

Invasions chez la Jetset

Alexandre Aebi¹, Sven Bacher², Anne-Sophie Claudon^{1,3} et Steven Bacon¹

¹Agroscope Reckenholz-Tänikon, Station de Recherche ART, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, alexandre.aebi@art.admin.ch

²Université de Fribourg, Département de Biologie, Unité d'Ecologie et Evolution, Chemin du Musée 10, 1700 Fribourg

³Université de Bourgogne, Sciences Gabriel, 6 Bd Gabriel, F-21000 Dijon, France

Les espèces invasives sont considérées comme l'une des menaces principales pour la biodiversité (Millenium Ecosystem Assessment 2005). L'introduction d'espèces exotiques peut avoir des impacts au niveau de l'espèce, de la communauté ou de l'écosystème (Kenis *et al.* 1998). Dans des conditions d'isolement (sur une île par exemple), l'arrivée d'une espèce invasive peut causer la disparition locale en cascade d'espèces natives (Wilcove *et al.* 1998). La compétition entre espèces exotiques et indigènes peut aboutir au remplacement de ces dernières et à des modifications des assemblages d'espèces au sein d'une communauté (Koch et Galvan 2008 ; Jiu *et al.* 2007 ; Liu *et al.* 2007). Des croisements entre espèces exotiques et natives peuvent altérer le bagage génétique d'espèces natives (McDonald *et al.* 2008). Bien souvent, les espèces invasives peuvent être infectées par des agents pathogènes et peuvent de ce fait infecter une ou plusieurs espèces de l'environnement envahi (Kenis *et al.* 2008). En

général, des espèces envahissantes peuvent avoir une influence sur les facteurs biotiques et abiotiques régissant un écosystème et de ce fait en modifier le fonctionnement (Aizen *et al.* 2008). Evaluer l'impact économique des invasions biologiques n'est pas facile. Néanmoins, les pertes économiques infligées par les 50'000 espèces invasives établies aux Etats-Unis sont évaluées à 137 billion de dollars US par an (Pimentel *et al.* 2000).

Une invasion biologique est un processus complexe comprenant trois phases (Elton 1958). Premièrement, la phase de dispersion est le mouvement d'une espèce en dehors de son aire de répartition naturelle. Deuxièmement, la phase d'établissement correspondant au maintien d'une population locale dans le nouvel habitat. Enfin, troisièmement, la phase de colonisation représente la conquête d'habitats adjacents par l'envahisseur. Alors que les phases d'établissement et de colonisation ont été le sujet de nombreuses études, la phase de dispersion et en particulier les routes d'invasions empruntées par les espèces invasives et les facteurs permettant leur établissement dans un nouvel environnement ont été peu étudiées (Puth et Post 2005). Bien que difficiles à étudier (bien souvent, on ne remarque une espèce invasive que lorsqu'elle est déjà établie), une meilleure connaissance des processus liés à la phase de dispersion est cruciale car une détection rapide permettant une éradication est considérée comme la manière la plus efficace de réduire les risques environnementaux liés aux espèces invasives (Bogich et al. 2008).

La croissance du commerce international et des mouvements de personnes (voyage, tourisme) efface les barrières naturelles qui isolaient des écorégions jusqu'alors séparées les unes des autres et facilite le mouvement d'animaux et de plantes de part le monde (Mack *et al.* 2000). Le réseau de transport aérien mondial (TAM) contribue au mouvement involontaire de

nombreuses espèces en transportant celles-ci à travers tous les continents (Levine et D'Antonio 2003 ; Lockwood *et al.* 2005). L'établissement de nouvelles routes d'invasions et l'assurance de nombreux mouvements le long de celles-ci sont des facteurs prépondérants pouvant à terme, favoriser les invasions biologiques. L'augmentation importante du trafic aérien mondial est une conséquence directe de la globalisation . En effet, le nombre de passagers transportés par le TAM croit annuellement de 8% depuis plusieurs années et des modèles prédisent une augmentation croissante du même ordre pour les 5 années à venir (Tatem et Hay 2007). Le transport de marchandises ne cesse d'augmenter. La figure 1 montre l'évolution de la quantité de marchandise que l'Europe importe annuellement du monde entier (en milliards de dollars US). En 8 ans, l'Europe a doublé la quantité de marchandises importées même si la proportion de marchandise provenant de différents continents ou sous-continent reste identique. Notons enfin que l'Asie et l'Amérique du Nord sont nos principaux fournisseurs de produits importés.

