Vol. 13, No. 1, 2018

académies suisses des sciences

swiss academies factsheets

www.academies-suisses.ch

De nouvelles approches pour la protection des pommes de terre contre le mildiou

Dans la culture de la pomme de terre, le mildiou entraîne aujourd'hui encore de grandes pertes et nécessite l'utilisation d'une quantité importante de pesticides. La recherche travaille d'arrache-pied pour améliorer les stratégies de lutte existantes et développer de nouvelles approches. Une combinaison de ces approches pourrait contribuer à rendre la culture de la pomme de terre en Suisse nettement plus rentable et écologique à la fois.

En Suisse, la pomme de terre est la troisième plante cultivée après le blé et la betterave à sucre. En 2016, on en cultivait sur presque 11 000 hectares avec un rendement d'environ 30 tonnes à l'hectare (Swisspatat, 2017). Le taux d'autosuffisance en pommes de terre s'élève en Suisse à plus de 90 % dépassant ainsi toutes les autres plantes cultivées. Cependant, les pommes de terre ne sont pas uniquement cultivées pour l'alimentation humaine mais également pour la consommation fourragère et en tant que matières premières pour des applications industrielles.

Le mildiou de la pomme de terre, une maladie causée par l'agent pathogène *Phytophthora infestans*, est l'un des plus grands défis pour la culture de la pomme de terre. Bien que cette maladie soit connue depuis longtemps et bien étudiée (voir encadré 1), elle est toujours redoutée dans toutes les régions de culture. Lorsque les conditions météorologiques sont humides et chaudes (à savoir une température journalière moyenne supérieure à 10 °C) et donc favorables au développement de l'agent pathogène, celui-ci peut engendrer la perte de l'ensemble de la récolte. De plus, quand l'humidité de l'air est élevée, une température moyenne supérieure de seulement un degré accroît nettement le potentiel de l'agent pathogène (Andrade et al., 1997/98), ce qui est un constat alarmant face au réchauffement climatique. En moyenne, *Phytophthora* détruit environ 16 % de la production mondiale annuelle de pommes de terre. Dans l'Union Européenne, les pertes et les dépenses pour la lutte contre la maladie occasionnent des coûts annuels estimés à environ un milliard d'Euros (Haverkort et al., 2008).

En Suisse, les sources de contamination les plus fréquentes à partir desquelles se propage la maladie sont les semences contaminées, les décharges de vieilles pommes de terre et les repousses de pommes de terre, à savoir les repousses individuelles d'une ancienne récolte et qui se développent la saison suivante (Agroscope, 2017). Étant donné que le cycle de développement de l'agent pathogène n'est que d'environ 3 à 5 jours, la maladie a la capacité de se répandre extrêmement vite sur le plan régional lorsque les conditions atmosphériques sont favorables. Depuis le début des relevés par Agroscope en 1990, la Suisse a été victime d'épidémies de mildiou tous les ans. L'ampleur de l'épidémie a cependant considérablement varié d'une année à l'autre, si bien que le mildiou était certes présent en 2013 et en 2015 mais sans avoir un impact particulièrement important (d'après les déclarations de T. Musa-Steenblock, Agroscope).

Encadré 1: Une maladie végétale qui a marqué l'histoire

La pomme de terre fut introduite en Europe au cours de la deuxième moitié du XVI[e] siècle. Dans un premier temps, ce furent principalement ses fleurs décoratives et ses baies (toxiques) qui suscitaient de l'intérêt. Mais peu à peu, le tubercule s'est retrouvé au premier plan. En particulier en Irlande, elle fut cultivée tôt vers 1700, car elle se développe relativement bien même sur des sols peu fertiles. Par la suite, la pomme de terre devint l'aliment de base dominant dans cette île.

