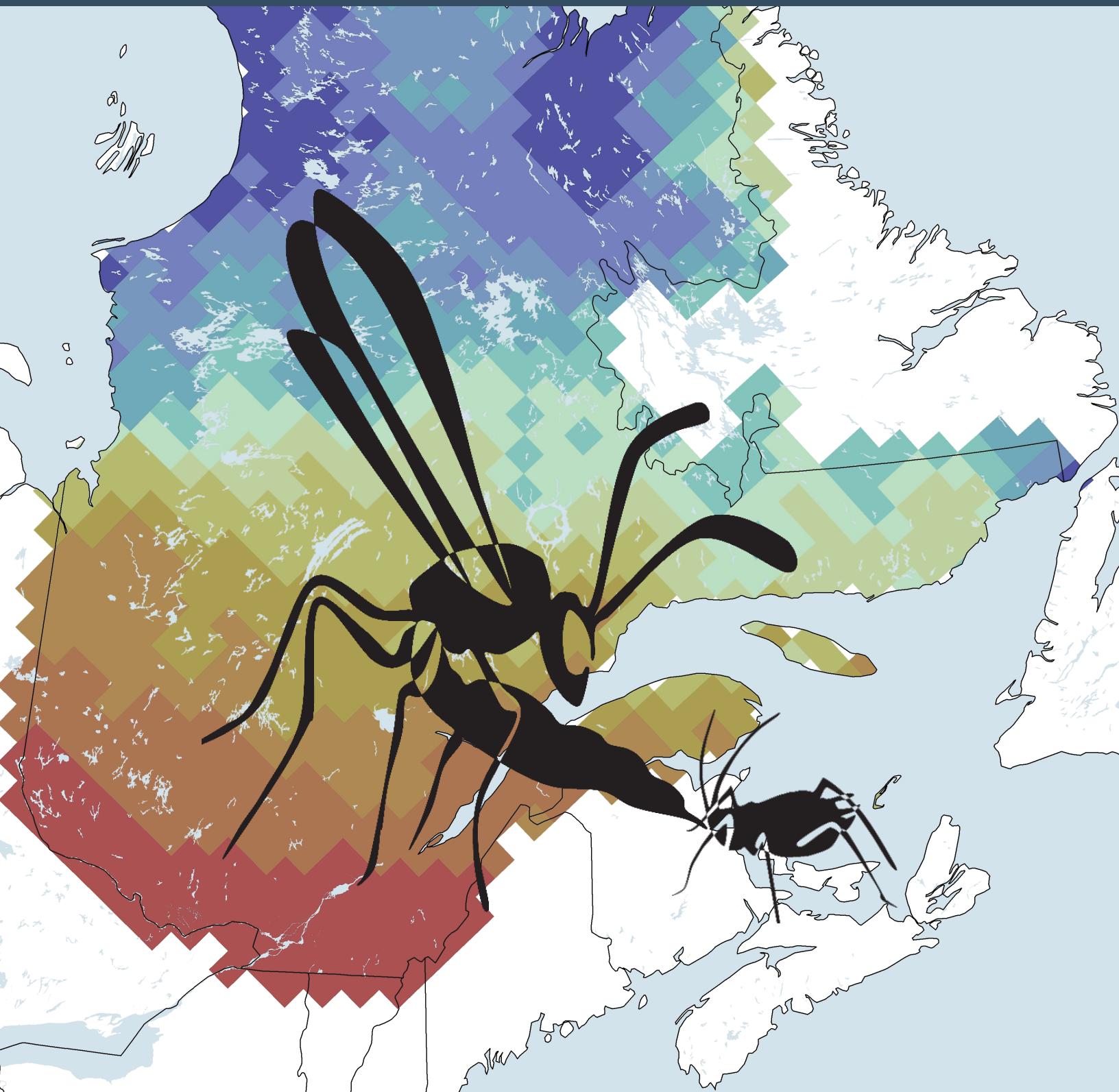


# Impact du réchauffement climatique sur le synchronisme entre les ravageurs des cultures et leurs ennemis naturels : calcul d'un indice de risque d'altération



## RÉDACTION

Joffrey Moiroux, Ph.D., biologiste, Université de Montréal.  
Gaétan Bourgeois, Ph.D., bioclimatologue, AAC  
Guy Boivin, Ph.D., biologiste, AAC  
Jacques Brodeur, Ph.D., biologiste, Université de Montréal.