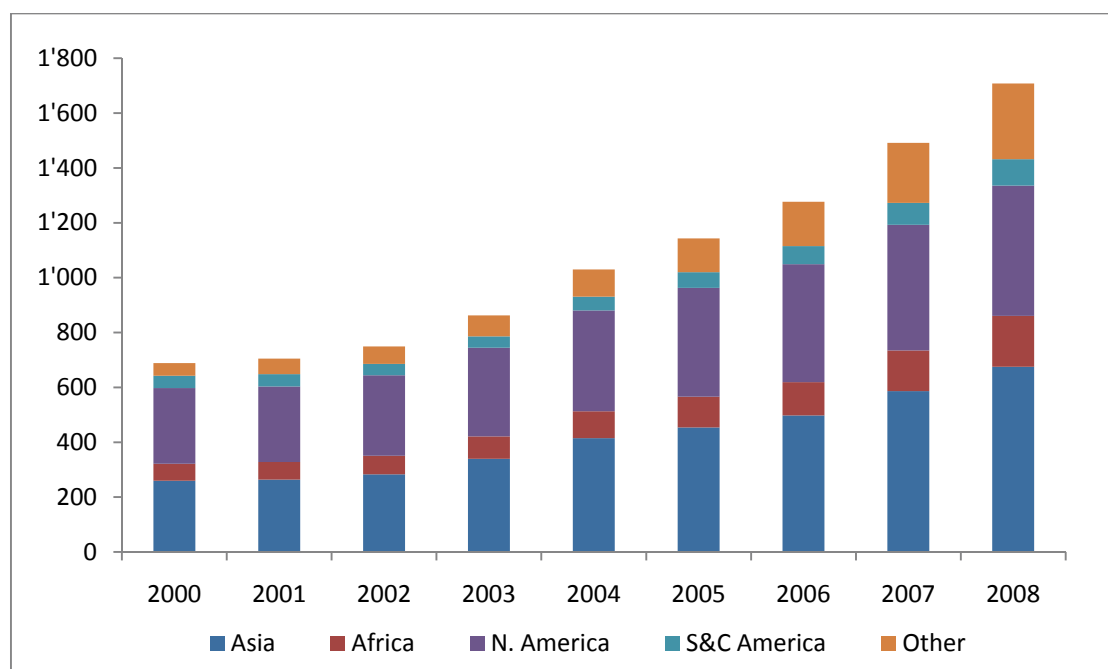


Figure 1. Evolution et origine de la quantité totale de marchandise importée par l'Europe, entre 2000 et 2008 en billion de dollars US (Source : World trade organisation)

Les plantes et les insectes représentent 79% des organismes vivants sur Terre (Strong *et al.* 1994). Pas moins de 46% des insectes sont phytophages et sont majoritairement considérés comme ravageurs de cultures. Une grande proportion de ces ravageurs est exotique. En Grande-Bretagne 30% des insectes et acariens sont d'importance économique et 62% des pestes forestières sont exotiques (Pimentel *et al.* 2002). En raison des énormes coûts imputables aux ravageurs de cultures (Pimentel *et al.* 2000) d'importantes mesures sont mises en place afin d'en limiter les mouvements. En Europe, l'OEPP (Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes) diffuse des alertes lors d'observation de ravageurs de cultures aux offices phytosanitaires de tous ses pays membres. De surcroît, les interceptions phytosanitaires effectuées aux frontières, ports et aéroports Européens sont publiés sur une banque de donnée Européenne (Europhyt: <http://ec.europa.eu/idabc/en/document/2267/16#what>) afin d'alerter les services phytosanitaires nationaux de la présence potentielle de ravageurs de culture en Europe et de guider les inspecteurs dans leurs contrôles.

