ISSN 2369-4262

SURVOL
SCIENCE DES VÉGÉTAUX

Édition 14, novembre 2015

Contexte: La Direction des sciences de la protection des végétaux de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) effectue régulièrement un balayage des sources externes afin d'identifier toute information pouvant avoir de l'importance ou de l'intérêt, sur le plan réglementaire, pour le programme canadien de protection des végétaux. L'ACIA a rédigé le présent Survol - science des végétaux comme outil de sensibilisation, pour mettre en relief certaines questions d'intérêt et partager de nouvelles informations ayant de l'importance pour la protection des végétaux.

Index des articles

Pathologie

1 **Nouvel hôte :** Première mention du nématode à lancette, *Longidorus attenuatus,* dans les cultures de soja, *Glycine max*

2 **Nouvelle technologie :** PCR multiplex en temps réel pour la détection et la différenciation du *Puccinia horiana* et du *P. chrysanthemi* chez le chrysanthème

3 **Nouvel organisme nuisible :** Génomique des populations appliquée au *Dickeya solani*, une nouvelle bactérie causant la pourriture molle dans les cultures de pomme de terre en Europe

Entomologie

4 **Outil de surveillance :** Identification d'une composante de phéromone mâle chez le capricorne asiatique des agrumes, *Anoplophora chinensis*

5 **Mise à jour :** Une variation génétique touchant les exigences thermique associées à l'éclosion des œufs chez la spongieuse met en lumière la nécessité d'exercer une vigilance constant pour éviter une introduction accidentelle

7 **Nouveau traitement :** Traitement de quarantaine novateur pour le raisin de table, faisant appel à la fumigation de formiate

Botanique

6 **Nouvelle technologie :** Distinction de plantes aquatiques morphologiquement semblables grâce à des techniques moléculaires

7 **Nouvelle voie d'entrée :** Le commerce électronique pourrait favoriser l'introduction de plantes envahissantes

Biotechnologie

9 **Gestion de la résistance des insectes :** les relations prédateur-proie pourraient constituer un facteur important

10 **Nouvelle technologie :** Engouement pour les CRISPR

Nouvelle voie d'entrée : 8

Gestion de la résistance des insectes : 9

Nouvelle technologie : 10

Les carrés ci-dessus correspondent aux numéros des articles

Agence canadienne d'inspection des aliments
Canadian Food Inspection Agency
Canada

Pathologie

1 Nouvel hôte : Première mention du nématode à lancette, *Longidorus attenuatus*, dans les cultures de soja, *Glycine max*

En 2014, le nématode à lancette, *Longidorus attenuatus* Hooper, a été prélevé dans la rhizosphère de plantes de *Glycine max* (soja), dans un champ en Pologne. Des expériences menées en serre ont permis de montrer que le *L. attenuatus* peut se reproduire sur les racines du *G. max*. Aucun symptôme évident n'a cependant été observé chez les plantes inoculées, même si celles-ci présentaient un jaunissement des feuilles plus marqué que les plantes témoins. Il s'agit de la première mention du *L. attenuatus* dans les cultures de soja.

Le *Longidorus attenuatus* parasite aussi d'autres plantes d'importance économique, dont le *Solanum tuberosum* (pomme de terre), le *Triticum* sp. (blé), le *Beta vulgaris* (betterave), le *Fragaria* × *ananassa* (fraisier), le *Hordeum vulgare* (orge) et le *Daucus carota* (carotte). De plus, ce nématode est un vecteur connu du népovirus des anneaux noirs de la tomate (*Tomato black ring virus*, ou TBRV), qui cause d'importants dommages dans les vignes. Le *Longidorus attenuatus* est présent en Afrique et en Europe, mais sa présence n'a pas été signalée au Canada et aux États-Unis.

Les espèces du genre *Longidorus* sont actuellement réglementées au Canada en ce qui concerne le matériel de multiplication de la vigne (*Vitis* sp.), car ces nématodes sont vecteurs d'importants virus touchant la vigne. Le *Longidorus attenuatus* peut se propager par l'intermédiaire de sol infesté, de plants à racines nues mal désinfectés ou de machinerie contaminée.

SOURCE : Kornobis, F.W., R. Dobosz, P. Bubniewicz et A. Filipiak. 2015. First record of nematode *Longidorus attenuatus* on soybean in Poland. Plant Disease doi: 10.1094/PDIS-06-15-0625-PDN.

2 Nouvelle technologie : PCR multiplex en temps réel pour la détection et la différenciation du *Puccinia horiana* et du *P. chrysanthemi* chez le chrysanthème

Le *Puccinia horiana* cause la rouille blanche du chrysanthème, une grave maladie fongique touchant les chrysanthèmes communs cultivés dans l'industrie de la floriculture. Les symptômes de la maladie comprennent l'apparition de taches chlorosées sur le dessus des feuilles, la formation de pustules sur le dessous des feuilles et la défoliation. La maladie est transmise par le matériel hôte infecté, où elle peut demeurer systémique mais invisible, ce qui facilite sa propagation rapide à l'intérieur des serres et cause souvent la perte totale des cultures. Un autre champignon commun de la rouille chez le chrysanthème, le *P. chrysanthemi*, cause la rouille brune. Cette maladie réduit la valeur esthétique des plantes infectées, mais est moins souvent à l'origine de pertes de rendement importantes et préoccupe donc moins l'industrie.

