ITAB
Institut Technique de l'Agriculture Biologique

CAHIER TECHNIQUE
Carie du Blé

Ce cahier date de 2008, en complément, consultez les pages de mises à jour sur le site de l'ITAB : http://itab.asso.fr/activites/gestiondelacarie.php

Agir avant qu'il ne soit trop tard

La carie commune du blé (*Tilletia caries* ou *Tilletia foetida*) était une maladie courante jusqu'aux années cinquante. La pratique de désinfection des semences par lutte chimique l'a réduite à un état de bruit de fond. Aujourd'hui la maladie est en nette recrudescence, particulièrement en agriculture biologique, sans doute en lien, d'une part, avec l'obligation d'utilisation de semences biologiques donc non traitées chimiquement et, d'autre part, avec le fait que les agriculteurs ne connaissent plus cette maladie et ne prennent pas à temps les précautions qui s'imposent. Le pouvoir de propagation de la maladie est extrêmement important, ce qui en fait un risque majeur en agriculture biologique. Le blé tendre est concerné, mais également ses apparentés, à des degrés divers : épeautre, engrain, blé dur, triticale. La vigilance à l'égard de la culture des céréales biologiques s'impose.
L'objet de ce document est de faire le point sur les connaissances actuelles sur la carie, sur les précautions à prendre pour éviter sa propagation et sur les pistes de recherche actuellement explorées pour la maîtriser.



ARDEAR Rhône-Alpes

Grain carié.



ARVALIS-Institut du Végétal

Grains boutés (grains sains contaminés par des spores de carie à la surface).

UN PEU D'HISTOIRE…

Les Anciens avaient remarqué que certains organes végétaux pouvaient souffrir d'altérations profondes et putrides. Sous le nom de « caries », le naturaliste latin Pline l'Ancien (23-79) décrit à la fois les cavités qui se forment dans le tronc des arbres et la pourriture qui détruit les semences des céréales. Vers le milieu du XVIII^{e} siècle, le naturaliste Du Tillet étudie la redoutable carie du blé en Picardie ; il préconise le lavage et le «chaulage» des grains (enrobage au lait de chaux) pour lutter contre le mal ; le traitement a une efficacité très limitée… Au début du XIX^{e} siècle, Bénédict Prévost conseille le «sulfatage» de la semence (immersion dans une solution diluée de sulfate de cuivre), pour protéger le blé de la carie : il a observé que les spores issues des grains cariés ne germent pas bien dans de l'eau distillée provenant d'un récipient en cuivre, et que des paysans connus pour leurs champs sans carie chaulent leurs semences dans des paniers en cuivre. A l'époque, observer des parcelles cariées à 50% était, semble-t-il, courant et, jusqu'aux années cinquante, la carie était considérée comme la principale maladie du blé.



Fouchard - INRA

Épi de blé présentant une atteinte de carie.

BIOLOGIE, SYMPTOMES, PROPAGATION DE LA CARIE

Présentation

Les caries sont des maladies largement répandues, provoquées par des champignons basidiomycètes de la famille des Tillétiacées appartenant au genre *Tilletia*. Dans nos régions, les espèces de cette famille n'attaquent que des graminées et la carie est connue depuis l'antiquité comme altération ou maladie du blé. Les autres cultures de céréales (épeautre, engrain – ou petit épeautre –, orge,

triticale…) sont plus ou moins affectées aussi il convient de ne pas les négliger. L'avoine par contre ne serait pas atteinte par la carie.
Visuellement, selon l'aspect des plantes on distingue deux types de caries : la carie commune et la carie naine, cette dernière s'extériorisant par un nanisme prononcé. En France, *Tilletia caries* et, en de moindres mesures *Tilletia foetida*, sont les espèces de carie commune les plus fréquemment retrouvées sur céréales. Le tableau 1 résume les espèces de carie citées dans la littérature, présentes en France ou d'autres pays.
Enfin, quelques autres caries existent aussi sur les graminées sauvages (exemple : *T. walkeri* sur ray-grass),


ITAB

L'avoine ne serait pas atteinte par la carie.

mais elles ne sont pas censées attaquer le blé naturellement.
A noter que des analyses de séquence de gènes et des comparaisons de plasmides présents dans le mycélium ont montré la grande parenté des trois espèces *T. caries*, *T. foetida* et *T. controversa*. Des études ont établi une possibilité d'hybridation entre *T. caries* et *T. controversa* et entre *T. caries* et *T. foetida*. De plus, il existe plusieurs races physiologiques à l'intérieur de chaque espèce de carie, liées au grand potentiel d'adaptation du genre *Tilletia* qui contourne assez vite les résistances variétales.
Ceci expliquerait les différences de virulence observées suivant l'origine, donc la race, de la carie.

Tableau 1 - Les espèces de caries sont multiples et répandues dans tous les pays (liste indicative)

Nom	Zones de prédilection	Conséquences, commentaires
Caries se trouvant en France		
• **Carie commune** *Tilletia caries* (syn. *Tilletia tritici*)	Régions tempérées. Fréquente sur l'ensemble du territoire français.	Grains cariés qui en éclatant contaminent les grains sains et le sol.
• **Carie commune** *Tilletia* foetida (syn. *Tilletia laevis*)	Parasite de climat chaud qui se trouve surtout en zone méditerranéenne, mais on l'observe jusque dans le nord, de façon éparse.	
• **Carie naine** *Tilletia controversa* (syn. *Tilletia brevifaciens*)	Parasite des pays froids qui s'observe très rarement, localisé dans les zones d'altitude moyenne régulièrement enneigées.	Grains cariés et nanisme prononcé des plantes. Les grains, durs, n'éclatent pas, mais les débris contaminent le sol.
Caries ne se trouvant pas en France mais dans des pays plus ou moins proches et qui peuvent inquiéter		
• **Carie de Karnal** *Tilletia indica* (syn. *Neovossia indica*)	Du nord du Moyen-Orient à l'Inde, et dans certains pays d'Amérique centrale.	Baisse importante du rendement et de la qualité des récoltes. Pas de moyen de lutte efficace par le traitement de semences : parasite de quarantaine en France.
• **Carie du seigle** *Tilletia secalis*	Fréquemment observée en Europe centrale et en Europe de l'est ; affecte aussi le triticale.	Très proche de *T. caries* (ou un pathotype de cette espèce)
• **Carie de l'orge** *Tilletia Pancicii*	Sur orge en Europe centrale.	Très proche de *T. caries* (ou un pathotype de cette espèce)
• **Carie du riz** *Tilletia horrida*	Sur riz en Extrême-Orient, en Asie du sud-est et en Amérique.	