Le trafic aérien international est un important transporteur de ravageurs de cultures et contribue ainsi à la dispersion d'espèces invasives économiquement importantes à travers le monde (Dobbs et Brodel 2004 ; Leibhold *et al.* 2006). Une étude récente a démontré que 73% des ravageurs de cultures entrant sur le territoire Américain étaient interceptés dans des aéroports internationaux (Leibhold *et al.* 2006 ; McCullough *et al.* 2006). De nombreux insectes voyagent comme contaminants de produits importés ou tout simplement comme passagers clandestins (Hulme *et al.* 2008). Aux Etats-Unis, 87% des pestes interceptées sont découvertes sur des biens de consommation importés. Ces interceptions représentent un total de 260 espèces différentes appartenant aux groupes suivants : insectes, acariens, nématodes, mollusques, pathogènes de plantes et mauvaises herbes (McCullough *et al.* 2006). Plusieurs espèces sont connues comme passagers clandestins récidivistes. Aux Etats-Unis, le

programme d'éradication de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae) est régulièrement mis en échec par une arrivée fréquente et régulière de ce ravageur sur des fruits importés (Leibhold *et al.* 2006). En Europe, les premières observations de la chrysomèle des racines du maïs *Diabrotica virgifera* (Coleoptera : Chrysomelidae) ont été faites à proximité d'aéroports internationaux (Belgrade en Serbie, Venise et Milan en Italie, Lugano en Suisse et Roissy en France), au point que les autorités phytosanitaires italiennes ont interdit la plantation de maïs à proximité immédiate de leurs aéroports. Enfin, d'un point de vue médical, il n'est pas rare de capturer des moustiques vecteurs de pathogènes dans les cabines des avions (Lounibos 2002 ; Tatem *et al.* 2006a, b). Plusieurs cas isolés de malaria des aéroports ont même été signalés en Europe (Isaacson 1989). De manière générale, en Europe, le nombre d'interceptions phytosanitaires augmente avec la quantité de marchandises importées pour atteindre, en 2008, plus de 1800 interceptions (Figure 2). La diminution du nombre d'interceptions, entre 2000 et 2001 peut être due à des modifications des directives européennes sur la protection des plantes ou à une diminution du transport aérien de marchandise suite aux événements du 11 septembre 2001. Par ailleurs, il est intéressant de noter que le nombre d'interceptions tend à se stabiliser entre 2007 et 2008. Peut-être est-ce un signe que les contrôles de marchandises ne peuvent plus faire face à l'augmentation constante des quantités importées ?

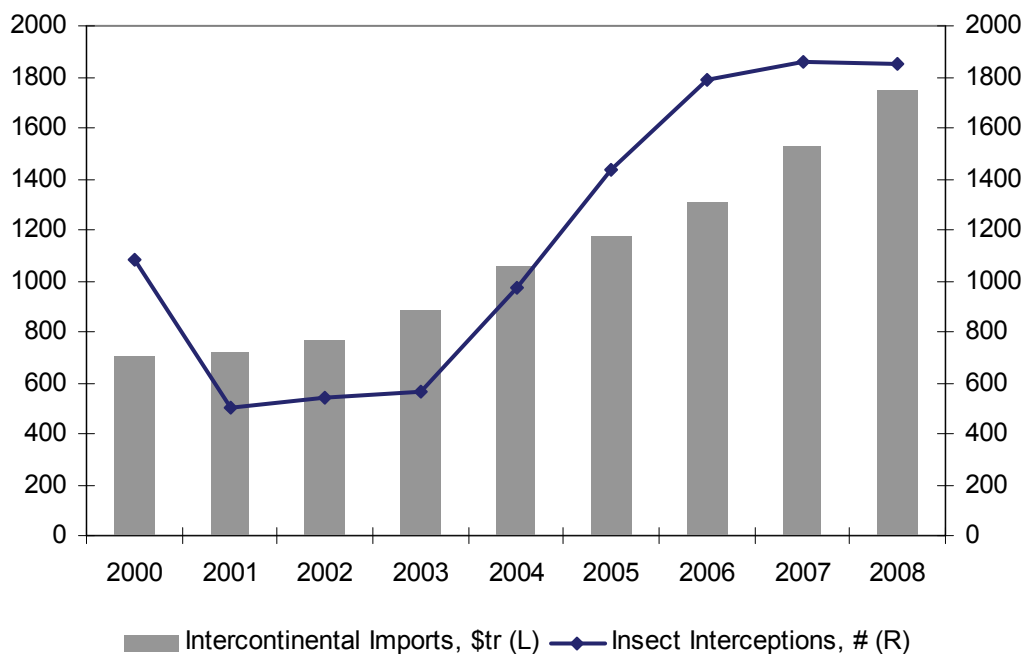


Figure 2. Evolution et origine de la quantité totale des marchandises importées par l'Europe, entre 2000 et 2008 en milliards de dollars US et nombre d'interceptions d'organismes de quarantaine (insectes ravageurs de cultures) dans les aéroports, ports et douanes Européens (Sources : World trade organisation, Europhyt)

