



Projekt: Konzept zur integrierten Bekämpfung der pektinolytischen Bakterien in der Kartoffelproduktion

Andreas Keiser, Patrice de Werra und Floriane Bussereau (HAFL Zollikofen) und Brice Dupuis, Santiago Schaefer und Elena Dubois Gill (Agroscope Changins-Wädenswil)

Die pektinolytischen Bakterien (*Dickeya spp.* (Dsp), *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Pcc), *Pectobacterium atrosepticum* (Pa)) verursachen grosse Schäden und ökonomische Verluste in der Kartoffelproduktion. In einem internationalen Projekt (2010-2014) unter der Leitung der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) wird in Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Kartoffelbranche, der Forschungsanstalt Agroscope Changins, der Firma BIOREBA AG, sowie der INRA Rennes und der französischen Kartoffelbranche ein Konzept für eine optimierte integrierte Bekämpfung erarbeitet werden.

Integrierte Bekämpfung über die gesamte Wertschöpfungskette

Mit dem Ziel einer integrierten Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit auf den verschiedenen Stufen der



Schwarzbeinigkeit | jambe noire

Projet : concept de lutte intégrée contre les bactéries pectinolytiques dans la production de pommes de terre

Andreas Keiser, Patrice de Werra et Floriane Bussereau (HAFL Zollikofen) et Brice Dupuis, Santiago Schaefer et Elena Dubois Gill (Agroscope Changins-Wädenswil)

Les bactéries pectinolytiques (*Dickeya spp.* (Dsp), *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Pcc), *Pectobacterium atrosepticum* (Pa)) provoquent des dégâts importants aux cultures de pommes de terre, causant ainsi des pertes économiques considérables pour cette branche de production. Dans le cadre d'un projet international (2010-2014) sous la direction de la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL), est élaboré, avec le partenariat de l'organisation faîtière suisse de la pomme de terre, la station de recherches Agroscope Changins-Wädenswil, l'entreprise BIOREBA AG, ainsi que l'INRA de Rennes et la branche française de la production de pommes de terre, un concept de lutte intégrée et optimisée.

Lutte intégrée dans l'ensemble de la chaîne de valorisation

Le but du projet est l'élaboration d'une méthode de lutte intégrée contre la maladie de la jambe noire aux différentes étapes de la production. La répartition du travail est la suivante :

- Détection et importance de l'infection latente des plants pour le développement de la maladie (HAFL, INRA Rennes, BIOREBA AG).
 - Mise au point d'une méthode de détermination systématique des infections latentes des plants.
 - Détermination de l'importance des infections latentes et des facteurs locaux sur le développement de la maladie.
- Monitoring des bactéries existantes (Agroscope, HAFL).
 - Analyse d'échantillons (tiges et tubercules) en Suisse et détermination de l'espèce bactérienne infectieuse.
- Identification et quantification des facteurs de risque les plus importants pour la contamination des lots de pommes de terre (Agroscope).
 - Sensibilité variétale, agressivité des souches bactériennes et facteurs environnementaux.
 - Développement d'un concept de lutte intégrée en collaboration avec les représentants de tous les niveaux de la branche (HAFL, Agroscope et la branche de production).

Produktion ist das Projekt in die folgenden Arbeitsschritte unterteilt:

- Nachweis und Bedeutung des Pflanzgutbefalls für die Krankheitsentwicklung(HAFL, INRA Rennes, BIOREBA AG)
 - Entwicklung einer Methode für den routinemässigen Nachweis des latenten Pflanzgutbefalls
 - Untersuchung der Bedeutung des Pflanzgutbefalls und der Standortfaktoren für die Krankheitsentwicklung
- Monitoring der auftretenden Bakterien (Agroscope, HAFL)
 - Analyse von Pflanzenproben (Stängel und Knollen) in der Schweiz zur Bestimmung der Bakterienart
- Identifizierung und Quantifizierung der wichtigsten Risikofaktoren für die Kontamination von Kartoffelposten (Agroscope)
 - Sortenanfälligkeit, Aggressivität der Bakterienstämme,
- Entwicklung des Konzepts zur integrierten Bekämpfung in Zusammenarbeit mit Vertretern aller Stufen der Branche (HAFL, Agroscope und Kartoffelbranche)

Nachweis und Bedeutung des Pflanzgutbefalls für die Krankheitsentwicklung (HAFL, INRA Rennes, BIOREBA AG)

Zur Untersuchung der Bedeutung des Einflusses des latenten Pflanzgutbefalls auf die Krankheitsentwicklung wurden 2010 sieben kommerzielle Pflanzgutposten ausgewählt. Aus einem möglichst repräsentativen Muster von 300 Knollen pro Posten wurde die DNA (Erbmaterial) der Bakterien in latent infizierten Knollen isoliert und mittels spezifischen PCR (polymerase chain reaction) Primern bestimmt. Je 400 weitere Knollen dieser Posten wurden anschliessend an fünf Standorten (CH 3, F 2) in randomisierten Feldversuchen mit vier Wiederholungen angebaut. Während der Vegetation wurden die Pflanzen regelmässig auf Befall kontrolliert (Welkesymptome, Schwarzbeinigkeit, Nassfäule). Pflanzen mit Krankheitssymptomen wurden im Labor untersucht zur Bestimmung der Bakterienart, welche den Befall verursacht hat. Das Erntegut jedes Standortes wurde als Pflanzgut für das nächste Jahr verwendet. So konnte die Krankheitsentwicklung der Pflanzgutposten in Abhängigkeit des Standortes über drei Jahre beobachtet werden. In den Jahren 2012 und 2013 wurden zusätzlich weitere kommerzielle Pflanzgutposten in identischen Versuchen angebaut.

