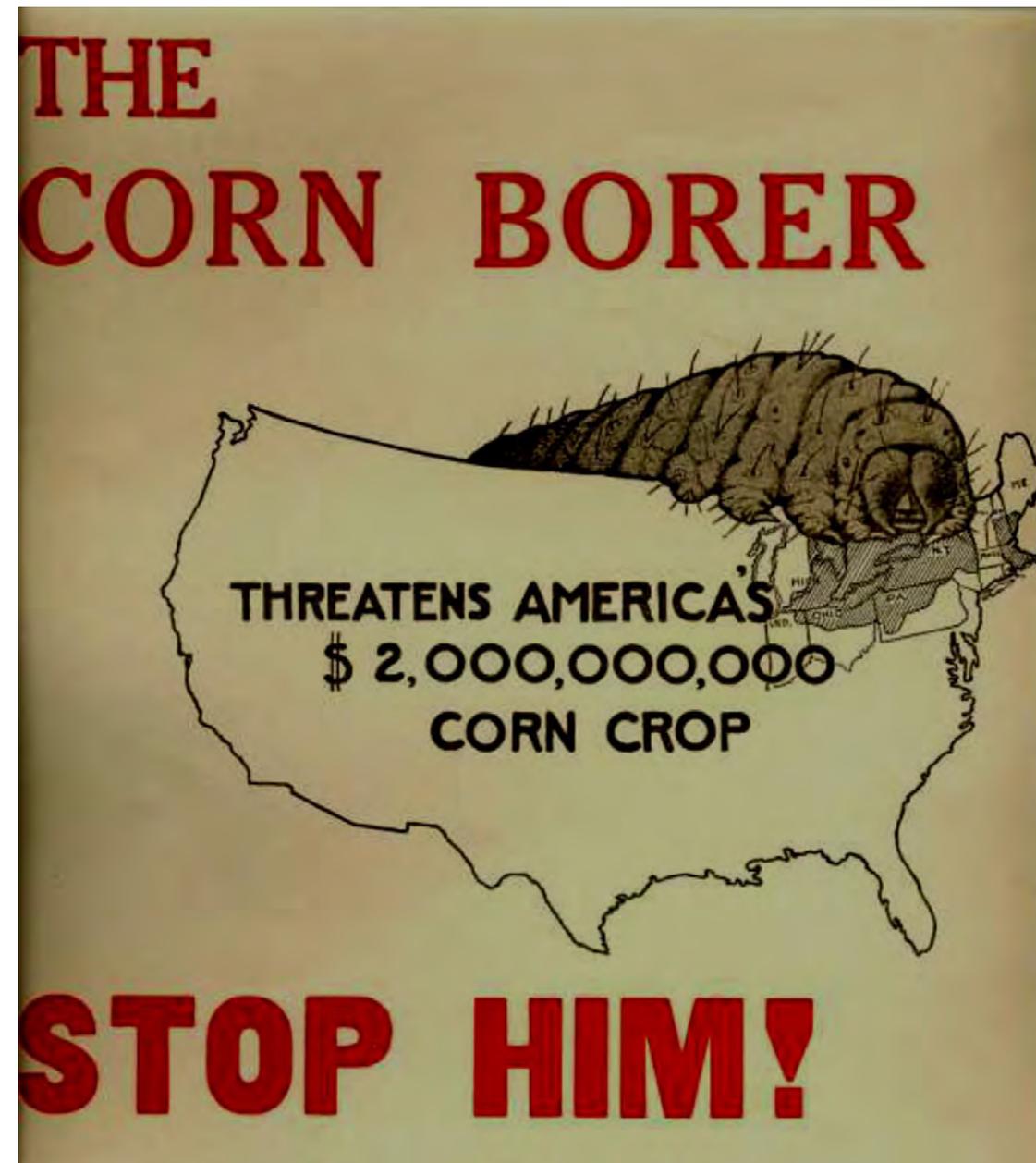
(a) Principal coordinates (PCs) for 65 loci including *pgfar*



Les variations liées aux **phéromones** jouent un rôle plus prépondérant dans la différenciation génétique de la pyrale du maïs que la **géographie** ou l'utilisation des **plantes hôtes**.

(Coates *et al.*, 2019)

LE CONTRÔLE DE LA PYRALE DU MAÏS



Dans les années 2000, la pyrale du maïs causait des dommages annuels d'environ **35 M \$US** dans le N-E des États-Unis

MÉTHODES DE CONTRÔLE

MAÏS GRAIN

- Arrivée des cultivars transgéniques dans le maïs grain au début des années 2000
- Efficace à 99,9% pour tuer les larves qui s'en nourrissent
- En 2020, au Québec, 92 % des superficies totales de maïs-grainensemencées étaient GM avec Bt (Institut de la Statistique du Québec, 2020)



(Kaçar *et al.*, 2023)

MAÏS SUCRÉ

- Application de pesticides de synthèse
- Synchronisation avec l'arrivée des adultes (Réseau de pièges à phéromones RAP)
- Lutte biologique d'inondation (Trichogrammes) (Gagnon *et al.*, 2017; Gagnon & Baute, 2024)
- Cultivars transgéniques dispendieux et faible acceptabilité sociale (Qc)