L'agent pathogène du mildiou de la pomme de terre, *Phytophthora infestans*, qui est originaire du Mexique fut introduit aux États-Unis et en Europe par l'intermédiaire d'un plant infesté. La maladie fut observée pour la première fois en 1843 sur la côte est des États Unis. Un an plus tard déjà, elle se manifesta en Belgique et en Grande Bretagne d'où elle se répandit partout en Europe. Entre 1845 et 1852, pendant plusieurs années consécutives, l'agent pathogène détruisit pratiquement la totalité de la récolte de pommes de terre en Irlande, ce qui, conjointement avec d'autres facteurs, avait des conséquences désastreuses. Entre 1844 et 1851, la population de l'île chuta d'environ 8,4 millions à 6,6 millions. Environ un million de personnes moururent de faim ou furent victimes du typhus ou d'autres maladies en raison de leur faiblesse, un autre million émigra aux États Unis. La catastrophe entra dans les livres d'histoire sous le nom de la « Grande famine ».

Il est vrai que certains spécialistes se sont rapidement intéressés à cette maladie végétale et que la première description précise de l'agent pathogène responsable fût déjà publiée en 1845. Mais il fallut encore attendre une centaine d'années avant de comprendre les cycles de développement et les mécanismes de la maladie (Schumann, 1991).

Plusieurs stratégies peuvent être employées afin de réduire les pertes causées par *Phytophthora* dans la culture de la pomme de terre. L'utilisation de semences certifiées et non contaminées, l'élimination des repousses de pommes de terre, le suivi fiable de l'infestation et le diagnostic précoce d'épidémies, sont des mesures appropriées. La sélection et la culture de variétés résistantes ainsi que la lutte directe et ciblée contre le pathogène en font également partie. Dans ce contexte, il existe aussi bien de nouveaux produits mis au point à partir de substances actives synthétiques que des approches compatibles avec les exigences de l'agriculture biologique. Avec ces mesures, l'agriculture biologique cherche à réduire l'utilisation de préparations à base de cuivre.

De nouvelles perspectives par la sélection de variétés résistantes

La culture de la pomme de terre repose fondamentalement sur la reproduction végétative (asexuée) des plants de pommes de terre. Cela signifie que les plants de pommes de terre sont identiques à leur plante mère par conséquent les variétés restent stables. Sur le plan agronomique, cela présente certains avantages car toutes les plantes mûrissent simultanément et peuvent donc être récoltées en même temps. En revanche, les plantes présentent également les mêmes faiblesses, ce qui, dans le cas d'une forte susceptibilité génétique à *Phytophthora*, a sa part de responsabilité dans les pertes élevées des récoltées. C'est devant ce contexte que la sélection de nouvelles variétés apporte de nouvelles

Champ d'expérimentation avec des plants de pommes de terre résistants et non résistants au *Phytophthora*.

Symptômes d'infestation par le *Phytophthora* sur les feuilles, les tiges et les bulbes

perspectives : la culture de variétés avec une résistance plus élevée à *Phytophthora* permettrait d'économiser beaucoup d'argent et de produits phytosanitaires.

La plupart des programmes de sélection européens misent sur le croisement classique souvent combiné à la sélection assistée par des marqueurs (voir encadré 2). Cette approche essaie de combiner plusieurs gènes de résistance (gènes *R*) présents dans la variété existante et en même temps, si possible, d'éviter autant que possible les gènes responsables de la susceptibilité génétique à *Phytophthora* (gènes *S*, du terme anglais « susceptibility »). Des gènes *R* supplémentaires issus de pommes de terre sauvages peuvent également être transmis par croisement à un cultivar. Dans un premier temps, cela s'accompagne cependant de la perte de nombreuses propriétés souhaitables du cultivar qui doivent ensuite être récupérées par de nombreuses étapes de rétrocroisement. La culture classique de la pomme de terre est un processus de longue haleine : lorsque l'on croise exclusivement des variétés déjà cultivées, il faut compter environ 12 à 15 ans avant d'obtenir une variété prête à être lancée sur le marché ; un croisement avec des pommes de terre sauvages peut même prendre jusqu'à 50 ans.

Bien qu'il existe déjà des variétés résistantes, celles-ci ne sont pas cultivées à grande échelle. Cela s'explique principalement par le manque d'acceptation de ces variétés sur le marché car certaines caractéristiques souhaitables pour le commerce et les consommateurs/consommatrices leurs font défaut. Par conséquent, l'utilisation de produits phytosanitaires reste importante – aussi bien dans l'agriculture conventionnelle de la pomme de terre que dans l'agriculture biologique.

