

Risques entomologiques associés à l'extension de la monoculture de pomme de terre en zone nord-andine

Responsables scientifiques

Stéphane DUPAS, IRD

Laboratoire Evolution, Génomes et Spéciation – LEGS, UMR,
1 av. Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette

Biodiversité et évolution des complexes plantes-insectes ravageurs-antagonistes –
BEI, UR, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) 12 de Octubre, Quito,
Equateur

Mél. : stephane.dupas@legs.cnrs-gif.fr

Jean-Francois SILVAIN, IRD

UMR LEGS et UR BEI, 1 av. Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette

Mél. : jean-francois.silvain@legs.cnrs-gif.fr

Autres participants

Institución estatal de investigación, certificación y acompañamiento al sector agropecuario nacional, département « Control biológico de plagas agrícolas », Tibaitata (Colombie) : Laura Villamizar, Aristobulo Lopez Avilla, Alba Marina Cotes Prado

BEI, UR IRD, Quito (Equateur) : Jean-Louis Zeddami, Olivier Dangles, Cristián Samaniego, Mauricio, Cáceres, Cristián Changoluisa, Paulina Rosero
Laboratorio de Entomología - QCAZ, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito (Equateur) : Cristián Samaniego, Jalil Maiguashca, Romel Montufar.

Mots-clés

Risque entomologiques, invasions biologiques, gestion des habitats, biodiversité, sécurité alimentaire

Objectifs des recherches

Caractériser, à l'aide de l'outil moléculaire, les faunes d'insectes associées aux pommes de terre sauvages et cultivées, ainsi que leurs virus et parasitoïdes antagonistes en zone nord-andine afin de prédire les risques entomologiques associés à l'extension altitudinale de la culture de pomme de terre.

I. Présentation des travaux

Introduction

D'un point de vue économique, la pomme de terre est la quatrième culture mondiale destinée à l'alimentation humaine. En Asie et en Amérique latine, sa consommation est en augmentation (FAOSTAT, 2010). En zone nord-andine, la culture s'étend en altitude sous la pression démographique et la demande citadine. Ainsi, les zones de bosquet sempervirent de montagne (3 000 - 3 400 mètres d'altitude) et de *páramo* (végétation arbustive à herbacée, située entre la forêt et les neiges éternelles entre 3 400 à 4 000 mètres d'altitude) (Sierra, 1999) sont progressivement mises en culture (Robineau *et al.*, 2010). La majorité des 199 espèces de pommes de terre sauvages à tubercule est endémique des régions d'altitude (entre 1 800 et 3 500 mètres) situées entre le Pérou et la Colombie (Hijmans and Spooner, 2001). Avec l'extension de la culture, la croissance du commerce et l'homogénéisation variétale de la pomme de terre, de nouveaux insectes ravageurs d'origine exotique sont apparus aux premiers rangs desquels les espèces des quatre familles suivantes : les lépidoptères Gelechiidae (*Phthorimmaea operculella* (Zeller), *Tecia solanivora* (Povolny) et *Symmetrischema tangolias* (Gyen)), les coléoptères Chrysomelidae (*Epitrix cucumeris*), les homoptères Aphidae et les Thysanoptera Tripidae (*Frankliniella spp.*, *Thrips palmi*).

Les espèces invasives ravageuses des cultures sont en général étudiées pour leur impact direct sur les productions agricoles mais rarement pour leurs impacts indirects sur la biodiversité des zones envahies. Or, les pullulations des ravageurs des cultures ne doivent pas manquer d'interférer avec les plantes sauvages apparentées aux cultures. Des phénomènes de compétitions indirectes entre plantes cultivées et sauvages engendrés par les phytophages invasifs s'attaquant aux deux compartiments se mettent en place. L'objectif premier de ce travail est de caractériser génétiquement, de quantifier et de cartographier les populations de phytophages s'attaquant aux pommes de terre cultivées et sauvages. Le second objectif consiste à caractériser les espèces antagonistes (virus et parasitoïdes) pouvant s'attaquer aux phytophages dans leur aire d'invasion, et à comprendre leur dynamique populationnelle, en relation avec la plante-hôte. Le dernier objectif de cette étude est de déterminer, par une approche semi-expérimentale, si le maintien *in situ* de la diversité des espèces de pommes de terre cultivées et l'arrêt du processus d'homogénéisation variétale en cours, pourrait constituer une solution face à l'impact croissant des espèces invasives sur les pommes de terres cultivées et sauvages de la région Nord-andine.