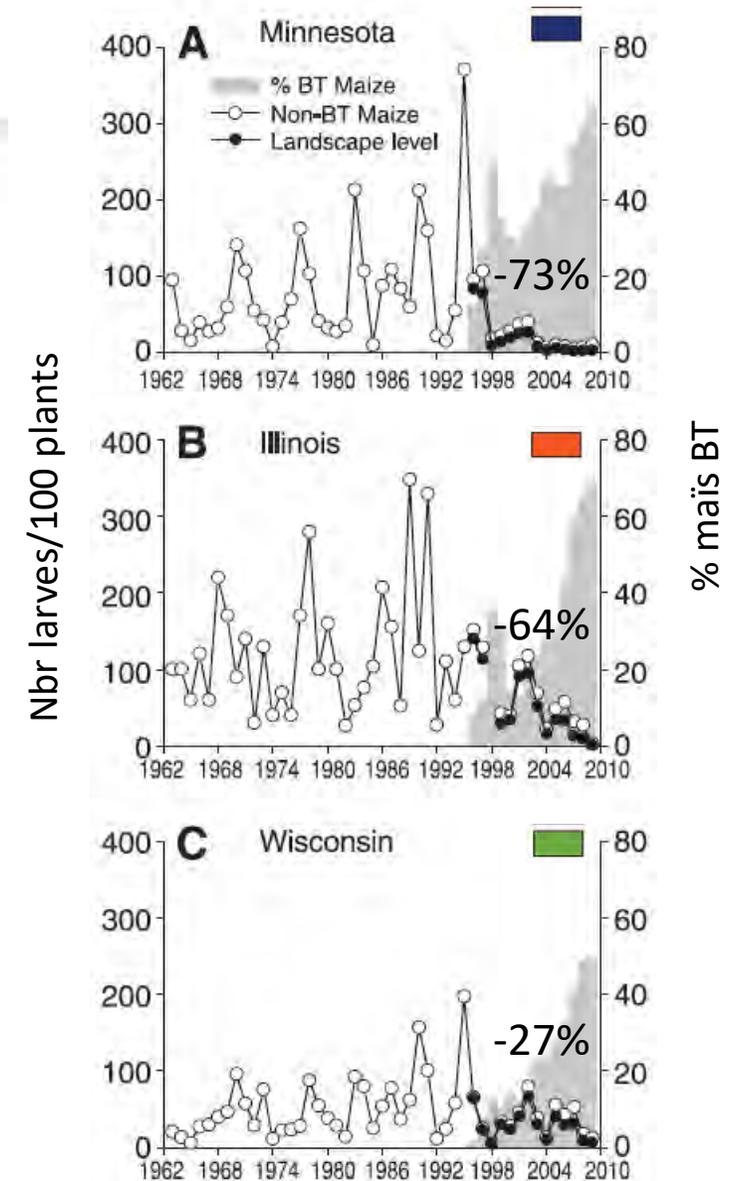
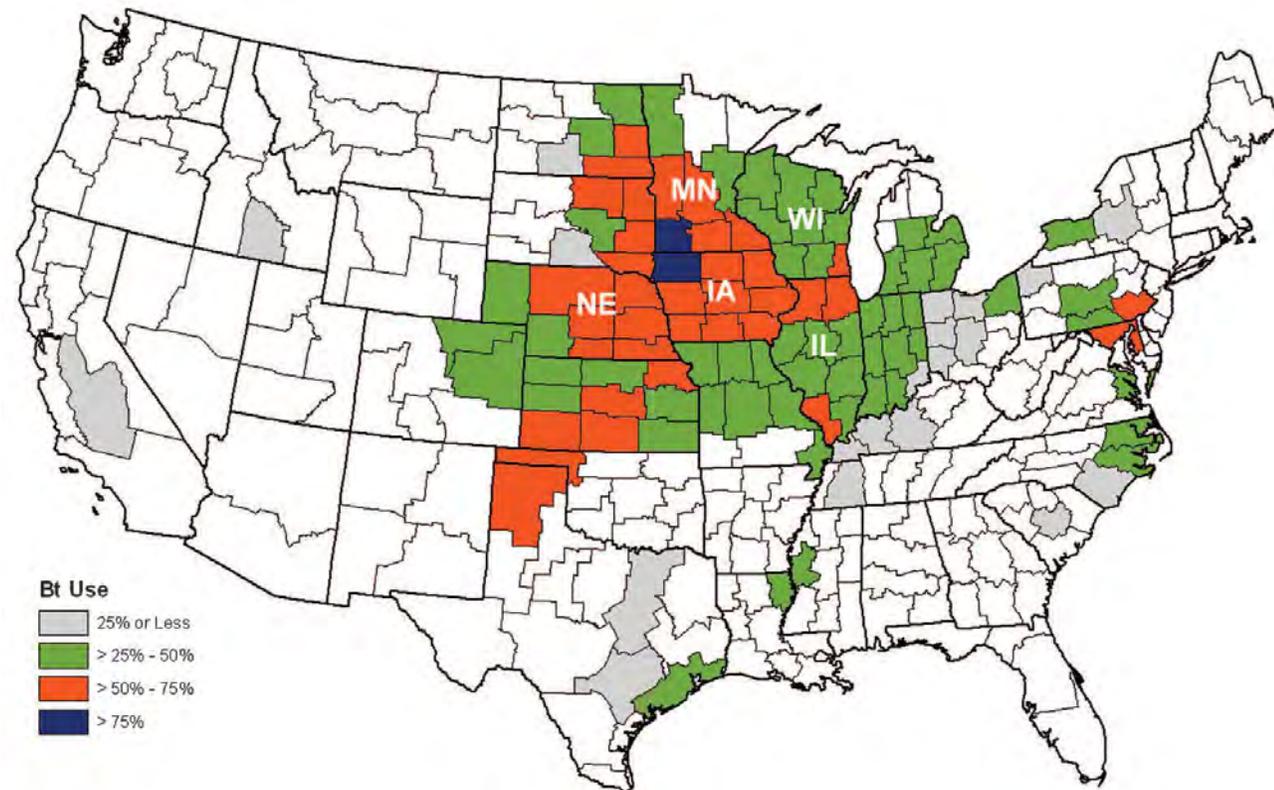


DÉCLIN DES POPULATIONS

Areawide Suppression of European Corn Borer with Bt Maize Reaps Savings to Non-Bt Maize Growers

W. D. HUTCHISON, E. C. BURKNESS, P. D. MITCHELL, R. D. MOON, [..], AND E. S. RAUN +13 authors [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE - 8 Oct 2010 · Vol 330, Issue 6001 · pp. 222-225 · DOI: 10.1126/science.1190242

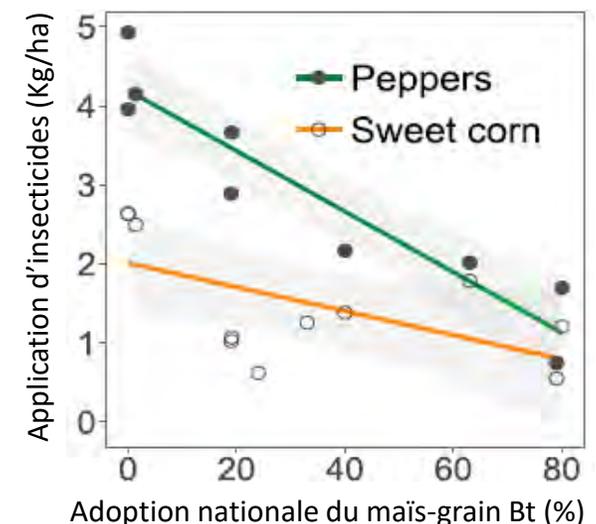
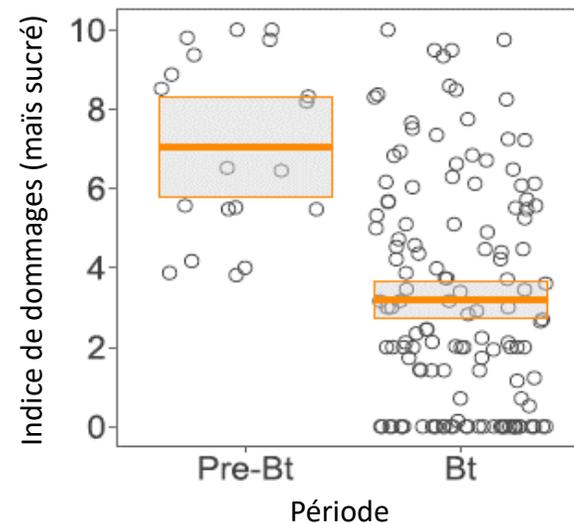
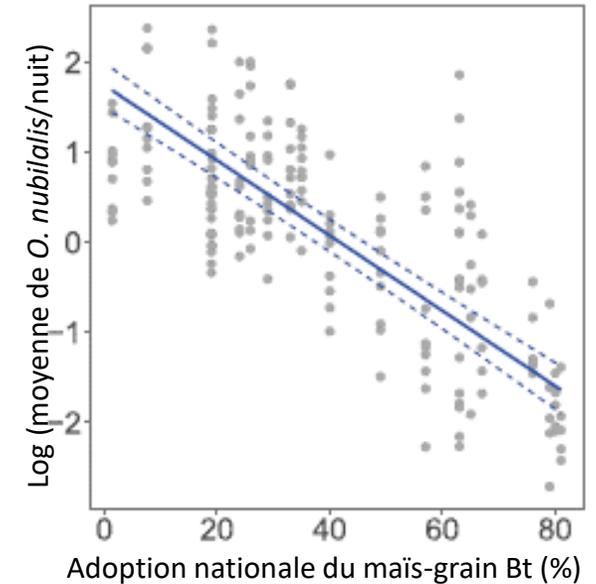
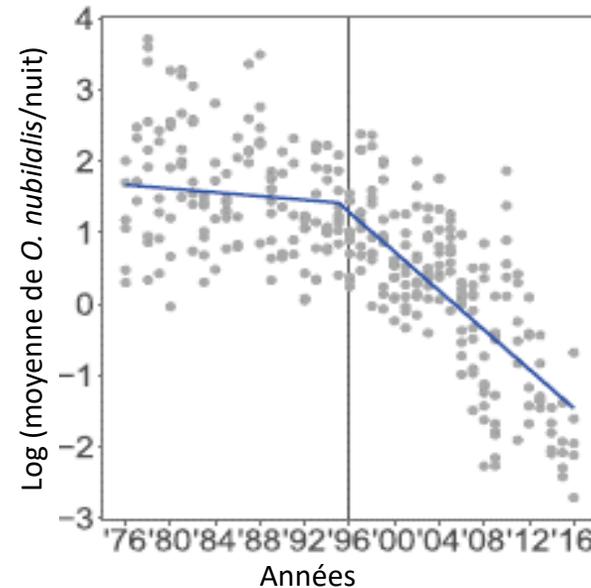


