



■ PRÉSENCE AU CHAMP

Une observation minutieuse des racines permet de déceler précocement la maladie.

■ RISQUE

Des études récentes ont abouti à une hiérarchisation des facteurs de risques.

■ RÉSISTANCE VARIÉTALE

Des travaux en cours étudient la sensibilité des variétés de blé tendre, d'orge d'hiver et de triticales.

■ PIÉTIN-ÉCHAUDAGE



Le piétin-échaudage entraîne des pertes économiques très importantes dans le monde entier, d'où son nom anglais : *take-all*, la maladie qui prend tout !

ÉTAT DES LIEUX

UNE MALADIE RACINAIRE en recrudescence en France

Le piétin-échaudage est dû à un genre de champignons attaquant les Poacées, notamment le blé, l'orge, le triticales, l'avoine et le seigle. En France, il est problématique dans de nombreuses régions céréalières et semble en progression depuis quelques années, avec des pressions variables selon l'année.

Signalé pour la première fois en 1852 dans le sud de l'Australie, le piétin-échaudage prend le nom de *take-all* dès 1870, après la découverte de champs de blé entièrement ravagés par une sévère brûlure de semis. En 1890, Prilleux et Delacroix identifient le champignon comme *Ophiobolus graminis*. Au fil des avancées scientifiques et des observations, le genre *Gaeumannomyces* a été

établi et le champignon renommé *Gaeumannomyces graminis*.

En comparant des souches provoquant des symptômes sur différentes espèces de graminées, Walker conclut, en 1972, qu'elles appartiennent à des pathovars de *G. graminis* différant par l'hôte, la pathogénicité ou encore par la taille des ascospores. Le champignon responsable du piétin-échaudage du blé est alors décrit comme le pathovar *G. graminis* var. *tritici*; le plus agressif, il attaque les céréales à paille, à l'exception de l'avoine (*encadré*), et un grand nombre de graminées adventives. Les blés y sont plus sensibles que le triticales et l'orge, eux-mêmes plus sensibles que le seigle.

G. graminis var. *avenae* infecte aussi les céréales à paille (blé et orge) mais est beaucoup moins agressif que le précédent et attaque principalement l'avoine. *G. graminis* var. *graminis* est spécifique du gazon (agrostis, féтуque), du riz, du chiendent et d'autres

Le cas particulier de l'avoine

***G. tritici* n'est pas capable d'affecter l'avoine. En effet, l'avoine synthétise quatre protéines aux propriétés antifongiques (ou phytoanticipines) : les avénacines A-1, A-2, B-1 et B-2, qui sont produites en cas d'attaque, au niveau racinaire. *G. avenae* est la seule espèce de *Gaeumannomyces* à posséder une enzyme, l'avénacinase, capable de détruire les molécules d'avénacines en les hydrolysant, et ainsi d'infecter l'avoine.**

graminées adventices. *G. graminis* var. *maydis* est spécifique au maïs mais peut infecter le sorgho et d'autres céréales à la marge.

En 2016, suite à une étude taxonomique, Hemández-Restrepo et collaborateurs concluent qu'il ne s'agit pas de pathovars différents mais bien de trois espèces différentes. Le nouveau nom proposé pour le champignon responsable du piétin-échaudage du blé est donc *Gaeumannomyces tritici*. Deux groupes génétiques identifiés par l'Inra de Rennes existent, G1 et G2, et peuvent être présents en même temps dans le sol. Cependant, le génotype G1 est plus fréquemment rencontré en première année de culture, alors qu'un pic du génotype G2 peut être observé en troisième et quatrième année de culture sur racines infectées. Le génotype G2 a pour particularité d'être, en moyenne, plus agressif. Ces deux groupes peuvent être différenciés par des outils moléculaires.

Un inoculum primaire présent dans le sol

Le développement du piétin-échaudage comporte une phase de reproduction asexuée et une phase de reproduction sexuée (figure 1). La majeure partie du cycle est effectuée dans le sol, à une profondeur de 5-10 cm. *G. tritici* est capable de survivre sous forme mycélienne sur les résidus de culture jusqu'à deux ans sans hôte intermédiaire, selon les conditions pédoclimatiques ; en sol chaud et humide (30 °C et -0,3 MPa), en revanche, il est éliminé en moins de trois mois. Ce n'est pas un champignon compétitif et sa croissance à travers le sol est très limitée, ce qui explique que la maladie est souvent en foyer et liée à une rotation culturale riche en céréales à paille.