L'analyse des données d'interceptions phytosanitaires en Europe montre qu'en général, la majorité des ravageurs de cultures interceptés proviennent d'Asie ou d'Afrique (Figure 3). Toutefois, notons que différents ordres d'insectes proviennent de régions différentes. En effet, les mouches (diptères), les punaises (Hémiptères) et les coléoptères proviennent en majorité d'Asie et d'Afrique. Les papillons (Lépidoptères) sont en majorité d'origine Africaine. Enfin les thrips (Thysanoptères) sont principalement présents sur des marchandises en provenance d'Asie, d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud. Il est par ailleurs intéressant de noter que de nombreux diptères, hémiptères et coléoptères sont interceptés sur des marchandises échangées entre différents pays Européens suggérant que certaines espèces appartenant à ces ordres passent inaperçues lors du premier contrôle à leur arrivée sur le sol Européen. Elles sont détectées lors de contrôles ultérieurs. De plus, malgré l'importation massive de

marchandises en provenance des Etats-Unis, très peu d'insectes Nord Américains sont interceptés en Europe.

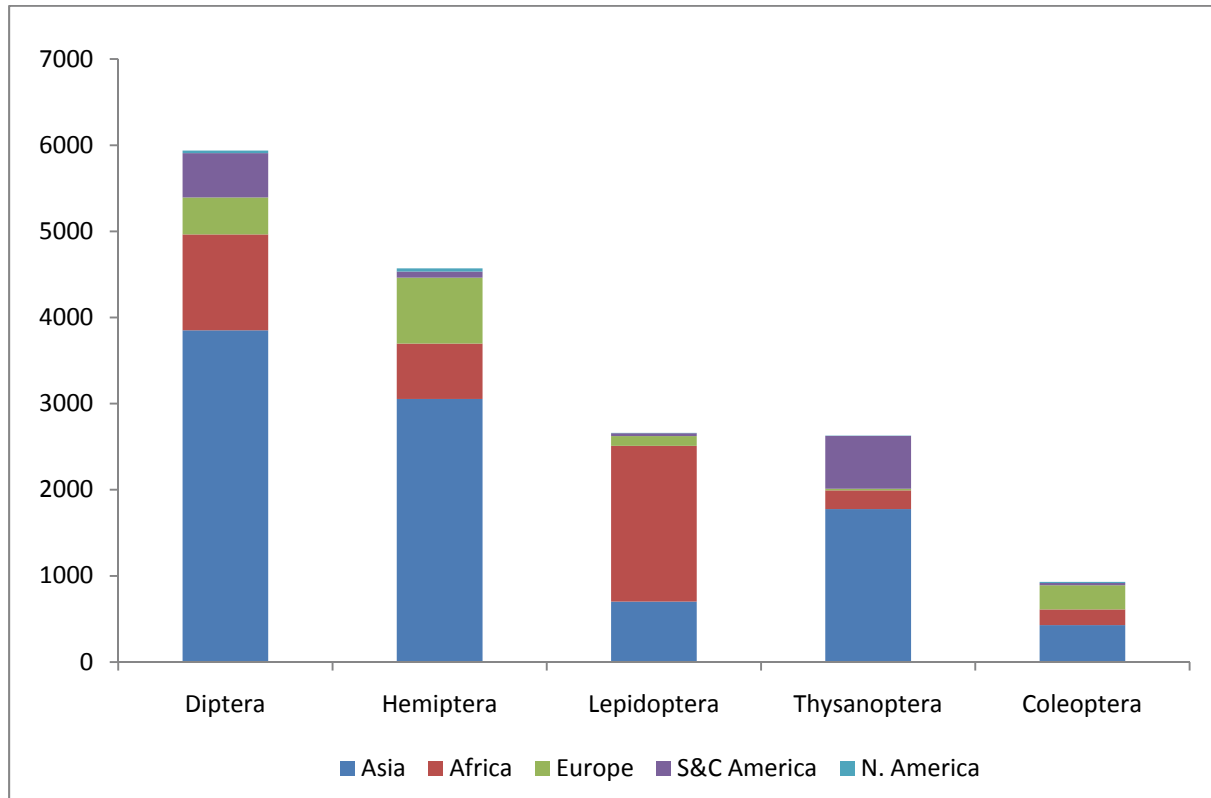


Figure 3. Origine et nombre d'interception de mouches (Diptères), punaises (Hemiptères), papillons (Lépidoptères), thrips (Thysanoptères) et coléoptères interceptés en Europe (Sources :Europhyt)

Le climat, et plus particulièrement la température ont une forte influence sur le développement, la reproduction et la survie des populations d'insectes (Bale *et al.* 2002). Ainsi, l'établissement d'une espèce exotique dépend étroitement de la similarité climatique entre la région d'origine de l'espèce et le nouvel environnement. Un nombre croissant d'études analysent la distribution potentielle d'espèces envahissantes en fonction de leur capacité d'adaptation à un climat donné (Poutsma *et al.* 2008 ; De Meyer *et al.* 2008). Tout comme les espèces invasives, le réchauffement climatique représente une menace pour les équilibres écologiques de notre planète (Millenium Ecosystem Assessment 2005). Les scientifiques pensent que le réchauffement climatique prédit aura une influence sur l'aire de

