Actes
Journée Technique
Jeudi 9 février 2012
Paris



Restitution du programme de recherche (2008-2012)

CARIE « *Agir rapidement pour contenir la carie commune Tilletia caries ou Tilletia foetida* »

(Contrats de Branche du Ministère de l'Agriculture)

CARIE DU BLÉ
Agir avant qu'il ne soit trop tard







Coordination ITAB Institut Technique de l'Agriculture Biologique

Appui financier

Partenaires

ARVALIS Institut du végétal

FREDON

ITAB et ARVALIS sont membres du réseau

Collaborations

FNAMS

Crédit photos : F. Mercier, ITAB, CA 77, SNES-GEVES, FREDON Nord Pas-de-Calais

Le programme « *Agir rapidement pour contenir la carie commune* » s'est déroulé de novembre 2008 à février 2012. Il a bénéficié du soutien financier des Contrats de Branche du Ministère de l'Agriculture (DGAL).

Son objectif était d'approfondir les connaissances sur cette maladie, en recrudescence en Agriculture Biologique (AB), selon trois axes : mieux connaître l'épidémiologie du champignon, tester des moyens de lutte curative compatibles avec le cahier des charges de l'AB, mais aussi identifier les leviers d'action pour prévenir les contaminations et limiter la propagation de la maladie.

De nombreux essais et actions ont été mis en place pendant les trois années du programme par les partenaires : ARVALIS – Institut du végétal, Chambres d'Agriculture de la Drôme et de l'Yonne, la FREDEC Midi-Pyrénées, la FREDON Nord Pas-de-Calais, Qualisol et Coop de France. L'ITAB a coordonné le projet.

D'autres organismes ont enrichi le programme de leurs travaux : la SNES (Station Nationale d'Expérimentation Semences, dépendant du GEVES), la FNAMS (Fédération Nationale des Agriculteurs Multiplicateurs de Semences) et la Chambre d'Agriculture de l'Oise. Des résultats d'essais menés dans des programmes antérieurs ont aussi été compilés dans les synthèses présentés dans ces actes (financements FranceAgriMer en particulier).

L'ITAB tient à remercier tous les partenaires qui ont participé à ce programme de recherche et à l'organisation de la Journée de Restitution des résultats, en particulier :

- Philippe du Cheyron et Nathalie Robin d'ARVALIS – Institut du végétal
- Julien Bruyère de la FREDON Nord-Pas-de-Calais
- Patrice Côte et Guylain Degryse de la Chambre d'Agriculture de l'Yonne
- Patrice Morand et Jean Champion de la Chambre d'Agriculture de la Drôme
- Alain Larribeau de Qualisol
- Pierre Pradalié de Coop de France
- Maria Vilariño d'ARVALIS – Institut du végétal
- Nathalie Eychenne et Sophie Constantino de la FREDEC Midi-Pyrénées
- Laurence Fontaine, Frédéric Rey, Hélène Sicard et Aude Coulombel de l'ITAB.

Merci aussi aux partenaires hors programme pour leur collaboration :

- Isabelle Serandat et Valérie Grimault du GEVES
- Benoit Mériaux de la FNAMS
- Gilles Salitot de la Chambre d'Agriculture de l'Oise
- Julie Toussaint-Feyrrerole d'ARVALIS – Institut du végétal

« Les textes présentés dans ce document sont la propriété de leurs auteurs respectifs. Toute reproduction est autorisée sous réserve de la mention des auteurs des textes et de la source. »

Conception et création : ITAB

Sommaire

CONNAITRE LA CARIE COMMUNE

Biologie et propagation, ce qu'il faut savoir 3

Observatoire de la carie, les principales tendances 11

Approfondissement des connaissances épidémiologiques : études en conditions contrôlées 15