La contamination a lieu lorsque des racines saines entrent en contact avec le mycélium présent dans le sol, qui constitue alors l'inoculum primaire.

Pour les blés d'hiver, l'infection primaire débute en automne et des nécroses peuvent apparaître peu de temps après la levée. Le froid de la période hivernale stoppe le développement du champignon qui reprend au printemps, avec le réchauffement du sol et la reprise de la végétation.

La propagation de la maladie est assurée par l'infection secondaire : le champignon se développe par contamination des racines saines avec des racines infectées de la même plante (auto-infection) ou d'une plante voisine (allo-infection). En été, le champignon reprend un mode de vie saprophytique sur les racines nécrosées et les tissus desséchés, formant un manchon noir à la base des tiges.

CYCLE DE DÉVELOPPEMENT : une phase asexuée prépondérante pour la maladie

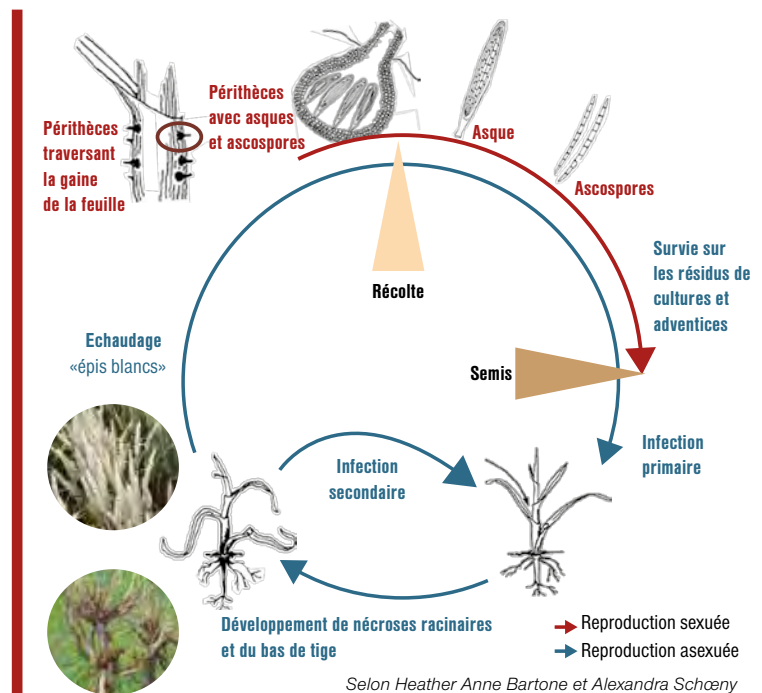


Figure 1 : Cycle du piétin-échaudage, causé par *Gaeumannomyces tritici*. Adaptée par Cloé Adam.

La reproduction sexuée a très probablement un rôle assez mineur dans l'épidémiologie de la maladie. En effet, les ascospores (organes de dissémination du champignon en phase sexuée) ne se forment à la base des tiges que quelques semaines avant la moisson. En revanche, ils participent certainement à la contamination des repousses de céréales ou des adventices qui risquent à leur tour de contaminer la culture de blé suivante.

« **Dépendant de l'historique culturel, l'inoculum** primaire du champignon joue un rôle majeur dans le développement de la maladie. »

L'inoculum primaire du champignon dépend de l'historique culturel et joue un rôle

majeur dans le développement de la maladie. Dans la rotation culturale peuvent se succéder des plantes hôtes, non hôtes et amplificatrices. Les plantes hôtes (céréales à paille) favorisent le développement de la maladie, contrairement aux plantes non hôtes (pois, betterave, luzerne) qui tendent à le diminuer. Les plantes amplificatrices telles que le maïs augmentent le risque en modifiant la composition du microbiote (ensemble des micro-organismes) du sol dans un sens favorable à la maladie.

