

# EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES INSECTES ET CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES ET SANITAIRES

par Arnaud Sentis

Dépuis la révolution industrielle, l'activité humaine a entraîné une augmentation de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) de plus de 30 % et cette forte hausse se traduit actuellement par des changements climatiques conséquents. Selon le quatrième rapport de l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2007), les émissions mondiales de gaz à effet de serre augmenteront de 25 à 90 % entre 2000 et 2030 et la température moyenne globale augmenterait alors d'environ 0,2 °C par décennie. Par conséquent, les précipitations, le niveau des océans, la pénétration des ultraviolets ainsi que les événements climatiques extrêmes augmenteront aussi (Coviella et Trumble 1999; Parmesan 2006). Il est maintenant évident que l'ensemble de ces changements affecte la phénologie, l'abondance et la distribution des plantes et des animaux de tous les groupes terrestres et marins et modifie la biodiversité des écosystèmes (Parmesan 2006). En revanche, il est encore difficile de prédir l'évolution de ces modifications et plusieurs se posent la question de l'impact des changements climatiques sur notre environnement dans 50 ou 100 ans. Quelle sera l'ampleur de ces changements? Quelles en seront les répercussions sur les écosystèmes, sur l'économie et sur notre santé?

Omniprésents sur la planète, les insectes jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes et représentent un enjeu majeur autant pour l'économie (i.e. insectes ravageurs) que pour la santé humaine (i.e. insectes vecteurs de maladies). Malgré les efforts et les moyens développés pour les réprimer, les insectes ravageurs sont responsables d'une perte de 40 % de la production agricole mondiale (Pimentel *et al.* 1998). Chaque année, ils détruisent environ 25 % des cultures vivrières dans le monde et entraînent parfois la perte totale des récoltes dans certaines zones agro-écologiques africaines (Abate *et al.* 2000). Les insectes sont aussi d'importants vecteurs de maladies puisqu'ils transmettent ces dernières à plus de 700 millions de personnes chaque année. Selon l'Organisation mondiale de la santé, le paludisme est la plus importante de ces maladies en termes sanitaire et économique avec 655 000 décès en 2010 et une perte de 1,3 % du revenu annuel économique des pays dans lequel cette maladie est bien établie (OMS 2011). Étant donné leurs impacts majeurs sur la santé humaine et l'économie mondiale, cet article se concentre essentiellement sur les insectes ravageurs et vecteurs de maladies.

Il est maintenant évident que les changements climatiques affectent directement le comportement, la fécondité, le développement et la survie des insectes ou les affectent de façon indirecte par des modifications de leurs relations trophiques, qu'il s'agisse des relations plantes-herbivores ou proies-prédateurs (Parmesan 2006) (Figure 1). En revanche, il



n'existe pas de consensus quant à l'accroissement (positif ou négatif) des populations d'insectes ni à l'impact relatif des différents facteurs climatiques sur cet accroissement. Cette difficulté est liée à la complexité des systèmes, aux multitudes d'interactions possibles entre facteurs biotiques et abiotiques ainsi qu'aux effets directs et indirects des différents facteurs climatiques. Par exemple, les travaux de Newman (2005) ont démontré que les populations du puceron *Rhopalosiphum padi* L. (Homoptera : Aphididae) augmentent drastiquement lorsque la température s'accroît, mais lorsque la concentration atmosphérique en  $\text{CO}_2$  augmente aussi, les populations de *R. padi* restent stables en raison d'une diminution de la qualité de la plante. Comme le montre cet exemple, la difficulté consiste à distinguer et déterminer les facteurs déterminants pour le système étudié ainsi qu'à comprendre et prédire la résultante de leurs interactions. Cet article propose donc de faire le point sur les connaissances actuelles concernant les effets des changements climatiques sur les insectes et d'expliquer les différents mécanismes d'action des principaux facteurs climatiques. Nous y abordons les effets directs puis les effets indirects des changements climatiques sur la dynamique des populations de phytophages. Pour conclure, les impacts de tels changements sur les ravageurs et les insectes vecteurs de maladies seront discutés.