Les symptômes chez le blé

Les blés atteints de carie commune passent pratiquement inaperçus avant l'épiaison. Il faut observer attentivement la végétation pour détecter un léger raccourcissement des plantes, accompagné par une augmentation du tallage avec des brins mous, des épis grêles ou stériles, abaissant le nombre de tiges épiées par pied. Bien que souvent faible, le raccourcissement est fonction des races de *T. caries* et de la variété atteinte. Il peut parfois dépasser 30% avec diminution du nombre d'entre-noeuds. *T. foetida* semble moins affecter les plantes.
À l'épiaison, les symptômes sont bien établis et selon les variétés une coloration bleu-verdâtre (glauque) peut marquer les feuilles et les gaines. Sur les épis cette coloration glauque est plus visible.
Les épis cariés épient un peu avant les plantes saines, mais gardent plus longtemps leur coloration vert glauque et semblent présenter un retard au moment de la maturation. Cette coloration est présente sur toutes les parties de l'épi et se manifeste plus particulièrement sur le rachis et la base des glumes.
L'épi carié est déformé par rapport à l'épi sain et souvent différent en longueur (il est la plupart du temps plus court mais selon les conditions, il peut aussi être plus long). Au début, les glumes sont plaquées sur le rachis et l'épi semble aplati. Au fur et à mesure du développement du parasite, les glumes se redressent et s'écartent anormalement pour finir



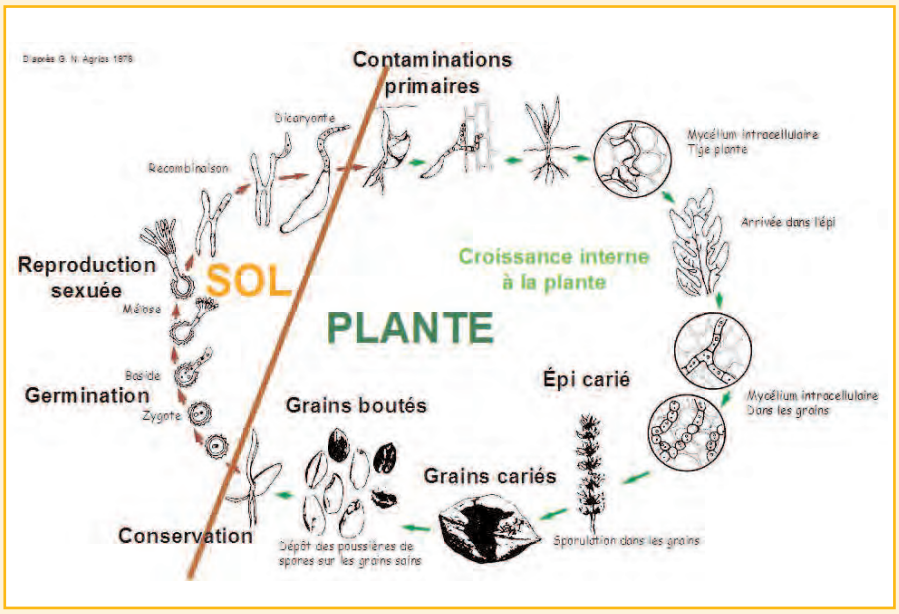
Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne

Grains cariés.

par donner à l'épi un aspect ébouriffé caractéristique qui laisse apercevoir les grains malades. Pratiquement tous les grains de l'épi sont atteints.

Le mycélium du champignon atteint les ovaires et les remplace. Sous le péricarpe, le mycélium croît à la place des cellules du grain qui prend une teinte olivâtre. Les grains cariés sont plus courts et plus arrondis que les grains sains. Le mycélium qui remplit le grain se fragmente en spores rondes (teliospores) qui brunissent et foncent. À la récolte les grains cariés sont très légers, trapus à la base, bruns gris et ridés, leur sillon est à peine visible. Ils s'écrasent à la moindre pression en libérant une poussière de spores noires qui va contaminer les grains sains et le sol au battage.

Figure 1 - Le cycle de la carie commune du blé (source : ARVALIS-Institut du Végétal)



Le cycle du champignon

Les spores représentent la phase de conservation et de dissémination du champignon.

Au moment des semis d'automne, les conditions de température et d'humidité du sol sont souvent réunies pour provoquer la germination des spores : *T. caries* germe entre 2° et 29°C avec un optimum à 11°C ; l'optimum d'humidité des sols est compris entre 40 et 50% de leur pouvoir de rétention en eau ; un pH légèrement alcalin est favorable. *T. foetida* germe avec un optimum de température compris entre 15 et 20°C.

Les spores pénètrent alors dans le coléoptile de la céréale avant la levée (le coléoptile est l'étui qui protège l'apex caulinaire et les jeunes feuilles). Une fois l'infection accomplie, le champignon progresse à l'intérieur des tissus de la plante pour ensuite contaminer l'ébauche de l'épi et plus particulièrement les fleurs dès leur formation, puis envahir l'ovaire pour enfin produire une masse de spores. Les autres organes de l'épi tels que les glumes, les glumelles et le rachis ne sont pas atteints.

C'est à partir du stade « deux feuilles » que le blé devient résistant : à ce stade, le mycélium ne peut plus pénétrer la plantule dont les parois sont trop épaisses. L'infection ressemble donc à une course entre la plante et le parasite, les températures en déterminant l'issue. Le parasite doit accumuler une certaine somme de températures pour germer et des températures fraîches sont plus favorables à la germination du parasite qu'à la croissance des plantes. Plus le temps qui sépare le semis du stade deux feuilles sera long, plus le risque sera élevé. Les semis tardifs sont toujours plus contaminés que les semis précoces d'automne ou les semis de printemps. Un semis profond est aussi un facteur de risque supplémentaire.



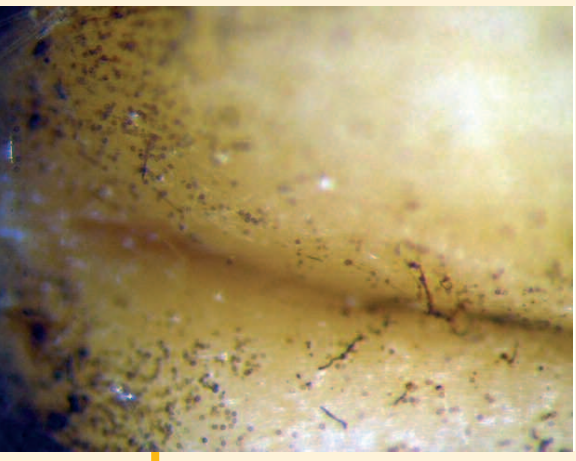
ARVALIS-Institut du Végétal

Epi carié à gauche avec aspect ébouriffé, les grains gonflés écartant les glumelles, et épi sain à droite.



ARVALIS-Institut du Végétal

Epi carié à gauche, plus petit et de couleur bleutée par rapport à un épi sain, à droite.