Ainsi, la maladie sera plus fréquente et intense dans des rotations très courtes en céréales à paille, notamment pour la seconde paille car la quantité d'inoculum primaire sera déjà très élevée au moment du semis de la seconde paille. Au contraire,

diminuer la fréquence de retour des plantes hôtes permet de réduire la sévérité et l'incidence de la maladie. Cependant, il a été montré que, dans le cas d'une monoculture de blé, au bout de la quatrième année (ou un peu plus tard, suivant le site) une diminution des symptômes de la maladie est constatée. Ce phénomène, dit « déclin du piétin-échaudage » (ou TAD pour *take-all decline*), s'explique par des modifications du microbiote du sol qui favorisent notamment des bactéries antagonistes de *G. tritici* telles que *Pseudomonas* spp., et aussi par des modifications de la composition des populations de *G. tritici*.

Penser à regarder les racines !

Le champignon pénètre à l'intérieur des racines et altère les vaisseaux du xylème : la plante ne peut donc plus puiser correctement dans le sol l'eau et les nutriments nécessaires à sa croissance et à son développement. Ce phénomène entraîne l'« échaudage » (voir *Zoom*). Lors d'attaque précoce en reprise de végétation, les plantes sont chétives, moins développées et jaunissantes ; une réduction du plateau de tallage peut également être observée. Une forte attaque peut conduire à la perte précoce des plantes, sinon à l'arrêt plus ou moins total du

« **D'importantes pertes de rendements peuvent** survenir sans qu'apparaissent forcément des épis blancs. »

remplissage des grains ou de leur maturation, et peut s'accompagner d'un blanchiment des épis - un symptôme caractéristique apparaissant surtout en cas de stress hydrique prononcé ; cependant, ce



Le blanchissement des épis est favorisé par les conditions sèches qui amplifient les stress hydrique et azoté engendrés par la nécrose des racines.

PRESSION DE LA MALADIE : elle a été significative en 2018

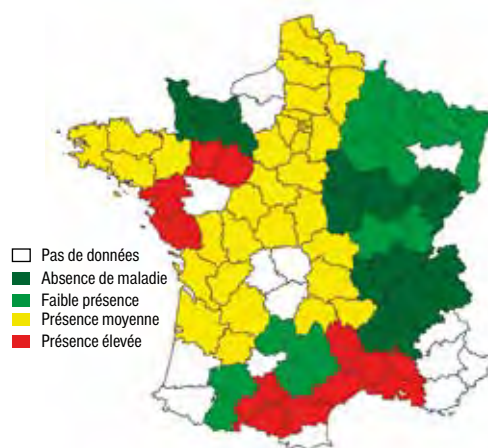


Figure 2 : Estimation des dégâts de piétin-échaudage en 2018 sur blé tendre.

symptôme n'est pas systématique, même en cas de forte infestation des racines.

Au niveau de la parcelle, la maladie entraîne l'apparition de foyers faisant moins d'un mètre ou formant de grandes zones irrégulières se rejoignant. Ces zones sont généralement trouvées au niveau des andains de paille du précédent ou de l'antéprécédent.

Pour déterminer la présence de piétin-échaudage, effectuer un prélèvement soigné à la bêche ou au plantoir en conservant intactes un maximum de racines. Les racines sont ensuite lavées ; plusieurs lavages sont souvent nécessaires pour réaliser une observation en l'absence totale de terre.

L'observation minutieuse du système racinaire permet de déceler précocement la maladie. En effet, le champignon provoque des nécroses prenant l'aspect de manchons noirs sur les racines. Au niveau des jeunes racines, les nécroses se caractérisent par une coloration intense de la stèle mais pas du cortex, ce qui permet de différencier les symptômes causés par *G. tritici* des symptômes causés par d'autres agents pathogènes comme *Helminthosporium sativum* ou *Fusarium* spp. ; de plus, la nécrose générée par la fusariose est marron et localisée au niveau de la tige, des nœuds et du plateau de tallage. La progression des nécroses est asymétrique et ascendante à partir des sites d'infection. Une nécrose allant de 1 à 3 cm peut également apparaître en bas de tige, signe de la progression du champignon.

Le changement climatique accroît-il la pression du piétin-échaudage ?