## COLLABORATION ET RÉVISION

Anne Blondlot, agronome, Impacts et Adaptation, Ouranos.  
Conrad Cloutier, Ph.D., biologiste, Université Laval.  
Daniel Cormier, Ph.D., entomologiste, IRDA.  
Josée Doyon, professionnelle de recherche, Université de Montréal.  
Annabelle Firlej, Ph.D., biologiste, IRDA.  
Annie-Ève Gagnon, Ph.D., biologiste, CEROM.  
Patrick Grenier, Ph.D., climatologue, Ouranos.  
Christian Hébert, Ph.D., biologiste, Ressources naturelles Canada.  
Michel Lacroix, agronome, MAPAQ.  
Jean-Philippe Légaré, M.Sc., biologiste, MAPAQ.

## COMMENT CITER CE DOCUMENT

Moiroux J., G. Bourgeois, G. Boivin et J. Brodeur. 2014. *Impact du réchauffement climatique sur le synchronisme entre les ravageurs des cultures et leurs ennemis naturels : calcul d'un indice de risque d'altération* Feuillet technique Ouranos Projet 550005-103, Québec, Canada. 7 p.

Photographie  
Page 2: *Macrosiphum euphorbiae*: Whitney Cranshaw (Wikimedia)  
Page 3: *Coleomegilla maculata*: Mathieu Bélanger Morin



Les coûts relatifs aux travaux ont été assumés par Ouranos grâce au Fonds vert dans le cadre de la mise en œuvre du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES .....	1
INDICE DE RISQUE D'ALTÉRATION (IRA) .....	2
UTILISATION DE L'IRA ET PERSPECTIVES .....	3
RÉFÉRENCES .....	4

## INTRODUCTION

La régulation naturelle des ravageurs des cultures par leurs ennemis naturels est un processus important en agriculture. En se nourrissant ou en parasitant des espèces nuisibles, les prédateurs et parasitoïdes<sup>1</sup> présents naturellement dans les systèmes agricoles ou ceux introduits dans le cadre de programmes de lutte biologique permettent de limiter les dommages aux cultures. L'efficacité de ces ennemis naturels dépend de nombreux facteurs ; le synchronisme entre leur cycle biologique et celui de leurs proies/hôtes étant un des plus importants. Les changements climatiques prédis pourraient néanmoins rompre ce synchronisme en cas d'effets différentiels de la température sur les cycles biologiques des ravageurs et de leurs ennemis naturels. On pourrait alors s'attendre à de profonds effets sur l'agriculture, comme un fort accroissement des populations de ravageurs naturellement régulés, qui émergeraient plus précocement relativement à leurs ennemis naturels ou qui produiraient annuellement plus de générations.

Nous avons cherché à développer un outil, sous forme d'un Indice de Risque d'Altération (IRA), permettant de prédire les associations ravageurs-ennemis naturels les plus susceptibles d'être affectées par les changements climatiques via une perte de synchronisme.

## MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES

Deux paramètres physiologiques sont utilisés pour caractériser le développement d'un insecte en fonction de la température: la température de base (TBase), en dessous de laquelle aucun développement ne se produit, et la constante thermique, qui s'exprime en degrés-jours (DJ), et qui définit le temps physiologique nécessaire pour le développement d'un organisme (Trudgill *et al.* 2005). Lorsque ces paramètres physiologiques sont identiques entre un ravageur et son ennemi naturel, les variations de température auront un effet similaire sur les deux

espèces et leur synchronisme sera maintenu (Gerard *et al.* 2013). Par contre, si l'un ou les deux paramètres varient entre les espèces, on prévoit que les deux espèces ne réagiront pas de façon similaire aux changements de température et que le synchronisme entre les deux espèces sera rompu. C'est donc en étudiant ces deux paramètres physiologiques que l'on peut comprendre l'effet du réchauffement climatique sur le synchronisme entre les ravageurs et les ennemis naturels et prédire les conséquences en agriculture.