Bien qu'on puisse distinguer les deux espèces par la morphologie de leurs spores, l'identification visuelle n'est pas possible aux stades latents, en l'absence de spores matures ou de symptômes. Des épreuves de détection par PCR classique et en temps réel ont été mises au point par le passé pour le *P. horiana.* Or, une étude récente du USDA-ARS Systematic Mycology and Microbiology Laboratory a porté sur la mise au point d'une épreuve de PCR multiplex en temps réel qui permet de détecter simultanément et de distinguer le *P. horiana* et le *P. chrysanthemi*. Les deux espèces ont été

détectées avec exactitude dans tous les échantillons frais analysés, avec seulement 1 pg d'ADN matrice. Cette épreuve multiplex pourrait être utilisée pour détecter les plantes infectées par le *P. horiana* afin de s'assurer que des mesures de quarantaine appropriées sont prises et que le matériel végétal est exempt de pathogènes.

Le *Puccinia horiana* est un phytopathogène réglementé dans plusieurs pays, y compris au Canada et aux États-Unis. Dans le cadre de l'initiative Canada-États-Unis du Conseil de coopération en matière de réglementation, l'ACIA et l'USDA travaillent à la réalisation d'un projet pilote axé sur la coordination des approches de surveillance réglementaire concernant la rouille blanche du chrysanthème. En 2013-2014, l'USDA a proposé quatre options réglementaires visant le *P. horiana* afin d'obtenir les commentaires du public. Ces commentaires sont actuellement examinés.

SOURCE : Demers, J.E., Crouch, J.A. et Castlebury, L.A. 2015. A multiplex real-time PCR assay for the detection of *Puccinia horiana and P. chrysanthemi* on chrysanthemum. Plant Disease 99: 195-200.

3 Nouvel organisme nuisible : Génomique des populations appliquée au *Dickeya solani*, une nouvelle bactérie causant la pourriture molle dans les cultures de pomme de terre en Europe

Les espèces du genre *Dickeya* sont des bactéries qui causent la pourriture molle et la jambe noire chez diverses plantes dans le monde. Auparavant *Erwinia chrysanthemi*, le genre a été divisé en sept espèces, à savoir *D. dianthicola*, *D. dadantii*, *D. zeae*, *D. chrysanthemi*, *D. paradisiacal*, *D. dieffenbachiae* et *D. solani* (Czajkowski *et al.*, 2013, Samson *et al.*, 2005, Toth *et al.*, 2011). Toutes ces espèces ont été détectées chez la pomme de terre. Le *D. dianthicola* et le *D. solani* sont toutefois les seules à s'être propagées aux cultures de pomme de terre en Europe.

Une espèce de *Dickeya* a été signalée pour la première fois chez la pomme de terre aux Pays-Bas en 1972. Les isolats prélevés à l'époque ont été attribués par la suite à l'espèce *D. dianthicola,* qui s'est depuis propagée à plusieurs pays européens. Pendant des années, l'espèce était confinée aux régions chaudes et ne posait pas de problèmes importants dans les cultures de pomme de terre des régions fraîches. Des souches de *Dickeya* ont cependant été détectées en Finlande en 2004, et l'espèce s'est propagée depuis à l'Europe par l'intermédiaire du commerce des pommes de terre de semence (Toth *et al.*, 2011). On a déterminé que ces souches constituaient un nouveau clade appartenant au biovar 3. Elles ont été décrites récemment de façon officielle comme appartenant à l'espèce *D. solani* (van der Wolf *et al.*, 2014). Depuis son émergence, cette nouvelle espèce hautement agressive a causé des pertes importantes dans les cultures de pomme de terre en Europe en raison de son degré de pathogénicité élevé et de la gravité des symptômes de la maladie (Toth *et al.*, 2011).

Une étude récente menée par Khayi *et al.* (2015) a permis de mieux comprendre les caractères génétiques pouvant être à l'origine de la nature agressive du *D. solani*. Suivant une approche de génomique des populations, les auteurs ont analysé le polymorphisme du génome entier de 20 isolats du *D. solani*, y compris la souche type IPO2222^{T}. Les sites de prélèvement, les dates d'isolement et les plantes hôtes différaient. Les technologies Illumina et PacBio ont été utilisées pour établir le génome de la souche 3337 du *D. solani*, qui a servi de référence pour l'analyse génomique comparative. Cette analyse a révélé une variabilité inattendue parmi les isolats du *D. solani,* résultant d'une combinaison de SNP

touchant divers locus et de différentes InDel ainsi que de transferts horizontaux de gènes (THG) par remplacement et addition. Alors que la plupart des souches appartenaient à une population principale présentant moins d'une centaine de positions touchées par des changements entre deux génomes donnés, d'autres génomes présentaient des THG par remplacement massifs à partir du pathogène associé *D. dianthicola* et l'acquisition d'un plasmide. De plus, les auteurs ont pu établir une corrélation entre les SNP des gènes flagellaires et une diminution de la motilité et de la virulence, ce qui confirme l'utilité de la génomique comme outil permettant d'établir la variabilité fonctionnelle. Bien que le *D. solani* ait été décrit comme une espèce constituant une population homogène, les résultats de la présente analyse encouragent l'utilisation de multiples marqueurs taxinomiques pour le diagnostic moléculaire de ce nouvel agent pathogène.