La cisgénèse, une autre approche pour la sélection

Avec la cisgénèse (voir encadré 2), on dispose d'une autre possibilité pour introduire des gènes *R* dans des cultivars existants. Le terme « gènes cisgéniques » désigne des gènes propres à l'espèce transmissibles au sein d'une même espèce ou entre des espèces qui peuvent être directement croisées entre elles. Ces gènes font donc partie du « réservoir génétique classique du cultivateur ». La cisgénèse consiste à transférer les gènes *R* souhaitables dans une variété existante de pommes de terre en utilisant les techniques de génie génétique (Jo et al., 2014).

Étant donné que l'agent pathogène *Phytophthora infestans* continue à s'adapter à son environnement au fil du temps, il arrive parfois que les gènes *R* perdent leurs propriétés de résistance. Comme c'est déjà en partie le cas et que le nombre de gènes *R* est limité, il est primordial d'éviter de cultiver des pommes de terre qui ne contiennent qu'un seul gène *R*. Cette mesure permet d'empêcher ou au moins de ralentir l'adaptation rapide de *Phytophthora* et l'apparition d'autres résistances. La cisgénèse permet d'intégrer plusieurs gènes *R* différents dans une variété existante sans que celle-ci perde les autres caractéristiques propres à cette variété (Haverkort et al., 2016). Cette approche a été effectuée à titre expérimental et, dans des études de terrain réalisées entre autres sur le site protégé d'Agroscope, les pommes de terre obtenues se sont avérées résistantes envers les formes de *Phytophthora* utilisées pour le test (Brunner et al., 2017 ; Haesaert et al., 2015).

En Suisse et dans l'UE, les pommes de terre cisgéniques sont classées parmi les organismes génétiquement modifiés (OGM). Le moratoire sur le génie génétique en vigueur en Suisse interdit la culture de plantes OGM jusqu'en 2021. Cela signifie qu'il est interdit en Suisse de cultiver les variétés cisgéniques de la pomme de terre résistantes à *Phytophthora*. Au début de l'année 2017, la culture de trois variétés cisgéniques de pommes de terre qui sont entre autres porteuses d'un gène *R* a été agréée aux États-Unis (FDA, 2017).

Outre la cisgénèse, on emploie également d'autres nouvelles techniques de sélection pour rendre la pomme de terre résistante à *Phytophthora*. Ainsi, certains travaux en cours cherchent à utiliser l'ARNi ou CRISPR/Cas9 pour désactiver les gènes *S* responsables de la prédisposition génétique (Sun et al. 2016). Contrairement à la cisgénèse, ces approches sont encore à leurs débuts (voir encadré 2).

Fongicides synthétiques

Aujourd'hui, l'agriculture conventionnelle qui représente la majeure partie de la production de pommes de terre en Suisse utilise principalement des fongicides synthétiques pour maîtriser le mildiou de la pomme de terre. Pour assurer le succès de la lutte contre la maladie, on utilise, la plupart du temps, une combinaison de plusieurs préparations qui doivent être répandues 7 à 8 fois par an. Les fongicides sont adaptés à différents stades de développement du plant de pomme de terre et par conséquent au mildiou. Ces préparations se différencient par leur mécanisme d'action, ce qui

Encadré 2 : Techniques de sélection de variétés de pommes de terre

Dans la sélection végétale traditionnelle qui consiste à utiliser des procédés de croisement classiques, on sélectionne les plants nouvellement générés sur la base de leurs caractéristiques (phénotype). La **sélection assistée par des marqueurs** (MAS, pour marker-assisted selection) en revanche, se base sur les caractéristiques génétiques (génotype). La MAS permet de sélectionner les plantes parentales appropriées avant même de procéder à leur croisement et ensuite d'identifier rapidement les plantules qui présentent les caractéristiques souhaitées en se basant sur leur génotype. Ainsi, il est possible de vérifier si un gène *R* spécifique est présent sans devoir réaliser de test de résistance. Le processus de sélection s'en trouve significativement accéléré.

La **cisgénèse** consiste à transmettre des gènes de la même espèce ou des gènes d'une espèce proche compatible au croisement. La différence fondamentale par rapport à la transgénèse est que celle-ci introduit les gènes d'une autre espèce. Concernant la résistance à *Phytophthora* des pommes de terre, ce procédé permet d'intégrer des gènes – connus dans une variété existante sans pour autant modifier d'autres caractéristiques ce qui serait impossible par croisement classique.