(Hutchison *et al.*, 2010)

DÉCLIN DES POPULATIONS

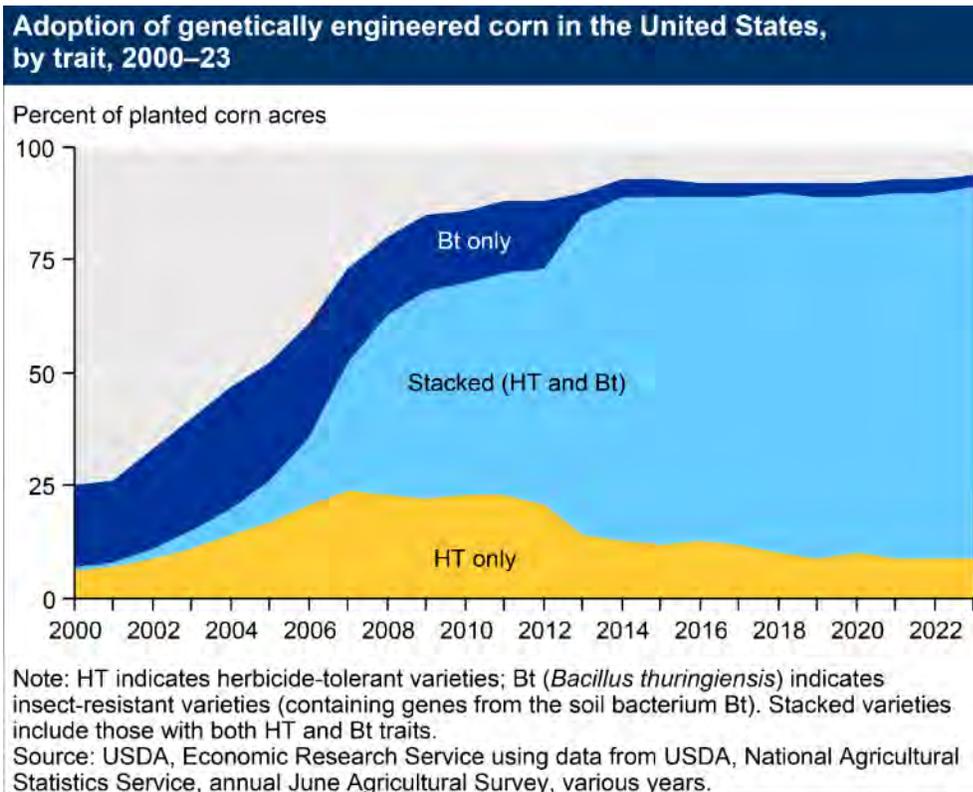
- Suppression régionale (Delaware, Maryland, New Jersey) des populations de la pyrale du maïs corrélée avec l'adoption du maïs-grain Bt (1996-2016)
- Diminution des dommages et des applications d'insecticides le maïs sucré par rapport à la période pré-Bt (1976-1995)

(Dively *et al.*, 2018)

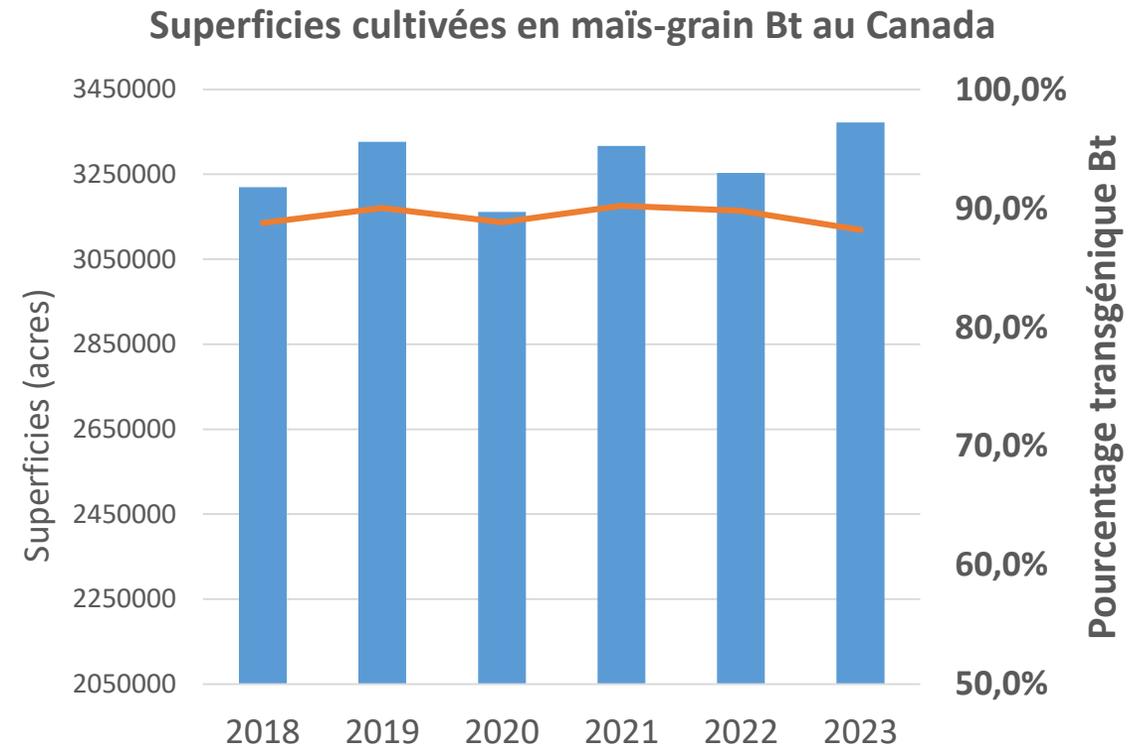


DÉCLIN DES POPULATIONS

- Disponibilité des cultivars transgéniques exprimant le Bt depuis plus de 20 ans
- Utilisation répandue du maïs-grain *Bt* -> É-U (85%), Canada (89%), Québec (92%)



(USDA, 2023)