Le *Dickeya solani* n'est pas un organisme réglementé au Canada à l'heure actuelle. Cependant, compte tenu des pertes économiques croissantes qu'il cause dans les cultures de pomme de terre en Europe, y compris dans les régions nordiques plus fraîches, il pourrait être un organisme nuisible qui est potentiellement d'importance quarantaine.

SOURCES : Czajkowski R., de Boer W.J., van der Zouwen P.S., Kastelein P., Jafra S., de Haan E.G., van den Bovenkamp G.W. et van der Wolf J.M. 2013. Virulence of '*Dickeya solani*' and *Dickeya dianthicola* biovar-1 and -7 strains on potato (*Solanum tuberosum*). Plant Pathology 62(3) 597–610.

Khayi, S., Blin, P., Pédron, J., Chong, T-K., Chan, K-G. Moumni, M., Hélias, V. Van Gijsegem, F. et Faure, D. 2015. Population genomics reveals additive and replacing horizontal gene transfers in the emerging pathogen *Dickeya solani.* BMC Genomic 16: 788.

Samson R., Legendre J.B., Christen R., Fischer-Le S.M, Achouak W. et Gardan L. 2005. Transfer of *Pectobacterium chrysanthemi* (Burkholder et al., 1953) Brenner I. 1973 and *Brenneria paradisiaca* to the genus Dickeya gen. nov. as *Dickeya chrysanthemi* comb. nov and *Dickeya paradisiaca* comb. nov. and delineation of four novel species, *Dickeya dadantii* sp. nov., *Dickeya dianthicola* sp. nov., *Dickeya dieffenbachiae* sp. nov. and *Dickeya zeae* sp. nov. Internation Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 55: 1415–27.

Toth, I.K., van der Wolf, J.M., Saddler, G., Lojkowska, E., Hélias, V., Pirhonen, M., Tsror, L. et Elphinstone, J.G. 2011. *Dickeya* species: an emerging problem for potato production in Europe. Plant Pathology 60: 385–99.

van der Wolf, J.M., Nijhuis, E.H., Kowalewska, M.J., Saddler, G.S., Parkinson, N., Elphinstone, J.G., *et al.* 2014. *Dickeya solani* sp. nov., a pectinolytic plant-pathogenic bacterium isolated from potato (*Solanum tuberosum*). International Journal of Systematic and Evolutionary Micriobiology 64: 768–774.

Entomologie

4 Outil de surveillance : Identification d'une composante de phéromone mâle chez le capricorne asiatique des agrumes, *Anoplophora chinensis*

Les phéromones à longue portée sont fréquemment conservées chez les espèces étroitement apparentées de Cérambycidés. L'emploi de pièges appâtés au moyen de substances sémiochimiques peut donc grandement améliorer la sensibilité et l'efficacité de la détection des populations de ces longicornes envahissants. Selon des études antérieures, la phéromone émise par le longicorne asiatique, *Anoplophora glabripennis*, pourrait présenter une structure hydroxyéther identique ou très semblable à celle d'une espèce étroitement apparentée, le capricorne asiatique des agrumes, *A. chinensis*. Cette hypothèse a été appuyée par des bioessais préliminaires réalisés sur le terrain en Chine et a été confirmée dans le cadre d'une étude récente ayant porté sur l'évaluation de la réaction du *A. chinensis* au 4-(*n*-heptyloxy)butan-1-ol, une composante de la phéromone volatile produite par l'*A. glabripennis*.

Des substances volatiles ont été recueillies auprès de coléoptères des deux sexes placés dans des chambres d'aération et ont été analysées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Le 4-(*n*-heptyloxy)butan-1-ol (alcool) et le 4-(*n*-heptyloxy)butanal (aldéhyde) ont tous deux été détectés dans les substances volatiles de l'espace de tête chez les individus mâles d'*A. chinensis*, mais pas chez les individus femelles de l'espèce. Des analyses couplées chromatographie en phase gazeuse-électroantennogramme ont montré que les antennes des mâles et des femelles réagissaient fortement à l'alcool, mais pas à l'aldéhyde. Des essais sur le terrain, réalisés à l'aide de pièges à phéromone appâtés avec ces composés, ont confirmé que les deux sexes étaient attirés de manière notable par les pièges appâtés au moyen d'alcool seulement ou d'alcool mélangé à l'aldéhyde selon un rapport de 1 :1.

Cette étude montre que le 4-(*n*-heptyloxy)butan-1-ol est une composante importante de la phéromone volatile produite par l'*A. chinensis* mâle, et l'attrait exercé sur les coléoptères des deux sexes indique que l'alcool est une phéromone d'agrégation, même si sa fonction première est probablement de réunir les deux sexes pour l'accouplement. Les résultats obtenus donnent à penser que l'alcool constituerait un excellent appât pour la détection des nouvelles invasions d'*A. chinensis* en Amérique du Nord et dans d'autres régions du monde.

Les longicornes*, Anoplophora* spp., sont des organismes nuisibles réglementés au Canada. L'*Anoplophora chinensis* est un coléoptère xylophage qui peut infester et tuer de nombreuses espèces d'arbres hôtes. Originaire de l'est de l'Asie, il s'est établi dans plusieurs pays européens, où l'on prévoit qu'il causera des dommages sur le plan environnemental et économique. L'espèce a également été détectée au moins deux fois en Amérique du Nord, en Géorgie et dans l'État de Washington, mais ne semble pas s'y être établie.