In der Periode 2010-2013 wurden an der HAFL 167 Pflanzgutposten auf den latenten Pflanzgutbefall untersucht. Zusammen mit den erhobenen Felddaten

Détection et importance de l'infection latente des plants pour le développement de la maladie au champ (HAFL, INRA Rennes, BIOREBA AG)

Afin de déterminer l'importance de l'infection latente d'un lot de pommes de terre sur le développement de la maladie de la jambe noire, 7 lots commerciaux ont été sélectionnés en 2010. À partir d'un échantillon représentatif de 300 tubercules, l'ADN des bactéries présentes dans les tubercules (infections latentes) a été extrait et déterminé au moyen d'amorces PCR (polymerase chain reaction) spécifiques. De ces mêmes lots, 400 tubercules ont été ensuite plantés sur 5 sites (CH 3, F 2), à raison de 4 répétitions randomisées par site. Pendant la phase végétative, les plantes ont été régulièrement contrôlées (annotation des symptômes de flétrissement, jambe noire, pourriture molle). Les plantes atteintes de jambe noire ont été analysées au laboratoire afin de déterminer l'espèce bactérienne responsable de la maladie. Les tubercules de la récolte de chaque site ont été utilisés comme plants pour l'année suivante. Il a ainsi été possible de suivre le développement de la maladie en fonction du site sur une période de 3 ans. En 2012 et 2013, des lots commerciaux supplémentaires ont été introduits dans ces essais.

Durant la période 2010-2013, 167 lots de plants de pommes de terre ont été analysés et leurs taux d'infection latente déterminés. Avec les données des inspections au champ, il est possible d'avoir une estimation fiable de l'influence de l'infection latente des tubercules sur le développement maladie.

Le plant est la source d'infection principale

Les résultats sur les 3 ans d'essais ont clairement montré que l'infection bactérienne latente des plants représente la source



Bakterielle Welke | flétrissement bactérien

ermöglicht dies eine Beurteilung der Bedeutung des Pflanzgutbefalls und eine Prüfung der Zuverlässigkeit der Analyse für die vorhersage einer Krankheitsentwicklung im Feld.

Pflanzgut ist die wichtigste Infektionsquelle

Die Ergebnisse über diese drei Jahre haben klar gezeigt, dass der latente Bakterienbefall des Pflanzgutes die wichtigste Infektionsquelle für die Schwarzbeinigkeit darstellt. Mit den Pflanzgutanalysen konnte mit hoher Sicherheit vorausgesagt werden, bei welchen Pflanzgutposten sich im Feld später Symptome von Schwarzbeinigkeit entwickeln werden. Die Zuverlässigkeit des Tests über 3 Jahre lag für *Dickeya* ssp. (dem wichtigsten Erreger der Schwarzbeinigkeit in der Schweiz) bei beinahe 95%, dies bei einer total untersuchten Anzahl von 115 Pflanzgutposten (Abb. 1). Eine Pflanzgutanalyse könnte demnach einen wesentlichen Beitrag zur Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit leisten und wäre ein wichtiges Hilfsmittel für die Züchter und Vermehrer bei der Auswahl der Posten zur Weitervermehrung.

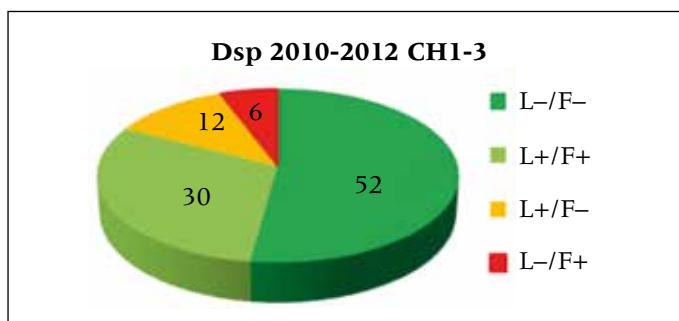


Abb. 1 Zuverlässigkeit der Pflanzgutanalysen in % für die Jahre 2010- 2012 in der Schweiz. L- = kein Pflanzgutbefall, L+ = latenter Befall, F- = keine Befall im Feld, F+ = Befall im Feld.

Fig. 1 Fiabilité de l'analyse des lots pour les années 2010-2012 en Suisse en %. L- = pas d'infection latente, L+ = présence d'infection latente, F- = pas de symptôme au champ, F+ = présence de symptôme au champ.