ARVALIS-Institut du Végétal

Spores de Tilletia caries *sur grain bouté.*

A retenir

La carie commune (*Tilletia caries* et, en de moindres mesures, *Tilletia foetida*) est actuellement en recrudescence en France, particulièrement en agriculture biologique. La contamination, par la semence ou par le sol, a lieu lors des semis d'automne, avant le stade 2 feuilles. La levée rapide de la culture, des semis précoces et superficiels, aideront à limiter l'infestation.

Mode de propagation

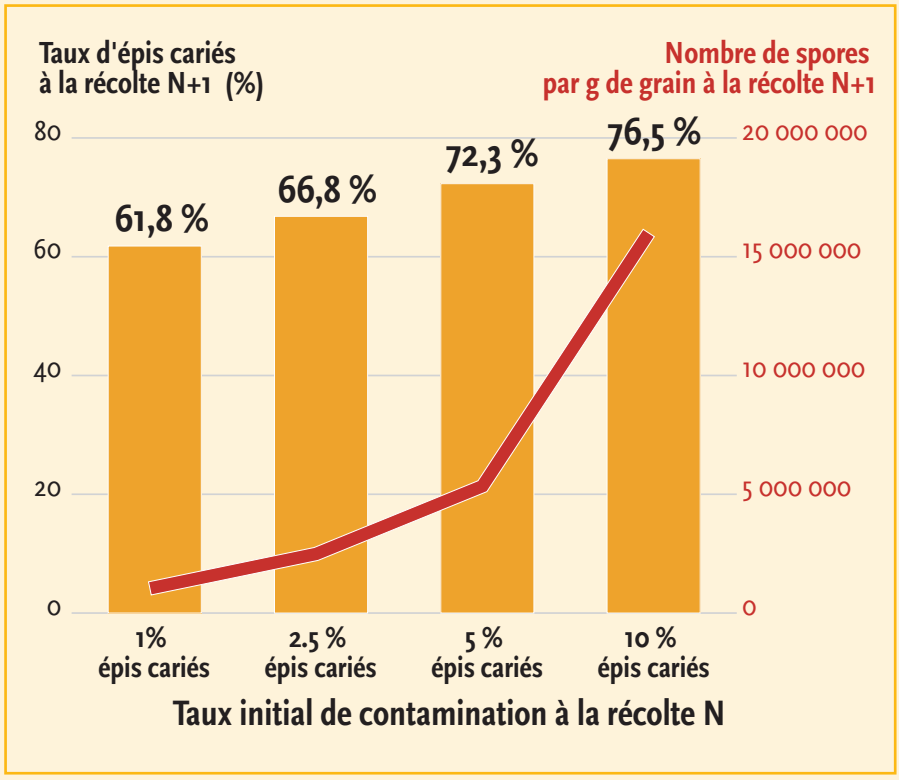
Un grain carié peut contenir jusqu'à neuf millions de spores. Au battage, les grains des épis cariés libèrent ces spores qui viennent contaminer les grains des épis sains et le sol qui a supporté cette récolte cariée. Si la contamination des grains sains dépasse 6 000 à 8 000 spores, les grains prennent une teinte noirâtre au niveau de la brosse et du sillon. Ce sont des grains boutés qui peuvent porter plusieurs centaines de milliers de spores.

Les spores peuvent être aussi disséminées par le vent sur plusieurs centaines de mètres, et être ainsi à l'origine de la pollution des parcelles voisines. Les moissonneuses-batteuses participent aussi à la dissémination des spores, ainsi que toute surface ayant été en contact avec des grains cariés (sacs, cellules de stockage, etc.).

La contamination portée par les semences constitue la voie la plus directe, à l'origine des infestations les plus massives. En effet ce transport localise les spores au contact du coléoptile lors de son émergence à la surface du sol. A noter que les spores à la surface de la semence y survivront plus longtemps que la semence elle-même ; des études anciennes montrent qu'au sec dans les greniers *T. caries* peut survivre douze ans !

Lorsque des spores sont présentes dans le sol, la contamination est plus difficile – mais le risque est réel –, les contacts étant moins importants entre spores et semences (donc entre spores après germination et coléoptiles). Des études récentes montrent que les spores peuvent se conserver dans le sol pendant au moins cinq ans pour *T. caries*. Elles germent à la faveur d'épisodes climatiques humides, en fonction des températures respectives de chaque espèce ; le stock de spores s'épuise alors progressivement. Les étés secs conserveraient ainsi un plus grand nombre de spores prêtes à provoquer des contaminations en automne. A noter que les sols tassés gênent la germination de *T. caries* car l'oxygène est nécessaire.

Figure 2 - Incidence du nombre d'épis cariés à la récolte sur le taux de contamination l'année suivante - Blé tendre (source : ARVALIS-Institut du Végétal)



Un très grand pouvoir de contamination

La carie se caractérise par son très fort pouvoir de propagation ; c'est d'ailleurs ce qui la rend particulièrement inquiétante en agriculture biologique : son expansion peut être très large si aucune précaution n'est prise. Une expérimentation réalisée par ARVALIS-Institut du Végétal lors de la campagne 2002/2003 a permis de la mettre en évidence, à partir du pourcentage d'épis cariés dans une parcelle l'année N, le risque couru par l'agriculteur en l'absence de traitement de semence, l'année suivante N+1 *(figure 2)*. Un très faible taux de contamination initial, par exemple 1% d'épis cariés, peut se traduire l'année suivante (après utilisation de la récolte comme semences) par un niveau d'attaque se situant à 61,8% d'épis ! L'expérimentation est à relativiser suivant les conditions de culture et la virulence de la race de carie concernée, mais elle exprime le fort potentiel de contamination de la maladie.



Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne

Epi carié.

LES CONSEQUENCES DE LA PRESENCE DE CARIE COMMUNE

La carie commune peut avoir de lourdes incidences sur la quantité et surtout la qualité de la récolte, sur l'état sanitaire des parcelles de l'exploitation et même sur leur environnement. Plus le taux de contamination sera élevé, plus les conséquences seront fortes.

D'un point de vue quantitatif, le rendement total d'une parcelle peut être plus ou moins pénalisé, en lien avec le taux de grains cariés (ils s'écrasent au battage).

En termes de qualité, très peu d'épis cariés (on parle de 0,1%) peuvent suffire à dégager une odeur de poisson pourri (odeur due à la présence de triméthylamine) qui rend le grain impropre à la commercialisation. Les spores ne sont a priori pas toxiques, mais l'odeur se transmettant à la farine, il est clair que la meunerie refuse les lots. Côté alimentation animale, les lots malodorants sont refusés, outre des raisons sanitaires évidentes, par peur de baisse de l'appétence. Attention, l'absence d'odeur ne signifie pas l'absence de spores ; si la présence de carie est avérée, les lots sont refusés pour raisons sanitaires et pour limiter la propagation de la maladie.