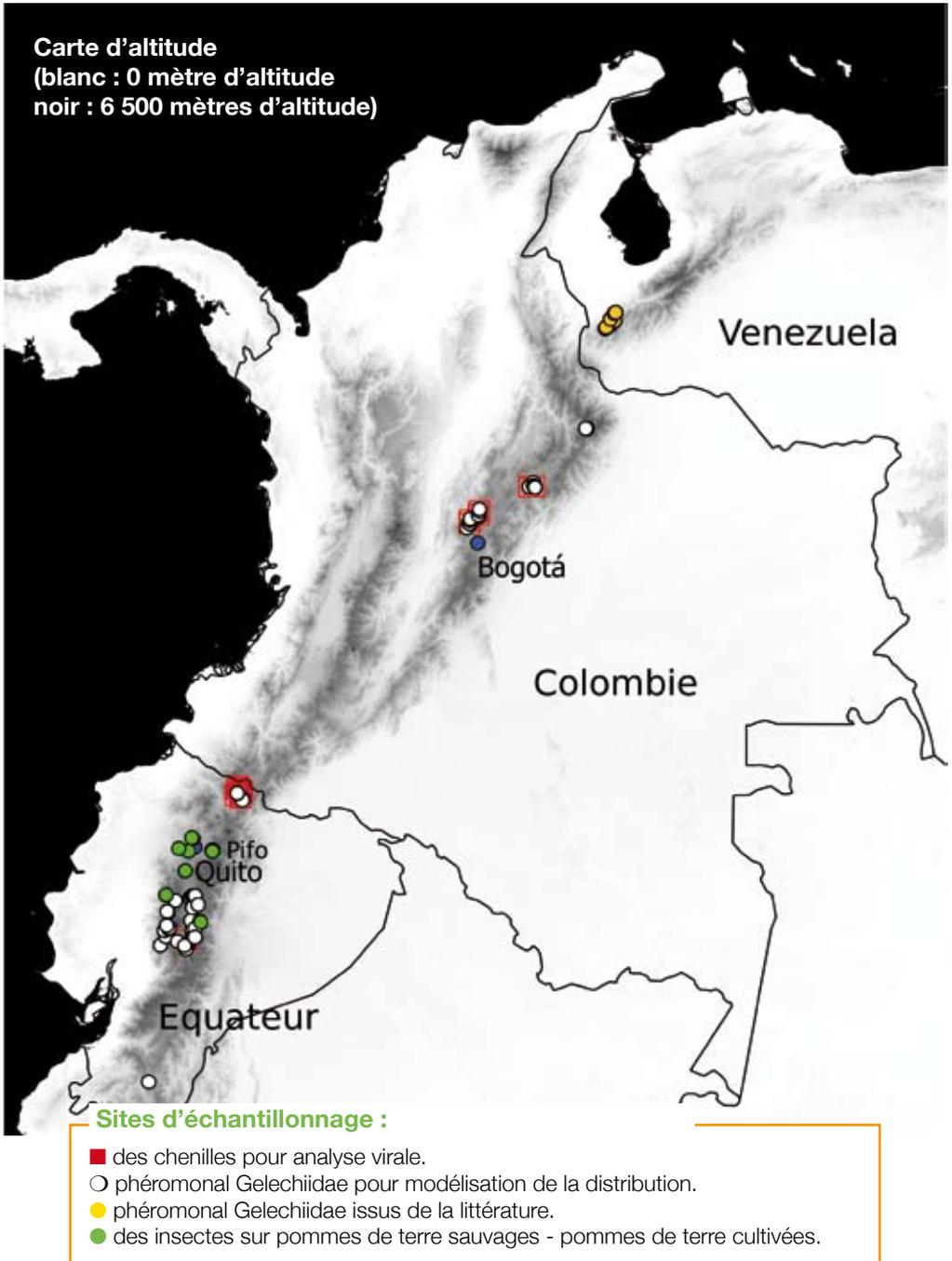
Matériel et méthodes

■ Zone d'étude pour les ravageurs

Les travaux de recherche se sont déroulés dans trois pays différents : Guatemala, Colombie et Equateur.