répartition de nombreuses espèces (augmentation ou diminution), accentuera leur capacité d'adaptation, influencera le taux de croissance de leur population ainsi que le temps de développement de certaines espèces. Il est intéressant de noter que l'effet de la biologie de l'invasion et du réchauffement climatique sur les équilibres écologiques n'ont été que rarement abordés simultanément (Ward et Masters 2007).

De nouvelles techniques de modélisation permettent de prédire la répartition géo-climatique d'une espèce en se basant sur sa répartition naturelle, le climat dans son aire d'origine et certains paramètres vitaux propre à l'espèce (survie à basse température, temps de développement à une température donnée par exemple) (Sutherst *et al.* 2007). Afin d'identifier les régions climatiquement similaires à la Suisse et pouvant potentiellement être le berceau d'espèces envahissantes, nous avons comparé les données climatiques enregistrées à Berne avec celle du reste du monde (Figure 4). Une observation détaillée de cette carte montre que nous trouvons des régions climatiquement semblables sur tous les continents ou sous-continent. En particulier, des régions à fortes similarités climatiques (> 0.8) ont été détectées en Amérique du Nord (principalement sur la côte Est), en Amérique du Sud, en Nouvelle-Zélande, en Australie et au Japon. Une analyse détaillée prenant en compte la biologie des espèces considérées est nécessaire afin de prédire la répartition géographique potentielle d'une espèce invasive. En effet, l'analyse présentée ici n'est basée que sur les données climatiques et ne prend pas en compte les caractéristiques biologiques des envahisseurs potentiels (comme la capacité d'adaptation par exemple). En effet, de nombreuses espèces envahissantes en Europe sont d'origine asiatique (DAISIE database) comme par exemple le cynipide du châtaigner *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera : Cynipidae) (Aebi *et al.* 2006), la punaise diabolique *Halyomorpha halys* (Heteroptera: Pentatomidae) (Wermelinger *et al.* 2008) ou la coccinelle asiatique *Harmonia axyridis*

(Coleoptera : Coccinellidae) (Roy et Wajnberg 2008) qui toutes ont récemment envahi le vieux continent.

