

Sensibilité de la pomme de terre aux pourritures de tiges provoquées par *Dickeya* spp.

Jérémie Rouffiange¹, David Gerardin², Isabelle Kellenberger³, Santiago Schaerer³ et Brice Dupuis³

¹Institut supérieur industriel agronomique Huy-Gembloux, 4500 Huy, Belgique

²UFR PEPS, Université de Haute Alsace, 68000 Colmar, France

³Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Brice Dupuis, e-mail: brice.dupuis@agroscope.admin.ch, tél. +41 22 363 47 48



Figure 1 | Vue d'ensemble de l'essai portant sur l'agressivité des isolats de *Dickeya* spp.
(Photo: J. Rouffiange)

Introduction

Les bactéries pectinolytiques qui affectent la pomme de terre sont responsables de nombreuses maladies, que ce soit au champ ou au stockage. Ces bactéries appartiennent aux genres *Pectobacterium* et *Dickeya*. On recense principalement quatre espèces pathogènes de la pomme de terre: *Pectobacterium atrosepticum*, *Pectobacterium carotovorum*, *Dickeya dianthicola* et '*Dickeya solani*' (Toth *et al.* 2011). '*Dickeya solani*' est présenté entre guillemets car le nom de cette espèce n'a pas encore été formellement entériné par la communauté scientifique (Toth *et al.* 2011). Leur répartition géographique est essentiellement liée aux conditions du milieu (exigences thermiques) et de la présence ou non des

hôtes sensibles tels que la pomme de terre. *P. atrosepticum* est présente dans les régions tempérées. Son développement est optimal entre 15 et 25 °C, tandis que *P. carotovorum* possède une gamme de températures plus large: entre 20 et 40 °C. *Dickeya* spp. sont issues de climats tropicaux, subtropicaux ou tempérés chauds. Son optimum de température se situe entre 25 et 40 °C et peut donc développer des symptômes durant les périodes chaudes dans des climats plus tempérés d'Europe occidentale (Hélias et Gaucher 2007; Pasco *et al.* 2005). De plus, les populations varient en fonction des conditions d'humidité du milieu. Elles sont globalement faibles dans les sols secs et nombreuses lorsque les conditions sont humides ou si les sols sont irrigués (Pérembelon et Lowe 1974).

Les symptômes aériens causés par *Dickeya* spp. diffèrent de ceux causés par *P. atrosepticum* (Toth *et al.* 2011), *P. carotovorum* ne provoquant pas de symptômes aériens sur pommes de terre (Bartz et Kelman 1984), sauf cas exceptionnels (observations personnelles, suite à des dégâts de grêle) ou à la présence de souches virulentes (Johan Van Vaerenbergh, communication personnelle).

En cas d'infection par *Dickeya* spp., les symptômes de pourriture peuvent apparaître plus haut dans la plante alors que la base de la tige reste saine (fig. 2; Laurila *et al.* (2010). Les symptômes aériens typiques résultant de la présence de *P. atrosepticum* sont, quant à eux, des lésions imbibées d'eau et une pourriture brun foncé sur les parties les plus basses de la tige (fig. 3; Laurila *et al.* 2010). Toutefois, l'expression de ces symptômes est très variable et l'identification du pathogène nécessite une analyse au laboratoire. En conditions sèches, *Dickeya* spp. développent moins de pourritures de tiges que *P. atrosepticum*. Par contre, si les températures sont élevées, *Dickeya* spp. développent plus de pourritures au niveau du tubercule qui ne s'étendent pas de manière systématique aux stolons et à la tige (Toth *et al.* 2011). Sur 718 échantillons de plantes malades prélevés en Suisse (tiges et tubercules) entre 1986 et 2010, en moyenne 66 % de *Dickeya* spp. et 34% de *Pectobacterium* spp. ont été isolés (Cazelles et Schwaerzel 1992; Dupuis *et al.* 2010). La présente étude se concentre donc sur l'étude des symptômes aériens provoqués par *Dickeya* spp.