SOURCE: Hansen, L., Xu, T., Wickham, J., Chen Y, Hao, D. Hanks, L.M. *et al.* 2015. Identification of a Male-Produced Pheromone Component of the Citrus Longhorned Beetle, *Anoplophora chinensis*. PLoS ONE 10(8): e0134358.

5 Mise à jour : Une variation génétique touchant les exigences thermiques associées à l'éclosion des œufs chez la spongieuse met en lumière la nécessité d'exercer une vigilance constante pour éviter une introduction accidentelle

La spongieuse, *Lymantria dispar*, est une espèce univoltine à l'échelle de son aire de répartition. Elle passe huit à neuf mois par année en diapause sous forme de larve mature à l'intérieur de l'œuf. Une fois les exigences de la diapause satisfaites, les œufs deviennent sensibles aux températures printanières, ce qui permet le synchronisme de l'éclosion des œufs et du débourrement des hôtes. Des variations touchant le moment de l'éclosion et le pourcentage d'œufs éclos après exposition à différentes températures et périodes de basse température ont été observées pour des populations de l'Extrême-Orient russe et des États-Unis (Keena, 1996). Les œufs des populations russes avaient moins besoin d'être exposés à une température basse pour que les exigences de la diapause soient satisfaites, ce qui leur permettait d'atteindre le stade post-diapause plus rapidement et d'éclore lorsqu'ils étaient exposés à des températures plus élevées. On se préoccupe du fait que les populations de spongieuse asiatiques pourraient toutes avoir des exigences réduites concernant le refroidissement des œufs pour l'interruption de la diapause, ce qui pourrait

augmenter les risques d'introduction et d'établissement de l'espèce.

Dans un article récent, Keen (2015) a évalué le mode de transmission des caractères liés à l'éclosion chez le *L. dispar* en croisant des populations presque fixées quant aux phénotypes extrêmes, dont une population nord-américaine ne comptant presque aucun œuf éclos après refroidissement pendant 60 jours à 5°C, une population russe dont plus de 80 % des œufs ont éclos après avoir été exposés aux mêmes conditions et une autre population russe non diapausante. Les caractères liés à l'éclosion, comme le nombre de jours avant la première éclosion, la durée de l'éclosion et le pourcentage d'éclosion, ont également été évalués pour les œufs provenant de 43 populations géographiques, établies notamment en Europe, en Chine, au Japon, en Russie et aux États-Unis.
Les résultats obtenus ont indiqué que le phénotype non diapausant était transmis par un seul gène récessif, alors que le phénotype ayant des exigences réduites concernant l'exposition à des températures basses avant l'éclosion était transmis par un seul gène dominant. On a observé que les caractères liés à l'éclosion variaient de façon considérable tant à l'intérieur des populations qu'entre elles lorsque les œufs des 43 populations étaient refroidis à 5 °C, puis incubés à 25 °C. Il s'agit sans doute d'une adaptation aux conditions climatiques locales, et la variation au sein d'une population constituerait une stratégie visant l'éclosion d'au moins une partie des œufs en même temps que l'apparition des feuilles chez les hôtes. Ces résultats soulignent la nécessité d'exercer une vigilance constante pour éviter les déplacements de populations à l'intérieur des pays et entre eux. Les allèles qui confèrent le phénotype non diapausant ou le phénotype ayant des exigences réduites concernant l'exposition à des températures basses ne sont pas présents dans toutes les populations. Par conséquent, leur introduction dans une nouvelle région pourrait entraîner une augmentation de la variation des caractères liés à l'éclosion des œufs dans une population ainsi que de la capacité de cette population de s'adapter à l'incertitude associée aux conditions environnementales. La possibilité de prévoir l'éclosion des œufs est également essentielle pour la synchronisation des programmes de lutte et la prédiction de la capacité des populations de s'adapter aux diverses conditions climatiques rencontrées en Amérique du Nord.

SOURCES : Keena, M.A. 1996. Comparison of hatch of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) eggs from Russia and the United States after exposure to different temperatures and durations of low temperature. Annals of the Entomological Society of America 89: 564-572.

Keena, M. A. 2015. Inheritance and World Variation in Thermal Requirements for Egg Hatch in *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidae). Environmental Entomology 1-10 (Advance Access), doi: 10.1093/ee/nvv163.

6 Nouveau traitement : Traitement de quarantaine novateur pour le raisin de table, faisant appel à la fumigation de formiate d'éthyle durant le refroidissement

Le formiate d'éthyle est une substance végétale volatile dont les propriétés insecticides ont été démontrées. Cette substance est naturellement présente dans divers produits, dont les huiles essentielles d'herbacées, la bière, le riz, le bœuf et le fromage, et sous forme de composantes volatiles des raisins et du vin. Un avantage important offert par l'utilisation de substances volatiles comme le formiate d'éthyle pour la fumigation est la très faible quantité de résidus laissés sur les produits traités (Simpson *et al.*, 2007).