Variabilité des races de carie et de leur virulence à l'échelle nationale 22

CONTROLER LA CARIE COMMUNE

Sensibilités et résistances : choisir la céréale et la variété 25

Traitements de semences : contrôler la carie 33

Conclusions sur le contrôle de la carie 41

POURSUIVRE LA RECHERCHE

Analyse des spores aujourd'hui et demain : détection sur semence, viabilité des spores, détection précoce 43

Poursuivre les essais aux champs : recommandations méthodologiques et perspectives .. 49

1 – CONNAITRE LA CARIE COMMUNE

Biologie et propagation, ce qu'il faut savoir

Laurence FONTAINE

Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB)
Maison de l'agriculture – 9 rue André Brouard – 49105 Angers Cedex 02

Cet article reprend en grande partie des éléments du Cahier Technique « Carie du blé : agir avant qu'il ne soit trop tard », publié en 2007, disponible en ligne sur le site de l'ITAB.

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. La maladie était en nette recrudescence vers 2005-2006, particulièrement en agriculture biologique, sans doute en lien avec l'obligation d'utilisation de semences biologiques donc non traitées chimiquement et, d'autre part, avec le fait que les agriculteurs ne connaissaient plus cette maladie et ne prenaient pas à temps les mesures préventives qui s'imposaient. Les actions de sensibilisation menées depuis contribuent à plus de précaution.

Le pouvoir de propagation de la maladie est extrêmement important, ce qui en fait un risque majeur en agriculture biologique. Le blé tendre est principalement 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.

Un peu d'histoire

Les Anciens avaient remarqué que certains organes végétaux pouvaient souffrir d'altérations profondes et putrides ; sous le nom de carie 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 XVIIIe 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 XIXe 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.

Biologie et symptômes

Les espèces de carie

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 (*Tilletia controversa*), 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 que l'on retrouve le plus fréquemment 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), 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 suivant la race de la carie. *NB : voir à ce sujet l'article p.20 de ces actes.*

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.	

** NB : l'observatoire de la carie coordonné par Coop de France depuis 2008 a montré la présence de* Tilletia foetida *dans toutes les régions françaises enquêtées (voir article suivant dans ces actes).*

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-nœuds. *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, 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 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 par donner à l'épi un **aspect ébouriffé** caractéristique qui laisse apercevoir les grains malades. Une partie seulement des grains peuvent être 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.



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

Le cycle du champignon (figure 1)

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° avec un optimum à 11°C ; l'optimum d'humidité des sols est compris entre 40 et 50 % de leur pouvoir de rétention en