Résumé

Dickeya dianthicola et '*Dickeya solani*' sont les bactéries qui posent le plus de problèmes en production de plants de pommes de terre en Suisse. Elles provoquent au champ des symptômes de pourritures aériennes de tiges communément appelées jambes noires. L'étude présentée ici a deux objectifs principaux: d'une part étudier la sensibilité à *Dickeya* spp. des variétés Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda et Lady Claire, et d'autre part, étudier l'agressivité de trois isolats de *D. dianthicola* et trois isolats de '*D. solani*' sur la variété Agria. Pour cela, des essais en pots ont été mis en place en serre. La variété Agria semble plus sensible au développement de pourriture de tiges que les autres variétés testées. Les isolats les plus agressifs de '*D. solani*' ne sont pas plus virulents que les isolats de *D. dianthicola* les plus agressifs testés. L'agressivité des isolats de *D. dianthicola* semble plus variable que celle des '*D. solani*'. Enfin, le risque de développement de symptômes sur les tiges lié aux isolats de *Dickeya* spp. semble plus important que celui lié à la variété. En effet, la variété la plus sensible développe six fois plus de symptômes que la variété la moins sensible, tandis que l'isolat le plus agressif développe 40 fois plus de symptômes que l'isolat le moins agressif.



Figure 2 | Symptômes causés par *Dickeya* spp. (Photo: G. Riot)



Figure 3 | Symptômes causés par *Pectobacterium atrosepticum*. (Photo: B. Dupuis)

Concept de lutte intégrée contre les bactéries pectinolytiques dans la production de pommes de terre

Dans le cadre d'un projet international (2010-2014) est développé un concept de lutte intégrée contre *Dickeya* spp., *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* et *Pectobacterium atrosepticum*. Ce projet est supporté par la Commission pour la technologie et l'innovation CTI.

Les objectifs du projet:

- Développer une méthode d'analyse de routine des infections latentes des tubercules lors du processus de certification des plants de pomme de terre.
- Identifier et quantifier les principaux facteurs responsables de la contamination des lots de pomme de terre.
- Développer un concept de lutte intégrée en collaboration avec les représentants de tous les niveaux de la branche de la pomme de terre.

Partenaires du projet:

- Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL – Zollikofen (direction du projet pour la Suisse)
- Agroscope Changins-Wädenswil ACW - Changins
- BIOREBA AG - Reinach
- Swissem, organisation faitière des multiplicateurs de semences de toute la Suisse
- Swisspatat, organisation de la branche, resp. de l'économie de la pomme de terre
- Institut national de la recherche agronomique INRA - Rennes (direction du projet pour la France)
- Groupement national interprofessionnel des semences et plants (GNIS)
- Fédération nationale des producteurs de plants de pomme de terre (FN3PT)

Une fois que la bactérie est présente dans le tubercule mère, celle-ci peut être directement transportée vers les tiges, stolons et tubercules fils par le biais de l'eau mise en mouvement dans le système vasculaire par le phénomène d'évapotranspiration (Czajkowski *et al.* 2010). Si l'inoculum est présent dans le sol, l'infection peut également se faire par les racines et se propager ensuite vers la tige via le système vasculaire de la plante (Czajkowski *et al.* 2009; Helias *et al.* 2000a, 2000b). Dans un premier

temps, des symptômes de flétrissement et de chlorose du feuillage peuvent apparaître, principalement en conditions sèches (Czajkowski *et al.* 2010; Laurila *et al.* 2010), laissant supposer une obstruction partielle du système vasculaire par les bactéries. Dans un second temps, si les conditions sont humides, ces symptômes peuvent évoluer en pourritures de tiges résultant de la dégradation des tissus vasculaires par les enzymes pectinolytiques produits par les bactéries (Czajkowski *et al.* 2010; Laurila *et al.* 2010).

Les différences d'expression des symptômes de jambe noire entre variétés peuvent être expliquées à l'aide de plusieurs hypothèses. Premièrement, ces différences peuvent être dues à la subérisation des lenticelles du tubercule mère. Ces lenticelles sont des portes d'entrée pour les infections par *Dickeya* spp. (Pérembelon et Lowe 1974; Scott *et al.* 1996). Toutefois, elles présentent plusieurs couches de cellules imprégnées de subérine qui agissent comme barrières contre la pénétration des bactéries et l'épaisseur de ces couches varie d'une variété à l'autre (Scott *et al.* 1996). Il a été prouvé que l'activité des enzymes pectinolytiques dépend du degré d'estérification des pectines des parois cellulaires (Pagel et Heitefuss 1990), ce degré pouvant varier d'une variété à l'autre (McMillan *et al.* 1993). La quantité importante de pectate de calcium présente dans les parois des cellules ou encore une faible concentration d'ions calciques libres pourrait également expliquer la sensibilité des variétés (McGuire et Kelman 1984; Pagel et Heitefuss 1990). Enfin, les différences de sensibilité variétale peuvent être liées à une production variable d'inhibiteurs de protéases et de phytoalexines au niveau de la tige (Yang *et al.* 1992). Toutefois, si les mécanismes de résistance sont connus, il existe actuellement peu de données concernant la sensibilité des variétés face à *Dickeya* spp. du point de vue du développement de symptômes aériens (Toth *et al.* 2011).