Afin d'estimer ces paramètres, il est nécessaire d'établir expérimentalement les courbes de durée de développement en fonction de la température pour chaque espèce d'intérêt. La méthodologie est relativement simple : des œufs et/ou des larves sont placés à différentes températures et la durée de leur développement jusqu'au stade adulte est notée. On dresse ensuite une courbe, non-linéaire, de ces durées de développement en fonction de la température et en appliquant certaines équations proposées dans la littérature, on peut en déduire les paramètres physiologiques d'intérêt, à savoir TBase, DJ, mais également la température maximale Tsup, au-delà de laquelle l'organisme ne peut pas se développer, et la température optimale TDmax, pour laquelle le développement est le plus rapide. De nombreuses équations ont été proposées dans la littérature et plusieurs expriment adéquatement cette réponse à la température. Toutefois, aucune des équations existantes ne permet de calculer de façon fiable l'ensemble de ces quatre paramètres.

Nous avons donc tout d'abord développé un nouveau modèle en nous appuyant sur ceux existants. L'ensemble de la procédure est décrit dans le rapport Ouranos « *Impacts des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels : conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec* » (Brodeur *et al.* 2013).

Nous avons confronté plusieurs de ces équations à des données mesurées sur de petits écarts de température chez 22 espèces d'insectes et d'acariens. Cette approche nous a permis de déterminer que l'équation de Yan & Hunt (1999) était à privilégier pour les étapes subséquentes de l'élaboration de ce nouveau modèle.

1. parasitoïde : organisme qui se développe sur ou à l'intérieur d'un hôte, ce développement résultant inévitablement en la mort de l'hôte.

Toutefois, pour les jeux de données contenant des valeurs nulles de taux de développement à basse et/ou haute températures, les valeurs obtenues par ce modèle sous-estimaient TBase et surestimaient TSup. Nous avons alors déterminé TBase comme la température à mi-chemin entre la température froide la plus élevée à laquelle aucun développement n'a été obtenu et la température la plus basse à laquelle un développement a été observé. Une approche similaire a été utilisée pour TSup, en considérant la température de développement la plus élevée. Après avoir déterminé ces valeurs, nous avons considéré TBase et TSup comme des pourcentages de TDmax. Nous avons donc couplé le modèle de Yan & Hunt présenté ci-dessous avec une mesure la plus précise possible de TBase et TSup.

$$D = D_{\max} \left( \frac{T_U - T}{T_U - T_{\max}} \right) \left( \frac{T}{T_{\max}} \right)^{\frac{T_{\max}}{T_U - T_{\max}}}$$

Où : D = taux de développement

Dmax = taux maximal de développement

Tu = température maximale de développement

T = température

TDmax = température optimale de développement

Et % TDmax < T < % TDmax

Lorsque confrontée à des données biologiques, ce nouveau modèle semblait fiable pour déterminer l'ensemble des paramètres physiologiques nécessaires au calcul de l'IRA, comme le montre la figure 1.



*Macrosiphum euphorbiae*

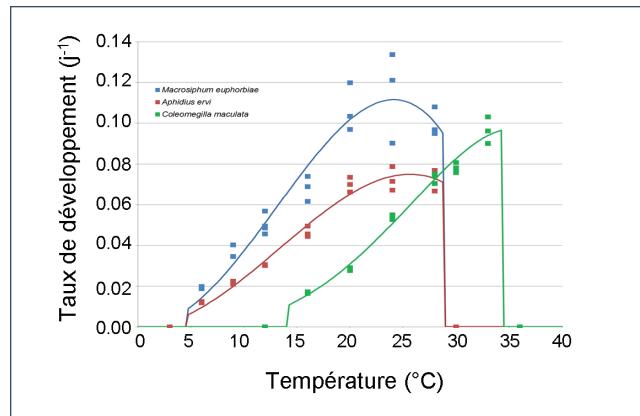


Fig. 1: Courbes de réponses à la température obtenues à l'aide de l'équation nouvellement développée et confrontée aux données obtenues en laboratoire pour *Macrosiphum euphorbiae*, *Aphidius ervi* et *Coleomegilla maculata*.