En production de semences, la présence de carie est évidemment rédhibitoire, quel que soit le taux de contamination. La filière, consciente du problème, a décidé de proposer une modification du règlement technique relatif à la production, au contrôle et à la certification des semences pour que, dès la récolte 2007, une norme sanitaire stricte (zéro présence de spore de carie) soit mise en œuvre pour les lots destinés à être commercialisés non traités. Il s'agit de garantir que les lots de semences certifiées sont indemnes de carie.

A retenir

La contamination d'un lot à la récolte le rend impropre à la commercialisation et à l'utilisation en semences. La parcelle récoltée (potentiellement les parcelles voisines) et le matériel utilisé réclament la plus grande vigilance car ils sont très certainement contaminés.

COMMENT DÉTECTER LA PRÉSENCE DE CARIE ?

Les signes de reconnaissance

Un œil avisé pourra détecter la présence des épis cariés dans un champ au moment du remplissage du grain par la couleur vert foncé des glumes et glumelles, ainsi que par l'aspect « ébouriffé » caractéristique des épis touchés (les épillets s'écartent du rachis).

Mais c'est le plus souvent au moment du battage que l'on détecte la carie : seul le contenu du grain est transformé en une masse poudreuse noirâtre et malodorante, les spores du champignon ; les grains cariés (de couleur différente, plus ronds, avec une ébauche de sillon sur leur face dorsale, appelés également balles sporifères) sont fragiles et éclatent facilement sous pression, notamment à la récolte. Un nuage noir au battage est caractéristique de blés fortement cariés. Autre signe de reconnaissance à la récolte : l'odeur de poisson pourri dégagée par les spores. Attention cependant, les observations sur le terrain montre que celle-ci n'est pas systématique (liée à la variabilité des espèces et des races physiologiques de caries), notamment en cas de contamination modérée. Dans ce cas, malgré l'absence d'odeur, les risques de contamination pour les campagnes suivantes sont présents et très importants, soit par utilisation des grains en semence fermière, soit par le sol. Au moindre doute, la recherche de grains cariés est donc préconisée. Une première approche peut être réalisée à la ferme par la « méthode du seau » *(voir encadré)*. Mais seule une recherche de spores en laboratoire, peu onéreuse, apportera des certitudes sur le niveau de contamination, et donc sur les mesures à prendre en conséquence.

Méthode de détection de la carie en laboratoire

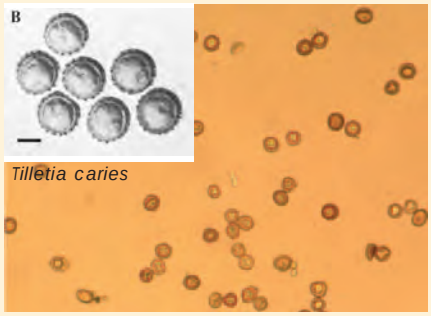
La détection de la carie sur céréales est effectuée soit par filtration et récupération des spores par lavage du filtre, soit par prélèvements de l'eau de lavage des semences ; l'analyse est réalisée sur 50 grammes de semences (environ 1000 grains). Dans les deux cas, les semences sont agitées dans de l'eau additionnée d'un mouillant pour mettre les spores en suspension. L'observation au microscope permet ensuite d'identifier l'espèce de carie

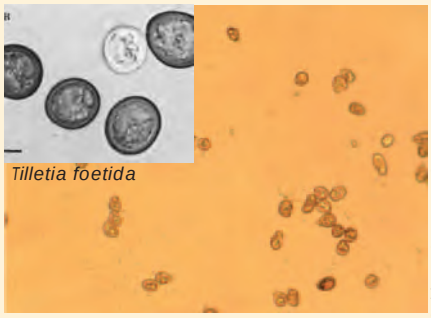
Test simple pour estimer la présence de grains cariés dans un lot

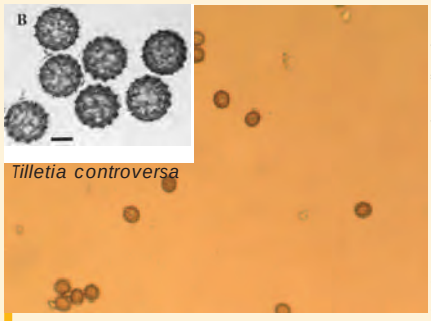
Mettre 5 kg de céréales dans un seau rempli d'eau. Brasser et récupérer les grains qui surnagent. Répéter ce brassage jusqu'à ce qu'aucun grain ne remonte à la surface. Observer ensuite un par un les grains surnageant récupérés et déterminer s'ils sont cariés ou non (grains bombés remplis de poussière noire).

Attention, cette technique permet de détecter des grains cariés, mais pas une contamination exogène (résidus de spores issus d'un silo mal nettoyé, de la moissonneuse batteuse, etc.).

Ce test peut suffire en cas de production de céréales de consommation. En cas de production de semences, une analyse complémentaire en laboratoire est indispensable.







SNES et T. Matsumoto and T. Bell, Laboratory Guide To SMUT FUNGI

Les spores des Tilletia *sont caractéristiques et permettent leur identification.*



Bondoux - INRA

Carie du blé. Symptômes sur épis : épi sain et épis malades.



Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne

Epi carié.



ARVALIS-Institut du végétal

Grains boutés plus ou moins contaminés ; témoin sain à droite.

suivant la taille et la forme des spores *(voir photos)* et de compter le nombre de spores.

La méthode par prélèvements est celle utilisée par la Station Nationale d'Essais de Semences (SNES) : dix prélèvements sont effectués et placés sur un hématimètre (quadrillage) pour déterminer au microscope la concentration en spores par millilitre de solution. La concentration moyenne des dix prélèvements est alors convertie en nombre de spores par gramme de semence, puis en nombre de spores par grain. Avec cette méthode, le seuil de détection est de cinq spores par grain. Il est difficile de donner une correspondance entre pourcentage d'épis cariés et nombre de spores comptées par grain. Ce dernier est en effet très variable selon :

- le nombre de spores initialement produit par chaque grain carié (la taille du grain notamment peut jouer ; l'ordre de grandeur est de plusieurs millions) ;
- les conditions climatiques lors du battage (humidité, vent…) ;
- la variété, qui influence la taille du grain et la forme du sillon, et donc la réceptivité du grain.

A titre d'exemple, voici une mesure réalisée par ARVALIS-Institut du Végétal lors de suivi d'essais en parcelle cariée : 730 spores par grain ont été mesurées pour une contamination à hauteur de 1,5% d'épis cariés. Or il faut rappeler que 1% d'épis cariés à la récolte suffisent pour obtenir une contamination de l'ordre de 60% d'épis cariés à la campagne suivante si la récolte est utilisée en semences *(Source ARVALIS-Institut du Végétal)*.