Des différences d'agressivité entre isolats ont également été observées. De manière générale, '*D. solani*' cause des dégâts plus importants que *D. dianthicola* (Toth *et al.* 2011). Son développement peut se faire aussi bien à basse ou haute température (>39 °C) et sa température optimale de croissance est plus élevée que celle de *D. dianthicola* (Czajkowski *et al.* 2012; Tsror *et al.* 2009). Dans le cadre d'un projet de lutte intégrée contre la maladie de la jambe noire (encadré), nous nous sommes focalisés sur l'importance, dans l'interaction plante-pathogène, de la sensibilité variétale de la pomme de terre et de l'agressivité de l'isolat bactérien.

La première partie de cette étude vise à identifier d'éventuelles différences de sensibilité variétale parmi les principales variétés de pommes de terre cultivées en

Suisse. Dans la seconde partie, l'agressivité de plusieurs isolats de *Dickeya* spp. est testée sur la variété de pomme de terre la plus cultivée en Suisse, Agria (Swisspatat 2013).

Matériel et méthodes

Deux essais distincts ont été réalisés.

Le premier essai (A) porte sur la sensibilité variétale de six variétés: Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda et Lady Claire. Cet essai est mené en serre et a été répété deux fois (essais A1 et A2). Vingt tubercules de chaque variété sont inoculés par trempage avec l'isolat *Dickeya dianthicola* 8823 à la concentration 10^6 ufc/ml et chaque tubercule est ensuite planté en pot. Pour chaque variété, 20 plants servent de témoin et sont trempés dans de l'eau.

Le second essai (B), porte sur l'agressivité des isolats de *Dickeya* spp. Pour cet essai, six isolats de bactéries sont testés sur la variété de pommes de terre Agria à une concentration de 10^6 ufc/ml: *Dickeya dianthicola* 980, *Dickeya dianthicola* 8823, *Dickeya dianthicola* 12, '*Dickeya solani*' 2222, '*Dickeya solani*' 05026 et '*Dickeya solani*' 07044. Cet essai a également été mené en serre et répété à deux reprises (essais B1 et B2), 20 pots sont mis en place pour chacun des isolats ainsi que pour le témoin (fig. 1). L'inoculation des plants se déroule sur une période de 48 h et en 4 étapes: trempage dans l'eau pendant deux heures, ouverture des lenticelles pendant 22 heures (humidité relative proche de 100 % à 25 °C), trempage dans la suspension bactérienne pendant 12 heures et séchage pendant 12 heures. Cette méthode présente l'avantage de permettre l'inoculation d'un grand nombre de tubercules en un temps relativement court.

Dès l'apparition des premiers symptômes de jambe noire, deux observations par semaine sont effectuées. A chaque observation, le pourcentage de tiges infectées est calculé. Enfin, un calcul de l'aire sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC.rel) est effectué

(Bonierbale *et al.* 2007). Nous avons utilisé la transformation angulaire afin que les données de pourcentages de tiges infectées satisfassent aux conditions d'application de l'analyse de la variance (ANOVA) (Dagnelie 1975).

Le logiciel Statistica (Statsoft, Tulsa, USA) est utilisé pour l'analyse statistique. Pour chaque essai, une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs est réalisée. Le premier facteur correspond à la répétition de l'essai dans le temps. Le second facteur est la variété pour le premier essai et l'isolat de *Dickeya* spp. pour le deuxième essai. L'interaction entre les deux facteurs est également testée. S'il y a présence d'une différence significative ($p < 0,05$), un test de Newman-Keuls (comparaison de moyennes) s'ajoute à l'analyse.

Résultats

Essai A: sensibilité variétale

Les plantes des pots témoins n'ont pas développé de pourritures des tiges. Cela indique que les lots de tubercules utilisés sont sains et exclut tout développement de symptômes issus d'infections naturelles dans l'expérience.