Die unterschiedlichen Standortbedingungen führten bei identischem Pflanzgutbefall zu einer sehr unterschiedlichen Krankheitsentwicklung an den verschiedenen Standorten (Abb. 2). Hohe Bodenfeuchtigkeit in den Wochen nach der Pflanzung begünstigte die Bakterienentwicklung in den befallenen Mutterknollen und führte zu deutlichen Symptomen an den Pflanzen. Bei hoher Bodenfeuchtigkeit über längere Phasen konnte zudem eine starke Ausbreitung des Befalls durch Übertragung in den Reihen durch das Bodenwasser beobachtet werden (Abb. 3). Bei trockenen Bedingungen blieb der Befall hingegen auf die Pflanzen mit latent befallenen Mutterknollen beschränkt. Die Versuche lieferten auch



Stängelfäule | pourriture des tiges

principale d'infection pour la maladie de la jambe noire. La fiabilité des tests sur 3 ans pour la prédition de la jambe noire causée par Dsp se situe vers 95%, pour un total de 115 lots analysés et suivis au champ (fig. 1). Une analyse des lots pourrait par conséquent devenir une contribution essentielle dans la lutte contre la jambe noire et serait une aide primordiale pour les sélectionneurs et multiplicateurs dans leur planification de multiplication des lots.

Les différences des conditions pédoclimatiques ont conduit à des développements distincts (mais non divergents) de la maladie selon les sites, alors que les taux d'infection latente étaient les mêmes (fig. 2). Une forte humidité du sol dans les semaines après la plantation favorise la multiplication bactérienne dans les tubercules mère contaminés et entraîne des symptômes apparents de jambe noire sur la plante. Si cette forte humidité du sol se prolonge sur une plus longue période, une propagation des infections par contamination via l'eau de ruissellement au sein de la butte peut être observée (fig. 3). En conditions sèches, les infections des plantes restent en principe limitées aux plantes ayant une infection primaire à partir d'un tubercule mère contaminé. Ces essais ont aussi livré d'importantes indications sur la transmission des bactéries aux tubercules fils. Dans les parcelles de certains lots avec un fort taux de jambe noire (> 20% plantes avec jambe noire), seul une faible partie des tubercules récoltés étaient porteurs d'infections latentes. Cela signifie qu'une plante atteinte de jambe noire ne conduit pas automatiquement à des infections des tubercules fils via les stolons. Il semblerait que les bactéries se transmettent prioritairement aux tubercules fils par

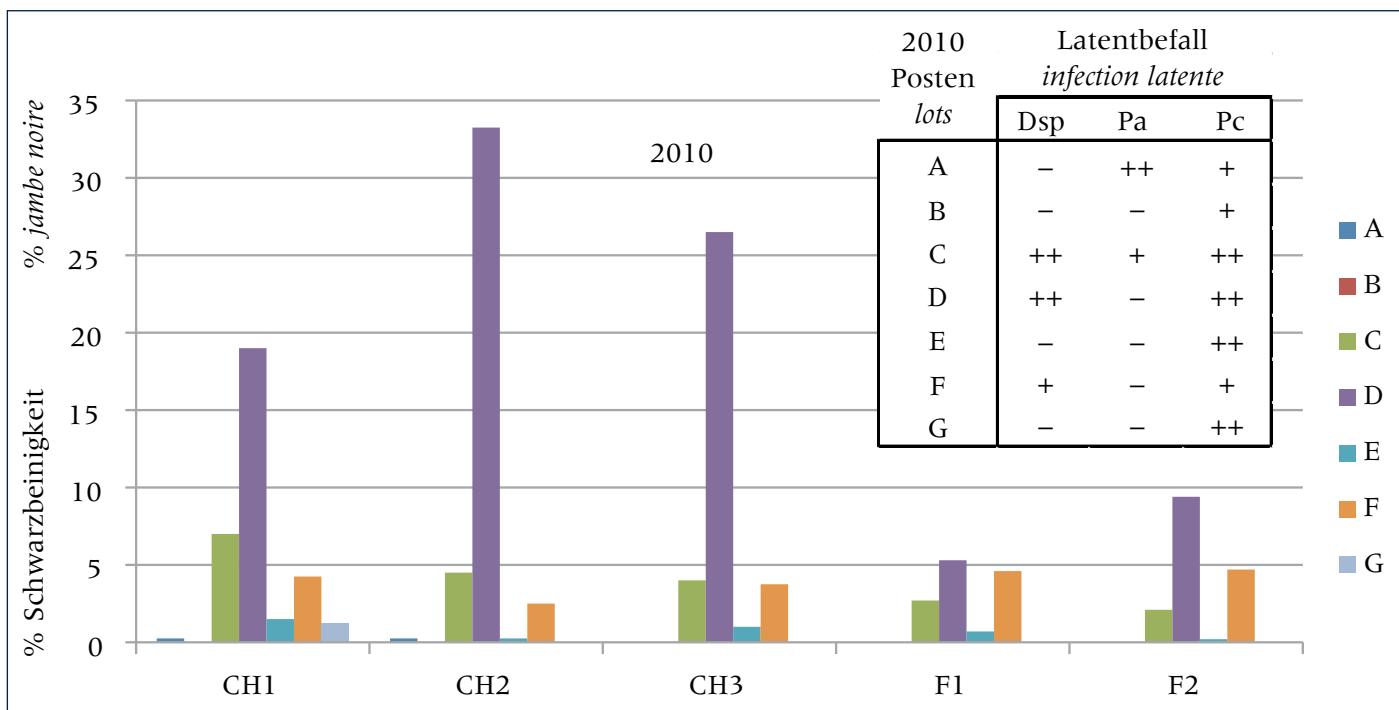


Abb. 2 Pflanzgutanalyse f bei 8 Pflanzgutposten (++) starker latenter Befall, + schwacher latenter Befall, – kein Befall, Dsp = *Dickeya*, Pa = *Pectobacterium atrosepticum*, Pc = *Pectobacterium*-Arten) und Entwicklung der Krankheit im Feld in % Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit an fünf Standorten 2010.