Au Guatemala (Amérique centrale). Une étude a été menée dans la zone d'origine de *Tecia solanivora* (une espèce de teigne de la famille Gelechiidae), afin d'identifier la

Figure 1 : Sites d'étude des interactions insectes / pommes de terre sauvages et cultivées



plante-hôte sauvage originelle à laquelle elle est associée et ainsi mieux comprendre la nature de sa relation aux plantes sauvages en zone invasive. L'étude s'est, entre autres, portée sur le site de Huehuetenango (département situé à l'ouest du Guatemala), où la culture des tubercules suit encore une forme de culture traditionnelle : celles-ci ne sont pas stockées mais sont laissées enfouies en terre entre les saisons, dans le respect de leur cycle naturel. Les tubercules de pommes de terre sauvages infestés ont été prélevés et ramenés au laboratoire pour l'élevage et l'identification des insectes. Des pièges à phéromones de 4 espèces de Gelechiidae ravageurs de la pomme de terre ont été installés dans les sites de pommes de terre sauvages, à une distance de plus de 500 mètres de toute culture de pommes de terre.

En Colombie (départements du Cundinamarca et de Boyaca). 12 sites ont été définis sur 4 gradients altitudinaux compris entre 2 600 et 3 200 mètres. Des pièges à phéromones des mêmes espèces de Gelechiidae invasifs ont été installés dans les cultures pour mesurer les abondances adultes ; des échantillons de larves ont été prélevés sur tubercule pour l'analyse des virus ; et des pièges à parasitoïdes ont été déposés.

En Equateur. 49 sites répartis sur l'ensemble du pays entre 2 550 et 3 650 mètres d'altitude (42 dans les régions centrales, de 2 550 à 3 650 mètres, 6 à l'extrême nord dans la région du Carchi, de 2 760 à 3 340 mètres et une au sud du pays à Loja, à 2 270 mètres) ont été définis. Des pièges à phéromones des espèces de Gelechiidae invasifs ont été installés et des échantillons d'insectes Gelechiidae, Thripidae, Aphidae et Chrisomelidae (*Epitrix spp.*) ont été collectés sur pommes de terre cultivées et dans les haies avoisinantes, sur l'espèce sauvage *S. nigrescens* (espèce commune sans tubercule). Six autres stations « binôme sauvage et cultivé » ont été définies au centre du pays (Provinces du Pichincha, Cotopaxi et Tungurahua). S'y confrontent en effet, à des distances de l'ordre du kilomètre, des champs récemment issus de la déforestation et des bosquets hébergeant des pommes de terre sauvages.

■ Espèces étudiées

- Pomme de terre sauvage

Au Guatemala, *Solanum agrimonifolium* et *S. morelliforme* ont été recherchées parce que ce sont les deux espèces de *Solanum* à tubercules les plus communes au Guatemala, potentiellement hôtes sauvages d'origine de *T. solanivora*.

En Equateur, les pommes de terre sauvages à tubercule *S. colombianum*, *S. minutifolium*, *S. tuquerrense*, *S. juglandifolium*, *S. ochrantum*, *S. paucijugum*, et sans tubercule *S. patulum* et *S. nigrescens* ont été identifiées et échantillonnées. En Colombie deux plants de pommes de terre sauvages non identifiés ont été collectés.