Après analyse de l'aire sous la courbe de développement de la maladie (AUDPC.rel; fig. 4), aucune différence de sensibilité variétale n'est observée ($p > 0,05$). Ceci nous indique que, si l'on considère l'ensemble de la durée de l'essai, les différences d'expression de symptômes entre variétés sont trop faibles pour être détectées. Par contre, si l'on observe les courbes de développement des symptômes au cours du temps (fig. 4), on remarque que certaines variétés développent leurs symptômes tardivement, c'est particulièrement le cas d'Agria dans l'essai A2 (fig. 4). Ce développement tardif des symptômes aura peu d'influence sur l'aire sous la courbe (AUDPC.rel) mais générera des différences importantes entre variétés pour les dernières observations de l'essai. C'est pourquoi les écarts les plus impor-

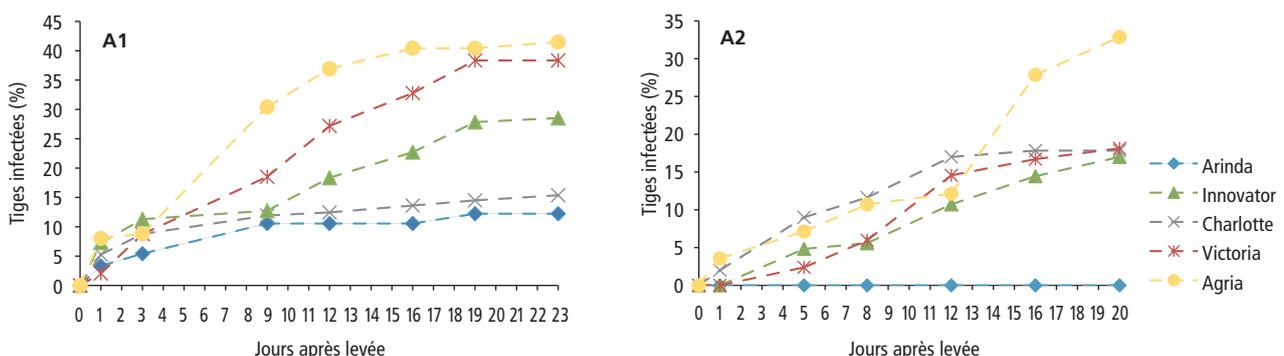


Figure 4 | Evolution du pourcentage de tiges présentant des symptômes de pourritures aériennes dans les essais A1 et A2 d'étude de la sensibilité des variétés à *Dickeya* spp.

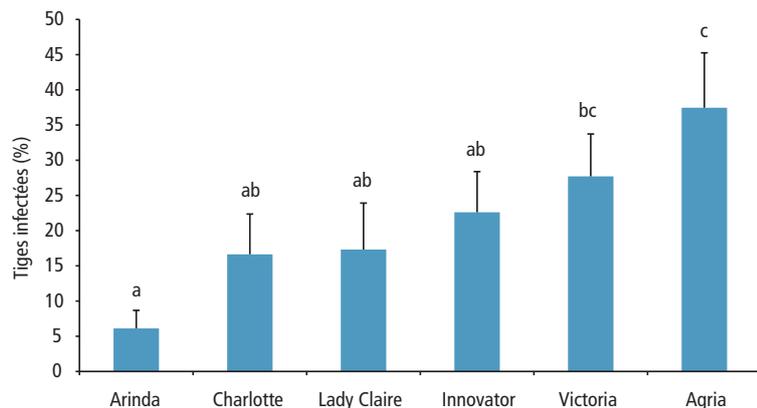


Figure 5 | Pourcentage maximum de tiges infectées par variété (moyennes des essais A1 et A2). La variabilité est représentée par l'erreur standard et les groupes d'homogénéité sont représentés par des lettres minuscules au sommet des barres d'erreur.

tants entre la variété la plus et la moins sensible sont obtenus le dernier jour d'observations (fig. 5), respectivement 23 jours après levée pour l'essai A1 et 20 jours après levée pour l'essai A2. L'ANOVA réalisée sur ces données permet de mettre en évidence des différences de sensibilité entre variétés ($p < 0,001$). En revanche, aucune interaction entre l'essai et les variétés testées n'a été observée ($p > 0,05$).

Agria s'est montrée en moyenne six fois plus sensible qu'Arinda, avec 37,4 % de tiges infectées contre 6,1 % pour Arinda. Entre ces deux extrêmes, on trouve Charlotte (16,6 % de tiges infectées) et Lady Claire (17,3 %), ainsi qu'Innovator (22,6 %) et Victoria (27,7 %) (fig. 5).