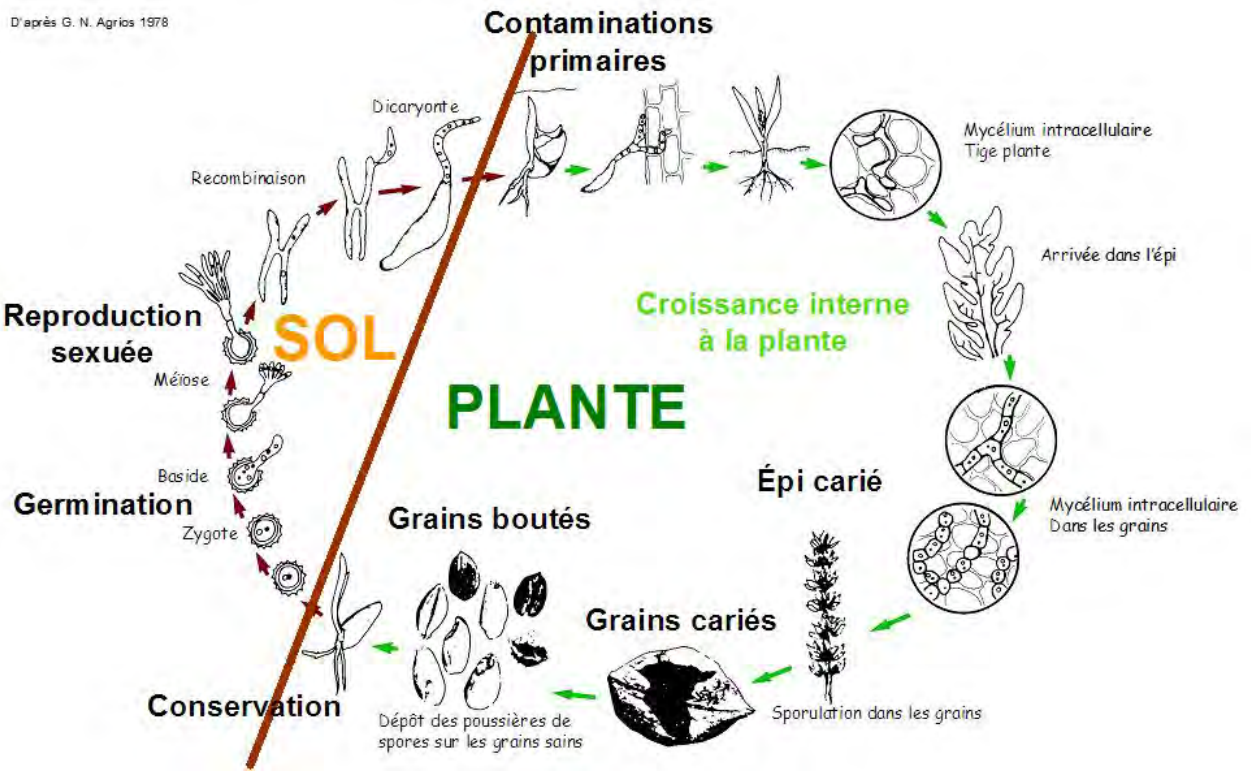
eau ; un pH légèrement alcalin est favorable. *T. foetida* germe avec un optimum de température compris entre 15 et 20°C.

NB : ces données sont issues de revues bibliographiques. Dans le cadre du programme de recherche Contrat de Branche, la FREDEC Midi-Pyrénées a étudié ces facteurs ; les résultats ne sont pas nets, voire contradictoires, néanmoins certaines tendances ressortent. Voir l'article dans les pages suivantes de ces actes. Nos conclusions sont que les facteurs du milieu influençant la germination des spores de carie sont multiples (au moment du semis de la céréale, mais aussi dans les mois qui précèdent), et donc difficiles à intégrer…

Elles 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 réalisée, 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 2 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 champignon. Il faut au parasite accumuler une certaine somme de température 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 2 feuilles sera long, plus le risque sera élevé. Un semis profond est donc un facteur de risque. Les semis tardifs sont toujours plus contaminés que les semis précoces d'automne ou les semis de printemps (*NB : nos observations sur les essais menés dans le cadre du programme relativisent ce postulat ; certains semis tardifs ont semble-t-il été plus défavorables à la carie, mais nous n'avons pas suffisamment de données sur les conditions de sol et de climat pour interpréter ces observations)*.

Figure 1 - Le cycle de la carie commune du blé (D'après G. N. Agrios, 1978)



Mode de propagation

Un grain carié peut contenir jusqu'à 9 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.



Grains cariés (© CA 77)



Grains boutés. Les spores sont préférentiellement sur la brosse (© ARVALIS-Institut du végétal)

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, …).

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 12 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*. Les spores vont germer à la faveur d'épisodes climatiques humides, en fonction des températures respectives de chaque espèce ; le stock de spores va alors progressivement s'épuiser. Les étés secs conserveraient ainsi un plus grands nombre de spores prêts à provoquer des contaminations en automne. A noter que les sols tassés gênent la germination de *T. caries* car l'oxygène est nécessaire.