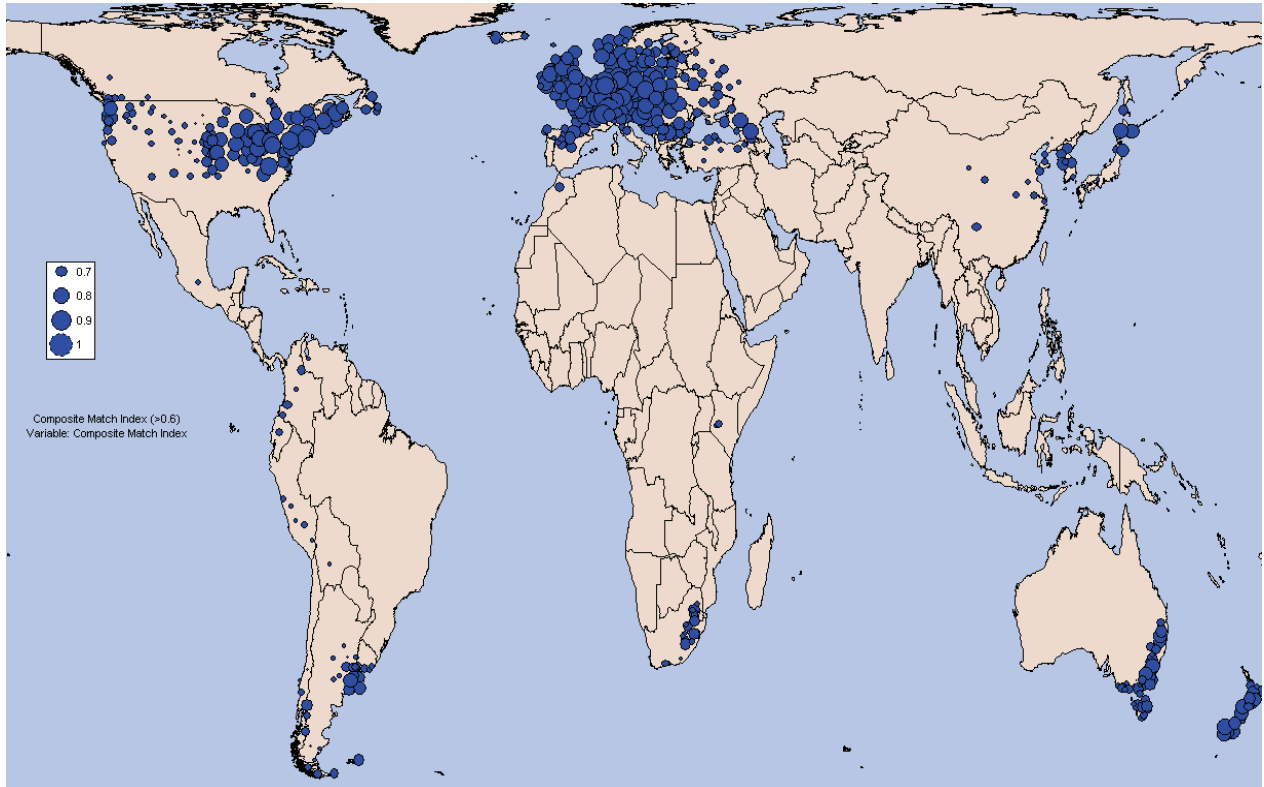


Figure 4. Similarité climatique entre la Suisse (Berne) et d'autres régions du monde. La taille des ronds bleus est proportionnelle à la similarité climatique de Berne (CH) (grand = forte similarité) (Sources : Sutherst et al. 2007).

En 1992, la Suisse a signé la convention sur la biodiversité de Rio de Janeiro avec 188 autres pays. L'objectif d'alors était de stopper la perte de biodiversité d'ici 2010. Aujourd'hui, force est de constater que cet objectif n'est malheureusement pas atteint en Suisse (Lachat *et al.* 2010). Les ravageurs de cultures invasifs peuvent influencer la biodiversité et les cultures suisses de plusieurs manières (Kenis *et al.* 2008). Les cultures peuvent être directement affectées soit en étant consommées ou en étant infectées par des virus ou indirectement par des modifications au sein des communautés de plantes. Les communautés d'insectes natifs peuvent à leur tour être modifiées par plusieurs processus inhérent à la présence d'insectes

exotiques. La compétition pour les ressources, la compétition interspécifique ou des modifications de fonction de l'écosystème peuvent déstabiliser les écosystèmes indigènes. Par exemple, la mouche blanche *Bemisia tabaci* frappe les esprits par son potentiel invasif et son impact sur les cultures et sur les communautés d'insectes natives. En effet, cette espèce est le ravageur numéro un, s'attaquant à de nombreuses cultures (environ 600 espèces appartenant à de nombreuses familles) et causant des pertes économiques importantes en endommageant les plantes ou en transmettant plus de 60 virus (Markham *et al.* 1994). De plus, l'arrivée de *B. tabaci* dans de nombreux pays a causé la disparition locale d'espèces natives d'Aleurodes causant moins de dégâts aux cultures (Liu *et al.* 2007).