- Pommes de terre cultivées

Les pommes de terre cultivées commerciales. *S. tuberosum sect. andigenum* ont été échantillonnées. Les pommes de terre cultivées natives (variétés et espèces indigènes *S. phureja* et *S. andigenum*) non commerciales ont été étudiées en serre pour leurs interactions avec les *T. solanivora* et *S. tangolias*.

- Insectes

Les espèces issues des quatre familles suivantes ont été identifiées et quantifiées sur chaque plante sauvage ou cultivée : les Gelechiidae (*Phthorimmaea operculella* (Zeller), *Tecia solanivora* (Povolny) et *Symmetrisch ema tangolias* (Gyen)), les Chrysomelidae du Genre *Epitrix* (*Epitrix cucumeris*), les Aphidae et les Thrips ou Thysanoptères (*Frankliniella* spp., *Thrips palmi*). Les parasitoïdes d'œufs et larvaires des Gelechiidae et le virus PhoGV, utilisés en lutte biologique contre les insectes ravageurs Gelechiidae, ont été recherchés par piégeage ou échantillonnage larvaire.

■ Protocoles

- Echantillonnages quantitatifs

Lépidoptères adultes. A l'aide de pièges à phéromones (pièges à eau savonneuse), l'abondance des trois espèces de Gelechiidae ravageurs est mesurée sur tous les sites d'Equateur et de Colombie à intervalle régulier (2 à 3 semaines) pendant trois mois. Pour faire face à la faible taille des populations de pommes de terre sauvages et d'insectes Gelechiidae associés, les pièges ont été disposés à distance croissante des champs pour étudier la pénétration des insectes dans les bosquets hébergeant des pommes de terre sauvages. Sur les localités « sauvage-cultivé », les plants de pommes de terre cultivés et sauvages ont été identifiés, leur taille mesurée et les insectes phytophages associés ont été échantillonnés dans l'alcool. Sur le site de Pifo (région centrale de l'Equateur, 3 600 mètres), des pièges collants (cylindres de plastique enduits de colle) ont été disposés autour des tiges de plantes sauvages (5 *S. nigrescens*, 2 *S. patulum*, 8 *S. tuquerrense*) afin de piéger les vistes Gelechiidae.

Chenilles. Des pommes de terre infestées ont été collectées et disséquées sur 6 sites colombiens et 6 les sites équatoriens (« binôme sauvage-cultivé ») pour les analyses virales sur les chenilles en fonction du site, du sac et du tubercule d'origine de l'insecte afin de comprendre l'épidémiologie des virus.

■ Expérimentation en serre/cage à populations

En Equateur, une serre hermétique a été construite afin d'étudier expérimentalement les interactions de deux espèces de Gelechiidae (*T. solanivora* et *S. tangolias*) sur 405 plants de 12 variétés natives de pommes de terre, 2 variétés commerciales, une pomme de terre sauvage, une solanacée sauvage du genre *Physalis* et 4 espèces de Solanum cultivées sans tubercules. Après l'infestation, les plants ont été isolés individuellement dans des sacs de toile pour identifier et compter les émergences d'insectes.

■ Identification moléculaire

Les insectes des 4 familles Gelechiidae, Aphidae, Triphidae et Chrysomelidae, échantillonnés sur pommes de terre en Equateur ont été caractérisés génétiquement grâce au marqueur de séquence mitochondriale *COI* (marqueur utilisé actuellement pour l'identification moléculaire des espèces dans le projet du *barcoding*). Les amplifications PCR (Polymerase Chain Reaction) réalisées au laboratoire à Quito (Equateur) ont été séquencées dans le cadre du projet Génoscope BI4I. La présence du virus PhoGV a été détectée par PCR (gène p89 et gène *egt*) sur les adultes de Gelechiidae visitant les

pommes de terre sauvages, et sur les chenilles de Gelechiidae s'attaquant aux tubercules, en champ ou chambre de stockage.