## Effets directs des changements climatiques

Parmi l'ensemble des facteurs abiotiques associés aux changements climatiques, la température, les précipitations et la concentration en  $\text{CO}_2$  sont les facteurs qui ont le plus d'influence sur l'histoire de vie des insectes (Stacey 2003; Parmesan 2006). Bien qu'enorme mal connus et très peu étudiés, les effets directs des précipitations et du  $\text{CO}_2$  semblent mineurs (Bale *et al.* 2002). En revanche, comme nous le verrons ci-dessous, leurs effets indirects ont été plus largement décrits et semblent plus importants pour les insectes (Coviella et Trumble 1999). La température est manifestement le facteur le plus critique pour les insectes phytophages, car elle agit directement sur leur physiologie et leur comportement, mais aussi indirectement par l'intermédiaire de leur plante hôte ou de leurs prédateurs (Bale *et al.* 2002).

Une élévation de la température entraîne une augmentation de l'activité métabolique qui se traduit par un accroissement de la vitesse de déplacement, de développement et, dans certains cas, du nombre de générations par année (Ayres



## CONCOURS GEORGES-MAHEUX

et Lombardero 2000). Par exemple, une augmentation de 3 °C double la vitesse de développement du puceron *R. padi* (Newman 2005). La hausse des températures modifie aussi l'aire de distribution des insectes et entraîne une prolifération des espèces exotiques (Davis *et al.* 1998; Ayres et Lombardero 2000). Par exemple, l'aire de distribution du dendroctone du pin (*Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera : Scolytidae)), un des principaux ravageurs des forêts nord-américaines, s'est étendue d'environ 300 km vers le nord du fait d'une hausse des températures de 1,9 °C (Logan et Powell 2001). L'augmentation des températures favorisera donc très probablement l'accroissement des populations de phytophages et augmentera la fréquence et l'intensité des épidémies d'insectes (Stacey 2003; Newman 2005, 2006).

Toutefois, cette augmentation pourra aussi avoir des effets négatifs sur les insectes. Les variations climatiques influençant l'épaisseur et la durée de la couverture neigeuse ainsi que les variations quotidiennes de températures printanières auront un impact négatif sur la survie des espèces qui nécessitent une diapause hivernale (Thomson *et al.* 2010). De nombreuses études ont aussi démontré que des températures très élevées (>30 °C) ont tendance à diminuer la fécondité, la survie et le taux intrinsèque d'accroissement des populations d'insectes (Asin et Pons 2001; Morgan *et al.* 2007). De plus, l'augmentation des précipitations diminuera probablement le taux de survie de plusieurs espèces phytophages (Thomson *et al.* 2010).

Comme vous pouvez le constater, les effets directs des changements climatiques peuvent être positifs ou négatifs selon l'espèce étudiée : certaines espèces opportunistes bénéfieront de la hausse des températures tandis que d'autres deviendront moins abondantes ou seront amenées à disparaître. Il reste très difficile de faire des généralités et de prédire quelle sera l'évolution des écosystèmes dans lesquels une multitude d'espèces sont présentes et interagissent.

## Effets indirects des changements climatiques

### Effets indirects par la plante

Plusieurs études ont démontré que la température, les précipitations et la concentration en CO<sub>2</sub> peuvent modifier la phénologie et la qualité nutritive de la plante entraînant, par conséquent, un impact important sur la dynamique des populations d'insectes phytophages (Figure 1). De manière générale, un accroissement de la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique entraîne une diminution de l'évapotranspiration, une augmentation de la photosynthèse, du rapport carbone/azote et de l'émission des composés de défenses de la plante (terpénoïdes, phénols et tanins) ce qui diminue la qualité nutritive des plantes (Johnson et Lincoln 1991; Penuelas *et al.* 1995; Coviella et Trumble 1999). Par conséquent, la réponse des phytophages semble dépendre fortement de leur capacité à consommer davantage de biomasse tout en tolérant une plus grande quantité de composés de défenses (Coviella et Trumble 1999). Leur réponse est donc assez variable mais, en général, on observe un développement moins rapide, une