Une meilleure compréhension des processus invasifs comme les routes d'invasions, l'influence du climat actuel et futur nous permettra de créer des modèles capables de prédire des invasions ou de détecter et d'éradiquer des espèces très récemment introduites. Nous espérons qu'un tel outil nous permettra de réduire le nombre d'espèces invasives s'établissant en Suisse et ainsi réduire leurs effets potentiels sur la biodiversité ou sur le fonctionnement de l'écosystème. De plus, la prédiction et la détection rapide de nouvelles invasions nous permettront de réduire les coûts indirects liés aux invasions telles que les impacts environnementaux et sanitaires découlant d'une utilisation massive de pesticides pour protéger nos cultures (chaque année 500 millions de dollars US sont dépensés en pesticides pour lutter contre des ravageurs de cultures invasifs aux Etats-Unis) (Pimentel *et al.* 2000). D'un point de vue pratique, ces informations nous permettront de faire des recommandations aux services concernés afin de limiter les invasions futures en Suisse. Dans la pratique, ces informations pourraient aboutir sur la mise sur pied de nouvelles stratégies de contrôles phytosanitaires comme par exemple, le ciblage des denrées, ou des origines particulières ou la mise sur pied de nouvelles mesures comme l'imposition de procédures de quarantaines, ou notamment la fumigation préventive de certaines denrées par exemple.

Remerciements

Nous remercions l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) pour le financement de ces recherches et Regula Wolz pour la traduction de ce texte.

Bibliographie

- Aebi A, Schönrogge K, Melika G, Alma A, Bosio G, Quacchia A, Picciau L, Abe Y, Moriya S, Yara K, Seljak G & Stone GN (2006) Parasitoid Recruitment to the globally invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. In Ecology and evolution of galling arthropods and their associates (eds. Ozaki, K.; Yukawa, J.; Ohgushi, T.; Price, P.W) Springer-Verlag, Tokyo. p: 103-121
- Aizen MA, Morales CL et Morales JM (2008) Invasive mutualists erode native pollination webs. *PLoS Biology* **6**(2): e31.
- Bale JS, Masters GJ, Hodkinson ID, Awmack C, Bezemer TM, Brown VK, Butterfield J, Buse A, Coulson JC, Farrar J, Good JEG, Harrington R, Hartley S, Hefin Jones T, Lindroth RL, Press MC, Symnioudis I, Watt AD et Whittaker JB (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* **8**, 1-16.
- Bogich TL, Liebhold AM et Shea K (2008) To sample or eradicate? A cost minimization model for monitoring and managing an invasive species. *Journal of Applied Ecology* **45**, 1134–1142.
- DAISIE, <http://www.daisie.ceh.ac.uk/index.jsp>
- De Meyer M, Robertson MP, Peterson AT et Mansell MW (2008) Ecological niches and potential geographical distribution of Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata*) and natal fruit fly (*Ceratitidis roa*). *Journal of biogeography* **35**, 270-281.
- Dobbs TT et Brodel CF (2004) Cargo aircraft as a pathway for the entry of nonindigenous pest into South Florida. *Florida Entomologist* **87**(1), 65-78.
- Elton CS (1958) The ecology of invasions by animals and plants. The University of Chicago Press, Chicago.
- Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, O., Panov, V., Pergl, J., Pyšek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W. et Vilá, M. 2008: Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45: 403–414.
- Isaacson M (1989) Airport malaria: a review. *Bulletin of the World Health Organization*, 67 (6): 737-743.
- Jiu M, Zhou XP, Tong L, Xu J, Yang X, Wan FH et Liu SS (2007) Vector-virus mutualism accelerates population increase of an invasive whitefly. *PlosOne* **2** (1): e182.
- Kenis M, Auger-Rozenberg MA, Roques A, Timms L, Péré C, Cock JW, Settele J, Augustin S et Lopez-Vaamonde C (2008) Ecological effects of invasive alien species. *Biological Invasions* DOI 10.1007/s10530-008-9318-y
- Koch RL et Galvan TL (2008) Bad side of a good beetle: the North American experience with *Harmonia axyridis*. *Biocontrol* **53**, 23-36.
- Lachat T, Pauli D, Gonseth Y, Klaus G, Scheidegger C, Vittoz P und Walter T (2010) Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht? Zürich, Bristol-Stiftung; Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. 435 S.
- Levine JM et D'Antonio CM (2003) Forecasting biological invasions with increasing international trade. *Conserv. Biol.* **17**, 322-326.
- Lockwood JL, Cassey P and Blackburn T (2005) The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends Ecol. Evol.* **20**, 223-228.
- Lounibos LP (2002) Invasion by insect vectors of human disease. *Annu. Rev. Entomol.* **47**, 233-266.
- Liebhold AM, Work TT McCullough DD et Cavey JF (2006) Airline baggage as a pathway for alien insect species invading the United States. *Am. Entomol.* **52**, 48-54.
- Liu SS, De Barro PJ, Xu J, Luan JB, Zang LS, Ruan YM et Wan FH (2007) Asymmetric mating interactions drive widespread invasion and displacement in a whitefly. *Science* **318**: 1769-1772.
- Markham PG, Bedford ID, Liu S et Pinner MS (1994) The transmission of geminiviruses by *Bemisia tabaci*. *Pesticide Science* **42**: 123-128.
- McCullough DG, Work TT, Cavey JF, Liebhold AM et Marshall D (2006) Interception of nonindigenous plant pests at US ports of entry and border crossings over a 17-year period. *Biol. Invas.* **8**, 611-630.