## INDICE DE RISQUE D'ALTÉRATION (IRA)

Pour déterminer l'IRA, le nombre de degrés-jours requis pour compléter le cycle (DJ) de chacun des insectes doit dans un premier temps être calculé en utilisant le modèle présenté ci-dessus. Ensuite, les degrés-jours sont calculés à une température constante. Finalement, l'IRA proposé est déterminé en divisant le nombre de jours requis pour compléter le cycle de l'ennemi naturel (parasitoïde ou prédateur) par celui du ravageur, à différentes températures. Prenons l'exemple de l'aleurode du tabac *Bemisia tabaci* et de son parasitoïde *Eretmocerus furuhashii*. Afin de calculer l'IRA, on détermine tout d'abord le DJ des deux espèces, en nous basant sur les données de laboratoire et le modèle décrit ci-dessus. On obtient une valeur de 391,2 pour l'aleurode et 266,5 pour le parasitoïde. On calcule ensuite pour une température donnée, admettons 20 °C, le nombre de jours requis pour se développer, soit 35,9 jours pour l'aleurode et 30 jours pour le parasitoïde. En divisant la valeur du parasitoïde par celle de l'aleurode, on obtient un IRA de 0,84. On reproduit ceci pour différentes températures, et on en déduit ensuite comment évolue l'IRA avec la température.

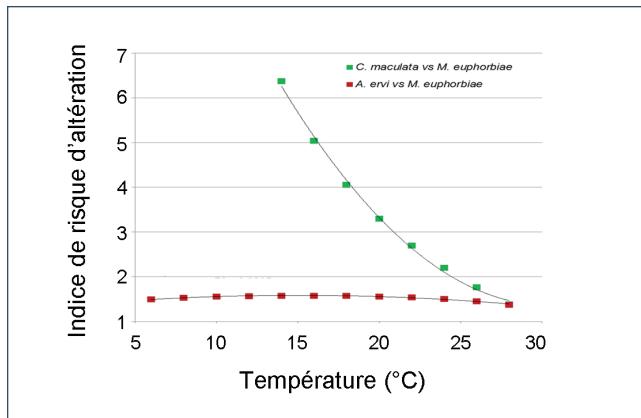


Fig. 2: Illustration des indices de risque d'altération (IRA) exprimés en fonction de la température pour les couples hôte-prédateur (*Macrosiphum euphorbiae* et *Coleomegilla maculata*) et hôte-parasitoïde (*M. euphorbiae* et *Aphidius ervi*).

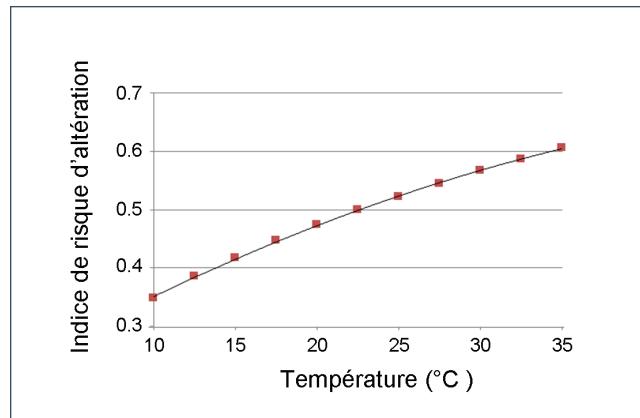


Fig. 3: Illustration des indices de risque d'altération (IRA) exprimés en fonction de la température pour le couple hôte-parasitoïde *Aphis pomi* et *Aphidius ervi*.