Dans le cadre d'une étude récente réalisée par le Department of Agriculture and Food d'Australie-Occidentale, De Lima (2015) a évalué l'efficacité du formiate d'éthyle utilisé à basse température pour traiter des raisins de table. Les raisins ont été cueillis et placés directement dans des boîtes de polystyrène ventilées et refroidies à environ 20 °C pendant six à huit heures. On leur a ensuite appliqué 52,6 g m^{-3} de formiate d'éthyle + 21,6 % CO_2 pour lutter contre les ravageurs externes et les ravageurs à différents stades pouvant se trouver dans les fruits provenant d'Australie-Occidentale : premier, deuxième et troisième stades larvaires de la pyrale brun pâle de la pomme, veuve noire à dos rouge, larves de cochenille des serres, tétranyque à deux points adulte, *Thrips imaginis* (en anglais, plague thrips) et thrips des petits fruits. Le traitement de fumigation a été appliqué pendant 2,5 heures dans un contenant d'expédition réfrigéré à 15 °C. Le refroidissement s'est poursuivi à 1 et 2 °C pendant 16 et 18 jours, respectivement, pour simuler l'étape de désinsectisation par le froid utilisée dans la lutte contre les mouches des fruits de la région méditerranéenne et du Queensland. Les résultats ont montré que toutes les espèces avaient été tuées par ce procédé de fumigation et que la qualité optimale des raisins avait été préservée.

Cette étude fournit de nouvelles données sur l'application de formiate d'éthyle + CO_2 et la désinsectisation par le froid comme traitement de quarantaine pour l'accès au marché du raisin de table australien. Ce traitement novateur pourrait s'appliquer contre certains ravageurs au Canada, comme la pyrale brun pâle de la pomme, *Epiphyas postvittana*, qui est actuellement réglementée pour les raisins importés d'Australie.

SOURCES : De Lima C. P. F. 2015. Maintaining Table Grape Quality by Applying Quarantine Treatments during Cooling. *Acta Horticulturae* 1091: 55-61.

Simpson, T., Bikoba, V., Tipping, C. et Mitcham, E.J. 2007. Ethyl Formate as a Postharvest Fumigant for Selected Pests of Table Grapes. Journal of Economic Entomology 100(4): 1084-1090.

Botanique

7 Nouvelle technologie : Distinction de plantes aquatiques morphologiquement semblables grâce à des techniques moléculaires

Dans le cadre d'une nouvelle étude, des chercheurs ont utilisé des techniques moléculaires pour distinguer quatre espèces de plantes aquatiques qui sont morphologiquement semblables et sont difficiles à distinguer : l'hydrille verticillée (*Hydrilla verticillata* (L. f. Royle), l'élodée dense (*Egeria densa* Planch.), l'élodée du Canada (*Elodea canadensis* Michx.) et l'élodée de Nuttall (*Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John). Ces quatre espèces de macrophytes submergés de la famille des Hydrocharitacées sont envahissantes et posent des problèmes sur plusieurs continents. Elles se reproduisent par voie végétative, par fragmentation de la tige. Leurs feuilles, non divisées, sont disposées en verticilles, ce qui leur donne un aspect très similaire. L'Hydrille verticillée et l'élodée dense sont considérées comme des espèces envahissantes en Amérique du Nord, alors que l'élodée du Canada et l'élodée de Nuttall sont indigènes à l'Amérique du Nord mais envahissantes en Europe.

Les auteurs ont utilisé des techniques moléculaires pour élaborer un protocole simple, en se servant d'échantillons d'ADN séquencé comme référence

pour chaque espèce. Ils ont mis à l'essai et validé le protocole à l'aide d'échantillons de référence, de spécimens d'herbier et de spécimens vivants provenant de l'ensemble des États-Unis. Les auteurs ont utilisé une épreuve PCR (réaction en chaîne de la polymérase) et une paire d'amorces préalablement établie (ITS5[3] et 26S25R[3], ciblant la région ITS de l'ARNr nucléaire ITS1, 5.8srRNA, ITS2) pour distinguer l'hydrille des élodées au moyen de l'analyse de l'hétérogénéité de longueur des IGS amplifiés; ils ont suivi des étapes supplémentaires reposant sur l'analyse du polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP) pour distinguer l'élodée dense des deux espèces d'élodée indigènes, et pour distinguer les deux espèces indigènes entre elles. Parmi les 105 échantillons prélevés (y compris les échantillons de référence et les échantillons types), 83 ont produit de l'ADN amplifiable non contaminé, les meilleurs résultats ayant été obtenus avec les plantes congelées à l'état frais ou lyophilisées de façon à ce que leur couleur verte soit conservée. Les échantillons plus vieux qui étaient séchés et dépourvus de pigmentation verte étaient les plus susceptibles d'offrir un ADN dégradé. L'âge des échantillons correctement identifiés était variable, certains étant frais alors que d'autres avaient jusqu'à 40 ans environ. Il a fallu environ 4 heures pour identifier l'hydrille, et la réalisation des étapes de RFLP supplémentaires a exigé une journée de plus.