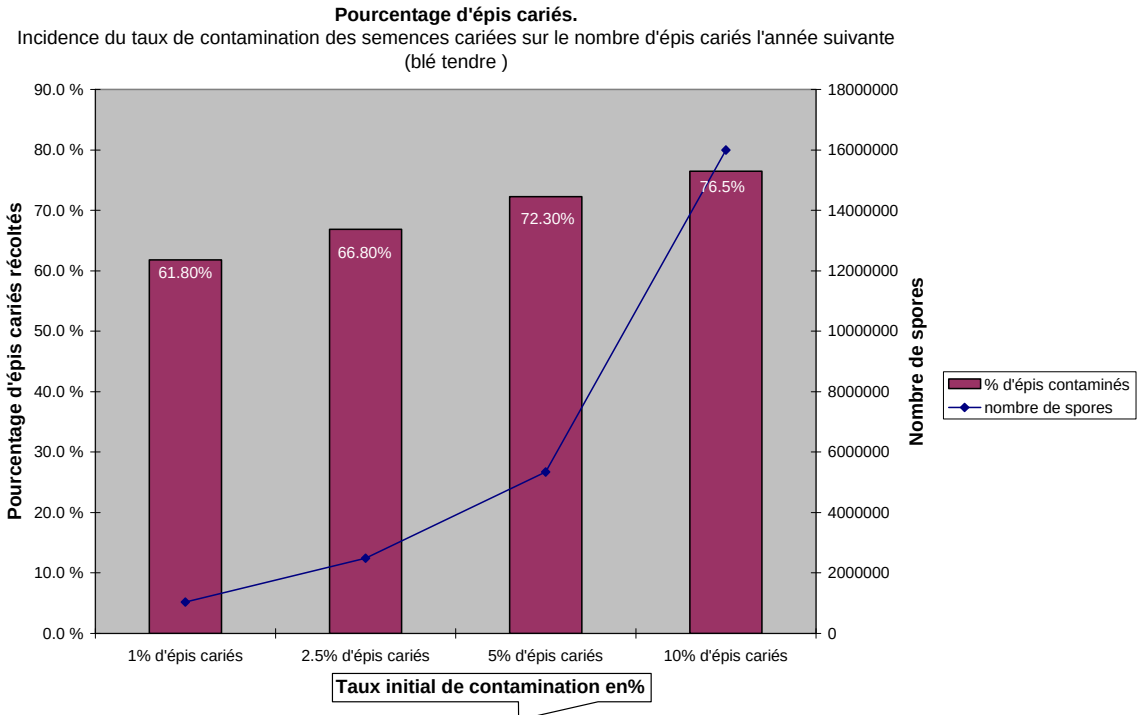
Un très grand pouvoir de propagation

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 campagne 2002/2003 a permis de 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.

Figure 2 – Incidence du taux de contamination des semences cariés sur le nombre d'épis cariés et le nombre de spores par gramme de grains l'année suivante (Arvalis-Institut du végétal)



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).



Epi carié, grains ébouriffés (© CA 77)



Epi carié vers le stade floraison. Le grain a été ouvert à l'ongle, on y aperçoit déjà la masse de spores noires (© ITAB)

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), particulièrement 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 ci-dessous). 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.

> *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 grossièrement des grains cariés, mais pas une contamination exogène (résidus de spores issus d'un silo mal nettoyé, de la moissonneuse batteuse, etc). Elle ne se substitue en aucun cas à une analyse en laboratoire.

En cas de production de semences (fermières ou certifiées), une analyse complémentaire en laboratoire est indispensable.

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 suivant la taille et la forme des spores et de compter le nombre de spores.

La méthode par prélèvements est celle utilisée par la Station Nationale d'Essais de Semences (SNES) : 10 prélèvements sont effectués et placés sur un hématimètre (quadrillage) pour déterminer au microscope la concentration en spores par millilitres de solution. La concentration moyenne des 10 prélèvements est alors convertie en nombre de spores par gramme de semences, puis en nombre de spores par grain. Avec cette méthode, le seuil de détection est de 5 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, on peut citer une mesure faite par Arvalis-Institut du végétal lors de suivi d'essais en parcelle cariée : 730 spores/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/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/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/grain (autrement dit au seuil de détection…).

BIBLIOGRAPHIE (indicative)

BