

Végéphy – 12^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 11 ET 12 DÉCEMBRE 2018

GESTION DU RISQUE APHANOMYCES SUR POIS

A. MOUSSART ^(1,3), M.-L. PILET-NAYEL ^(2,3) ET A. BARANGER ^(2,3)

- ⁽¹⁾ TERRES INOVIA, Avenue Lucien Bretignières 78850 Thiverval-Grignon, France.
a.moussart@terresinovia.fr
- ⁽²⁾ INRA, UMR IGEPP, Domaine de la Motte 35653 Le Rheu, France. marie-laure.pilet-nayel@inra.fr; alain.baranger@inra.fr
- ⁽³⁾ Unité Mixte Technologique TERRES INOVIA-INRA, PISOM, Domaine de la Motte 35653 Le Rheu, France

RÉSUMÉ

La pourriture racinaire due à *Aphanomyces euteiches* est la principale maladie tellurique du pois en France et il n'existe actuellement aucune méthode de lutte chimique ou génétique. La gestion du risque est basée sur un test biologique qui permet de connaître le potentiel infectieux de la parcelle. Des recommandations sont associées au résultat du test afin de préserver les rendements et l'état sanitaire du sol. Elles concernent principalement le type de pois (hiver ou printemps) qu'il est possible de cultiver dans la parcelle et le choix des légumineuses de la rotation. Les recherches se poursuivent pour améliorer la gestion du risque et portent notamment sur la création de variétés partiellement résistantes et la mise au point d'une grille de risque.

Mots-clés : oomycète, légumineuses, potentiel infectieux, échappement, résistance.

ABSTRACT

DISEASE MANAGEMENT OF APHANOMYCES ROOT ROT OF PEA

Aphanomyces root rot of pea is the most important root disease of pea in France and no chemical or genetic methods of control are currently available. Disease management is based on a biologic test that allows to quantify the inoculum potential of the field. According to the result of this test, recommendations on the choice of sowing date (winter vs spring sowing) and legume species or varieties to cultivate in the rotation are made to growers in order to secure yield and preserve soil health. Research is going on to improve efficacy of disease management. It mainly focuses on disease resistance and a new decision tool to evaluate disease risk in the field.

Keywords: oomycete, grain legume, inoculum potential, avoidance, resistance.

INTRODUCTION

La pourriture racinaire, due à un oomycète, *Aphanomyces euteiches*, est la maladie tellurique la plus préjudiciable sur pois. Lorsque les conditions climatiques sont favorables, l'agent pathogène pénètre dans le système racinaire des plantes et s'y multiplie, occasionnant une pourriture des tissus, qui perturbe la fixation symbiotique, la nutrition, et par conséquent la croissance et le développement des plantes. Si l'attaque est importante, celles-ci jaunissent, se nanifient et des foyers de maladie apparaissent dans la parcelle. Les pertes de rendement, qui dépendent du niveau de contamination de la parcelle et des conditions climatiques, sont très variables mais peuvent atteindre 100% sur pois de printemps en cas de forte attaque.

Il n'existe actuellement aucune méthode de lutte chimique ou génétique opérationnelle mais les études menées conjointement depuis plusieurs années par les acteurs de la Recherche et du Développement (INRA UMR IGEPP et UNIP puis TERRES INOVIA) ont permis de proposer aux agriculteurs des solutions pour gérer durablement le risque aphanomyces.

LA GESTION ACTUELLE DU RISQUE APHANOMYCES

La gestion actuelle du risque aphanomyces repose sur un test biologique de potentiel infectieux préalable au semis qui permet de conseiller l'agriculteur afin de préserver le rendement de la culture et l'état sanitaire du sol. Les recommandations concernent principalement le type de pois (hiver ou printemps) qu'il est possible de cultiver dans la parcelle, et le choix des légumineuses de la rotation.