Essai B: agressivité des isolats

Lorsqu'on analyse les données d'AUDPC.rel, on observe une différence d'agressivité entre les isolats de *Dickeya* spp. testés ($p < 0,001$).

Cependant, une interaction entre la variété et la répétition de l'essai est apparue ($p < 0,001$). L'isolat *D. dianthicola* 8823 semble être responsable de cette

interaction car lorsqu'on le soustrait de l'ANOVA, l'interaction disparaît ($p > 0,05$). Cet isolat a en effet développé significativement moins de symptômes dans l'essai B1 que dans l'essai B2 (fig. 6). La différence observée pourrait avoir pour origine une mauvaise conservation de l'échantillon de la souche utilisée dans le cadre de l'essai B1. Cet isolat ne sera donc plus pris en compte dans l'analyse statistique.

Si, comme pour l'essai de sensibilité variétale, on analyse les données correspondant au jour où les écarts entre isolats sont les plus importants (15 jours après levée), on observe également des différences significatives entre isolats ($p < 0,001$). Les isolats *D. dianthicola* 980, '*D. solani*' 2222 et *D. dianthicola* 05026 sont moins agressifs que '*D. solani*' 07044 et *D. dianthicola* 12 (fig. 7). La différence d'agressivité entre isolats d'une même espèce est plus grande pour les isolats de *D. dianthicola* (*D. dianthicola* 12 est 40 fois plus agressive que *D. dianthicola* 980) comparée aux isolats de '*D. solani*' ('*D. solani*' 07044 est six fois plus agressive que '*D. solani*' 2222).

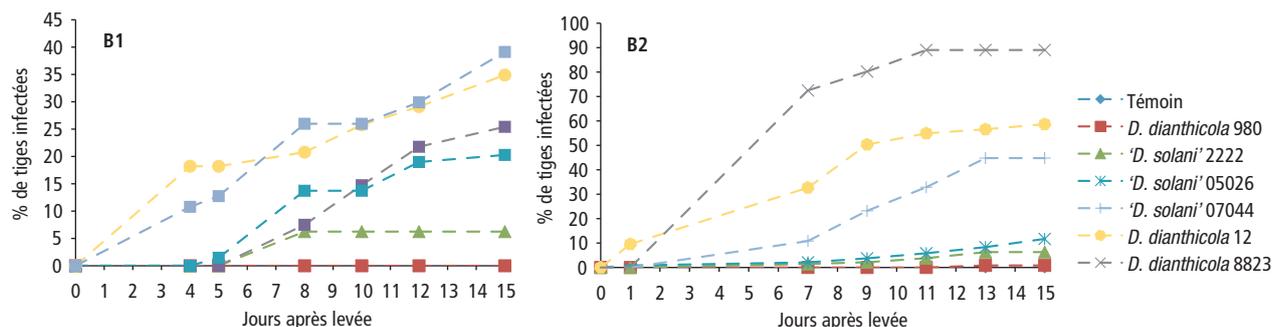


Figure 6 | Essai B1 et B2: évolution du pourcentage de tiges présentant des symptômes de pourritures aériennes dues aux différents isolats testés.

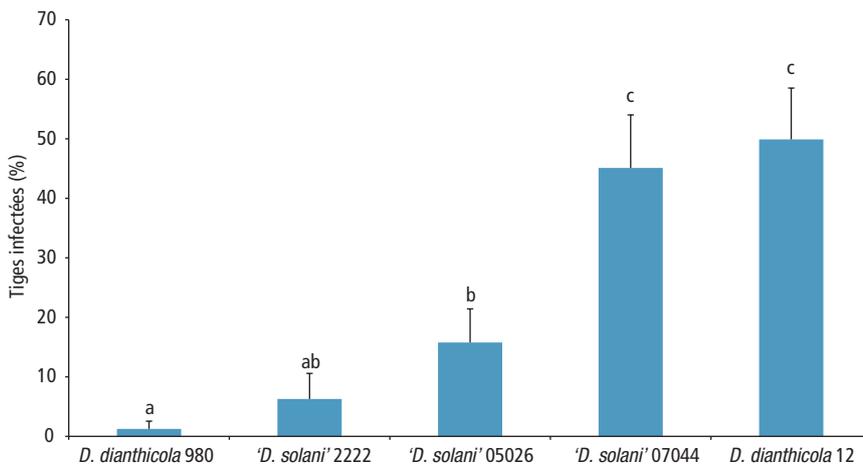


Figure 7 | Pourcentage maximum de tiges infectées par isolat (moyennes des essais B1 et B2). La variabilité est représentée par l'erreur standard et les groupes d'homogénéité sont représentés par des lettres minuscules au sommet des barres d'erreur.