Les résultats de l'étude ont permis de mieux comprendre la répartition passée et présente de ces espèces en Amérique du Nord. Les erreurs d'identification de certains spécimens ont été corrigées, et les aires de répartition ont été révisées en conséquence. L'aire de répartition de l'élodée de Nuttall est ainsi plus grande qu'on le croyait, alors que celle de l'élodée du Canada est plus petite. L'hydrille est arrivée dans le fleuve Potomac et la baie de Chesapeake plus tôt qu'on le croyait, ce qui vient rectifier certaines hypothèses concernant la façon dont l'espèce aurait été introduite dans la région. Il apparaît que les deux biotypes d'hydrille se propagent vers le nord, vers la frontière canadienne. Des échantillons trouvés dans des magasins aux États-Unis montrent que l'élodée dense continue d'être vendue, malgré les restrictions réglementaires imposées dans certains États, et la présence d'un spécimen d'hydrille dans un étang décoratif où l'espèce n'avait pas été plantée offre un exemple de transport accidentel d'espèces envahissantes sur le marché des jardins aquatiques et des aquariums. Les auteurs ont souligné l'importance d'une bonne identification pour la réussite des plans de gestion des plantes aquatiques. La détection précoce, les mesures de lutte ciblées et la prévention de la propagation reposent sur l'identification rapide et exacte des espèces. Les techniques moléculaires telles que celles qui sont présentées pourraient être utilisées pour distinguer des espèces exotiques envahissantes comme l'hydrille et l'élodée dense des espèces indigènes, si ces espèces envahissantes devaient être réglementées au Canada ou faire l'objet de mesures de lutte à l'avenir.

SOURCES: Rybicki, N. B., Kirshtein, J. B. et Voytek, M. A. 2013. Molecular techniques to distinguish morphologically similar *Hydrilla verticillata*, *Egeria densa*, *Elodea nuttallii* and *Elodea canadensis*. Journal of Aquatic Plant Management 51: 94-102.

USGS 2014. Technical Announcement: New DNA tool helps scientists identify invasive species of aquatic plants. United States Department of the Interior / United States Geological Survey (USGS), Office of Communications and Publishing, Reston, VA. [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.usgs.gov/newsroom/article.asp?ID=3860#.VWeFFLGVlLM [consulté en 2015].

8 Nouvelle voie d'entrée : Le commerce électronique pourrait favoriser l'introduction de plantes envahissantes

Un article paru récemment dans la revue *Conservation Biology* signalait la possibilité que le commerce électronique favorise l'introduction de plantes envahissantes et proposait des mesures visant à accroître la biosécurité par l'identification des espèces envahissantes en ligne, avant qu'elles ne soient largement distribuées.

Les auteurs ont mis au point un logiciel automatisant des algorithmes de recherche et ont téléchargé de l'information sur toutes les plantes offertes sur le site eBay.com en se fondant sur une liste d'espèces végétales préétablie (Humair *et al.*, 2015). Ils ont choisi le site eBay.com, car il s'agit de l'un des marchés en ligne les plus importants au monde. Par ailleurs, la liste d'espèces végétales préétablie a été compilée à partir du site Web Global Flora et de la liste des espèces envahissantes (Invasive Species List). Des recherches ont été menées sur une période de 50 jours s'échelonnant de février à avril 2014, et l'emplacement des espèces offertes en ligne a été déterminé à l'aide de l'information figurant dans le champ indiquant le lieu où se trouve l'objet pour chaque offre.

L'étude a permis de dénombrer plus de 2 600 espèces de plantes en vente, dont plus de 500 espèces envahissantes. Parmi les 100 espèces de plantes les plus souvent offertes, 41 étaient envahissantes et 13 figuraient sur la liste des pires espèces exotiques envahissantes de la planète compilée par l'UICN (IUCN, 2014). Les plantes provenaient de nombreux pays et régions du monde, et la plupart des vendeurs précisaient qu'ils pouvaient expédier leurs produits dans le monde entier.

De nombreuses espèces végétales du monde entier reconnues comme nuisibles et envahissantes sont actuellement offertes chaque jour sur Internet. Des plantes envahissantes sont même mises en vente dans des pays qui sont considérés comme des chefs de file de la prévention dans ce domaine, comme l'Australie, les États-Unis et l'Europe. La présente étude met en lumière une lacune dans les mesures phytosanitaires préventives et souligne la nécessité de renforcer les mesures de biosécurité en ligne. La surveillance automatisée de certaines ventes aux enchères en ligne serait relativement simple à instaurer, mais l'élaboration d'un système couvrant l'ensemble du commerce électronique de plantes pourrait être plus complexe et nécessiter un travail de coordination entre des organismes de réglementation nationaux et régionaux (p. ex. UE). La Section des espèces exotiques envahissantes et des programmes nationaux de l'ACIA a reconnu que le commerce électronique constituait un enjeu prioritaire et travaille actuellement à ce dossier en collaboration avec les États-Unis, l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

SOURCES : Humair, F., Humair, L., Kuhn, F. et Kueffer, C. 2015. E-commerce trade in invasive plants. Conservation Biology. Volume 00(0): 1-8.

IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2014. 100 of the world's worst invasive alien species [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss [consulté en septembre 2015].

Biotechnologie

9 Gestion de la résistance des insectes : les relations prédateur-proie pourraient constituer un facteur important

L'ACIA exige l'établissement de plans de gestion de la résistance des insectes pour certains végétaux

qui présentent des caractères nouveaux empêchant leur consommation par des insectes, comme le maïs Bt. Les plans actuels de gestion de la résistance reposent en grande partie sur l'utilisation de plantes refuges non modifiées, qui permettent de maintenir une population d'insectes sensibles et de retarder le développement de populations d'insectes résistants. À mesure que les pratiques de gestion de la résistance sont mieux comprises, on se penche davantage sur la façon dont certains facteurs complexes peuvent influer sur l'évolution de la résistance chez les ravageurs ciblés. Ainsi, l'interaction des prédateurs avec leurs proies et les plantes cultivées peut avoir pour effet de retarder ou d'accélérer l'évolution de la résistance. Si les prédateurs choisissent des individus résistants comme proie, ils peuvent causer un ralentissement de l'évolution de la résistance au sein d'une population. Au contraire, s'ils choisissent des individus sensibles, ils peuvent accélérer l'évolution de cette résistance.