■ Analyses statistiques

Modèle de distribution. En Equateur et au Guatemala, les distributions des pommes de terre sauvages ont été modélisées à partir de nos données et de celles fournies par la littérature. Pour les plantes, la méthode du « maximum d'entropie » (Maxent, Philips *et al.* 2006) a été utilisée et pour les insectes, une méthode quantitative *glm* (generalized linear model) a été développée sur *R* afin de constituer des cartes de probabilités de présence et d'abondance, respectivement.

Facteurs d'abondance en milieu sauvage. L'effet de la distance aux champs de pommes de terre sur l'abondance des insectes ravageurs a aussi été analysé à l'aide de la méthode *glm*, en prenant en compte, pour les teignes de la pomme de terre, l'abondance prédite par le modèle climatique. Pour comprendre l'épidémiologie virale et par là, les autres impacts indirects des invasifs en fonction de leur abondance dans les cultures, la prévalence du PhoGV a été analysée par *glm* en fonction de l'abondance des insectes prédite par le modèle climatique et de facteurs épidémiologiques (transmission intra-tubercule ou intra-sac).

*L'analyse phylogénétique et populationnelle de la relation aux plantes sauvages et cultivées pour les insectes Gelechiidae, Chrisomelidae, et Thripidae ravageurs de la pomme de terre collectés sur plante sauvage et cultivée a été réalisée par inférence phylogénétique Bayésienne (Huelsenbeck et Ronquist, 2001) à partir des séquences COI. L'inertie phylogénétique - empêchant le changement de plante-hôte au cours de la phylogenèse - a été analysée par régression phylogénétique (Pavoine *et al.*, 2010). Les échanges sauvages-cultivés au sein des clades de rang spécifique présents dans les deux compartiments ont été évalués par AMOVA (Excoffier, 1992).*

Résultats

Les Gelechiidae invasifs se développent sur pommes de terre sauvages. Au Guatemala, des chenilles de *T. solanivora* ont été observées sur *S. agrimonifolium*. Il est donc probable qu'il s'agisse de sa plante hôte originelle. En serre, *T. solanivora* et *S. tangolias* (deux Gelechiidae) se développent sur pommes de terre natives et également sur d'autres Solanaceae pour *S. tangolias*. Cependant, sur le terrain, aucun des 78 plants de pommes de terre sauvages échantillonnés n'est apparu infesté par ces deux espèces de Gelechiidae. Sur les 58 Gelechiidae piégés sur pommes de terre sauvages et séquencés pour le fragment du Barcode, aucun n'appartient à *T. solanivora* ou *S. tangolias*. Une forte inertie phylogénétique de la relation à la plante-hôte a été observée chez ces lépidoptères, suggérant une forte spécialisation des lignées d'insectes, induisant de faibles risques de compétition apparente entre espèces de pommes de terre sauvages et cultivées.

A la différence de Gelechiidae, les autres insectes ravageurs de la pomme de terre présentent une forte pénétrance en milieu sauvage et de plus fortes abondances sur les sites d'altitude (notamment, celui de Pifo, 3 660 mètres, suivi pendant plus d'un an). C'est le cas des Chrysomelidae du genre *Epitrix* et des Aphidae que l'on observe autant sur

plantes sauvages que cultivées et qui sont des espèces généralistes à faible inertie phylogénétique vis-à-vis de la plante.

En revanche, les espèces de la famille Thripidae présentent de plus faibles densités sur pomme de terre sauvage et une certaine inertie phylogénétique vis-à-vis de la plante-hôte.

Les espèces d'insectes généralistes Chrysomelidae du genre *Epitrix* et les Thripidae ne semblent pas présenter une structuration génétique (au niveau mitochondrial) fonction de la nature sauvage ou cultivée de la plante-hôte.

Entre 1 500 à 3 500 mètres d'altitude, les modèles bioclimatiques appliqués aux plantes et aux insectes Gelechiidae montrent de fortes interactions potentielles, ainsi qu'au delà pour certaines espèces de pommes de terre situées dans des zones refuges. Les piègeages phéromonaux ont montré une diminution de moitié du nombre de *T. solanivora* capturés par kilomètre de distance aux cultures, et aucune réduction significative pour les autres espèces. Ces capacités de déplacement différentes impliquent de moindres risques entomologiques liés à la culture de la pomme de terre dans les zones protégées pour *T. solanivora* que pour les autres espèces de Gelechiidae.