Discussion

Cet essai a permis de démontrer l'existence de différences de sensibilité variétale au développement de jambe noire provoquée par *Dickeya* spp. La variété qui apparaît la plus sensible à cette maladie est également la variété la plus cultivée en Suisse. En effet, en 2012, 22 % des surfaces de pommes de terre étaient plantées avec la variété à frites Agria. Victoria et Innovator, également des variétés à frites, représentent quant à elles respectivement 6 et 7 % des surfaces de pommes de terre produites en Suisse. Si Innovator apparaît moins sensible qu'Agria (40 % de tiges infectées en moins), Victoria s'avère aussi sensible que cette dernière. Les variétés Charlotte et Lady Claire figurent parmi les variétés les moins sensibles testées dans ces essais. Charlotte est la première variété à chair ferme produite en Suisse avec 14 % des surfaces plantées et Lady Claire la première variété type «chips» avec 4 % des surfaces de pommes de terre cultivées en Suisse (Hebeisen *et al.* 2012; Swisspatat 2013).

Les essais ont également mis en évidence des différences d'agressivité entre les isolats de *Dickeya* spp. Contrairement à ce que mentionne la littérature (Toth *et al.* 2011), les isolats de '*D. solani*' ne sont pas systématiquement plus virulents que les isolats de *D. dianthicola*. En effet, parmi les souches les plus agressives étudiées dans ces essais, on trouve à la fois des isolats de *D. dianthicola* et de '*D. solani*'. On observe par ailleurs une agressivité beaucoup plus variable au sein des isolats de *D. dianthicola* comparé aux isolats de

'*D. solani*'. Cette différence peut s'expliquer par le fait que '*D. solani*' apparaît comme étant «clonal», c'est-à-dire avec une variabilité génétique plus restreinte que *D. dianthicola* (Bourget 2012; Czajkowski *et al.* 2012; Pritchard *et al.* 2012). Cette variabilité génétique plus importante observée chez les isolats de *D. dianthicola* pourrait également concerner les gènes impliqués dans les mécanismes de développement des pourritures, ce qui expliquerait les importantes différences d'agressivité observées.

Enfin, en comparant les résultats obtenus dans le cadre des essais de sensibilité variétale et d'agressivité d'isolats, on constate que les différences d'agressivité sont beaucoup plus importantes entre isolats qu'entre variétés. En effet, si on se réfère au pourcentage de pourriture maximal obtenu, la variété la plus sensible développe six fois plus de symptômes sur tiges que la variété la moins sensible, tandis que l'isolat le plus agressif développe 40 fois plus de symptômes sur tiges que l'isolat le moins agressif. Ceci indique que le risque variétal de développement de symptômes est inférieur au risque lié à l'isolat de bactérie.

Cette étude ouvre différentes perspectives. D'une part, il serait pertinent de savoir si la réponse des variétés et des isolats est équivalente dans le cadre d'essais menés au champ. D'autre part, il serait également intéressant de déterminer s'il existe une interaction entre la variété et l'agressivité des isolats. Les résultats présentés ci-dessus permettent d'identifier les bonnes variétés et les meilleurs isolats candidats pour ce type d'étude d'interaction. ➤

Conclusions

Il va de soi que le producteur ne choisit pas le type d'isolat bactérien qui contamine son lot de plants. Il a cependant une certaine influence sur le choix de la variété de pomme de terre qu'il cultive. Il peut alors tenter de diminuer le risque de refus de lot lors des visites de culture par une prise en compte de la sensibilité des variétés aux pourritures de tiges provoquées par *Dickeya* spp. Si les résultats de sensibilité variétale obtenus par des essais

au champ devaient être comparables aux résultats obtenus en serre, ces derniers représenteraient une alternative plus rapide et moins coûteuse pour déterminer la sensibilité des variétés aux *Dickeya* spp. ■

Remerciement

Les auteurs tiennent à remercier Swissem, Swisspatat, Bioreba et la Commission pour la Technologie et l'Innovation CTI qui ont contribué au financement de cette étude, ainsi que Andreas Keiser et Patrice De Werra de la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) pour leurs commentaires avisés lors de la rédaction de cet article.