*Coleomegilla maculata*

Lorsque la valeur de l'IRA s'approche de 1, les deux espèces d'insectes sont considérées comme présentant un très bon synchronisme. Si l'IRA reste stable quelque soit la température, alors des changements de température ne devraient pas affecter le synchronisme entre ravageur et ennemi naturel. C'est par exemple le cas du couple puceron de la pomme de terre *Macrosiphum euphorbiae* et son parasitoïde *Aphidius ervi* (Figure 2, courbe rouge).

Une valeur d'IRA supérieure à 1 indique un cycle de vie plus long pour l'ennemi naturel que pour l'hôte, alors qu'une valeur inférieure indique un cycle de vie plus court. Si cette valeur d'IRA augmente avec la température, alors le cycle de vie du ravageur sera de plus

en plus court avec un réchauffement climatique relativement à son ennemi naturel. Il s'agit par exemple du couple puceron du pommier *Aphis pomi* et son parasitoïde *A. ervi* (Figure 3). Le puceron pourra émerger plus rapidement et produire relativement plus de générations que son ennemi naturel en cas de réchauffement climatique, et pourrait ainsi échapper à une régulation biologique efficace. Si cette valeur diminue avec une augmentation de la température, alors le cycle de vie de l'ennemi naturel sera de plus en plus court avec un réchauffement climatique, relativement au ravageur. Il apparaîtra plus précocement et pourra compléter davantage de générations. Il s'agit par exemple du couple *M. euphorbiae* et son prédateur, la coccinelle maculée *Coleomegilla maculata* (Figure 2, courbe verte). Dans ce cas, le ravageur devrait être plus fortement régulé avec un réchauffement climatique.

## UTILISATION DE L'IRA ET PERSPECTIVES

En se basant sur l'IRA, il sera possible pour tout utilisateur de déterminer si un couple ravageur-ennemi naturel d'intérêt risque de connaître une perte de synchronisme avec un réchauffement climatique, et de déterminer si ces changements seront néfastes (augmentation de l'IRA) ou bénéfiques (diminution de l'IRA) pour la culture concernée. Pour certains couples, les données permettant de calculer cet IRA existent déjà dans la littérature. Ces informations seront notamment accessibles dans une base de données développée dans le cadre du projet Ouranos cité ci-haut. Malheureusement, ces couples ne

représentent qu'une faible proportion des espèces d'intérêt en agriculture. Pour la majorité, ces données sont soit inexistantes, soit incomplètes et l'utilisateur devra mesurer en laboratoire des durées de développement en fonction de la température pour les espèces qui l'intéressent.

Actuellement, l'IRA ne peut être calculé qu'à une température donnée, et en comparant les valeurs d'IRA aux différentes températures testées. Nous sommes ainsi en mesure de prédire de façon qualitative comment devraient évoluer les relations ravageurs/ennemis naturels dans le contexte d'un réchauffement climatique. La prochaine étape de cet outil sera de simuler le synchronisme des populations selon différents scénarios climatiques et donc de valider cette prédition quant à la stabilité de l'association entre un ravageur et son ennemi naturel dans un contexte de réchauffement climatique.

## RÉFÉRENCES

- Brodeur J., Boivin G., Bourgeois G., Cloutier C., Doyon J., Grenier P., Gagnon A.-È. 2013. Impacts des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels: conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec. Rapport final projet Ouranos N° 5500005-103.
- Gerard, P.J., J.R.F. Barringer, J.G. Chares, S.V. Fowler, J.M. Kean, C.B. Phillips, A.B. Tait & G.P. Walker. 2013. Potential effects of climate change on biological control systems: case studies from New Zealand. *BioControl* 58: 149-162.
- Lamb, R.J. 1992. Developmental rate of *Acyrthosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae) at low temperatures: Implications for estimating rate parameters for insects. *Environmental Entomology* 21: 10-19.
- Trudgill, D.L., A. Honek, D. Li & N.M. van Straalen. 2005. Thermal time concepts and utility. *Annals of Applied Biology* 146: 1-14.
- Yan, W. & L.A. Hunt. 1999. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany* 84: 607-614.