Fig. 2 Analyse de plants pour 8 lots (++) fort infection latente, + faible infection latente, – pas d'infection latente, Dsp = *Dickeya* sp., Pa = *Pectobacterium atrosepticum*, Pc = *Pectobacterium* sp.) et développement de la maladie au champ en % de plantes contaminées, pour les 5 sites en 2010.

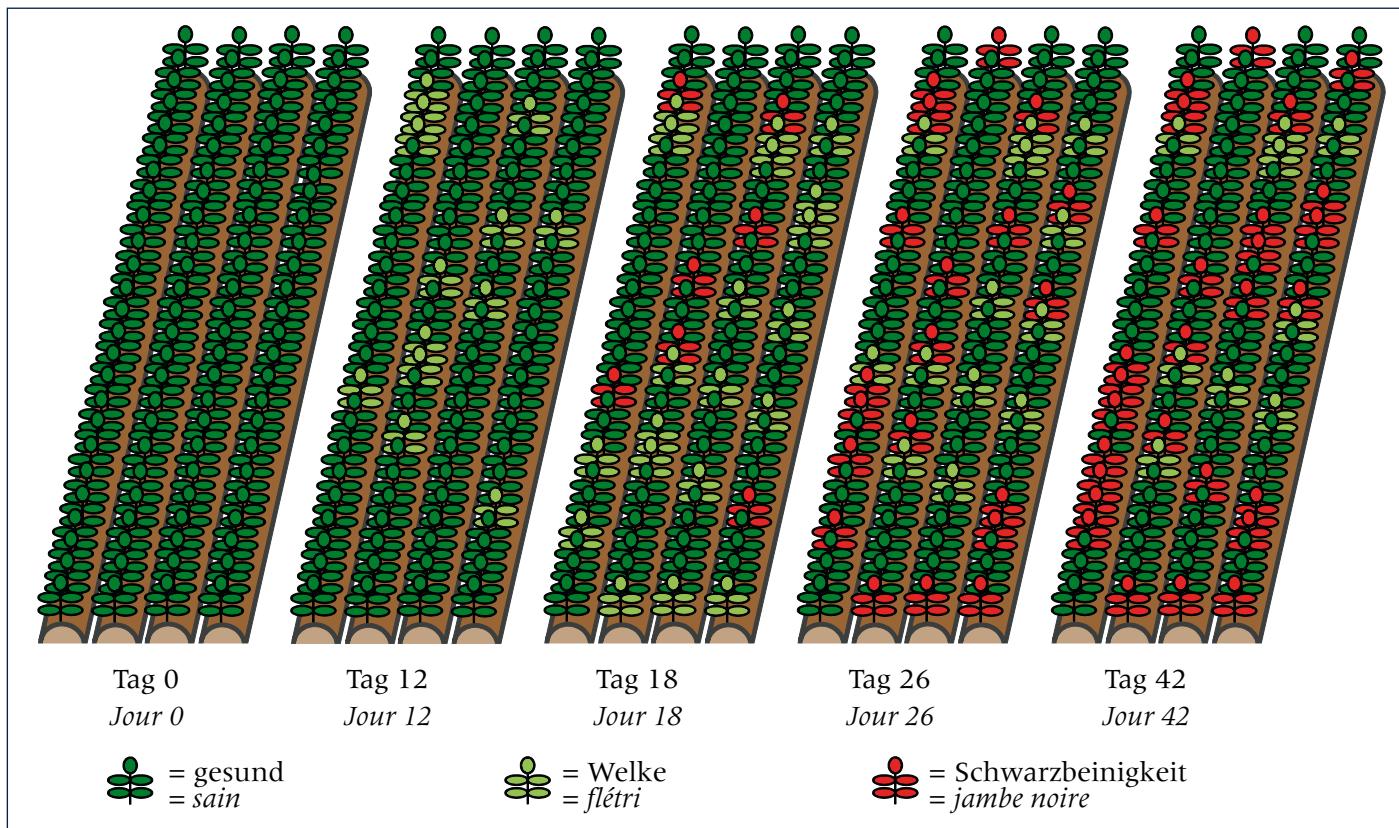


Abb. 3 Krankheitsentwicklung (Welke und Schwarzbeinigkeit) auf einer Versuchparzelle mit 100 Pflanzen im Verlauf der Vegetation 2010, latenter Pflanzgutbefall = 7%.