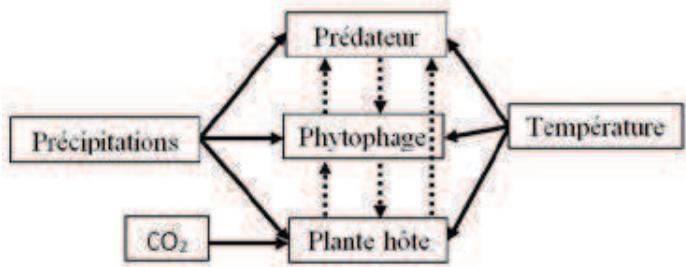


Figure 1 : Effet directs (flèches pleines) et indirects (flèches en pointillé) des facteurs abiotiques (température, CO<sub>2</sub> et précipitation) sur les trois niveaux trophiques (plante, phytopophage et prédateur). La pointe de la flèche indique le niveau trophique qui subit l'effet.

diminution de la fécondité et une augmentation de la mortalité des phytophages (Parmesan 2006). Cependant, l'effet du CO<sub>2</sub> n'est pas toujours similaire, car chez plusieurs groupes, comme celui des pucerons, certaines études ont démontré des effets positifs (Stacey et Fellowes 2002), alors que d'autres ont révélé des effets nuls (Whittaker 1999) ou même négatifs (Hughes et Bazzaz 2001) sur l'accroissement des colonies de pucerons. Les résultats obtenus semblent dépendre de la fertilisation, de la température, de la quantité d'eau disponible pour la plante, de l'espèce testée et de la qualité nutritive de la plante hôte (Arnone *et al.* 1995; Penuelas *et al.* 1995; Suderth *et al.* 2005). Les conséquences globales de ces réponses à l'enrichissement en CO<sub>2</sub> sont donc variables mais, de manière générale, la consommation totale de biomasse devrait augmenter pour compenser la faible qualité nutritive des plantes.

Un accroissement de la température peut aussi avoir un impact conséquent sur la phénologie et la qualité de la plante hôte tel qu'un développement plus rapide accompagné d'une augmentation de la biomasse, de la photosynthèse et du taux de transpiration (Penuelas *et al.* 1995; Flynn *et al.* 2006). Cependant, l'effet de la température sur la plante dépend fortement de la disponibilité en eau (Penuelas *et al.* 1995). Dans les zones où les précipitations sont abondantes, l'augmentation de la biomasse des plantes causée par la température devrait être favorable à l'accroissement des populations de phytophages (Newman 2006). En revanche, dans les zones où la quantité de précipitation est moindre, la température devrait avoir un effet négatif sur la plante et, par conséquent, sur les populations de phytophages. Encore une fois, nous pouvons constater que les facteurs climatiques interagissent et le résultat de cette interaction peut annuler, inverser ou augmenter l'effet d'un seul facteur ce qui rend difficile toute prédiction.

### Effets indirects par les prédateurs

Il est de plus en plus évident que les changements climatiques, bien qu'encore mal connus et très peu étudiés, ont un effet indirect important sur les insectes phytophages par leurs prédateurs (Figure 1). En effet, l'activité de prédation dépend d'un grand nombre de facteurs (physiologie et phénologie des prédateurs (Bale *et al.* 2002; Thomson *et al.* 2010),



densité de proies (Elliott *et al.* 2000), phénologie de la plante hôte (Rott et Ponsonby 2000) qui peuvent être influencés par les changements climatiques et dont il faut tenir compte si l'on souhaite prédire adéquatement l'intensité de la prédatation. En général, l'activité, la voracité et le taux de développement des prédateurs augmentent avec la température, ce qui a pour conséquence d'augmenter le nombre de proies consommées par unité de temps (Xia *et al.* 2003). Cependant, la consommation totale de phytophages par les prédateurs décroît également avec l'augmentation de la température en raison du raccourcissement de la durée du développement (Bale *et al.* 2002; Thomson *et al.* 2010). Cette diminution pourrait toutefois être compensée par la réponse numérique des prédateurs, du fait de la migration ou de l'augmentation du nombre de générations par année (Thomson *et al.* 2010).