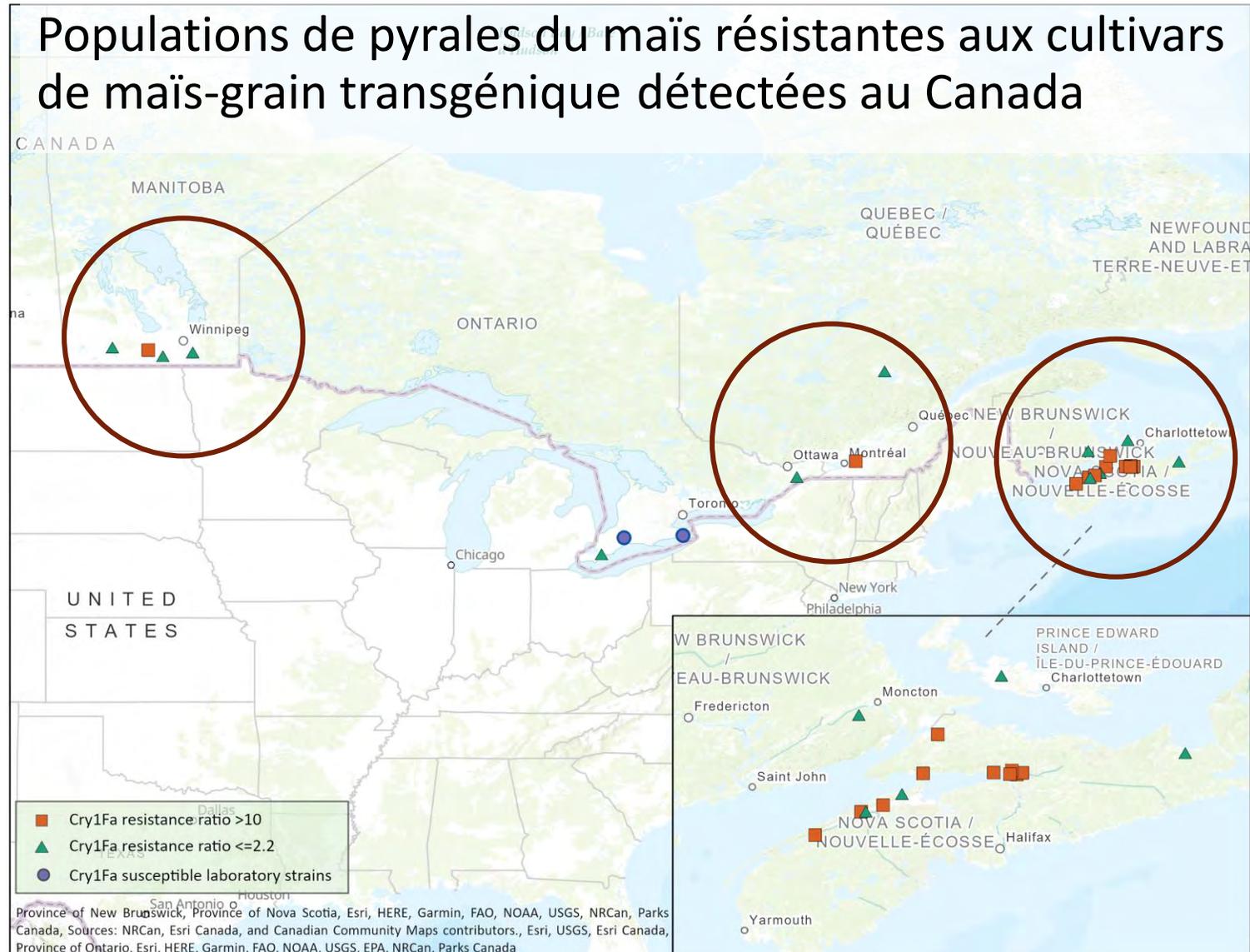
(Statistique Canada, 2023; Institut de la Statistique du Québec, 2020)

DÉVELOPPEMENT DE RÉSISTANCE AU BT

Résistance au Bt:

- ☙ Cry1Fa (52%);
 - ☙ Cry1Ab (23%);
 - ☙ Cry1A.105 (45%);
 - ☙ Cry2Ab (14%)
- des 20-22 souches testées

Populations de pyrales du maïs résistantes aux cultivars de maïs-grain transgénique détectées au Canada

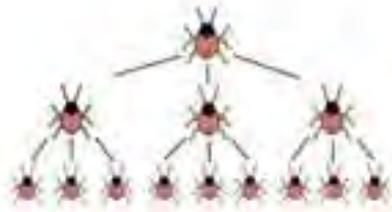


(Smith *et al.*, 2019; Farhan *et al.*, 2023; Smith & Farhan 2023)

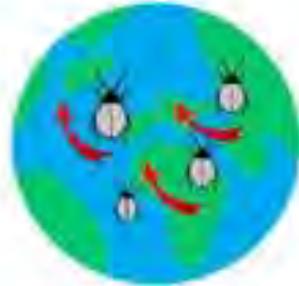
CHANGEMENTS CLIMATIQUES



HOW DOES TEMPERATURE INCREASE AFFECTS INSECT PESTS?



Increased number of generations



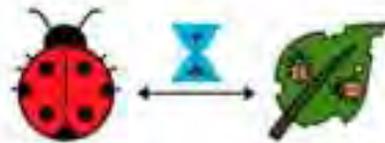
Expansion of geographic range



Outbreak of plant diseases transmitted by insects



Increased overwintering survival



Desynchronization of insects and their natural enemies



Loss of synchrony with the host plant



- **Développement d'une génération additionnelle**
 - Impact de la photopériode sur l'entrée en diapause et la survie à des températures hivernales?
- **Diminution de la mortalité hivernale**
 - Impact du couvert de neige sur la survie hivernale des pyrales?