A titre d'information, des recherches menées en Allemagne concluent que dès le seuil de 5 à 10 spores par grain, la maladie est transmissible par les semences pour les variétés les plus sensibles si aucune précaution n'est prise ; au-delà de 20 spores par grain, le risque de transmission par les semences est très élevé quelle que soit la variété ; des mesures doivent donc être prises dès 5 spores par grain (autrement dit au seuil de détection…).

A retenir

La détection de la moindre contamination de carie est d'autant plus importante qu'elle permettra d'éviter des taux bien plus élevés les campagnes suivantes (par le sol ou la semence), aux conséquences désastreuses.

LES MOYENS DE LUTTE

● **Les précautions à prendre à la récolte**

- Récolter la parcelle cariée en dernier.
- À la récolte, faire tourner le cylindre (batteur) à basse vitesse et en ouvrant le contre-batteur, de manière à minimiser le nombre de balles sporifères qui éclatent pendant la récolte ; faire fonctionner les ventilateurs de nettoyage à haute vitesse afin de souffler autant de balles sporifères et de spores de carie vers l'arrière de la moissonneuse-batteuse.
- Après la récolte et les manipulations, **nettoyer soigneusement tout le matériel** (*a priori* brossage et lavage à l'eau sont relativement efficaces, en veillant à ne pas vider n'importe où l'eau de lavage).
- Incinérer les récoltes contaminées. Les lots cariés, non commercialisables, doivent être détruits (incinération). Néanmoins, en cas de contamination très légère, il est toujours possible de nettoyer voire laver les lots contaminés, ce qui peut être coûteux et fastidieux, mais cela peut permettre de « récupérer » une récolte, surtout en cas de valorisation à la ferme en consommation animale (et non pour être semée).

Le grain carié, plus léger, part bien à l'aspiration avec un nettoyeur séparateur. Plusieurs passages peuvent être nécessaires. Le peu d'écart de taille entre les grains cariés et non cariés rend par contre très difficile un tri avec des grilles.

Le brossage des grains (par exemple avec une brosse à blé de moulin) permet de diminuer la quantité de spores présentes (bien laver la brosse ensuite).

Enfin le lavage des grains à l'eau est très efficace : les balles sporifères qui surnagent sont retirées ; les spores accrochées au grain partent avec l'eau. Attention à ne pas vider n'importe où l'eau de lavage. La condition est de pouvoir faire sécher les grains correctement ; la démarche est donc *a priori* réservée à de petites quantités. Il est aussi possible de les utiliser immédiatement (à noter alors qu'un blé trempé dans l'eau et égoutté à la suite prend environ deux points d'humidité).

Ce choix reste cependant risqué et nécessite un maximum de précautions. Le principe de destruction d'une récolte cariée reste la préconisation de base pour assurer les récoltes suivantes.

En cas de contamination significative, la destruction sur pied est recommandée, afin d'éviter la dissémination des spores au battage : le brûlage sur pied (qui nécessite une autorisation préfectorale), malgré la perturbation pour le fonctionnement du sol, est clairement à envisager (précédé d'un fauchage s'il provoque peu de poussière et donc de dissémination des spores).



ITAB

A la récolte, la vigilance est de rigueur.

A qui s'adresser pour réaliser une analyse ?



F. Mercier

Aspect ébouriffé de l'épi carié.

Pour une analyse en laboratoire, il est demandé d'une centaine de grammes à un kilogramme de semences. Veillez à ce que l'échantillon envoyé soit le plus représentatif possible de la parcelle récoltée ou du lot stocké ; multipliez pour cela les points de prélèvement, en nettoyant les outils de prélèvement à chaque fois.

TARIFS (indicatifs) : de l'ordre de 50 à 75 € HT.

QUELQUES LABORATOIRES pouvant effectuer des recherches de carie (liste indicative, non exhaustive)

NB : les laboratoires sont à contacter pour les modalités pratiques.

- Au niveau national : Station Nationale d'Essais de Semences, Beaucouzé (49) Tél. : 02 41 22 58 21 ou 02 41 22 58 24.
- Au niveau régional (Fédérations régionales de défense contre les organismes nuisibles des cultures) :
  - FREDEC Midi-Pyrénées, Castanet Tolozan (31) Tél. : 05 62 19 22 30.
  - FREDON Centre, Clinique des Plantes, Saint Jean de Braye (45) Tél. : 02 38 70 11 74 (sur demande).
  (...)
- Au niveau de laboratoires publics ou privés : Laboratoire Régional de Protection des Végétaux Nord Pas de Calais, Loos en Gohelle (62) - Tél. : 03 21 08 62 70 (sur demande).
(...)

A noter que le brûlage des chaumes requiert également une autorisation préfectorale.

Les préconisations au moment du semis

- Respecter un minimum de rotation des cultures.
- Ne jamais semer de grains contaminés par des spores de carie.

En cas de doute sur des semences de ferme, faire pratiquer un test de détection par un laboratoire compétent *(cf encadré page précédente)*. Ne pas semer le lot dès lors que la carie est détectée, quelque soit le niveau de contamination. Les semences certifiées font l'objet d'analyses sanitaires, et offrent une sécurité vis-à-vis de la carie (attention : pour la transmission par la semence, mais pas contre la transmission par le sol).

En cas de parcelle au sol potentiellement infecté :

- Traiter les semences en préventif (voir ci-après).
- Il est conseillé d'attendre cinq ans avant de réimplanter une céréale (hors avoine).
- Contrôler les repousses de blé, vecteur potentiel de la maladie (ne pas les laisser arriver à épiaison).
- Le labour profond la première année de l'infection place l'inoculum en situation défavorable à la contamination des coléoptiles. S'il est suivi d'un nouveau labour, les spores reviennent en surface où elles peuvent provoquer les contaminations. Par contre, s'il est suivi d'un travail superficiel, les spores restent au fond.
- Rechercher les conditions favorisant une levée rapide (la plantule est résistante au stade deux feuilles), notamment en évitant des semis trop tardifs ou trop profonds.
- Être d'autant plus vigilant que le sol est séchant, les années peu pluvieuses (été, automne) : le stock de spores s'épuise moins vite.
- Préférer des variétés avec un certain niveau de résistance *(voir ci-après)*.
- Éliminer autant que possible les graminées sauvages, qui pourraient être des réservoirs de carie (ne pas laisser les grains arriver à maturité).



F. Mercier

Gros plan d'un épi carié.