Bien que la hausse des températures semble favoriser l'activité de prédatation, une augmentation des précipitations induira, au contraire, une diminution du taux de prédatation (surtout du taux de parasitisme), car les précipitations réduisent fortement la capacité de déplacement et de recherche des prédateurs (Thomson *et al.* 2010). De plus, les prédateurs sont plus sensibles aux précipitations que leurs proies ce qui diminuera leur impact si les précipitations augmentent tel que prédit (Thomson *et al.* 2010). Cependant, davantage d'études seront nécessaires afin de déterminer avec assurance l'impact d'une augmentation des précipitations sur les populations de prédateurs et de phytophages, car jusqu'à présent, très peu d'études s'y sont intéressées (Thomson *et al.* 2010).

L'effet des changements climatiques sur l'efficacité des prédateurs est très complexe et, bien que certaines hypothèses soient avancées, il demeure encore difficile de prédire quel sera l'impact des prédateurs sur les populations de phytophages.

## Conséquences économiques et sanitaires

Comme nous avons pu le voir dans les sections précédentes, les changements climatiques contribueront certainement à l'augmentation du nombre de générations par année et de la vitesse de développement des phytophages, à l'arrivée plus précoce des ravageurs et à l'extension de leurs aires de distribution (Stacey 2003; Thomson *et al.* 2010). De plus, l'augmentation des températures favorisera très probablement l'arrivée de nouvelles espèces de ravageurs et augmentera leur diversité (Dale *et al.* 2001). Certains insectes considérés jusqu'à présent sans impacts économiques pourraient aussi devenir des ravageurs importants de par la colonisation de nouvelles zones sans ennemis naturels qui puissent les réprimer ou par l'augmentation du taux d'accroissement de leurs populations (Stacey 2003; Thomson *et al.* 2010). Par ailleurs, l'augmentation de la température et des précipitations favorisera certainement la propagation des maladies virales et fongiques transmises par les insectes (Lepoivre 2001). L'ensemble de ces éléments suggère que la fréquence, la durée et la sévérité des épidémies d'insectes devraient augmenter de manière importante.

Cette tendance est déjà observée pour plusieurs espèces de ravageurs (Dale *et al.* 2001; Thomson *et al.* 2010) telles que la tordeuse des bourgeons de l'épinette, *Choristoneura fumiferana* Clemens (Lepidoptera : Tortricidae), qui a causé des dommages représentant plus de 235 millions de mètres cubes de bois (i.e. environ dix années de récoltes) lors de la dernière épidémie majeure (1967-1992) (Boulet *et al.* 1996). Bien que l'ensemble de ces études semble indiquer une augmentation de la pression des ravageurs, il est difficile de prédire l'intensité des épidémies en raison de l'évolution des pratiques culturelles, des espèces cultivées et de la composition et de la structure des milieux agricoles et forestiers (Thomson *et al.* 2010).



*A. albopictus*

Figure 2. Aire de répartition du moustique tigre *A. albopictus*. En noir, la distribution originelle; en gris foncé, les aires dans lesquelles il s'est établi depuis 30 ans.