Fig. 3 Développement de la maladie (flétrissement et jambe noire) sur une parcelle d'essai avec 100 plantes, au cours de la saison 2010, infection latente des tubercules à 7%.

wichtige Erkenntnisse zur Übertragung der Bakterien auf die Tochterknollen. In Feldern mit sehr starkem Befall (> 20% Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit) war teilweise nur ein sehr geringer Anteil der geernteten Tochterknollen befallen. Dies bedeutet: Der Befall einer Pflanze mit Schwarzbeinigkeit führt nicht automatisch zu befallenen Tochterknollen. Die Übertragung der Bakterien durch die Stolonen zu den Tochterknollen geschieht offenbar nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit. Wahrscheinlicher ist, dass die Bakterien von befallenen Pflanzen auf den Boden gelangen und über das Bodenwasser die Nachbarpflanzen über Wurzeln oder die Knollen über die Lentizellen infizieren. Dementsprechend konnte beobachtet werden, dass die Bodenfeuchtigkeit in den Wochen vor der Ernte für die Infektion der Tochterknollen von grosser Bedeutung ist. In unseren Versuchen lag der latente Befall der geernteten Knollen in zwei von drei Versuchsjahren tiefer als der Ausgangsbefall im Pflanzgut und dies trotz teilweise starkem Befall mit Schwarzbeinigkeit im Feld. Eine deutliche Zunahme des latenten Befalls beim Erntegut war nur 2012 zu beobachten als die Bedingungen für die Bakterien sowohl in den Wochen nach der Pflanzung als auch vor der Ernte günstig waren. Diese Beobachtungen machen auch deutlich, dass eine visuelle Kontrolle des Befalls an Pflanzen bei der Pflanzgutproduktion keine sichere Aussage zum Befall der Ernteknollen zulässt.

Die Ergebnisse zeigen klar, dass die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung von *Dickeya* spp. oder *Pectobacterium atrosepticum* über den Boden oder die Fruchtfolge bei ausreichenden Anbaupausen sehr gering ist. Die Verwendung von befallsfreiem Pflanzgut stellt demnach die wichtigste vorbeugende Massnahme dar.

Erster Schritt in die Praxis

2013 erfolgte in der Schweiz im Rahmen des Projektes eine erster «Praxistest» der Pflanzgutanalyse in Zusammenarbeit mit Pflanzgutproduzenten (swisssem). Knollenmuster (300 Knollen) von 53 Import- und Vermehrungsposten wurden nach der oben beschriebenen Methode an der HAFL untersucht. Im Rahmen der offiziellen Zertifizierung wird die Krankheitsentwicklung aller Vermehrungsfelder beobachtet und bei Krankheitsbefall im Labor die Bakterienart bestimmt. Das Monitoring wird 2014 weitergeführt. Die Ergebnisse werden aufzeigen, ob sich die Pflanzgutanalyse für einen routinemässigen Einsatz in einem grösseren Massstab im Rahmen der Pflanzgutzertifizierung eignet.

Monitoring der auftretenden Bakterien (Agroscope, HAFL)

Im Herbst 2011 wurden 178 zertifizierte Pflanzgutposten der Schweiz auf den Befall durch *Pectobacterium carotovorum* (Pc), *Pectobacterium atrosepticum* (Pa) et *Dickeya* spp (Dsp)

contamination de la surface du sol et propagation, via l'eau, aux tubercules et racines des plantes voisines. L'infection des tubercules aurait alors lieu par les lenticelles. En accord avec ces hypothèses, l'humidité du sol dans les semaines avant la récolte joue un rôle prépondérant dans l'infection des tubercules fils.

Dans 2 de nos essais annuels sur 3, les taux d'infections latentes résiduelles dans les tubercules récoltés étaient plus bas que les valeurs avant plantation, et ce parfois après une période de végétation très fortement touchée par des symptômes de jambe noire au champ. Une augmentation claire de l'infection latente à la récolte a été mesurée uniquement en 2012, lorsque les conditions pour la multiplication bactérienne étaient très favorables après la plantation ainsi qu'avant la récolte. Ces observations nous confortent dans l'idée qu'un contrôle visuel des infections des plantes au champ n'est pas un indicateur suffisant du taux d'infection latent après la récolte.

*Les résultats montrent clairement que le risque de transmission de l'infection (*Dickeya* spp. ou *Pectobacterium atrosepticum*) par le sol est très faible. Les rotations habituellement pratiquées en Suisse suffisent pour éliminer l'inoculum de la parcelle. L'utilisation de plants exempts d'infection latente représente alors le meilleur moyen de lutte préventive.*

Mise en pratique du test

En 2013 a eu lieu, en Suisse, dans le cadre du projet, un premier «test pratique» des analyses des plants, en collaboration avec l'industrie (swisssem). Des échantillons (300 tubercules) de 53 lots d'importation et de multiplication ont été analysés à la HAFL selon la méthode énoncée plus haut. Des prélèvements de plantes ont permis de déterminer la nature de l'espèce bactérienne responsable des symptômes de jambes noires. Le monitoring sera répété en 2014 et les résultats montreront si l'analyse des plants est envisageable à grande échelle en appui à la certification des plants.