L'expérimentation en serre a montré que la culture des variétés commerciales en mélange avec les pommes de terre natives (indigènes) atténue le niveau d'infestation par les insectes Gelechiidae.

Deux parasitoïdes Hyménoptères nouveaux s'attaquant à l'espèce *T. solanivora* appartenant aux genres *Copidosoma* (*Encyrtidae*) et *Trichogramma* (*Tychogrammatidae*) ont été piégés dans les pièges à œuf en culture et manuellement en chambre de stockage sans insecticide, en Colombie et en Equateur, respectivement.

Les virus PhopGV n'ont pas été détectés sur les 24 individus Gelechiidae non ravageurs échantillonnés sur plante sauvage. Dans les cultures, l'abondance du virus ne dépend pas significativement de l'abondance des Gelechiidae ravageurs prédit par le modèle bioclimatique. Une autocorrélation significative du statut d'infection virale a été observée à l'intérieur des sacs de stockage au sein des chambres de stockage. L'épidémiologie virale ne semble donc ni dépendre de la densité d'insecte, ni pouvoir passer du cultivé vers le sauvage.

Discussion

L'approche modélisation a montré dans cette étude sa puissance pour traiter de la question des risques liés aux interactions entre espèces.

Les travaux sur les mélanges variétaux et sur la résistance des variétés endémiques cultivées en Equateur vis-à-vis des invasifs renforcent l'hypothèse d'invasions liées à l'homogénéisation variétale et suggèrent des méthodes de contrôle respectueuses de l'environnement.

Si les Gelechiidae sont fidèles évolutivement à leur plante-hôte, on ne peut cependant pas écarter les risques d'apparition de nouveaux ravageurs dans ce groupe. La destruction accélérée des habitats des plantes-hôtes spécifiques sauvages de certaines espèces de Gelechiidae dans le cadre de la déforestation agricole peut augmenter fortement les pressions de sélection pour les changements d'hôte vers les plantes cultivées et favoriser leur adaptation aux milieux domestiqués.

Conclusions - Perspectives

Les résultats combinant écologie quantitative, phylogénie et génétique des populations vont dans le sens d'un faible impact des insectes Gelechiidae invasifs et leurs antagonistes sur les pommes de terre sauvages. D'autres groupes présentant une plus faible inertie phylogénétique de la relation à la plante-hôte peuvent entraîner cependant de la compétition apparente entre pommes de terre cultivées et sauvages et présenter un risque pour la conservation dans les parcs naturels d'altitude si la culture de la pomme de terre y est légalisée comme cela a été proposé. Enfin, l'apparition de nouveaux ravageurs Gelechiidae à partir des populations d'insectes sauvages peut être stimulée par de plus fortes pressions de sélection dues à la disparition des plantes hôtes suite à la déforestation agricole.

II. Acquis en termes de transfert

■ Méthodes

Modélisation. La modélisation est apparue comme un outil puissant pour définir des zones refuges par rapport aux insectes.

Les lépidoptères Gelechiidae invasifs, bien que capables de s'attaquer aux espèces sauvages de pomme de terre en situation expérimentale (serres) ou dans leur zone d'origine (Guatemala), n'ont pas d'impact important sur ces dernières dans la zone d'invasion.