La distribution géographique du piétin-échaudage est déterminée par le climat (*figure 2*). La température optimale de croissance du champignon est de 20-25 °C, mais les attaques les plus graves ont lieu dans un sol à 5-15 °C, du fait de la compétition plus importante avec d'autres agents pathogènes à des

Le champignon est peu compétitif et sa mobilité dans le sol est limitée, d'où un développement de la maladie en foyers caractéristiques mais de tailles très variables.

© N. Cornec

températures plus élevées ; ainsi, il n'entraîne plus de symptômes sur blé au-delà de 29 °C.

Son développement est plus important dans les régions irriguées ou à pluviométrie élevée, et il est admis que les printemps et les étés humides le favorisent. En revanche, une période sèche amplifie l'impact de la maladie sur le rendement : les conditions sèches et chaudes accentuent les symptômes, la plante étant encore plus stressée.

Au vu des observations réalisées par les techniciens, les parcelles de céréales à paille concernées par les attaques de piétin-échaudage sont en augmentation depuis plusieurs années, en particulier sur l'orge d'hiver. Sans observation racinaire objective, il reste difficile de chiffrer le pourcentage de surfaces concernées, mais une étude récente (voir l'article « Incidence du piétin-échaudage en Pays de la Loire » page 55 de ce numéro) a montré que 26 % des parcelles avaient été touchées par la maladie en Vendée en 2016.

Sur blé tendre, les régions Ouest (Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes) et Languedoc semblent présenter les plus gros dégâts, mais la maladie s'exprime également sur une partie importante du territoire ; elle est moins présente à l'est de la France. Sur orge d'hiver, la région Ouest est la principale région concernée.

Romain Valade - r.valade@arvalis.fr

Éric Masson

ARVALIS - Institut du végétal

Alain Sarniguet - alain.sarniguet@inra.fr

INRA-UMR IGEPP, Le Rheu

ZOOM

COMMENT RECONNAÎTRE le piétin-échaudage

Cette maladie est avant tout racinaire : il est donc primordial d'observer les racines dès les premiers soupçons ! Voici quelques repères pour identifier la maladie à différents stades du blé.

À un stade précoce

Les premiers symptômes d'attaque peuvent apparaître dès l'automne. En effet, lorsque le mycélium du champignon pénètre dans les racines séminales, il provoque une rupture d'alimentation qui se traduit par le jaunissement de la pointe des vieilles feuilles. À ce stade, l'observation des racines ne révèle pas toujours la présence des manchons noirs caractéristiques, mais de petites nécroses noires sont visibles.



Les symptômes sont souvent observés au niveau des andains de paille du précédent.



Les premières attaques se traduisent par un jaunissement de la pointe des vieilles feuilles.

En sortie hiver

Les symptômes deviennent plus caractéristiques. Les racines présentent des nécroses noires (manchons) de plusieurs centimètres. Les plantes touchées ont une faible croissance et un tallage réduit. Les vieilles feuilles jaunissent par la pointe, symptôme caractéristique des défauts d'alimentation azotée.



Début montaison, la présence de nécroses noires sur les racines est beaucoup plus visible.



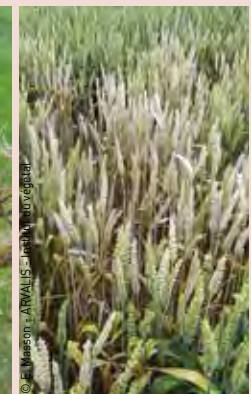
Les plantes touchées présentent une faible croissance.

À l'épiaison

On peut observer un échaudage complet de toute la plante avec ses talles, qui montre une couleur dominante blanche (paille sèche). Les racines présentent des nécroses noires parfois étendues à toute la racine. Un manchon noir de 1 à 3 cm est le plus souvent observé sur le bas de la tige ; il monte parfois au-dessus du plateau de tallage. Les racines peuvent être très nécrosées et entraîner des pertes de rendement sans que le symptôme d'échaudage soit présent.



En fin de cycle, le piétin-échaudage peut atteindre le bas de tige. Un manchon noir peut remonter au-dessus du plateau de tallage. Les racines sont noires et entièrement nécrosées.



En fin de cycle, les plantes touchées peuvent être entièrement desséchées et échaudées.