LE TEST DE POTENTIEL INFECTIEUX (PI), BASE DE LA GESTION DU RISQUE

L'aphanomyces est présent dans toutes les zones de production, excepté dans les sols très calcaires peu réceptifs à la maladie, mais le pourcentage de parcelles touchées, ainsi que les niveaux de contamination, sont très variables. Le pois peut être cultivé sans risque dans de nombreuses situations, sous réserve que l'absence de risque soit établie au préalable. Un test biologique, mis au point au début des années 2000, puis transféré à plusieurs laboratoires de diagnostic, permet d'évaluer ce risque. Ce test, réalisé à partir d'un échantillon de sol, permet en effet d'établir la probabilité de développement la maladie en fonction du PI de la parcelle (Moussart *et al.*, 2009). Il est donc recommandé avant chaque culture de pois, quels que soient le nombre de pois cultivés dans l'historique de la parcelle et l'année de culture du dernier pois. Il peut être effectué à tout moment de l'année, afin d'anticiper le risque et d'arbitrer les choix de semis. Le résultat du test est donné selon une échelle de 0 (pathogène non détecté) à 5 (risque très élevé).

LE POIS D'HIVER, UNE ALTERNATIVE AU POIS DE PRINTEMPS DANS DE NOMBREUSES PARCELLES

Actuellement, aucune variété de pois de printemps ou d'hiver commercialisée n'est résistante à l'aphanomyces. En revanche, des essais réalisés au champ et en conditions contrôlées ont permis de mettre en évidence l'échappement partiel du pois d'hiver (Moussart *et al.*, 2016).

Des essais multilocus (5 à 6 sites localisés en Centre-Val de Loire et Hauts de France) et pluriannuels (de 2011 à 2015) ont tout d'abord été menés, en collaboration avec le Groupement des Sélectionneurs de Protéagineux (GSP), afin d'étudier le développement et la nuisibilité de la maladie en fonction de la date de semis (hiver vs printemps). Pour chaque site, des semis d'hiver et de printemps ont été réalisés sur deux parcelles géographiquement proches, l'une fortement contaminée et l'autre saine. En parcelle contaminée, contrairement à ce qui est observé sur pois de printemps, les symptômes apparaissent tardivement et évoluent lentement sur le système racinaire des pois d'hiver et aucun symptôme n'apparaît sur parties aériennes, quels que soient l'année et le site considérés. Les écarts de rendements moyens entre parcelles saines et contaminées sont par ailleurs de 11% pour les variétés de pois d'hiver contre 44% pour les variétés de pois de printemps.

Une étude analytique menée en serre a permis dans un second temps de comprendre la faible nuisibilité de la maladie sur pois d'hiver. Des variétés de pois d'hiver et de printemps présentant différents stades de développement ont été inoculées avec une suspension de spores d' *A. euteiches*, et l'impact de la maladie sur la croissance et le développement végétatif et reproducteur de ces

plantes a été mesuré. Les résultats ont montré que, quelle que soit la variété, le pois est d'autant plus sensible à l'aphanomyces qu'il est attaqué à un stade jeune (Tableau I).

Tableau I : Nuisibilité de la pourriture racinaire due à *Aphanomyces euteiches* en fonction du stade de la plante au moment de l'inoculation. Disease impact according to plant stage at the time of inoculation.

Pourcentages de pertes ⁽¹⁾	Stade des plantes au moment de l'inoculation			
	2 étages	6 étages	12 étages	Floraison
Longueur de tige principale	59%	29%	NS	NS
Biomasse aérienne	75%	44%	NS	NS
Nombre de gousses/plante	76%	46%	29%	NS
Nombre de graines/gousse	30%	19%	NS	NS
Nombre de graines/plante	84%	56%	24%	NS
PMG	NS	NS	NS	NS

NS : Non Significatif

(1)calculés par rapport au témoin non inoculé

Le pois d'hiver en culture échappe donc partiellement à la maladie car lorsque les conditions climatiques sont favorables et que les premières attaques ont lieu (à partir d'avril-mai), le pois de printemps est peu développé alors que le pois d'hiver, proche de la floraison, est à un stade de développement à partir duquel la nuisibilité de la maladie devient plus faible.