## CONCOURS GEORGES-MAHEUX

Une autre préoccupation grandissante est l'expansion géographique des insectes vecteurs de maladies. Selon l'Organisation mondiale de la santé, les changements climatiques contribuent à l'augmentation des maladies transmises par les insectes telles que la dengue, le chikungunya, la malaria, la maladie du sommeil et la fièvre jaune (Juliano et Lounibos 2005; Patz et Olson 2006). Au cours des dernières années, plusieurs espèces d'insectes vecteurs de maladies ont pu coloniser de nouveaux territoires grâce à l'augmentation des températures (Juliano et Lounibos 2005; Patz et Olson 2006). Parmi les principales familles d'insectes vecteurs, celle des moustiques (Culicidae) est la plus importante en termes de transmission de maladies (Juliano et Lounibos 2005). La hausse des températures contribue à l'augmentation de leur aire de distribution, de leur taux de reproduction et du taux de piqûres (Patz et Olson 2006). Depuis quelques décennies, le moustique tigre *Aedes albopictus* Skuse (Diptera : Culicidae), principal vecteur de la dengue et du chikungunya, est en forte expansion dans le monde. Il est maintenant présent dans plus de 80 pays sur les cinq continents (Figure 2) (Juliano et Lounibos 2005). Son expansion est liée aux transports de marchandises, mais aussi à l'augmentation des températures qui lui permet de s'établir dans de nouveaux milieux ce qui augmente le taux de propagation des maladies. De mars 2005 à septembre 2006, dans l'île de la Réunion, l'épidémie de chikungunya aurait touché 244 000 personnes et tué 203 d'entre elles (Renault *et al.* 2007). Bien que ce moustique soit désormais établi dans plusieurs pays européens, une seule épidémie de chikungunya a été rapportée dans le nord-est de l'Italie (Rezza *et al.* 2007). Le faible nombre d'épidémies s'explique en partie par les besoins thermiques élevés des agents infectieux. Par exemple, le parasite de la malaria, *Plasmodium falciparum* (Haemosporida : Plasmodium) a besoin d'une température supérieure à 16 °C pour se développer. Néanmoins, au cours des dernières années, l'augmentation des températures a permis à ce parasite d'augmenter son aire de distribution et de coloniser des zones qui étaient auparavant non touchées (Epstein *et al.* 1998). Étant donné les prédictions climatiques, on peut facilement imaginer quelles seront les conséquences sur la fréquence de ce type de maladies et sur les difficultés de gestion que ces changements entraîneront.

## Conclusion et perspectives

L'effet des changements climatiques sur les organismes est complexe, difficile à prédire et dépend souvent de l'espèce ou du groupe fonctionnel étudié (Andrew et Hughes 2004; Parmesan 2006). La complexité réside dans le fait que leurs effets sont à la fois directs, principalement par l'effet de la température, et indirects par la plante hôte ou les prédateurs (Figure 1). Bien que plusieurs paramètres demeurent incertains, l'ensemble des études s'accorde sur le fait que les épidémies d'insectes ravageurs augmenteront autant en milieu agricole que forestier (Dale *et al.* 2001; Stacey 2003; Thomson *et al.* 2010). Dans ce contexte, un des futurs défis sera d'adapter nos pratiques afin de minimiser l'impact des changements climatiques sur les ressources naturelles. De

plus, nous devrons faire face à l'augmentation de certaines maladies infectieuses en raison de l'expansion géographique des insectes vecteurs et des parasites qu'ils propagent. Il existe aussi un besoin de raffiner les modèles climatiques afin de générer des prédictions plus précises et plus locales, ce qui permettra une meilleure gestion du territoire. Face à une dynamique aussi complexe, réaliser des modèles et des études empiriques qui intègrent les différents facteurs abiotiques et leurs interactions permettra de mieux comprendre et prédire l'effet des changements climatiques sur les communautés d'insectes (Newman 2006). Nous pourrons ainsi mettre en place des stratégies pour gérer les changements importants que nous allons connaître prochainement si notre mode de consommation énergétique ne change pas dans un futur rapproché. Ce futur est d'ailleurs peut-être plus proche qu'on ne le pense...