A retenir

Au moindre soupçon de présence de carie sur une culture :

- multipliez les observations au champ avant la récolte
- utilisez la « technique du seau d'eau »
- en cas de doute, n'hésitez pas à faire réaliser une analyse en laboratoire au coût modéré : elle permet de détecter des contaminations mineures (peu détectables à la ferme) mais extrêmement préjudiciables pour les années suivantes
- nettoyez soigneusement le matériel ayant été en contact avec le lot suspicieux (moissonneuse-batteuse, cellule de stockage, sacs, matériel de manutention, etc.)
- n'utilisez pas la récolte en semence de ferme
- en cas de présence avérée, la récolte doit être incinérée, voire brûlée sur pied
- ne sous-estimez pas le risque, pensez à vos voisins !

En cas de risque de présence de carie dans un sol (retour sur une parcelle contaminée quelques années auparavant, carie détectée chez un voisin/sur des parcelles voisines), combiner les pratiques défavorables à la carie :

- contrôler les repousses de céréales (ne pas les laisser après l'épiaison),
- lors du retour d'une céréale, le plus tard possible, rechercher les conditions d'une levée rapide,
- jouer sur les résistances variétales et par espèce (le triticale, bien que pouvant être atteint, est bien plus résistant que le blé),
- traiter les semences en respectant la réglementation en vigueur.

Le traitement de semences

Jusqu'ici, dans le cadre de la réglementation française relative à l'utilisation de produits phytosanitaires, **aucun produit compatible avec le cahier des charges de l'agriculture biologique n'était autorisé pour l'usage « traitement des semences de céréales contre la carie »**. Pour faire face à la recrudescence de la carie en France, un dossier d'examen d'utilisation du Tillecur *(voir ci-après)* a été élaboré. Une dérogation d'utilisation de ce produit pourrait intervenir pour l'automne 2007 ; sa durée de 120 jours permettrait de couvrir la période des semis. Les utilisateurs potentiels sont donc invités à se renseigner, au moment des semis, sur le statut réglementaire de ce produit.

D'autres produits (sulfate de cuivre, farine de moutarde, *Pseudomonas chlororaphis*,…) cependant devraient faire l'objet d'essais afin d'évaluer leur efficacité ; si certaines sont avérées et suffisantes, de nouvelles procédures d'homologation pourront à l'avenir être engagées.

Un traitement à efficacité intéressante est le Tillecur *(voir encadré)*. Il s'agit d'un produit autorisé en agriculture biologique jusqu'ici comme fortifiant des plantes (et non en traitement de semences, sauf dérogation comme évoquée plus haut), à base de farine de moutarde (anti-fongique) et d'amidon (lequel servirait de nutriment au mycélium ; la plante aurait ainsi la possibilité d'atteindre le stade 3 feuilles pour y devenir résistante). D'autres techniques de traitement des semences ont été testées, notamment au Danemark *(voir tableau)*, donnant pour certaines des efficacités com-

parables. A noter qu'une piste existe aussi du côté de la lutte biologique, avec la bactérie du sol *Pseudomonas chlororaphis*, utilisée en conventionnel dans le nord de l'Europe et en Italie contre plusieurs parasites dont la carie commune.

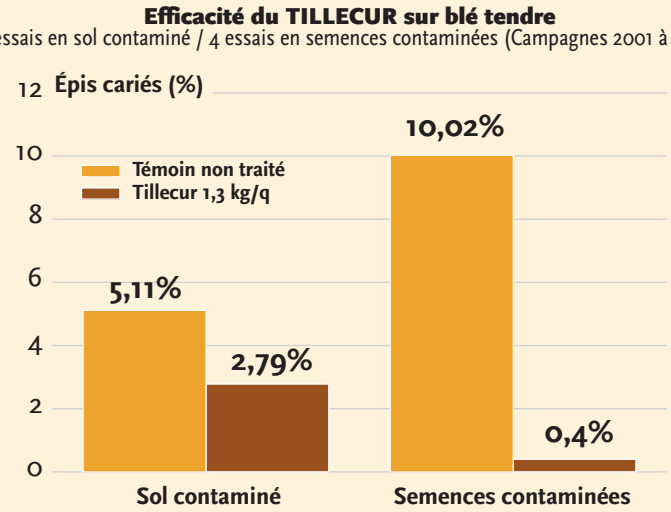
L'efficacité de l'ensemble des traitements potentiellement utilisables en agriculture biologique, pour lesquels nous avons des références, est cependant insuffisante pour assurer une désinfection totale : ils permettent de diminuer la pression de la carie, pas de l'éliminer. Etant donné le pouvoir de multiplication de la carie, l'utilisation de ces produits doit se limiter à une application sur semences saines, et notamment en cas de doute sur la présence de carie dans un sol (par exemple lorsque le sol a été contaminé plusieurs années auparavant, et que l'on veut y réimplanter un blé).

Pour une mise en œuvre à la ferme, l'intérêt technico-économique de ces techniques reste de plus à démontrer (y compris pour le Tillecur,

Exemple d'efficacité de produits de traitement

Résultats d'essais de Tillecur sur blé tendre, ARVALIS-Institut du Végétal, campagnes 2001 à 2003.

Des essais ont été menés d'une part sur sols contaminés artificiellement (à raison de 1 g/m² de sol, dilué dans du sable), d'autre part sur semences contaminées artificiellement (à raison de 2 g de spores/kg de semences). L'utilisation de Tillecur en enrobage de semence pour les parcelles contaminées a permis une diminution de la pression de la carie. Dans le cas des semences contaminées, l'efficacité est bonne (seulement 0,4% d'épis cariés contre 10% pour le témoin) ; elle est néanmoins insuffisante pour éradiquer en totalité la maladie étant donné son fort pouvoir de propagation.



NB : Le Tillecur est distribué en France par Semences de l'Est (51), téléphone : 03 26 85 55 33, www.semest.com ; prix indicatif : 15 €/kg, compter 1,3 kg/quintal de semences à traiter.

Tableau 2 - Présentation de techniques expérimentées en traitement de semences contre la carie commune du blé (source : Borgen A., Kristensen L., Nielsen B., http://orgprints.org/)