Ces résultats ont permis de conseiller les agriculteurs sur les parcelles à privilégier pour la culture du pois et sur le type de pois à cultiver dans ces parcelles. Ainsi, le pois de printemps, très vulnérable à l'aphanomyces, ne doit pas être cultivé dans une parcelle dont le PI est supérieur à 1. Le pois d'hiver, en raison de son échappement partiel, peut en revanche être cultivé dans des parcelles plus fortement contaminées et constituer ainsi une alternative au pois de printemps dans de nombreux cas. Toutefois, même si le pois d'hiver est peu impacté, il est vivement déconseillé dans les parcelles dont le PI est supérieur à 2,5. Au delà d'un tel PI, la maladie passe généralement inaperçue en végétation mais peut malgré tout occasionner des pertes de rendement et augmenter le PI du sol si les conditions sont très favorables. Enfin, comme pour toute maladie racinaire, le risque sera d'autant plus faible que le pois sera semé dans de bonnes conditions.

LE CHOIX DES LEGUMINEUSES DE LA ROTATION

Jusqu'à présent, en France, des dégâts d'aphanomyces n'ont été observés au champ que sur pois et lentille. Une étude, menée en conditions contrôlées, a toutefois révélé une importante variabilité de sensibilité à la maladie entre espèces de légumineuses, et dans certains cas entre variétés au sein d'une même espèce (Moussart *et al.*, 2008 ; Moussart, 2017).

Plus de 250 variétés appartenant à 12 espèces différentes de légumineuses, ont été criblées pour leur résistance à *A. euteiches*, sous forte pression d'inoculum et en utilisant une souche française de référence. Les résultats ont mis en évidence la forte sensibilité de toutes les variétés de lentille, luzerne et gesse évaluées. Les symptômes observés sur toutes les variétés testées de féverole, soja et sainfoin étaient très faibles à nuls, révélant une résistance élevée proche de la résistance totale. Pour certaines espèces de vesce ou de trèfle, des variétés sensibles, partiellement résistantes et très résistantes ont en revanche été identifiées (Tableau II). Enfin, Dans le cas du lupin, du pois chiche, du fenugrec et du lotier, l'absence totale de symptômes sur le système racinaire des variétés évaluées laisse supposer que ces espèces sont totalement résistantes ou non hôtes.

Tableau II : Classement des variétés de trèfle et de vesce évaluées en fonction de leur niveau de résistance à *A. euteiches*. Classification of clover and vetch varieties according to their susceptibility to *A. euteiches*

Espèce		Variétés totalement résistantes à très résistantes (INR $\leq$ 1) ⁽¹⁾	Variétés partiellement résistantes à sensibles (INR>1)
Trèfle	Trèfle d'Alexandrie (<i>T. alexandrinum</i>)	Maremma, Polaris, Sacromonte, Tabor, Tigri	
	Trèfle hybride (<i>T. hybridum</i>)	Aurora	
	Trèfle incarnat (<i>T. incarnatum</i>)	Bolsena, Carmina, Cegalo, Contea, Diogene, Kardinal, Tardivo, Trincat	
	Trèfle violet (<i>T. pratense</i>)	Diplo, Formica, Lemmon, Lestris, Merviot	Larus, Mistral
	Trèfle blanc (<i>T. repens</i>)	Aber daï, Aberace, Giga, Lune de Mai, Tara	Abercrest, Abervantage, Alberta, Aran, California, Grasslands demand, Grasslands Huia, Grasslands Tahora, Ladino, Luclair, Seminole, Menna, Merwi, NFG Gigant, Régat, Rivendel, Sonja, Podkowa
	Trèfle de Perse (<i>T. resupinatum</i>)	Ciro, Laser	Lightning
Vesce	Vesce commune (<i>V. sativa</i>)	Aneto, Ardente, Capucine, Caravelle, Catarina, Corail, Malachite, Marine, Melissa, Mikaela, Nacre, Pepite, Scarlett, Topaze, Vigile	Amethiste, Barvicos, Beta, Candy, Caribou, Cristal, Delphi, Granit, Jade, Nikian, Opale, Platine, Rubis, Safran, Spido, Spinelle
	Vesce pourpre (<i>V. benghalensis</i>)		Barloo, Bingo, Popany
	Vesce velue (<i>V. villosa</i>)		Hungvillosa, Massa, Savane, Villana

⁽¹⁾INR : Indice de Nécrose Racinaire (échelle de 0 à 5).
Root Necrosis Index (scale from 0 to 5).