DIAPAUSE ET SURVIE HIVERNALE

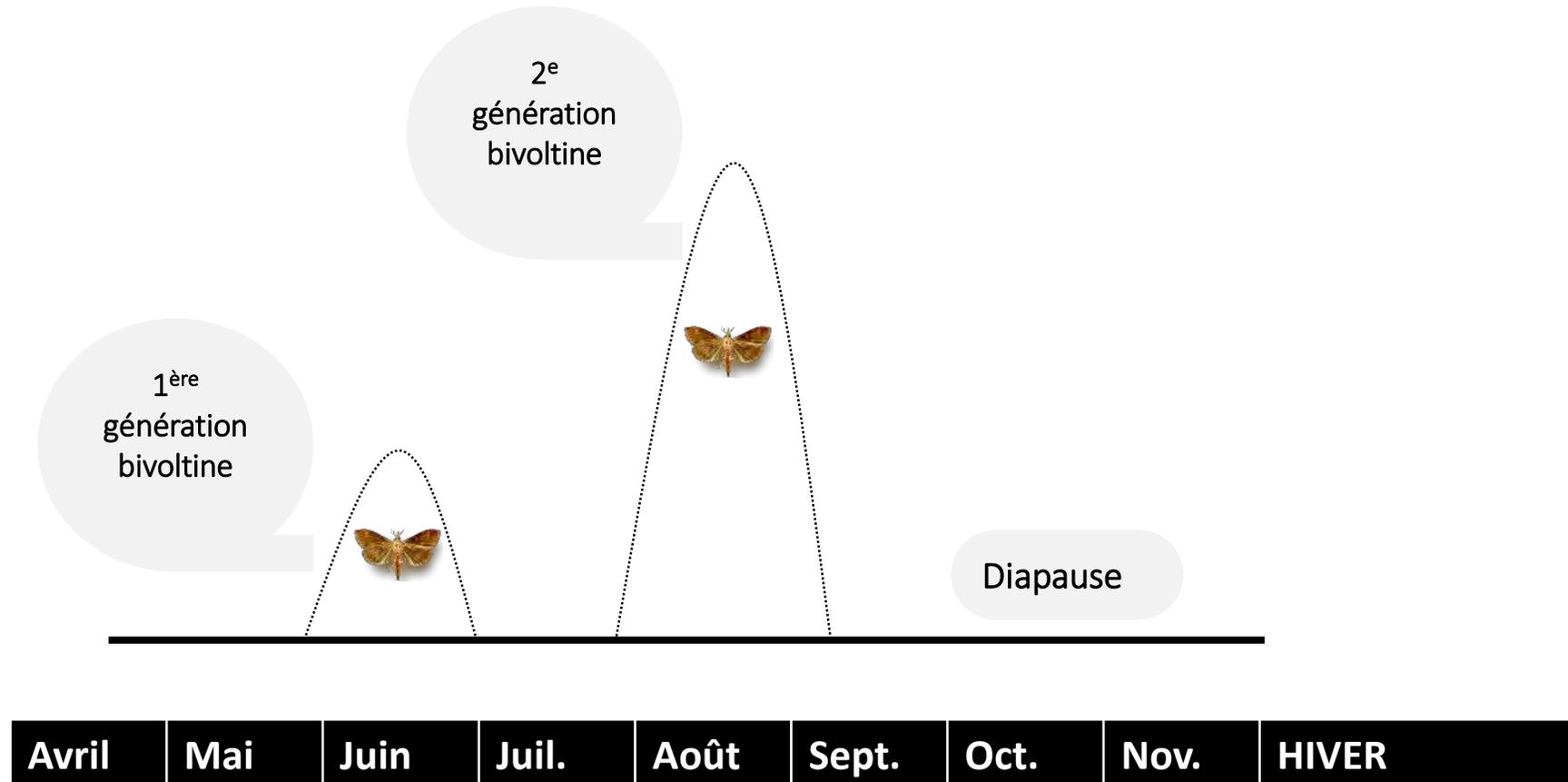
- **Diapause** = *Arrêt du développement de l'insecte accompagné d'une diminution du métabolisme, souvent corrélé avec les saisons*
- Facteurs: température & photopériode (Onstad & Brewer, 1996)

🌡️ < 24°C ☀️ < 14,5 h

- **Survie hivernale:** accumulation de glycérol chez les larves diapausantes pour tolérer des conditions climatiques difficiles (Nordin *et al.*, 1983)
- Survie à des températures entre -10°C et -24°C, selon les conditions d'exposition préalables (Andreadis *et al.*, 2008)