Technique expérimentale	Efficacité mesurée dans les conditions de l'expérimentation	Commentaires
Lavage des grains avec un laveur à brosse (400 mm de diamètre), précédé d'un pré-lavage.	99, 8 % des spores ont été éliminées du lot traité.	Intéressant pour éviter l'incinération d'un lot destiné à l'alimentation du bétail.
Nettoyeur-séparateur à courant d'air suivi d'un brossage.	Réduction de 99,8% de la carie, sans réduire la vigueur de germination. (de 230 000 spores/ gramme à 1356-2067 spores).	L'air permet d'éliminer les grains cariés plus légers et les brosses enlèvent les spores qui se trouvent sur les grains.
Traitements par la chaleur (eau chaude ou bien air humide chaud).	Effet négatif sur la germination et technique très longue.	
Traitement à l'eau chaude.	La carie peut être réduite de 95% par un traitement avec de l'eau chaude avec les combinaisons 50°C-3mn jusqu'à 65°C-3mn sans réduire la vigueur de germination.	Le problème est le coût du séchage des grains.
Stérilisation de la surface des grains : combinaison de vapeur et d'ultrasons.	Avec cet équipement la carie commune est éliminée au bout de 4 secondes sur le blé et sur l'épeautre au bout de 8 secondes, sans affecter la germination (pas de précision sur le niveau d'élimination).	L'ultrason crée une fluctuation des molécules d'air dans la cuve contenant les grains et par conséquent favorise l'accès de la vapeur chaude à la surface de la graine.
Enrobage avec de la poudre de lait.	Contrôle en partie de la carie commune, mais les fortes doses qui sont efficaces affectent la germination.	La poudre de lait avant le semis sert de source de nutriments pour les microorganismes du sol ou de la surface de la graine qui sont des antagonistes du pathogène *Tilletia*.
Enrobage avec de la farine de moutarde jaune (*Brassica hirta* syn. *Sinapis alba*), 30g/kg de semences.	Témoin : 27,1% de plantes infectées ; traité : 0,4% de plantes infectées (après une contamination artificielle des semences à 5g de spores/kg de grains). Germination non affectée.	Ces recherches sont probablement en lien avec la formulation du Tillecur.
Enrobage avec de l'acide acétique, 20 ml/kg de semences.	Réduction de la fréquence de la maladie de 91,5 à 96,2%, sans affecter la germination.	



ITAB

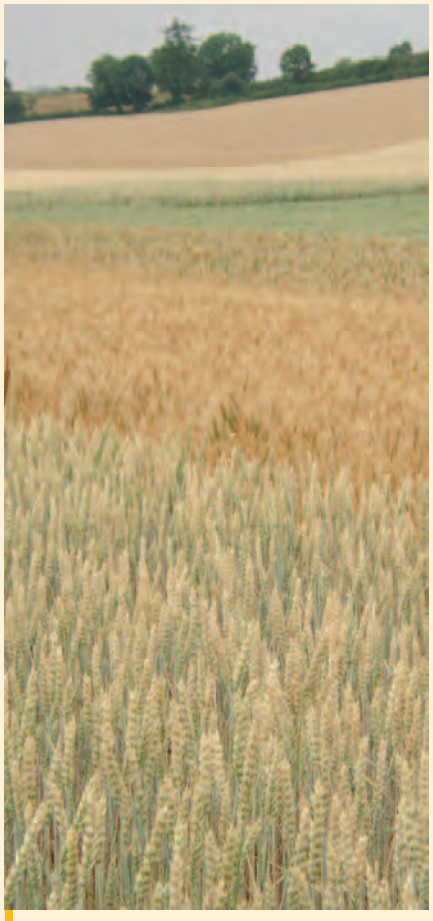
L'espèce triticale a un bon niveau de résistance à la carie

Sur triticale, ARVALIS-Institut du Végétal a réalisé en 2005 un essai pour étudier la réponse variétale dans le cas d'une contamination par le sol. Sur les 24 variétés de triticale comparées dans le cadre de cet essai, une seule variété (Timbo) a présenté quelques épis cariés, à un taux très faible (0,06% d'épis cariés), alors que la variété blé tendre sensible (témoin) conduisait à un taux de 25,9% d'épis cariés. Des essais menés par l'INRA de Grignon en 1996 et le GEVES n'ont pas détecté de carie sur triticale.
Ces résultats confirment la plus grande résistance de cette espèce vis-à-vis de la carie, ce qui en fait une alternative intéressante pour le retour d'une céréale après quelques années sur une parcelle contaminée.

qui a un coût), la question de l'homologation se posant par ailleurs. Combinées avec des techniques mécaniques (brossage, …) et un choix de variétés peu sensibles, certaines d'entre elles permettront peut-être, à l'avenir, d'éliminer tout risque de semer des grains contaminés. Un important travail de recherche reste à mener en ce domaine.

● Sensibilité à la carie : des réponses variétales très diverses

Il existe des différences importantes de comportement des variétés et des espèces de céréales vis-à-vis de la carie commune. Le problème est que les variétés tolérantes ne correspondent pas toujours aux attentes du marché de l'agriculture biologique ou à ses conditions de mise en culture. Par exemple, Crousty, une variété de blé tendre qui montre un très bon niveau de résistance à la carie, est un blé biscuitier.
A noter que même une variété notée comme très résistante peut présenter des symptômes, comme l'indique les résultats présentés ci-contre. De même, une espèce réputée tolérante comme le triticale peut parfois être infectée, bien qu'à des niveaux très faibles *(voir encadré)*. Ceci est certainement lié à la multiplicité des races physiologiques de carie et à leur capacité d'adaptation à de nouvelles variétés.
Les variétés dites anciennes ne montreraient pas de tolérance particulière, à l'exception des blés poulards qui auraient un très bon niveau de résistance.
L'évaluation des variétés vis-à-vis de cette maladie est stratégique pour l'agriculture biologique qui ne dispose pas de méthode de lutte totalement efficace. Elle est cependant difficile, car on constate une interaction entre le comportement des variétés et les essais (conditions de milieux : sol, climat et éventuellement types de carie). Ainsi les variétés se classent différemment selon les lieux (voir encadrés sur les résultats d'essais). Un réseau multilocal est mis en place en 2007 au niveau européen pour tester dans des conditions diverses un panel de variétés.



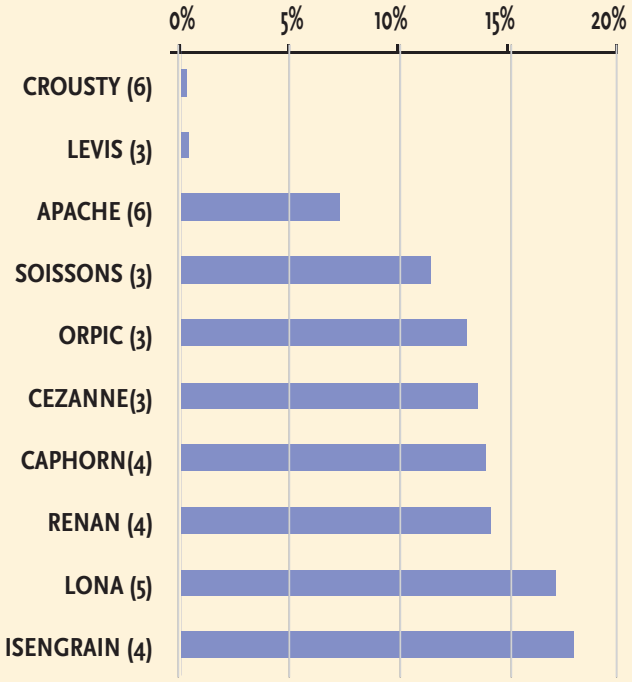
ITAB

Les espèces et les variétés ont des comportements très variables face à la carie.