Liu *et al.* (2015) ont réalisé une étude afin d'évaluer l'effet du génotype des proies (sensible ou résistant) et de leur interaction avec le type de plante sur un prédateur, au cours de deux générations. Le système expérimental comprenait le brocoli exprimant la protéine Bt Cry1Ac, la fausse-teigne des crucifères, *Plutella xylostella*, (insecte ravageur mis en échec par la protéine Cry1Ac) et la coccinelle maculée, *Coleomegilla maculata*, (prédateur de la chenille de la fausse-teigne des crucifères). La coccinelle maculée n'a pas fait de distinction entre les plantes Bt et non Bt et n'a pas montré de préférence pour les chenilles résistantes ou les chenilles sensibles de la fausse-teigne des crucifères. On ne s'attendrait donc pas à ce que la coccinelle maculée ait une incidence directe sur l'évolution de la résistance chez les populations de fausse-teigne des crucifères.

Cependant, des études semblables réalisées en serre ont montré qu'en présence d'une culture refuge, la coccinelle maculée pouvait ralentir l'évolution de la résistance. Il faudra réaliser d'autres études sur le terrain au moyen de divers systèmes expérimentaux pour mieux évaluer les effets possibles des relations prédateur-proie sur la gestion de la résistance des insectes.

La consommation de proies ayant ingéré la protéine Cry1Ac n'a pas eu d'incidence sur la coccinelle maculée, ce qui confirme l'innocuité des cultures Bt pour les ennemis naturels. On peut utiliser des cultures Bt et des mesures de lutte biologique de façon synergique dans le cadre d'un programme de lutte intégrée pour lutter contre les ravageurs secondaires et réduire le recours aux insecticides. Il est possible qu'on puisse manipuler des prédateurs dans certains systèmes dans le but de retarder l'évolution de la résistance des ravageurs aux plantes présentant des caractères nouveaux.

SOURCE : Liu, X., Abro, G.H., Han, F., Tian, J., Chen, M., Onstad, D., Roush, R., Zhang, Q. et Shelton, A.M. 2015. Effect of Bt broccoli and resistant genotype of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on life history and prey acceptance of the predator *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae). Biological Control 91: 55-61.

10 Nouvelle technologie : Engouement pour les CRISPR

Dans la nature, les courtes répétitions palindromiques groupées et régulièrement espacées (en anglais, clustered regularly interspaced palindromic repeat, ou CRISPR) confèrent aux bactéries une immunité adaptative contre les pathogènes. Cette forme d'immunité a fait l'objet de nouveaux développements dans le domaine de la biotechnologie et se prête bien à la modification de séquences génomiques. Depuis 2013, on a utilisé les outils CRISPR-Cas9 pour

modifier le génome de dix plantes, notamment de plantes cultivées importantes comme le riz, le sorgho, la tomate, le tabac, le blé, le maïs et l'orange douce. On espère que le faible coût des outils CRISPR-Cas9 par rapport aux outils existants fondés sur les nucléases spécifiques de séquence (en anglais, sequence specific nucleases, ou SSN) et que la démocratisation de ces outils permettront d'améliorer des plantes cultivées comme le manioc, qui sont importantes dans les pays en développement.

L'engouement récent suscité par les outils CRISPR-Cas9 est dû à leurs caractéristiques. Premièrement, les nucléases spécifiques de séquence des outils CRISPR-Cas9 ciblent l'ADN à l'aide d'un ARN guide (ARNg), selon les règles d'appariement de Watson-Crick. En comparaison, d'autres nucléases spécifiques de séquence, comme les nucléases à doigt de zinc (ZFN) et les nucléases effectrices de type activateur de transcription (TALEN), font appel à des interactions avec l'ADN fondées sur des protéines, ce qui est plus coûteux et plus complexe. Deuxièmement, la technologie CRISPR-Cas9 n'exige aucun clonage, et de multiples locus génomiques peuvent être ciblés au cours d'une seule expérience. Ces deux caractéristiques améliorent grandement l'efficacité des programmes de modification du génome comparativement aux autres types de nucléases spécifiques de séquence. De plus, les outils CRISPR-Cas9 peuvent être utilisés pour réaliser des mutations insertion-délétion et introduire de l'ADN hétérologue provenant d'organismes éloignés. Enfin, contrairement aux nucléases à doigt de zinc, qui ont un caractère exclusif, la technologie CRISPR-Cas9 est libre d'accès. Diverses ressources sont également offertes en ligne : plasmide, outils de prédiction de la spécificité de l'ARNg, forums d'aide et de discussion, etc. Ces caractéristiques rendent le système CRISPR-Cas9 beaucoup moins coûteux à utiliser et plus facile à mettre en œuvre dans de nouveaux laboratoires que les autres outils fondés sur des nucléases spécifiques de séquence.