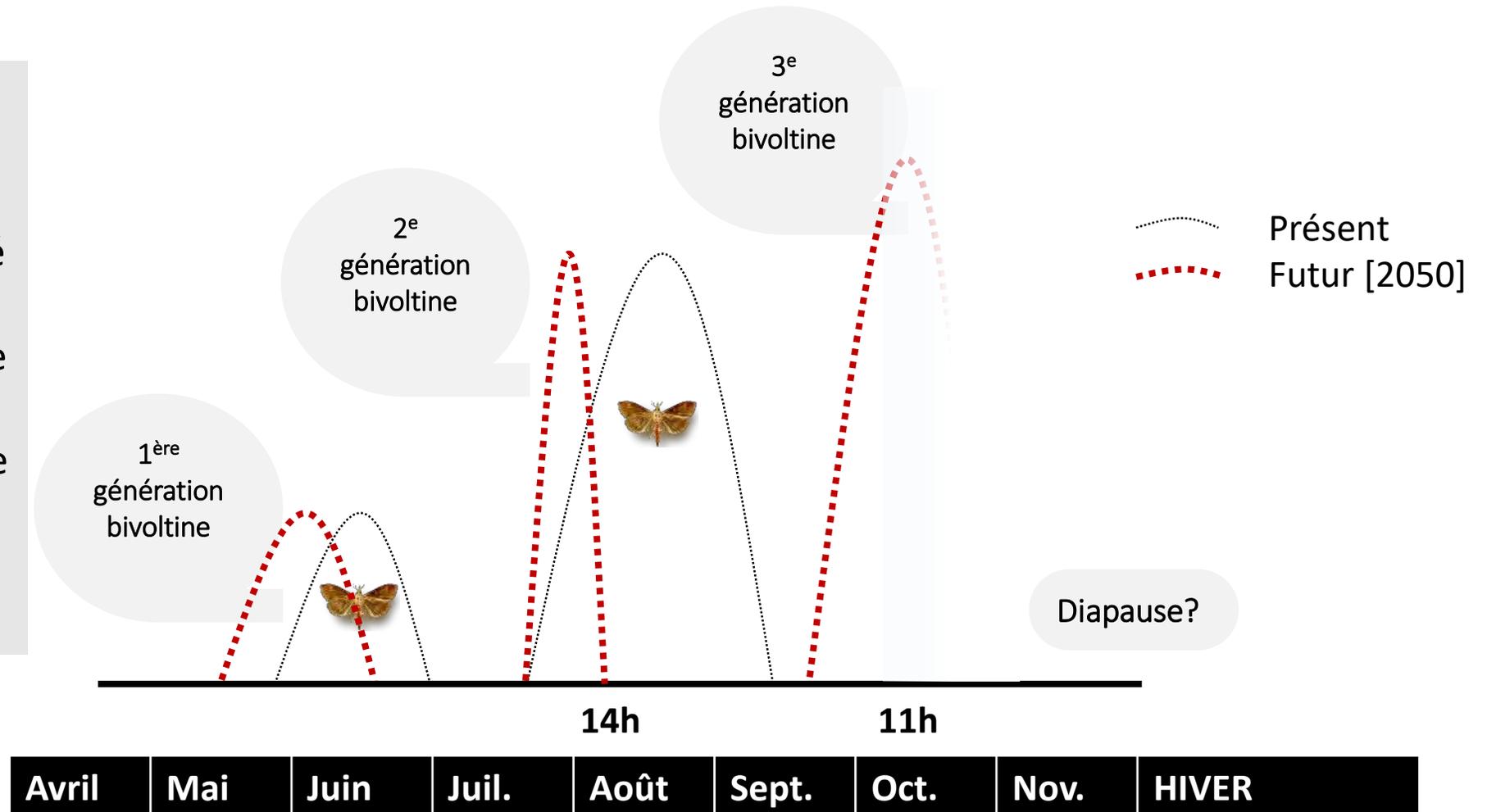


CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DIAPAUSE



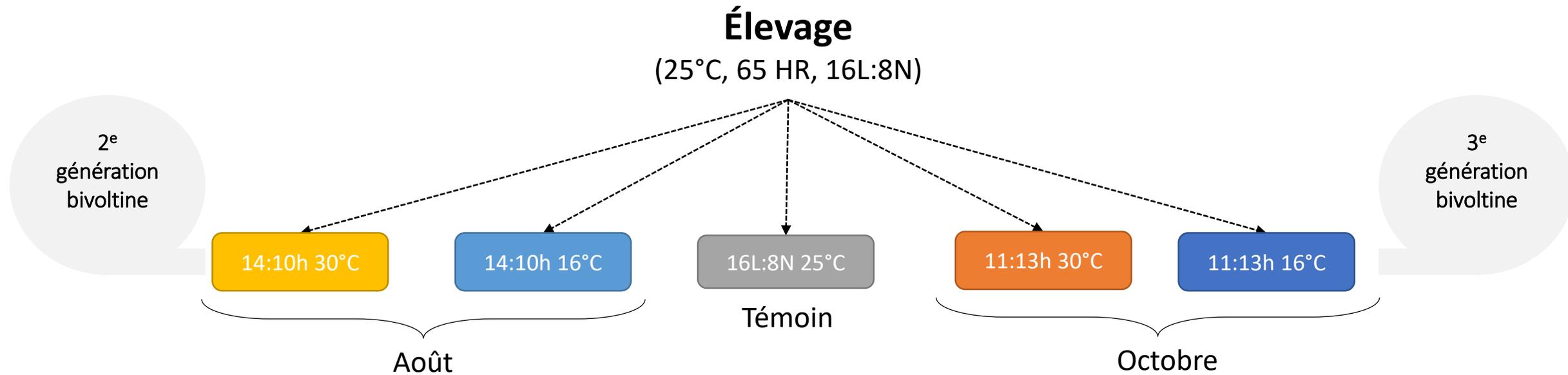
CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DIAPAUSE

- ➊ Arrivée des premiers adultes 15 jours plus tôt
- ➋ Fenêtre d'opportunité pour intervention phytosanitaire réduite de 16 à 28%
- ➌ Développement d'une génération additionnelle dans le sud du Québec



IMPACT DES CC SUR L'ENTRÉE EN DIAPAUSE

Évaluer le taux d'induction de la diapause et la survie hivernale théorique des larves de pyrale du maïs (race E) sous un climat futur.



- Taux d'induction de la diapause
- % de survie

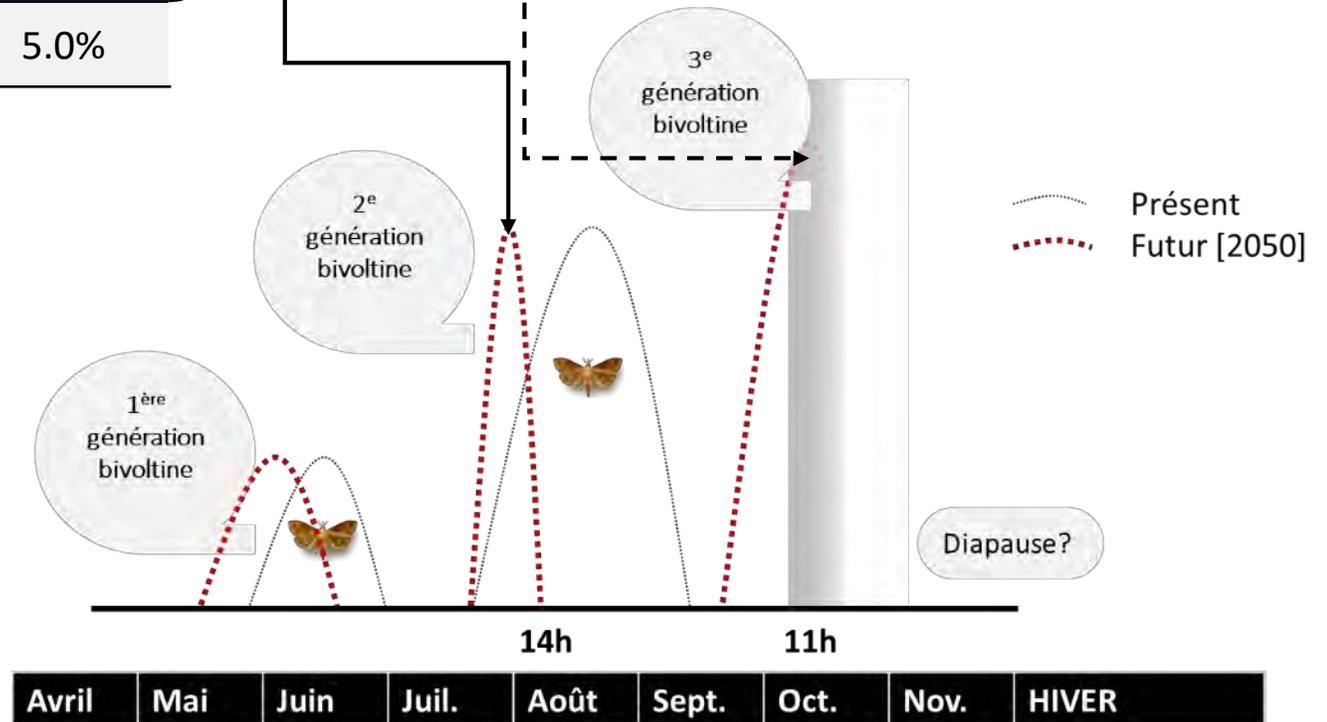


RÉSULTATS - ENTRÉE EN DIAPAUSE

Génération ciblée	Traitement	Diapause	Mortalité
2 ^e génération	14:10h 30°C	4%	5.6%
	14:10h 16°C	87%	0.0%
3 ^e génération	11:13h 30°C	5%	12.2%
	11:13h 16°C	100%	11.1%
Témoin	16:8h 25°C	2%	5.0%

À nos latitudes, une proportion de la population de la pyrale du maïs a la **possibilité de développer une 3^e génération** lors des étés chauds.

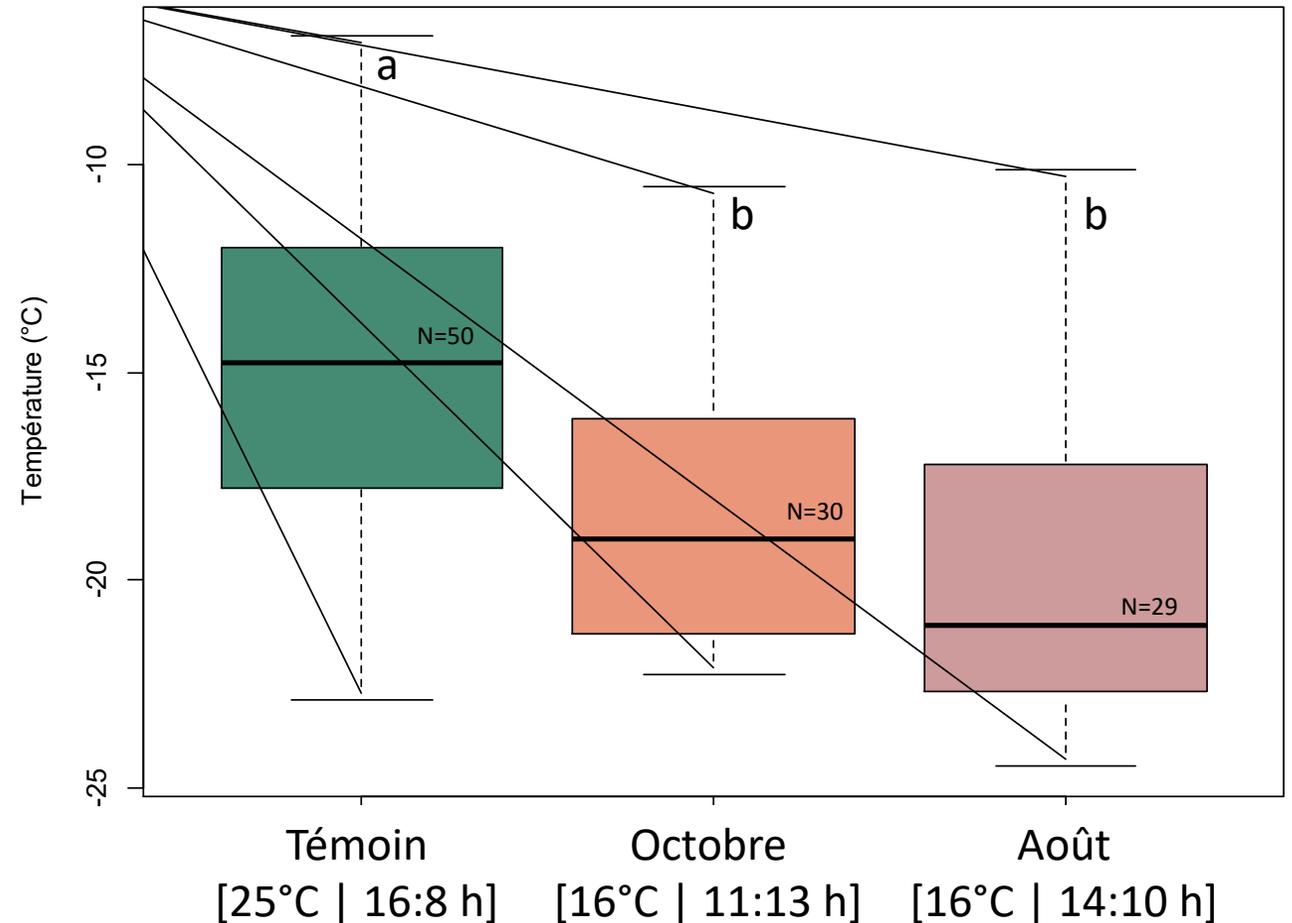
Risque de mortalité plus élevé chez les pyrales en diapause exposées à 11h de lumière