Essais

Des essais de variétés en situation de contamination artificielle sont menés depuis 2001 par ARVALIS-Institut du Végétal.

Depuis six ans, ARVALIS réalise chaque année un essai pour étudier le comportement de quelques variétés vis-à-vis de la carie. Le type de contamination peut varier, par le sol ou la semence.
Le graphique ci-dessous présente les résultats des six essais pour les variétés présentes dans au moins trois essais, en pourcentage d'épis contaminés.
Crousty est régulièrement la variété la moins sensible (0,2% d'épis contaminés en moyenne sur les six essais).
Levis apparait comme peu sensible (confirmé par les essais suisses). Apache l'est un peu plus. Les différences sont faibles entre les autres variétés.

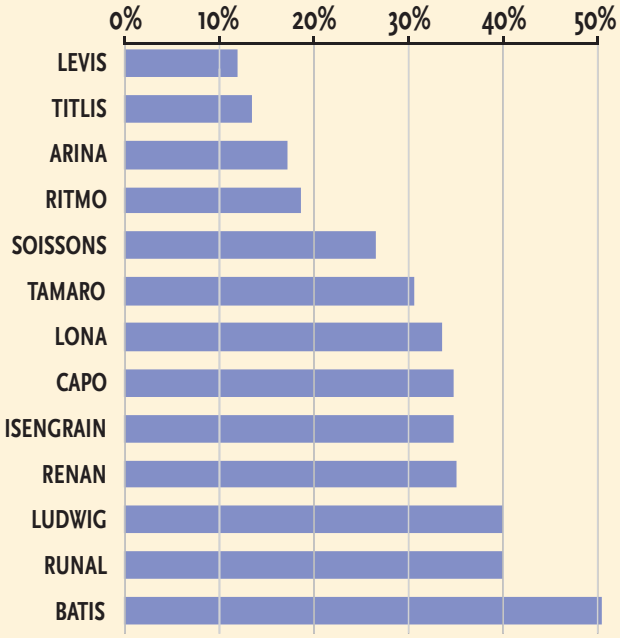


Pourcentage d'épis contaminés ; résultats de six essais conduits par ARVALIS-Institut du Végétal en situation contaminée

Essais

Résultats de neuf essais conduits par les stations de recherche Suisse de Reckenholz (FAL) et Changins (RAC).

Pendant trois ans, sur trois lieux différents, une vingtaine de variétés ont été évaluées après contamination artificielle des semences. Levis est la variété la moins touchée, mais le taux d'attaque est quand même de 11,4 % d'épis cariés en moyenne.
Il convient de souligner qu'une grande variabilité entre les résultats d'essais a été constatée. Si Levis est toujours parmi les quatre variétés les moins sensibles et Batis la plus sensible, d'autres variétés sont beaucoup plus irrégulières. Ainsi Ritmo peut varier de la première place (variété la moins touchée) à l'avant dernière, Soissons de la deuxième à la quatorzième



Pourcentage d'épis contaminés ; résultats pour une partie des variétés de neuf essais conduits en Suisse en situation contaminée (FAL et RAC)

A retenir

La combinaison de plusieurs méthodes de contrôle, aucune n'étant efficace à 100%, reste la meilleure démarche pour enrayer la propagation de la carie. En plus de facteurs agronomiques favorables (rotation longue, conditions de levée rapide), la recherche de la résistance variétale (ou d'une espèce plus tolérante) combinée au traitement des semences est alors préconisée.
La recherche se doit de poursuivre ses efforts pour fournir aux agriculteurs des éléments d'aide à la décision dans ce domaine.



ITAB



ITAB

BIBLIOGRAPHIE (indicative)

- **ARDEAR Rhône-Alpes,** 2005. La carie du blé, attention danger ! 4p.
- **BÄNZIGER Irene,** 2003. Stinkbrandanfälligkeit in- und ausländischer Weizensorten [Résistances des variétés de blé à la carie ordinaire], AgrarForschung 10, 328-333.
- **BORGEN Anders,** 2005. Removal of bunt spores from wheat seed lots by brush cleaning. Seed Info, ICARDA, 29.
- **CHAREYRON Bertrand,** 2006. Carie du blé : une maladie encore trop souvent oubliée, Bulletin bio CA 26, 9-10.
- **COLLIN François,** 2003. Les semences biologiques répondent bien aux normes, Bulletin Semences, 172, 27-28.
- **GLACHANT Charlotte,** 2005. Carie du blé : vigilance, Brev'Bio Grandes Cultures, 7.
- **MAILLE Eric,** 2002. La carie (*Tilletia caries*), Bulletin bio Agrobio Poitou-Charentes, 5p.
- **RAPILLY Frantz**, 2001. Champignons des plantes : les premiers agents pathogènes reconnus dans l'histoire des sciences, Life Sciences 324, 893-898 (http://www.unice.fr/LEML/Francour_Internet/Fichiers_en_ligne/Rapilly_2001.pdf)
- **RAYNAL Guy,** 1997. Les caries du blé, des maladies dont il faut toujours se méfier, Phytoma-La défense des végétaux, 492, 14-16.
- **SEGUIN Bernard,** 2002. Production de semences biologiques : contre la carie, une lutte préventive s'impose, Bulletin semences, 2p.
- **SEGUIN Bernard,** 2003. Agriculture biologique et production de blé tendre : une vigilance à l'égard de la carie, Alter Agri N°63, 4-5.
- **WALDOW F.**, 2005. Untersuchungen zur Regulierung von Steinbrand (*Tilletia caries*) unter besonderer Berücksichtigung von Befallstoleranzgrenzen und direkten Maßnahmen [Investigations in control of common bunt (*Tilletia caries*) of wheat with special reference to threshold levels and direct control methods], Paper presented at 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 01.-04.03.2005, 4p.

Bibliographie étrangère : plus d'information sur http://orgprints.org/

Ont participé à la rédaction de ce cahier : Laurence Fontaine et Marianne Hédont (ITAB), Daniel Caron, Marie-Hélène Bernicot et Nathalie Robin (Arvalis-Institut du végétal), Jean-Albert Fougereux et François Collin (FNAMS), Renan Maurice (Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire), Florent Mercier (RSP). Relecture collégiale par des professionnels et techniciens des réseaux animés par l'ITAB.
Cette fiche a été réalisée grâce au soutien financier de l'ONIGC.

Céréaliers de France

ARVALIS Institut du végétal

maïzEUROP

91720 Boigneville
Tél.: 01 64 99 22 00 - Fax : 01 64 99 22 45
www.arvalisinstitutduvegetal.fr

ITAB Institut Technique de l'Agriculture Biologique

149, rue de Bercy - 75595 Paris cedex 12
Tél. : 01 40 04 50 64 - Fax : 01 40 04 50 66
www.itab.asso.fr

ONIGC Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures

mars 2007