L'**Interférence par ARN** (ARNi) introduit certaines séquences d'ADN dans la plante sous la forme de transgènes afin d'y bloquer la production d'une protéine particulière codée par l'ARNm propre à la plante. Chez la pomme de terre, ce mécanisme permettrait par exemple de réguler les protéines responsables de la susceptibilité génétique à *Phytophthora*.

Depuis quelques années, la technologie **CRISPR/Cas9** ainsi que d'autres procédés similaires permettent d'éditer le génome de manière ciblée. Avec ces techniques, on peut supprimer des séquences d'ADN spécifiques, les modifier ou en ajouter des nouvelles. En ce qui concerne le mildiou, les gènes *S* responsables de la prédisposition génétique pourraient être supprimés de la même manière que l'ARNi. Au début de l'année 2017, il a été démontré que cette technologie fonctionne pour la pomme de terre en utilisant la technique CRISPR/Cas9 qui a permis de modifier la production d'amidon chez la pomme de terre (Andersson et al., 2017).

augmente non seulement leur efficacité mais ralentit également la capacité de *Phytophthora* à s'adapter à ces fongicides. Malgré cela, on observe une diminution de l'efficacité dans la classe importante des phénylamides. C'est pourquoi l'utilisation de ces produits phytosanitaires a dû être fortement réduite. Il semble que ce soit seulement une question de temps avant que *Phytophthora* ne s'adapte à d'autres groupes de substances actives. La recherche travaille donc d'arrache-pied pour trouver de nouveaux principes actifs et mettre au point de nouvelles préparations. De manière similaire à la sélection de nouvelles variétés, la mise au point de nouveaux fongicides est également un long processus. Pour l'élaboration d'une nouvelle préparation synthétique, il faut compter au moins dix ans.

Les fongicides synthétiques doivent répondre à des obligations réglementaires et ils sont soumis à des conditions strictes d'utilisation. Malgré ces exigences élevées, les produits phytosanitaires synthétiques sont susceptibles d'impacter des organismes non cibles que ce soit par contact direct ou par lessivage dans les eaux environnantes. Dans son « Plan d'action visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires » de 2017, le Conseil fédéral prévoit à long terme de diviser par deux les risques engendrés par les produits phytosanitaires. Dans ce contexte, il est également prévu d'évaluer des mesures visant à réduire l'utilisation de fongicides pour la culture de la pomme de terre (Le Conseil fédéral, 2017).

Produits phytosanitaires non synthétiques

En 2016, environ 5 % des champs de pommes de terre étaient cultivés selon les critères de l'agriculture biologique (BioSuisse, 2017). Dans l'agriculture biologique, on renonce délibérément à l'utilisation de produits phytosanitaires synthétiques. À l'heure actuelle, le traitement avec des produits à base de cuivre constitue l'unique méthode pour lutter efficacement contre le mildiou. Cependant, ce métal lourd s'accumule dans les sols et il s'avère toxique pour de nombreux organismes. Pendant les années de forte pression d'infestation par *Phytophthora*, la quantité maximale autorisée de 4 kg de cuivre par hectare est rapidement atteinte. Dans de telles conditions, un contrôle efficace du mildiou ne peut être atteint que par une utilisation optimisée. Mais dans ces conditions, la quantité autorisée de cuivre est tout juste en mesure de ralentir la propagation de la maladie pendant quelques jours. L'UE souhaite que l'utilisation du cuivre soit totalement interdite d'ici 2018 (EU, 2015). Par conséquent, la pression est grande pour que soient développés des procédés de traitement alternatifs respectant les critères de l'agriculture biologique. De tels nouveaux procédés de traitement qui pourraient, le cas échéant, être combinés à des produits phytosanitaires synthétiques auraient également un certain intérêt pour l'agriculture conventionnelle.