RÉSULTATS – SURVIE HIVERNALE

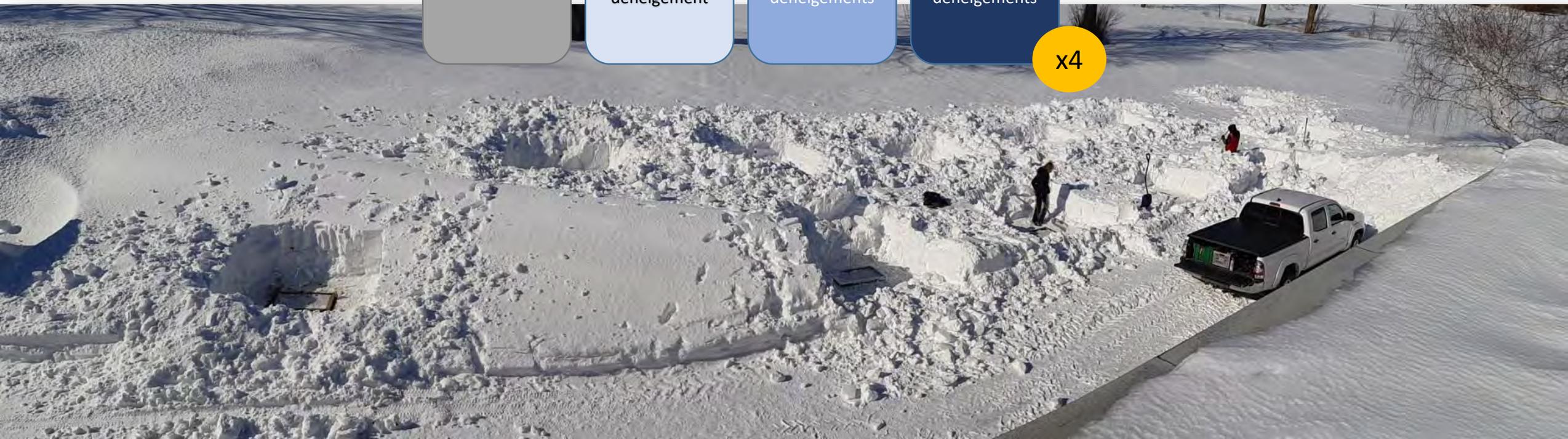
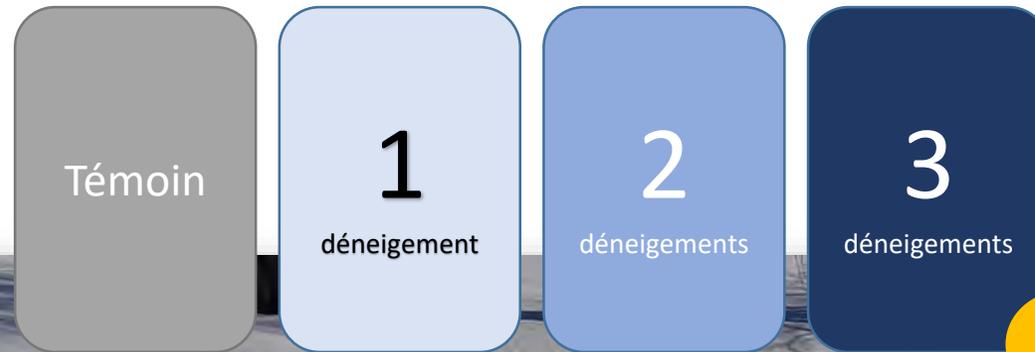
Point de cristallisation

- Utilisé pour mesurer une valeur théorique de survie à des températures froides
- La diapause permet une meilleure survie hivernale des larves
- Les larves diapausantes survivent à des températures similaires, qu'elles soient entrées en diapause à 14h ou 11h de photopériode.