Afin de préserver l'état sanitaire des sols et de contrôler le développement de la maladie, il est indispensable de raisonner la place des espèces et variétés de légumineuses dans la rotation, en tenant compte de leur sensibilité à la maladie et du PI de la parcelle (Moussart *et al.*, 2013). En culture principale, des légumineuses très résistantes comme la féverole peuvent remplacer le pois lorsque celui-ci est déconseillé (PI > 1 pour le pois de printemps et PI > 2,5 pour le pois d'hiver), ou être cultivées en alternance avec ce dernier dans les parcelles saines ou faiblement contaminées, afin de réduire la fréquence de retour du pois et donc limiter le risque aphanomyces. En revanche, il est fortement déconseillé de cultiver dans une même rotation deux légumineuses sensibles comme le pois et la lentille. Si cela est le cas, il est indispensable de maintenir un délai d'au moins six ans entre chaque espèce, ce délai restant toutefois insuffisant à lui seul pour exclure totalement le risque aphanomyces. Les légumineuses cultivées en couverts d'interculture, dérobées, associées ou comme plantes compagnes, sont également concernées par l'aphanomyces. Le cycle de la maladie peut en effet être très rapide si les conditions climatiques sont favorables (ce qui est possible entre mars et fin octobre), et la culture d'une espèce/variété sensible pendant seulement quelques semaines peut suffire à multiplier l'agent pathogène. Les légumineuses sensibles semées à partir de fin juillet-début août et détruites avant la fin de leur cycle végétatif durant l'hiver (couverts d'interculture ou de légumineuses gélives associés à du colza, par exemple) ou semées au printemps (plantes compagnes à vocation permanente ou non, par exemple) peuvent donc multiplier l'inoculum même si leur cycle cultural est court. Tout comme pour les cultures principales, le choix de l'espèce ou de la variété est donc également déterminant. Lorsque le PI est inférieur à 1 et qu'il n'existe pas d'espèce sensible en culture principale dans la rotation, il n'y a pas de restriction. À l'inverse, si le PI est supérieur à 1 ou si des légumineuses sensibles sont présentes dans la rotation, il est recommandé de choisir des espèces/variétés non hôtes ou très résistantes. Il est ainsi fortement déconseillé d'insérer du pois, de

la lentille ou toute autre espèce ou variété sensible, en interculture ou culture dérobée par exemple, quand du pois ou de la lentille sont déjà présents en culture principale. En revanche, pour les légumineuses semées à partir d'octobre et détruites avant la fin de l'hiver, le risque de multiplier le pathogène est très faible en raison des conditions climatiques défavorables à la maladie. Quel que soit le type de couvert, le respect des fréquences de retour conseillées reste indispensable, même pour des variétés très résistantes.

LES PERSPECTIVES D'AMELIORATION DE LA STRATEGIE ACTUELLE DE GESTION DU RISQUE

Les recherches se poursuivent pour améliorer la gestion actuelle du risque aphanomyces sur pois. Ces recherches concernent principalement la création de variétés partiellement résistantes et la mise au point d'une grille de risque.

LA CREATION DE VARIETES RESISTANTES : DES AVANCEES SIGNIFICATIVES

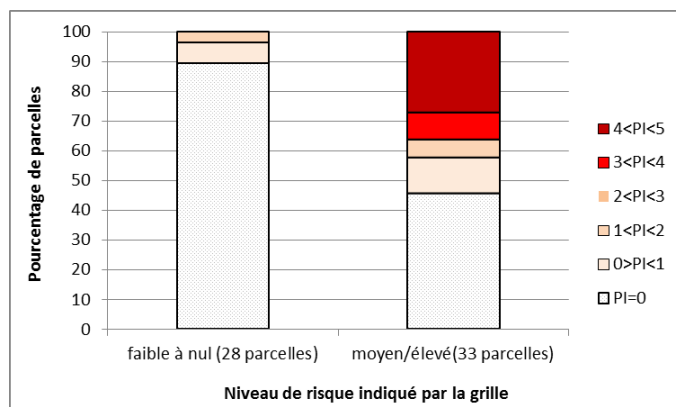
Des avancées significatives en génétique et sélection pour la résistance à aphanomyces ont été réalisées ces dernières années.