Des principes actifs non synthétiques peuvent par exemple être isolés à partir d'extraits de plantes. L'agriculture d'il y a 4000 ans utilisait déjà certains « botanicals » (produits végétaux) de ce type. Il existe fondamentalement deux approches pour l'identification de nouvelles substances naturelles ayant une efficacité potentielle contre le mildiou : l'expérimentation

avec des matières premières existantes ou l'analyse systématique de collections de substances naturelles. Les produits secondaires de l'exploitation forestière tels que, par exemple, l'écorce d'arbre constituent une source intéressante de matières premières car ils sont facilement disponibles et riches en composants avec une action antimicrobienne. Un premier produit à base d'un principe actif issu de l'écorce de mélèze est d'ailleurs sur le point d'être mis sur le marché. Aussi, une suspension obtenue à partir de l'écorce de bourdaine présentait, dans le cadre d'essais en plein champ, un effet protecteur comparable à celui d'une application de 3 kg de cuivre par hectare. Grâce aux technologies de laboratoires modernes, la deuxième approche, à savoir l'analyse systématique de collections entières de principes actifs, est devenue beaucoup plus simple et rapide. On constate cependant que les substances qui fournissent des résultats prometteurs en laboratoire ou sous serre manquent souvent d'effets satisfaisants en conditions de plein champ (Dorn et al., 2007; Krebs et al., 2013).

De manière intéressante, la combinaison de certains extraits de plantes et d'engrais spéciaux contenant du phosphore et du potassium permet de renforcer considérablement leurs effets. Dans le cadre d'essais en plein champ, la seule utilisation de ces engrais spéciaux a également donné de bons résultats. Pour assurer une bonne efficacité, il faudrait les répandre plusieurs fois comme c'est le cas du cuivre ou d'autres fongicides. En fonction des quantités introduites, on trouve cependant des résidus d'acide phosphonique dans les pommes de terre récoltées, raison pour laquelle, à ce jour, de telles préparations d'acide phosphonique sont interdites dans l'agriculture biologique de la pomme de terre. De récents travaux de recherche suggèrent que l'utilisation soigneusement dosée de phosphonates, éventuellement en combinaison avec des préparations végétales, permettrait de réduire largement l'utilisation du cuivre (Krebs et al., 2013).

L'utilisation du microbiome de la pomme de terre – une approche originale

Une approche de la lutte contre *Phytophthora* qui n'a pas encore retenu beaucoup d'attention consiste à utiliser le microbiome de la pomme de terre – à savoir tous microorganismes qui colonisent la plante. Comme il s'agit d'une approche qui met en œuvre des ressources biologiques, elle est également compatible avec les directives de l'agriculture biologique (Hunziker et al., 2015). On différencie en principe deux types d'action. D'une part, on peut favoriser d'autres microorganismes ou bien en ajouter de manière ciblée qui entrent en concurrence avec l'agent pathogène du mildiou et entravent ainsi sa croissance ou sa reproduction. D'autre part, on peut identifier des substances individuelles synthétisées par les microorganismes qui compromettent le développement de *Phytophthora* et ensuite utiliser celles-ci en tant que préparations. Ainsi, on a réussi à identifier plus de 100 souches bactériennes sur les feuilles et au niveau des racines de pommes de terre dont on a ensuite examiné les effets sur *Phytophthora* dans des conditions de laboratoire. Certaines souches du genre Pseudomonas se sont avérées très intéressantes. Elles émettent du cyanure et, dans le cadre d'essais, elles étaient capables de réduire nettement le développement de *Phytophthora*. Certaines substances synthétisées par d'autres bactéries, en particulier des composés soufrés sont également prometteuses (Hunziker et al., 2015 ; DeVrieze et al., 2015 ; Guyer et al., 2015). L'utilisation du microbiome combiné à des substances actives aujourd'hui moins toxiques qu'auparavant présente un grand potentiel pour lutter efficacement contre le mildiou.

L'utilisation ciblée de produits phytosanitaires grâce au monitoring et au diagnostic

À l'heure actuelle, la plupart des produits phytosanitaires synthétiques utilisés, parmi lesquels on compte également les produits à base de cuivre, ont un effet protecteur. Ils sont mis en œuvre de manière préventive pour éviter une infection par *Phytophthora*. Ceci est souhaitable car lorsqu'une plantation est touchée par la maladie, celle-ci devient difficile à contrôler. C'est pourquoi le monitoring de l'infestation, le diagnostic affiné et l'utilisation de modèles prédictifs (en Suisse : www.phytopre.ch) sont importants pour évaluer correctement la situation concernant *Phytophthora* et prendre des mesures correctrices dans les meilleurs délais.