## References

- Abate, T., A. van Huis et J. Ampofo.** 2000. Pest management strategies in traditional agriculture: an African perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 45 : 631-359.
- Andrew, N.R. et L. Hughes.** 2004. Species diversity and structure of phytophagous beetle assemblages along a latitudinal gradient: predicting the potential impacts of climate change. *Ecol. Entomol.* 29 : 527-542.
- Arnone, J.A., J.G. Zaller, C. Körner, C. Ziegler et H. Zandt.** 1995. Leaf quality and insect herbivory in model tropical plant communities after long-term exposure to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Oecologia* 104 : 72-78.
- Asin, L. et X. Pons.** 2001. Effect of high temperature on the growth and reproduction of corn aphids (Homoptera: Aphididae) and implications for their population dynamics on the northeastern Iberian peninsula. *Environ. Entomol.* 30 : 1127-1134.
- Ayres, M.P. et M.J. Lombardero.** 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Sci. Total Environ.* 262 : 263-286.
- Bale, J.S., G.J. Masters, I.D. Hodgkinson, C. Awmack, T.M. Bezemer, V.K. Brown, J. Butterfield, A. Buse, J.C. Coulson et J. Farrar.** 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Change Biol.* 8 : 1-16.
- Boulet, B., M. Chabot, L. Dorais, A. Dupont, R. Gagnon, L. Archambault, É. Baucé, C. Bordeleau, B. Comtois et R. Bissonnette.** 1996. Entomologie forestière. Pages 1008-1043 dans L. Dorais, B. Boulet, M. Chabot, A. Dupont et R. Gagnon (éds.), Manuel de Foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec.
- Coviella, C.E. et J.T. Trumble.** 1999. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Conserv. Biol.* 13 : 700-712.
- Dale, V., L. Joyce, S. McNulty, R. Neilson, M. Ayres, M. Flannigan, P. Hanson, L. Irland, A. Lugo et C. Peterson.** 2001. Climate change and forest disturbances. *BioScience* 51 : 723-734.
- Davis, A.J., L.S. Jenkinson, J.H. Lawton, B. Shorrocks et S. Wood.** 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature* 391 : 783-785.
- Elliott, N.C., R.W. Kieckhefer et D.A. Beck.** 2000. Adult coccinellid activity and predation on aphids in spring cereals. *Biol. Control* 17 : 218-226.
- Epstein, P.R., H.S. Diaz, S. Elias, G. Grabherr, N.E. Graham, W.J.M. Martens, E. Mosley-Thompson et J. Susskind.** 1998. Biological and physical signs of climate change: focus on mos-