Monitoring des bactéries existantes (Agroscope, HAFL)

*A l'automne 2011, 178 lots certifiés en Suisse ont été analysés pour y détecter la présence éventuelle de *Pectobacterium carotovorum* (Pc), *Pectobacterium atrosepticum* (Pa) et *Dickeya* spp (Dsp). Dans 37% des lots, Pc a été détecté alors que seulement 3% des lots étaient infectés par Dsp et 0.5% par Pa. Il est probable que les conditions humides de fin de saison en 2011 ont favorisé les contaminations par Pc. En janvier 2012, 153 lots de plants importés ont subi la même analyse. 19% de ces lots étaient infectés par Pc, 8.5% par Dsp et 7% par Pa. L'analyse en 2012 de 136 échantillons de tiges et de tubercules pourris issus des parcelles de production ont révélé la répartition suivante : 33% des échantillons étaient infectés par Dsp, 26% par Pa et 1.5% par Pc. Ceci démontre une fois de plus que, sous nos conditions, c'est prioritairement Dsp qui développe des symptômes au champ.*

untersucht. In 37% der Posten wurde Pc gefunden, während nur 3% der Posten mit Dsp und 0.5% mit Pa infiziert waren. Möglicherweise haben die feuchten Bodenbedingungen vor der Ernte 2011 die Infektion durch Pc gefördert. Im Januar 2012 wurden 153 Importposten auf die gleiche Weise analysiert. 19% dieser Posten waren mit Pc infiziert, 8.5% durch Dsp und 7% durch Pa. Die Untersuchung von 136 Stängel- und Knollenproben mit Krankheitssymptomen aus Kartoffelfeldern im Jahr 2012 ergaben die folgenden Resultate: 33% der Proben waren durch Dsp befallen, 26% durch Pa und 1.5% durch Pc. Dies zeigt einmal mehr, dass unter unseren Bedingungen vor allem Dsp Symptome im Feld entwickelt. Im Herbst 2012 wurden weitere 156 zertifizierte Pflanzgutposten aus der Schweiz auf Pc, Pa und Dsp analysiert. 16.5% waren durch Pc infiziert, 2.5% durch Dsp, jedoch kein Posten durch Pa. Dies zeigt, dass Pa, welches im Pflanzgut aus dem Ausland importiert wird unter unseren Bedingungen kaum in die Tochterknollen übertragen wird. Die Resultate der Feldversuche in Frankreich und der Schweiz im Rahmen dieses Projektes bestätigen diese Beobachtungen. Im Gegensatz dazu tritt Pa häufig in den Ernteknollen auf, bildet aber bis heute kaum ein Risiko für die Entwicklung von Symptome von Schwarzbeinigkeit im Feld. Während der Saison 2013 wurden in der Schweiz zum ersten Mal die Bakterien *Pectobacterium wasabiae* (Pwa) und *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis* (Pcb) an Kartoffelstauden mit Schwarzbeinigkeit gefunden.

Identifizierung und Quantifizierung der wichtigsten Risikofaktoren für die Kontamination von Kartoffelposten (Agroscope)

1) *Sortenanfälligkeit:* zur Untersuchung der Sortenanfälligkeit gegenüber *Dickeya* wurden während zwei Jahren Versuche auf Kartoffelscheiben und an Kartoffelpflanzen im Gewächshaus und im Feld durchgeführt. Die Versuche auf Kartoffelscheiben (Artikel Agrarforschung Schweiz, Juni 2013) zeigten geringe Unterschiede bei der Empfindlichkeit der Sorten. Im Gegensatz dazu wurde in den Versuchen im Gewächshaus (Artikel Agrarforschung Schweiz, Oktober 2013) und im Freiland eine deutlich höhere Anfälligkeit der Sorte Agria im Vergleich zu den Sorten Charlotte, Lady Claire, Innovator und Victoria beobachtet. Die Feldversuche, bei denen die Unterschiede zwischen den Sorten am grössten waren, eignen sich am besten zur Beurteilung der Sortenanfälligkeit. Es ist vorgesehen die Sortenanfälligkeit der meisten in der Schweiz angebauten Sorten in den Jahren 2014 und 2015 in Feldversuchen zu prüfen.

2) *Aggressivität der Bakterienstämme:* mit den gleichen Versuchen (auf Kartoffelscheiben, im Gewächshaus und im Feld) wurde die Aggressivität verschiedener

Enfin, 156 lots de plants certifiés suisses ont été analysés à l'automne 2012 afin d'y détecter la présence de Pc, Pa et Dsp. Il est apparu que 16.5% des lots étaient contaminés par Pc, 2.5% par Dsp et aucun par Pa. Nous constatons donc que le Pa, importé de l'étranger, est peu transmis aux tubercules fils. Et les résultats obtenus dans le cadre des essais franco-suisses confirment ces observations. Par contre, Pc reste abondant dans la récolte mais ne constitue pas, jusqu'à ce jour, un risque majeur pour le développement de jambes noires au champ. Durant la saison 2013, les bactéries pathogènes *Pectobacterium wasabiae* (Pwa) et *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliensis* (Pcb) ont été isolées en Suisse sur des plantes de pomme de terre atteintes de jambe noire.

Identification et quantification des facteurs de risque les plus importants pour la contamination des lots de pommes de terre (Agroscope)

1) *Risque lié au choix variétal : des essais sur tranche de pommes de terre, sur plante en serre ainsi qu'au champ ont été mis en place 2 ans de suite afin d'évaluer le risque variétal de développement de pourritures dues à Dsp.* Les essais sur tranches de pommes de terre (cf article Recherche Agronomique Suisse de juin 2013) ont mis en évidence qu'il existait peu de différences de sensibilité entre variétés. Par contre, les essais réalisés en serre (cf article Recherche Agronomique Suisse d'octobre 2013) et au champ (article à paraître) ont mis en évidence la forte sensibilité de la variété Agria par rapport aux autres variétés testées, notamment Charlotte, Lady Claire, Innovator et Victoria. Toutefois, les essais au champ, pour lesquels les différences entre variétés sont les plus importantes, permettent de mieux identifier les différences de sensibilité entre variétés. Pour 2014 et 2015, il est prévu d'évaluer au champ la sensibilité de la plupart des variétés de pommes de terre cultivées en Suisse.