Il est également important de déterminer la durée réelle nécessaire pour la protection contre *Phytophthora* afin de sauver la récolte. Il faut savoir que l'azote migre des feuilles dans le tubercule à la fin de la période de culture et qu'ensuite la plante n'a donc plus besoin de ses feuilles. Par conséquent, une infestation par *Phytophthora* à ce moment-là n'aurait plus aucun impact sur le rendement. C'est pourquoi on pourrait arrêter le traitement et donc économiser des produits phytosanitaires (Möller et al., 2006).

Gestion de *Phytophthora* : La combinaison de différentes approches est nécessaire

Malgré les efforts immenses de la recherche et du développement déployés dans le monde entier, le *Phytophthora* représente à ce jour la menace la plus grande pour la culture de la pomme de terre. Les différents moyens de lutte dont nous disposons ont tous leurs propres limites soit en termes d'efficacité, de toxicité ou d'applicabilité. De plus, chaque stratégie de lutte doit être adaptée aux conditions locales. Les perspectives de réussite sont optimales lorsque l'on combine plusieurs stratégies dont la sélection doit se faire au cas par cas. L'utilisation de modèles prédictifs fiables et un diagnostic affiné sur le terrain sont des conditions primordiales pour pouvoir prendre les contre-mesures appropriées et ciblées sans perdre de temps.

D'après de nombreux experts, la culture de variétés de pommes de terre résistantes à *Phytophthora* constitue une mesure plus durable et plus prometteuse que l'utilisation de produits phytosanitaires – qu'ils soient synthétiques ou biologiques. De nouvelles techniques de sélection telles que, par exemple, la cisgénèse ou la technologie CRISPR/Cas9 ouvrent de nouvelles perspectives et pourraient accélérer efficacement la sélection de variétés résistantes. Outre l'évaluation juridique (OGM ou non), l'acceptation par le public sera essentielle. Dans la sélection de nouvelles variétés, le plus important sera de cultiver des sortes aptes à la culture, au commerce et à la consommation.

Littérature

Agroscope: www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/pflanzenbau/ackerbau/kulturarten/pommes-de-terre/maladies/krautundknollenfule.html (consulté le 4 juillet 2017)

Andersson M et al. (2017) Efficient targeted multiallelic mutagenesis in tetraploid potato (Solanum tuberosum) by transient CRISPR-Cas9 expression in protoplasts. Plant Cell Reports (36) 117–128.

Andrade JL et al. (1997/98) CIP Program Report, 77–82.

BioSuisse (2017) Marktspiegel Biokartoffeln.

Brunner S et al. (2017) Gentechnisch veränderte Kartoffelpflanzen sind resistent gegen die Krautfäule. Agrarforschung Schweiz 8(6), 208–215

Bundesamt für Landwirtschaft: www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/pflanzenschutzmittel/allgemeine-informationen.html (consulté le 4 juillet 2017)

Der Bundesrat (2017) Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.

DeVrieze M et al. (2015) Volatile organic compounds from native potato-associated *Pseudomonas* as potential anti-oomycete agents. Front Microbiol 23 (6)1295 .

Dorn B et al. (2007) Control of late blight in organic potato production: evaluation of copper-free preparations under field, growth chamber and laboratory conditions. European Journal of Plant Pathology (119) 217–240.

EU (2015) Durchführungsverordnung (EU) 2015/232 der Kommission vom 13. Februar 2015 zur Änderung und Berichtigung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Bedingungen für die Genehmigung des Wirkstoffs Kupferverbindungen.

FDA: www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GEPlants/Submissions/ucm542339 (consulté le 30 octobre 2017).

Guyer A et al. (2015) The anti-*Phytophthora* effect of selected potato-associated *Pseudomonas* strains: from the laboratory to the field. Front Microbiol. 27 (6) 1309.

Haesaert G et al. (2015) Transformation of the potato variety Desiree with single or multiple resistance genes increases resistance to late blight under field conditions. Crop Protection (77) 163–175.