*La localisation des pommes de terre sauvages dans les zones refuges vis-à-vis des Gelechiidae invasifs est liée (1) à la forte spécialisation et à l'inertie phylogénétique de la relation à la plante-hôte observée dans ce groupe, (2) à la non-superposition des niches bioclimatiques des espèces de plantes et d'insectes, et (3) pour *T. solanivora* à la distance aux cultures. La modélisation a permis de cartographier les zones refuges bioclimatiques pour la pomme de terre sauvage, en général au delà de 3 500 mètres d'altitude. Ainsi, la compétition apparente sauvage-cultivé via les phytophages ravageurs Gelechiidae ne semble pas constituer un risque majeur dans le cadre des nouveaux programmes d'autorisation de la culture de la pomme de terre dans les parcs naturels d'altitude, une situation qu'il conviendra de réexaminer à l'avenir afin de tenir compte d'éventuels phénomènes adaptatifs qui pourraient survenir, notamment au niveau des insectes Gelechiidae. Par ailleurs, les virus entomopathogènes ne s'attaquent pas aux lépidoptères associés aux pommes de terre sauvages analysées moléculairement dans cette étude. Et les parasitoïdes sont extrêmement rares, y compris dans les cultures : la compétition apparente n'affecterait probablement pas non plus le deuxième niveau trophique, les lépidoptères Gelechiidae. Les autres groupes de ravageurs de la pomme de terre des groupes Aphidae, Thysanoptera et Chrysomelidae du genre *Epitrix* peuvent néanmoins théoriquement s'attaquer aux pommes de terre sauvages, même en altitude : ils y sont observés aussi fréquemment que sur les cultures et une plus faible inertie phylogénétique de la relation à la plante-hôte caractérise ces groupes.*

Les travaux réalisés vont peut-être dans le sens d'une recommandation de stratégies souples et plus réalistes de conservation de la biodiversité incluant la culture dans les parcs naturels. Notons en effet que les stratégies dures sont inefficaces du fait de la forte demande citadine pour l'extension de la frontière agricole (Robineau *et al.*, 2010). Cependant, les risques d'augmentation des pressions de sélection pour la domestication de nouveaux ravageurs des cultures doivent être considérés dans ce groupe si les habitats sauvages disparaissent avec la déforestation agricole des subparamos. Des travaux similaires sur des groupes d'insectes ravageurs dont la relation à la plante hôte est moins spécifique sont nécessaires pour atténuer ou confirmer ces recommandations. Enfin, pour la lutte contre les ravageurs et le maintien de la biodiversité, la modification des pratiques culturales vers une culture en mélange des variétés de pomme de terre, y compris indigènes, est recommandée. Comme autre application directe de ces travaux, la multiplication à des fins de lutte biologique contre *T. solanivora* du parasitoïde identifié en Equateur est en cours d'étude.

III. Liste des principales valorisations des recherches

Articles scientifiques en préparation

Dupas, S., Cáceres, M., Changoluisa, C., Belmont, P., Ramón, G., Guevarra, D., Rosero, P., Silvain J.-F. Impact of invasive insects on wild potato species in the Ecuadorian Andes.

Samaniego, C., Maiguashca, J., Dupas, S. Molecular structure of insects associated to wild and cultivated potatoes in crops grown in Northern and Central Sierra of Ecuador.

Dupas, S., Zeddám, J.-L., Orbe, K., Villamizar, L.F., Mora, P., Suquillo, J., Dangles, O., Silvain, J.-F., Lopez-Avilla, A., Cotes-Prado, A.-M. Prevalence of potato moth granulovirus in Northern Andes in *Tecia solanivora* (Povolny) in relation to local host density and epidemiological factors, and presence in insects attacking wild plants.

Belmont, P., Cáceres, M., Gallegos, P., Dupas, S. Modeling semi field plant insect interaction between potato moth and *Solanum* species and varietal mixtures.

Articles de vulgarisation publiés, sous presse, soumis et en préparation

Philippe Belmont. Resistancia en nuestras papas nativas : porque conservarlas. Allpa des Guardianes de Semilla.

Rapports de fin d'étude (mémoires de master, de DEA, thèses...)

Philippe Belmont. Université Lyon I – Master 2 Recherche Ecologie Evolution Biométrie. Etude des interactions entre solanacées arbustives, variétés natives de pomme de terre et deux espèces de Gelechiidae invasifs. 2009 - 2010.

Cristian Samaniego. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Licenciatura biología. Estructuración molecular de insectos asociados a papas silvestres y cultivadas en cultivos del Norte y Centro de la Sierra del Ecuador. 2009 - 2010.