2) *Risque lié à la souche bactérienne : le même type d'essais (sur tranches, en serre et au champ) ont été mis en place pour évaluer les différences d'agressivité entre isolats de Dsp (3 isolats de *Dickeya dianthicola* et 3 isolats de *Dickeya solani*).* Les essais sur tranches montrent une agressivité systématiquement plus forte des isolats de *D. solani*. Le classement obtenu dans le cadre des essais en pots et au champ est différent de celui obtenu avec les essais sur tranches, avec un développement de symptômes plus important pour deux isolats de *D. dianthicola*. Ceux-ci devancent trois isolats de *D. solani* ainsi qu'un autre isolat de *D. dianthicola* qui s'est avéré le moins agressif de tous les isolats testés.

3) *Comparaison du risque variétal en lien avec l'isolat bactérien : on observe, dans les trois types d'essais, des différences plus importantes entre isolats qu'entre variétés. Dans le cadre des essais au champ par exemple, la variété la plus sensible développe*

Dickeya-Isolate untersucht (3 Isolate von *Dickeya dianthicola* und 3 Isolate von *Dickeya solani*). Die Versuche auf den Kartoffelknollen ergaben eine systematisch stärkere Aggressivität von *D. solani*. Anders verhielten sich die Isolate hingegen in den Gewächshaus- und Feldversuchen. Hier verursachten zwei Isolate von *D. dianthicola* die stärksten Krankheitsentwicklung, vor drei Isolaten von *D. solani* und einem weiteren Isolat von *D. dianthicola*.

3) Sortenanfälligkeit in Abhängigkeit der Aggressivität der Isolate: in allen drei Versuchstypen wurden grössere Unterschiede zwischen Bakterienisolaten als zwischen Sorten beobachtet. In den Feldversuchen beispielsweise entwickelte die anfälligste Sorte zweimal mehr Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit als die am wenigsten anfällige Sorte. Während das aggressivste Isolat 26-mal mehr Symptome verursachte als das am wenigsten aggressive Isolat. Demnach ist die Entwicklung von Schwarzbeinigkeit und Knollennassfäule stärker durch die Aggressivität des Bakterienisolates als durch die Sortenanfälligkeit beeinflusst.

4) Standortfaktoren: die Resultate der Feldversuche (total sieben Versuche) dienten zur Bestimmung des Einflusses der Standortfaktoren (36 getestete Faktoren) auf (i) den Beginn der Epidemie und (ii) die Gesamtanzahl der Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit über die ganze Saison. Die Bodenfeuchtigkeit, die Evapotranspiration der Pflanzen und in geringerem Umfang der Gehalt von Nährstoffen im Boden (v.a. Mg, Abb. 4) scheinen die wichtigsten Faktoren zur Erklärung des Epidemiebeginns im Feld zu sein. Die wichtigsten Einfluss-

deux fois plus de symptômes de jambe noire que la variété la moins sensible, tandis que l'isolat le plus agressif développe 26 fois plus de symptômes que l'isolat le moins agressif. Le risque dû à la variété est donc inférieur au risque lié à l'isolat en ce qui concerne le développement de symptômes de pourriture molle ou de jambe noire.

4) Risque lié aux facteurs environnementaux: les résultats des essais au champ (7 essais en tout) ont été mis à profit pour évaluer l'impact des conditions du milieu (36 facteurs testés) sur (i) la rapidité de démarrage de l'épidémie et (ii) le développement total de jambes noires sur toute la saison. Il apparaît que les facteurs principaux favorisant le déclenchement de l'épidémie sont l'humidité du sol l'évapotranspiration de la plante et, dans une moindre mesure, la présence de certains macronutriments dans le sol (Mg principalement, fig. 4). Les facteurs les plus déterminants pour expliquer le développement total de jambes noires sont l'agressivité de la souche ainsi que la sensibilité de la variété. Toutefois, trois facteurs secondaires ont également été identifiés: les apports d'azote, le taux en matière organique du sol (fig. 5).

Conclusions

L'infection du plant représente le facteur de risque principal pour le développement de jambe noire au champ. Le nouvel outil moléculaire d'évaluation de la qualité des lots de plant permet, dans une grande mesure, de prédire le développement de jambe noire. Il s'agit donc d'un nouvel outil efficace et complémentaire au contrôle sur pied réalisé dans le cadre des visites officielles au champ. Les essais ont permis de mettre en évidence l'existence