Le criblage d'environ 1900 accessions de *Pisum* a tout d'abord permis d'identifier un nombre restreint de sources de résistance partielle à *A. euteiches* dans la variabilité naturelle étudiée (Pilet-Nayel *et al.*, 2007). A partir de ces sources, plusieurs régions du génome du pois contrôlant la résistance au champ, dont l'une à effet majeur, ont ensuite été mises en évidence (Hamon *et al.*, 2013 ; Desgroux *et al.*, 2016). Afin de cumuler les principales régions du génome associées à la résistance dans du matériel agronomique, des marqueurs moléculaires ont été développés, permettant de tracer ces régions dans les programmes de sélection. Un programme de rétrocroisements assistés par marqueurs a ainsi pu être mené à l'INRA (Lavaud *et al.*, 2015) et une centaine de lignées d'introgression a été obtenue. L'évaluation de ces lignées en conditions contrôlées pour la résistance à aphanomyces a montré l'action de plusieurs régions génomiques, individuellement ou en combinaison, sur le retard de l'apparition des symptômes et/ou sur la réduction de la colonisation de la plante par l'agent pathogène (Lavaud *et al.*, 2016). L'évaluation de ces lignées au champ, sur un réseau multi-local et pluri-annuel de pépinières infestées, a montré l'efficacité de plusieurs combinaisons de régions génomiques pour diminuer la sévérité de la maladie. L'efficacité des résistances et des différentes composantes génétiques contrôlant ces résistances pour réduire la nuisibilité de la maladie est par ailleurs en cours d'étude. L'ensemble des outils et ressources (marqueurs moléculaires, géniteurs, méthodologie de sélection) ont été transférés en temps réel aux sélectionneurs du GSP et une méthodologie simplifiée d'évaluation de la résistance, destinée notamment aux réseaux d'inscription est en cours d'élaboration, ce qui devrait permettre d'accélérer la mise sur le marché de variétés partiellement résistantes à *A. euteiches*.

LA GRILLE DE RISQUE : UN NOUVEL OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Le test de potentiel infectieux, sur lequel reposent les recommandations pour préserver le rendement du pois et l'état sanitaire des parcelles, est peu utilisé par les agriculteurs, ce qui fragilise la stratégie de gestion du risque. Une grille de risque, qui permettrait de remplacer au moins partiellement le test biologique est en cours d'élaboration. L'analyse d'une base de données regroupant les informations relatives à plus de 700 parcelles, en particulier la localisation de la parcelle, le type de sol et l'historique cultural, a permis d'identifier les facteurs explicatifs du potentiel infectieux d'un sol. Un poids a ensuite été attribué à chacun de ces facteurs afin de construire la grille de risque. Cette grille, telle qu'elle se présente actuellement permet de classer une parcelle dans deux niveaux de risque : nul à faible d'une part (le test biologique est facultatif, le pois peut être cultivé dans la parcelle) et moyen à élevé d'autre part (un test doit être réalisé avant le semis). Cette grille a été testée sur 61 parcelles en 2017 et 2018. A l'exception d'une parcelle, la grille a permis d'identifier les parcelles à risque (PI>1) mais le risque est encore surestimé puisque 57% des parcelles classées à risque ont un PI<1 (Figure 1). Elle a par ailleurs permis d'identifier de manière satisfaisante les parcelles à risque faible à nul. Des observatoires régionaux sont prévus afin d'acquérir des informations complémentaires en vue d'améliorer la précision de la grille et de la rendre plus opérationnelle.