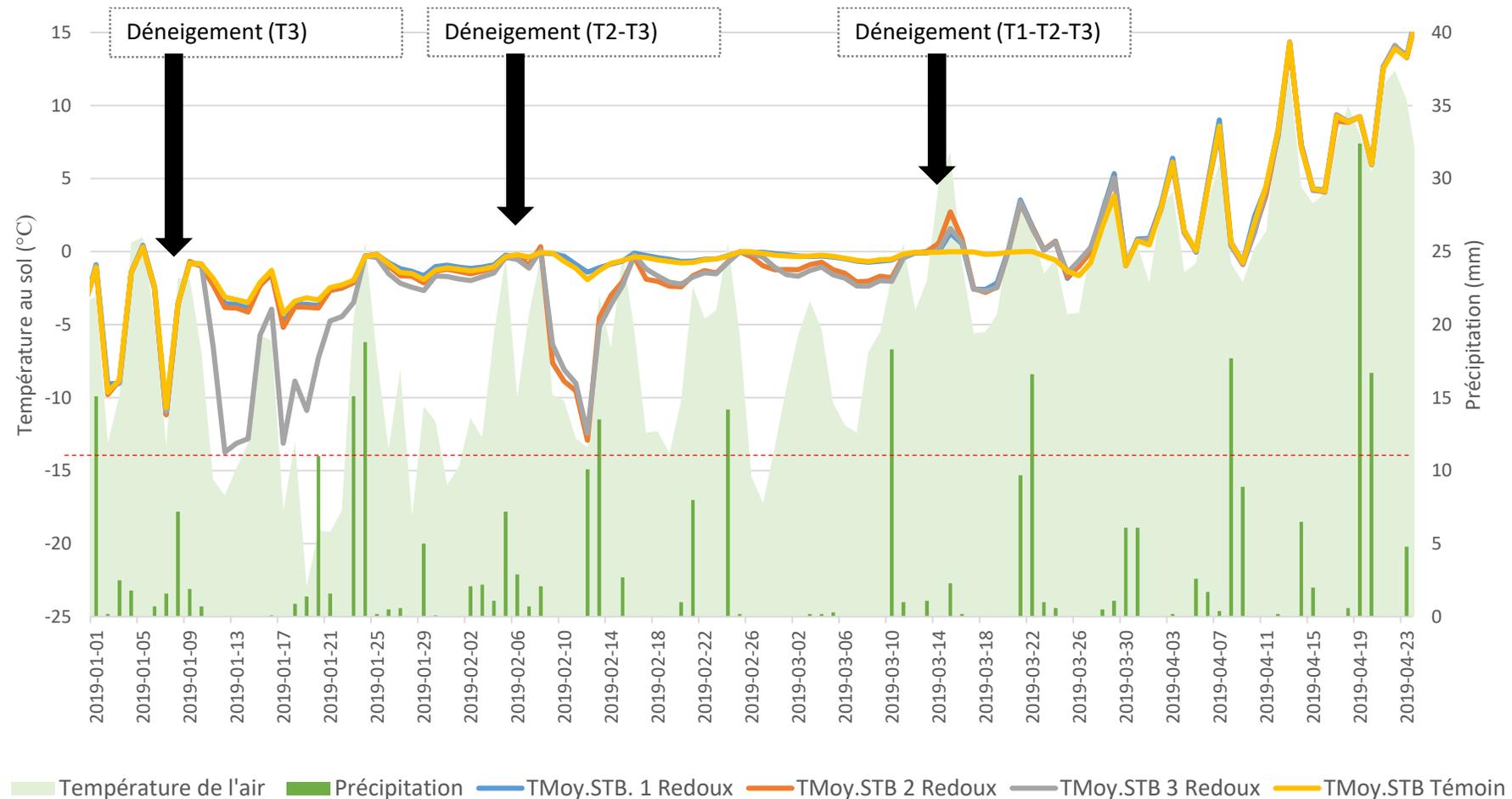
IMPACT DE LA COUVERTURE DE NEIGE

Déterminer l'impact de la couverture de neige au sol sur la survie des larves de pyrale du maïs en diapause



IMPACT DE LA COUVERTURE DE NEIGE

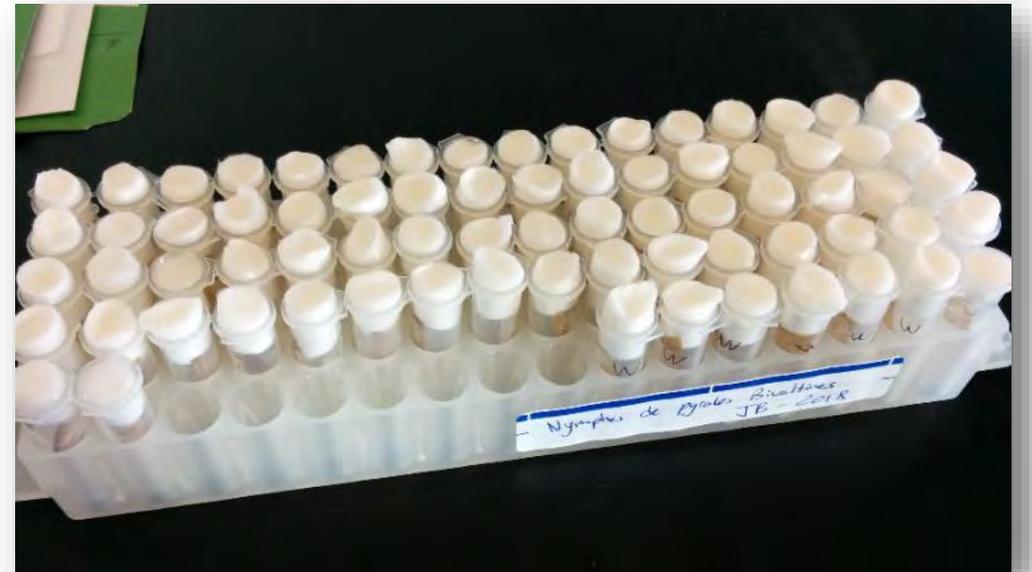
SAINT-BRUNO-DE-MONTARVILLE
RÉSULTATS : HIVER 2018-2019



IMPACT DE LA COUVERTURE DE NEIGE

Aucun effet significatif des traitements de déneigement sur :

- Survie des larves
- Pourcentage de nymphose
- Pourcentage d'émergence des adultes
- Ratio des sexes



IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

- Développement d'une génération supplémentaire -> contribution à l'augmentation des populations et à l'accroissement des dommages en fin de saison;
- Survie à des températures très froides, que l'insecte entre ou non en diapause;
- Capacité de survie hivernale similaire sous divers régimes de photopériode;
- Les redoux hivernaux ne risquent pas de mettre en péril la survie hivernale de la pyrale du maïs.



CONCLUSION GÉNÉRALE

- **Déclin** de la pyrale du maïs à l'échelle de l'Amérique du Nord;
- Profitable de dépister les champs pour **connaître la pression locale** et adapter les méthodes de contrôle;
- Vigilance requise pour les populations de pyrales du maïs **résistantes au Bt**;
- La pyrale du maïs peut développer une **génération supplémentaire** pouvant augmenter les dommages et/ou affecter les cultures tardives.



REMERCIEMENTS



Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture et
Agroalimentaire Canada

[Équipe Gagnon]

- Danielle Thibodeau
- Julie Frenette
- Valentine Glaus
- Joakim Vachon



[Équipe IRDA]

- Laurence Jochems-Tanguay
- Thierry Boislard
- Simon Chaussé
- Sylvie Bellerose
- Sandra Mougeot
- Michèle Grenier



RÉFÉRENCES PERTINENTES

- Bohnenblust *et al.* (2014) Current European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, injury levels in the northeastern United States and the value of Bt field corn. *Pest Management Science*, 70(11), 1711-1719.
- Coates *et al.* (2019) Influence of host plant, geography and pheromone strain on genomic differentiation in sympatric populations of *Ostrinia nubilalis*. *Molecular Ecology*, 28(19), 4439-4452.
- Dively *et al.* (2018) Regional pest suppression associated with widespread Bt maize adoption benefits vegetable growers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(13), 3320-3325.
- Gagnon *et al.* (2019) Impact of climate change on *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) phenology and its implications on pest management. *Agricultural and Forest Entomology*, 21(3), 253-264.
- Gagnon & Baute (2024) *Ostrinia nubilalis* (Hübner), European corn borer / Pyrale du maïs (Lepidoptera: Crambidae). Dans: Vankosky, M.A. and Martel, V. (eds.) *Biological Control Programmes in Canada 2013-2023*. CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, United Kingdom. (in press)
- Hutchison *et al.* (2010) Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. *Science*, 330(6001), 222-225.
- Kaçar *et al.* (2023) Recent trends in management strategies for two major maize borers: *Ostrinia nubilalis* and *Sesamia nonagrioides*. *Journal of Pest Science*, 96(3), 879-901.
- Skendžić *et al.* (2021) The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440.
- Smith & Farhan (2023) Monitoring resistance of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Canada to Cry toxins produced by Bt corn. *Journal of Economic Entomology*, 116(3), 916-926.