## CONCOURS GEORGES-MAHEUX



- quito-borne diseases. Bull. Am. Meteorol. Soc. 79 : 409-417.
- Flynn, D.F.B., E.A. Sudderth et F.A. Bazzaz.** 2006. Effects of aphid herbivory on biomass and leaf-level physiology of *Solanum dulcamara* under elevated temperature and CO<sub>2</sub>. Environ. Entomol. 35 : 10-18.
- Hughes, L. et F.A. Bazzaz.** 2001. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on five plant-aphid interactions. Entomol. Exp. Appl. 99 : 87-96.
- IPCC.** 2007. Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- Johnson, R.H. et D.E. Lincoln.** 1991. Sagebrush carbon allocation patterns and grasshopper nutrition: the influence of CO<sub>2</sub> enrichment and soil mineral limitation. Oecologia 87 : 127-134.
- Juliano, S.A. et L.P. Lounibos.** 2005. Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. Ecol. Lett. 8 : 558-574.
- Lepoivre, P.** 2001. Les systèmes de production agricole et la protection des cultures à la croisée des chemins. Biotechnol. Agron. Soc. 5 : 195-199.
- Logan, J.A. et J.A. Powell.** 2001. Ghost forests, global warming and the mountain pine beetle. Am. Entomol. 47 : 160-173.
- Morgan, D., K.F.A. Walters et J.N. Aegeerter.** 2007. Effect of temperature and cultivar on pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) life history. Bull. Entomol. Res. 91 : 47-52.
- Newman, J.A.** 2005. Climate change and the fate of cereal aphids in Southern Britain. Glob. Change Biol. 11 : 940-944.
- Newman, J.A.** 2006. Using the output from global circulation models to predict changes in the distribution and abundance of cereal aphids in Canada: a mechanistic modeling approach. Glob. Change Biol. 12 : 1634-1642.
- OMS** 2011. Rapport 2011 sur le paludisme dans le monde. Organisation mondiale de la santé. [www.who.int].
- Parmesan, C.** 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Evol. Systemat. 37 : 637-669.
- Patz, J.A. et S.H. Olson.** 2006. Climate change and health: global to local influences on disease risk. Ann. Trop. Med. Parasitol. 100 : 535-549.
- Penuelas, J., C. Biel et M. Estiarte.** 1995. Growth, biomass allocation, and phenology of pepper plants submitted to elevated CO<sub>2</sub> and different nitrogen and water availabilities. Photosynthetica 31 : 91-99.
- Pimentel, D., A. Greiner et T. Bashore.** 1998. Economic and environmental costs of pesticide use. Environmental Toxicology: Current Developments. Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, Netherlands. 407 p.
- Renault, P., J.L. Solet, D. Sissoko, E. Balleydier, S. Larrieu, L. Filleul, C. Lassalle, J. Thiria, E. Rachou et H. de Valk.** 2007. A major epidemic of chikungunya virus infection on Reunion island, France, 2005-2006. Am. J. Trop. Med. Hyg. 77 : 727-731.
- Rezza, G., L. Nicoletti, R. Angelini, R. Romi, A. Finarelli, M. Panning, P. Cordioli, C. Fortuna, S. Boros et F. Magurano.** 2007. Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. Lancet 370 : 1840-1846.
- Rott, A.S. et D.J. Ponsonby.** 2000. The effects of temperature, relative humidity and hostplant on the behaviour of *Stethorus punctillum* as a predator of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. BioControl 45 : 155-164.
- Stacey, D.** 2003. Climate and biological control in organic crops. Int. J. Pest Manage. 49 : 205-214.
- Stacey, D.A. et M.D.E. Fellowes.** 2002. Influence of elevated CO<sub>2</sub> on interspecific interactions at higher trophic levels. Glob. Change Biol. 8 : 668-678.
- Sudderth, E.A., K.A. Stinson et F.A. Bazzaz.** 2005. Host-specific aphid population responses to elevated CO<sub>2</sub> and increased N availability. Glob. Change Biol. 11 : 1997-2008.
- Thomson, L., S. Macfadyen et A. Hoffmann.** 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. Biol. Control 52 : 296-306.
- Whittaker, J.B.** 1999. Impacts and responses at population level of herbivorous insects to elevated CO<sub>2</sub>. Eur. J. Entomol. 96 : 149-156.
- Xia, J.Y., R. Rabbinge et W. Van der Werf.** 2003. Multistage functional responses in a ladybeetle-aphid system: scaling up from the laboratory to the field. Environ. Entomol. 32 : 151-162.

Arnaud Sentis est étudiant au doctorat en cotutelle sous la direction de Jacques Brodeur de l'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) à Montréal et de Jean-Louis Hemptonne de l'Université Paul Sabatier à Toulouse, France. Ses travaux consistent à modéliser et étudier l'effet de la température sur les interactions trophiques et intraguildes au sein d'un système plante-herbivores-ennemis naturels. Il a effectué sa maîtrise à l'UQAM sous la direction de William Vickery et d'Éric Lucas.

## CAPSULE entomologique

Mario Bonneau



### Toujours intéressantes les relations symbiotiques...

Les chenilles des petits papillons bleus l'Azur printanier (*Celestrina ladon*) et le Bleu argenté (*Glauopsyche lygdamus*) de la famille des Lycaenidae, très communs au Québec, produisent des sécrétions sucrées dont raffolent certaines fourmis. Ces sécrétions sucrées sont produites par des glandes localisées au 7<sup>e</sup> et au 8<sup>e</sup> segment abdominal et sont offertes en échange de quelques œufs ou larves comme nourriture pour ces chenilles carnivores...