Figure 1 : Potentiel Infectieux des parcelles en fonction du niveau de risque indiqué par la grille (en pourcentage de parcelles par classe de PI). Inoculum Potential of fields according to the level of risk indicated by the grid (in percentage of fields per class of Inoculum Potential)



CONCLUSION

Les solutions actuellement disponibles pour gérer le risque aphanomyces sont uniquement préventives. Les recherches se poursuivent pour identifier d'autres leviers préventifs et/ou partiellement curatifs, dont la résistance génétique. Ces nouveaux leviers devront toutefois être intégrés dans une stratégie globale basée sur un cumul de leviers à efficacité partielle, pour une gestion efficace et durable de la maladie.

REMERCIEMENTS

Les travaux présentés ont notamment été financés par France Agrimer, les projets Contrat de Branche SAMPOIS (MAA), Investissement d'Avenir PeaMust (ANR-11-BTBR-0002) et Onema ARMEN.

BIBLIOGRAPHIE

Desgroux A., L'Anthoëne V., Roux-Duparque M., Rivière J.P., Aubert G., Tayeh N., Moussart A., Mangin P., Vetel P., Piriou C., McGee R.J., Coyne C.J., Burstin J., Baranger A., Manzanares-Dauleux M., Bourion V., PiletNayel M.L., 2016-Genome-wide association mapping of partial resistance to *Aphanomyces euteiches* in pea. *BMC Genomics*, 17:124.

Hamon C., Coyne C.J., McGee R.J., Lesné A., Esnault R., Mangin P., Hervé M., Le Goff I., Deniot G., Roux-Duparque M., Morin G., McPhee K., Delourme R., Baranger A., Pilet-Nayel M-L., 2013-QTL meta-analysis provides a comprehensive view of the moderately low diversity of loci controlling partial resistance to *Aphanomyces euteiches* in four pea sources of resistance. *BMC Plant Biology* 13:45.

Lavaud C., Lesné A., Piriou C., Le Roy G., Boutet G., Moussart A., Poncet C., Delourme R., Baranger A., PiletNayel M-L., 2015-Validation of QTL for resistance to *Aphanomyces euteiches* in different pea genetic backgrounds using Near Isogenic Lines. *Theor Appl Genet*, 128:2273-2288.

Lavaud C., Baviere M., Le Roy G., Hervé M., Moussart A., Delourme R., Pilet-Nayel M-L., 2016-Single and multiple resistance QTL delay symptom appearance and slow down root colonization by *Aphanomyces euteiches* in pea Near-Isogenic-Lines. *BMC Plant Biol*, 16:166.

Moussart A., Even MN. and Tivoli B., 2008-Reaction of genotypes from several species of grain and forage legumes to infection with a French pea isolate of the oomycete *Aphanomyces euteiches*. *Eur J Plant Pathol* 122:321-333.

Moussart A. Wicker E., Le Delliou B., Abélard JM., Esnault R., Lemarchand E., Rouault F., Le Guennou F., Pilet-Mayel ML., Baranger A., Rouxel F. and Tivoli B., 2009-Spatial distribution of *Aphanomyces*

euteiches inoculum in a naturally infested pea field. *European Journal of Plant Pathology*, 123: 153-158.

Moussart A., Even MN., Lesne A. and Tivoli B., 2013-Successive legumes tested in a greenhouse crop rotation experiment modify the inoculum potential of soils naturally infested by *Aphanomyces euteiches*. *Plant Pathology* 62, 545–551.

Moussart A., Even MN. and Baranger A., 2016-Effect of sowing date on *Aphanomyces* root rot development and yield losses. *Second International Legume Society Conference, 11-14 octobre 2016*.

Moussart A., 2017-*Aphanomyces euteiches*. Quelles légumineuses pour préserver l'état sanitaire des sols. *Arvalis Terres Inovia infos, Juin 2017*, pp 37-38.

Pilet-Nayel ML., Coyne CJ., Hamon C., Lesné A., Le Goff I., Esnault R., Lecointe R., Roux-Duparque M., McGee RJ., Mangin P., McPhee K., Moussart A., Baranger A., 2007-Understanding genetics of partial resistance to *Aphanomyces* root rot in pea for new breeding prospects. *Proc 3d International Workshop on Aphanomyces in Legumes, 07-09 novembre 2007, Rennes, France* : 34-39.