Bibliographie

- Bartz J. & Kelman A., 1984. Infiltration of lenticels of potato tubers by *Erwinia carotovora* pv. *carotovora* under hydrostatic pressure in relation to bacterial soft rot. *The American Phytopathological Society* **69** (1), 69–74.
- Bonierbale M., de Haan S. & Forbes A., 2007. Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones. An International Cooperators' Guide. I. P. C. (CIP). International Potato Center (CIP), Lima. 126 p.
- Bourget D., 2012. Pectobactérium et *Dickeya*: Un point européen sur l'évolution des souches. *Potato Planet Mai* **2012**.
- Cazelles O. & Schwaerzel R., 1992. Enquête sur les bactérioses causées par *Erwinia* dans les cultures de plants de pommes de terre en Suisse romande. *Revue suisse Agric.* **24** (4), 215–218.
- Czajkowski R., van Veen J. A. & van der Wolf J. M., 2009. New biovar 3 *Dickeya* spp. strain (syn. *Erwinia chrysanthemi*) as a causative agent of blackleg in seed potato in Europe. *Phytopathology* **99** (6), 134–142.
- Czajkowski R., de Boer W. J., Velvis H. & van der Wolf J. M., 2010. Systemic Colonization of Potato Plants by a Soilborne, Green Fluorescent Protein-Tagged Strain of *Dickeya* sp Biovar 3. *Phytopathology* **100** (2), 134–142.
- Czajkowski R., de Boer W. J., Van der Zouwen P. S., Kastelein P., Jafra S., De Haan E. G., Van den Bovenkamp G. W. & Van der Wolf J. M., 2012. Virulence of *Dickeya solani* en *Dickeya dianthicola* biovar-1 end -7 strains on potato (*Solanum tuberosum*). *Plant Pathology* **62**, 597–610.
- Dagnelie P., 1975. Théorie et méthodes statistiques. Band 2. Les Presses Agronomiques de Gembloux ASBL, Gembloux. 363 p.
- Dupuis B., Schaerer S., Gilliland H. & Cazelles O. (2010) *The Dickeya and Pectobacterium situation in Switzerland*. in *Dickeya Workshop*, in Emmeloord, The Netherlands.
- Hebeisen T., Ballmer T., Musa T., Torche J. M. & Schwarzel R., 2013. Liste suisse des variétés de pommes de terre. *Recherche Agronomique Suisse* **3** (11–12), 1–8.
- Hélias V., Andrivon D. & Jouan B., 2000a. Development of symptoms caused by *Erwinia carotovora* ssp *atroseptica* under field conditions and their effects on the yield of individual potato plants. *Plant Pathology* **49** (1), 23–32.
- Hélias V., Andrivon D. & Jouan B., 2000b. Internal colonization pathways of potato plants by *Erwinia carotovora* ssp *atroseptica*. *Plant Pathology* **49** (1), 33–42.
- Hélias V. & Gaucher D., 2007. *Erwinia*, un risque phytosanitaire toujours d'actualité. La pomme de terre française Mars 2007.
- Laurila J., Hannukkala A., Nykyri J., Pasanen M., Helias V., Garland L. & Pirhonen M., 2010. Symptoms and yield reduction caused by *Dickeya* spp. strains isolated from potato and river water in Finland. *European Journal of Plant Pathology* **126** (2), 249–262.
- McGuire G. & Kelman A., 1984. Reduced severity of *Erwinia* soft rot in potato tubers with increased calcium content. *Phytopathology* **74**, 1250–1256.
- McMillan G. P., Hedley D., Fyffe L. & Perombelon M. C. M., 1993. Potato resistance to soft rot *Erwinias* is related to cell-wall pectin esterification. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **42** (4), 279–289.
- Pagel W. & Heitefuss R., 1990. Enzyme activities in soft rot pathogenesis of potato tubers – Effects of calcium, pH and degree of pectin esterification on the activities of polygalacturonase and pectate lyase. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **37** (1), 9–25.
- Pasco C., Andrivon D., Bozec M. & Ellisèche D., 2005. Pourritures molles dues aux *Erwinia*. *Pomme de Terre Magazine* Septembre 2005.
- Pérebelon M. C. M. & Lowe R., 1974. Studies on the initiation of bacterial soft rot in potato tubers. *Potato Research* **18**, 64–82.
- Pritchard L., Humphris S., Saddler G., Parkinson N. M., Bertrand V., Elphinstone J. G. & Toth I. K., 2013. Detection of phytopathogens of the genus *Dickeya* using a PCR primer prediction pipeline for draft bacterial genome sequences. *Plant Pathology* **62** (3), 587–596.
- Scott R. I., Chard J.M., Hocart M.J., Lennard J.H. & Graham D.C., 1996. Penetration of potato tuber lenticels by bacteria in relation to biological control of blackleg disease. *Potato Research* **39**, 333–344.
- Swisspatat, 2013. Surface par variété 2012. Swisspatat. Accès: [http://www.kartoffel.ch.\[8.7.2013\]](http://www.kartoffel.ch.[8.7.2013])
- Toth I. K., van der Wolf J. M., Saddler G., Lojkowska E., Helias V., Pirhonen M., Tsrör L. & Elphinstone J. G., 2011. *Dickeya* species: an emerging problem for potato production in Europe. *Plant Pathology* **60** (3), 385–399.
- Tsrör L., Erlich O., Lebiush S., Hazanovsky M., Zig U., Slawiak M., Grabe G., van der Wolf J.M. & van de Haar J. J., 2009. Assessment of recent outbreaks of *Dickeya* sp (syn. *Erwinia chrysanthemi*) slow wilt in potato crops in Israel. *European Journal of Plant Pathology* **123** (3), 311–320.
- Yang Z., Cramer C. L. & Lacy G. H., 1992. *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* pectic enzymes – In planta gene activation and roles in soft rot pathogenesis. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **5** (1), 104–112.