Knollennassfäule | pourriture molle des tubercules

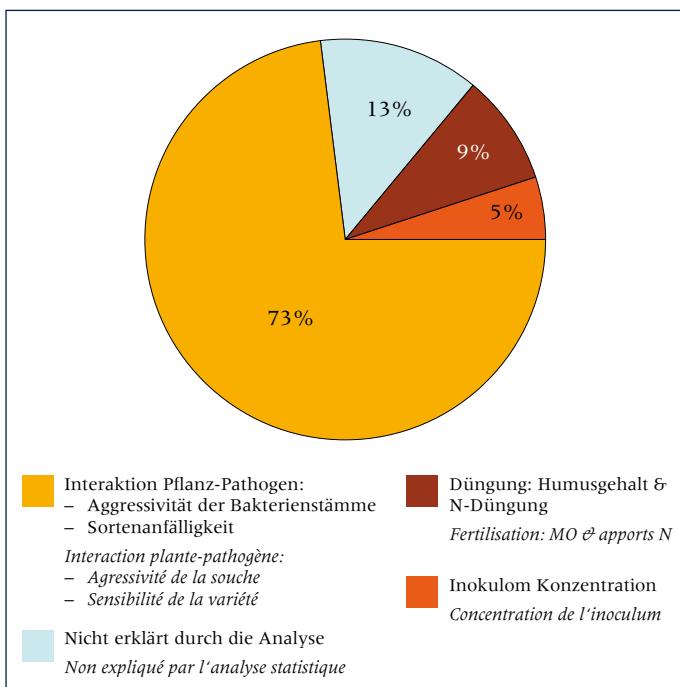


Abb. 4 Wichtigste Faktoren, welche die Entwicklung der gesamten Anzahl Pflanzen mit Schwarzbeinigkeit im Feld beeinflussen.

Fig. 4 Facteurs principaux influençant le développement total de jambes noires au champ.

faktoren zur Erklärung der Gesamtanzahl der Schwarzbeiner sind die Aggressivität der Bakterienstämme, die Sortenanfälligkeit, und in geringerem Ausmass die N-Düngung, sowie der Humusgehalt des Bodens (Abb. 5).

Folgerungen

Die Pflanzgutinfektion ist der wichtigste Risikofaktor für die Entwicklung von Schwarzbeinigkeit im Feld. Die neue molekulare Methode zur Bestimmung des Pflanzgutbefalls mittels PCR erlaubt es mit hoher Sicherheit, das Auftreten von Schwarzbeinigkeit vorherzusagen. Die Pflanzgutanalyse ist eine effiziente Methode zur Ergänzung der Feldkontrollen im Rahmen der Pflanzgutzertifizierung. Die Versuche haben aufgezeigt, dass es deutlich Sortenunterschiede bezüglich Dickeya gibt. Von den getesteten Sorten war Agria die anfälligste. Diese Sortenunterschiede sind jedoch gering im Vergleich zu den Unterschieden bei der Aggressivität der verschiedenen Bakterienisolale. Im Rahmen einer vielseitigen Fruchtfolge bildet der Boden keine Infektionsquelle für *Dickeya* spp. und *Pectobacterium atrosepticum*. Hingegen tritt *Pectobacterium carotovorum* häufig im Boden auf und kann die Pflanzen infizieren, wenn die Bedingungen bei der Ernte feucht sind. Die umfangreichen Ergebnisse des Projektes ermöglichen die Erarbeitung eines integrierten Bekämpfungsprojektes in Zusammenarbeit mit allen Partnern der Kartoffelbranche.

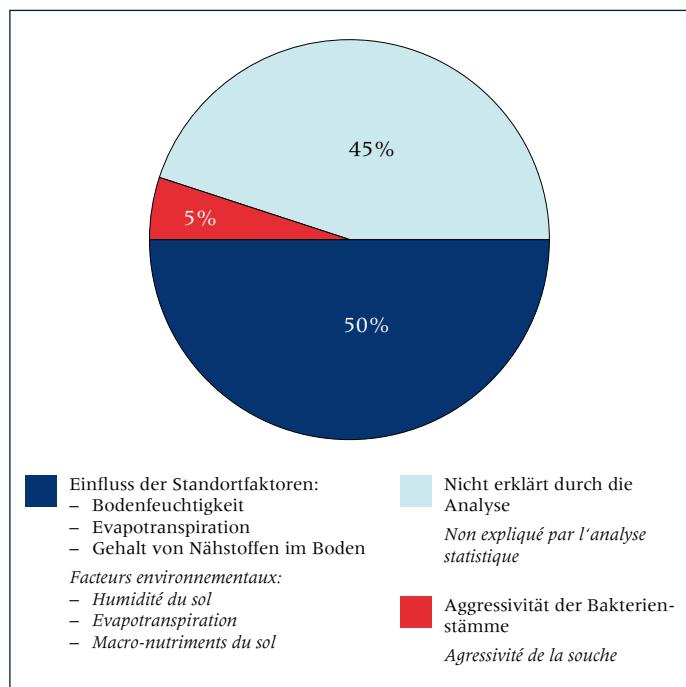


Abb. 5 Wichtigste Faktoren, welche den Beginn der Epidemie (1. Pflanze mit Schwarzbeinigkeit) beeinflussen.

Fig. 5 Facteurs principaux influençant le déclenchement des symptômes de jambe noire.

de différences de sensibilité variétale et parmi les variétés testées, Agria était la plus sensible. Toutefois, ces différences sont relativement faibles comparées aux différences d'agressivité entre souches bactériennes. Dans le cadre d'une rotation de culture standard, le sol ne constituerait pas une source d'infection significative par *Dickeya* spp. et *Pectobacterium atrosepticum*. Par contre *Pectobacterium carotovorum* est présent en abondance dans l'environnement et peut infecter des lots si les conditions sont humides à la récolte. L'ensemble des résultats du projet permettra d'élaborer un concept de lutte intégrée, conjointement entre les partenaires du projet et l'interprofession.