Haverkort AJ et al (2008) Societal costs of late blight in potato and prospects of durable resistance through cisgenic modification, Potato Research (51) 47-57, doi:10.1007/s11540-008-9089-y.

Haverkort AJ et al (2016) Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: Scientific and societal advances in the DuRPh project. Potato Research (59) 35–66.

Hohl HR and Iselin K (1984) Strains of *Phytophthora infestans* from Switzerland with A2 mating type behaviour, Trans. Brit Mycol Soc (83) 529–530.

Hunziker L et al. (2015) *Pseudomonas* strains naturally associated with potato plants produce volatiles with high potential for inhibition of *Phytophthora infestans*. Appl Environ Microbiol 81(3), 821–30.

Jo K-R et al. (2014) Development of late blight resistant potatoes by cisgene stacking. BMC Biotechnology, 14:50.

Krebs H et al. (2013) Kupferfreie Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im Bio-Kartoffelbau? Agrarforschung Schweiz 4 (5) 238–243.

Möller K et al. (2006) Impact and Interaction of Nitrogen and *Phytophthora infestans* as Yield-limiting and Yield-reducing Factors in Organic Potato *(Solanum tuberosum L.)* Crops. Potato Research, 49 (4) 281–301.

Schöber-Butin B (2001) Die Kraut- und Braunfäule der Kartoffel und ihr Erreger *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Mitteilungen aus der Biologische Landesanstalt für Landwirtschaft und Forst, Berlin-Dahlem, Heft 384, S. 64.

Schumann G.L (1991) Plant Diseases: Their Biology and Social Impact.

Sun K et al. (2016) Silencing of six susceptibility genes results in potato late blight resistance. Transgenic Research 25(5) 731-742. doi:10.1007/s11248-016-9964-2.

Swisspatat: www.kartoffel.ch/fileadmin/redaktion/pdf/Medien/Statistik/Statistische_Angaben_Kartoffeln_2017.pdf (consulté le 30 octobre 2017).

MENTIONS LÉGALES

EDITEUR ET CONTACT
Académies suisses des sciences
SCNAT | Forum Recherche génétique | Maison des Académies
Laupenstrasse 7 | Postfach | 3001 Bern
geneticresearch@scnat.ch

RÉDACTION
Christoph Lüthi, Lucienne Rey, Luzia Guyer, Franziska Oeschger

EXPERTES ET EXPERTS
Aurélien Bailly (UZH), Ueli Grossniklaus (Forum Recherche génétique), Evert Jacobsen (Wageningen UR), Martine Jotterand (Forum Recherche génétique), Tomke Musa-Steenblock (Agroscope), Didier Reinhardt (Forum Recherche génétique), Jörg Romeis (Forum Recherche génétique), Olivier Sanvido (Forum Recherche génétique), Helge Sierotzki (Syngenta), Bruno Studer (Forum Recherche génétique), Marcel van der Heijden (Forum Recherche génétique)

TRADUCTION : CVB-International – Dr Valérie Cardona
MISE EN PAGE : Olivia Zwygart
PHOTOS : agrarfoto.com; Plant breeding, Wageningen University and Research; Agroscope; Thomas Weightman/Alamy Stock Foto

Cette fiche d'information est basée sur les présentations et discussions d'Aurélien Bailly (UZH), de Brice Dupuis (Agroscope), d'Evert Jacobsen (Wageningen UR), de Tomke Musa-Steenblock (Agroscope), d'Helge Sierotzki (Syngenta) et de Lucius Tamm (FiBL) à l'occasion du congrès « Le mildiou de la pomme de terre – des solutions nouvelles à un vieux problème » organisé le 30 novembre 2016. Les résultats ont été compilés et actualisés par la rédaction puis évalués par des expert(e)s.

Un projet de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT)

sc | nat

Proposition de citation : Académie suisse des sciences naturelles (2018) De nouvelles approches pour la protection des pommes de terre contre le mildiou. Swiss Academies Factsheet 13 (1)

www.academies-suisses.ch

ISSN (print): 2297-1602
ISSN (online): 2297-1610

DOI: 105281/zenodo.1168422