Pour ce qui est des applications de cette technologie, on peut imaginer des scientifiques mettant au point, en une seule génération, un manioc à faible teneur en glycoside cyanogène grâce à la disruption de tous les gènes intervenant dans la biosynthèse de cette substance. Ce serait possible en théorie avec les outils CRISPR-Cas9. Ce manioc aurait une plus grande valeur nutritive et entraînerait des coûts moindres après la récolte.

Reste à savoir comment les produits mis au point grâce aux outils CRISPR-Cas9 seront traités par les organismes de réglementation du monde entier. Lorsque ces outils sont utilisés à des fins de mutagénèse ciblée, les modifications du génome sont impossibles à distinguer de celles qui se produisent naturellement lorsqu'on améliore les végétaux, et les produits obtenus pourraient être réglementés de la même manière que les variétés obtenues par mutations chimiques. Si des séquences d'ADN hétérologue sont introduites, on peut imaginer que les produits végétaux seraient traités de manière similaire à d'autres produits issus des technologies de l'ADN recombinant. Comme le système de réglementation canadien est fondé sur les produits, nous sommes en bonne position pour aborder les produits issus de cette technologie remarquable.

SOURCES : Bortesi, L. et Fischer, R. 2015. The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. Biotechnology Advances 33(1): 41-52.

van der Oost, J., Westra, E., Jackson, R. et Wiedenheft, B. 2014. Unravelling the structural and mechanistic basis of CRISPR-Cas systems. Nature Reviews Microbiology 12: 479-492.

Voytas, D. et Gao, C. 2014. Precision genome engineering and agriculture: opportunities and regulatory challenges. PLoS Biology 12(6): e1001877.

Remerciements

Merci aux employés suivants de l'ACIA qui ont contribué à cette édition de Survol - science des végétaux : A. Ameen, B. Day, S. Gulden, A. Hitchon, W. Laviolette, D. Levac, S. Li, M. Mander, A. Sissons et C. Wilson.

AVERTISSEMENT : Le Survol - science des végétaux est un service d'information préparé par le personnel de l'ACIA à des fins personnelles et publiques non commerciales. Les points de vue et les opinions exprimés dans la présente ou dans les articles auxquels on fait référence sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'ACIA. Ni l'ACIA ni ses employés ne présument et n'offrent de garantie, expresse ou implicite, de quelque sorte que ce soit, et ne sont responsables de l'exactitude, de la fiabilité, de l'exhaustivité ou de l'utilité des informations, produits, processus ou matériels fournis par des sources externes et divulgués par ou dans le présent Survol - science des végétaux.

L'utilisateur qui s'appuie sur les renseignements, produits, procédés ou matériels fournis par des sources externes et divulgués par et dans le présent Survol - science des végétaux, le fait à ses propres risques. Le lecteur doit en tout temps vérifier les renseignements, produits, procédés ou matériels et consulter directement la source des renseignements, produits, procédés ou matériels, notamment avant d'agir ou de prendre une décision en s'appuyant sur ceux-ci.

Toute mention dans le Survol - science des végétaux d'un produit, processus ou service particulier par son nom commercial, sa marque de commerce, le nom du fabricant ou par toute autre façon ne constitue pas nécessairement ou implicitement son acceptation ou sa recommandation par l'ACIA.

DROITS D'AUTEUR ET DE REPRODUCTION : Le présent Survol - science des végétaux et tout renseignement, produit, processus ou matériel fournis par des sources externes et divulgués par ou dans le présent Survol - science des végétaux, sont protégés par la Loi sur le droit d'auteur, par les lois, les politiques et les règlements du Canada et des accords internationaux. Ces dispositions permettent d'identifier la source de l'information et, dans certains cas, d'interdire la reproduction du matériel sans permission écrite. Ceci est particulièrement vrai pour la reproduction du matériel fourni par des sources externes et divulgué par ou dans le présent Survol - science des végétaux, puisque certaines restrictions peuvent s'appliquer; il peut être nécessaire que les utilisateurs obtiennent la permission du détenteur des droits avant de reproduire le matériel.

Reproduction non commerciale : Le présent Survol - science des végétaux a été distribué de manière à ce qu'il soit rapidement et facilement utilisable à des fins personnelles et publiques non commerciales et qu'il puisse être reproduit, en tout ou en partie, de quelque façon que ce soit, sans frais et sans qu'il soit nécessaire d'obtenir la permission de l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Nous demandons seulement que :

- Les utilisateurs fassent preuve d'une diligence raisonnable en s'assurant de l'exactitude des documents reproduits;
- L'Agence canadienne d'inspection des aliments soit identifiée comme étant la source;
- La reproduction ne soit pas présentée comme la version officielle du matériel reproduit ni comme ayant été faite en association avec l'Agence canadienne d'inspection des aliments ou avec l'appui de l'Agence.

Reproduction commerciale : La reproduction en plusieurs copies du présent
Survol - science des végétaux, en tout ou en partie, à des fins de redistribution commerciale est interdite sauf avec la permission écrite de l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Pour obtenir la permission de reproduire le présent Survol - science des végétaux à des fins commerciales, veuillez communiquer avec :

Agence canadienne d'inspection des aliments
Survol - science des végétaux
Tour 1, étage 1, 1400, chemin Merivale
Ottawa ON
Canada K1A 0Y9
PSS-SSV@inspection.gc.ca