Riassunto**Sensibilità della patata ai marciumi dello stelo provocati da *Dickeya* spp.**

Dickeya dianthicola e '*Dickeya solani*' sono i batteri che causano la maggior parte dei problemi nella produzione di piante di patate in Svizzera. Essi provocano in campo dei sintomi di marciumi aerei degli steli comunemente chiamati gambe nere. Lo studio qui presentato ha due obiettivi principali: da un lato studiare la sensibilità a *Dickeya* spp. delle varietà Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda e Lady Claire e dall'altro di studiare l'aggressività di tre isolati di *D. dianthicola* e di tre isolati di '*D. solani*' sulla varietà Agria. A questo scopo si sono condotte delle prove in vaso sotto serra. La varietà Agria sembra essere più sensibile allo sviluppo di marciume degli steli delle altre varietà testate. Gli isolati più aggressivi di '*D. solani*' non risultano essere più virulenti di quelli più aggressivi testati di *D. dianthicola*. Infine, il rischio di sviluppo di sintomi sugli steli legati agli isolati di *Dickeya* spp. sembra più importante di quello legato alla varietà. In effetti, la varietà più sensibile sviluppa sei volte più sintomi della varietà meno sensibile, mentre l'isolato più aggressivo sviluppa 40 volte più sintomi dell'isolato meno aggressivo.

Summary**Potato susceptibility to aerial stem rot caused by *Dickeya* spp.**

Dickeya dianthicola and '*Dickeya solani*' are the most problematic bacteria in the Swiss seed-potato production. They are responsible for aerial stem rot symptoms in the field, usually named «blackleg». This study has two main objectives. On the one hand, to study the susceptibility of five cultivars, namely Agria, Victoria, Charlotte, Innovator, Arinda and Lady Claire, to *Dickeya* spp. On the other hand, to study the aggressiveness of three *D. dianthicola* and 3 '*D. solani*' isolates on the cultivar Agria. Trials using plants in pots were managed in the greenhouse to achieve both objectives. Agria appears to be the most susceptible cultivar to *Dickeya* spp. The most virulent '*D. solani*' are not more aggressive than the most virulent *D. dianthicola* isolates tested. The aggressiveness of the *D. dianthicola* isolates seems to be more variable compared to that of the '*D. solani*' isolates. Finally, the risk of developing stem rots appears to be more closely correlated to the isolate used than to the cultivar tested. Indeed, the most susceptible cultivar presents a six-fold increase in symptoms, compared to the least susceptible one, while the most aggressive isolate causes a 40-fold increase in symptoms, compared to the least aggressive one.

Key words: *Dickeya*, blackleg, potato, aerial stem rot, *Pectobacterium*.