- McDonald DB, Parchman TL, Bower MR, Hubert WA, et Rahel FJ (2008) An introduced and a native vertebrate hybridize to form a genetic bridge to a second native species. *PNAS* **105**(31),10842-10847.
- Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM, Evans H, Clout M et Bazzaz FA (2000) Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol. Appl.* **10**, 689-710.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Pimentel D, Lach L, Zuniga R et Morrison D (2000) Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States. *Bioscience* **50**, 53-65.
- Pimentel D (2002) Non-native invasive species of arthropods and plant pathogens in the British Isles. In: Biological Invasions. Economic and environmental costs of alien plant, animal and microbe species (Ed: Pimentel D), pp. 151-155. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Poutsma J, Loomans AJM, Aukema B et Heijerman T (2008) Predicting the potential geographical distribution of the harlequin ladybird, *Harmonia axyridis*, using the CLIMEX model. *Biocontrol* **53**, 103-125.
- Puth LM et Post DM (2005) Studying invasion: have we missed the boat? *Ecology letters* **8**, 715-721.
- Roy HE and Wajnberg E (2008) From biological control to invasion: the ladybird *Harmonia axyridis* as a model species. Springer, 287 pp.
- Strong DR, Lawton JH et Southwood R (1984) Insects on plants. Community patterns and mechanisms. Harvard University press, Cambridge, Massachusetts.
- Sutherst RW, Maywald GF and Kriticos D (2007) CLIMEX v.3, User's Guide. Hearne Scientific Software, Melbourne.
- Tatem AJ, Hay SI et Rogers DJ (2006) Global traffic and disease vector dispersal. *PNAS* **103**(16), 6242-6247.
- Tatem AJ, Rogers DJ et Hay SI (2006) Estimating the malaria risk of African mosquito movement by air travel. *Malar. J.* **5**, 57.
- Tatem AJ et Hay SI (2007) Climatic similarity and biological exchange in the worldwide airline transportation network. *Proc. R. Soc. B* **274**, 1489-1496.
- Ward NL et Masters GJ (2007) Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores. *Global Change Biology* **13**, 1605-1615.
- Wermelinger B, Wyniger D and Forster B (2008) First records of an invasive bug in Europe: *Halyomorpha halys* Stål (Heteroptera: Pentatomidae), a new pest on woody ornamentals and fruit trees? *Bulletin de la Société Entomologique Suisse* **81**, 1-8.
- Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, Phillips E et Losos E (1998) Quantifying threats to imperilled species in the United States. *Bioscience* **48**, 607-615.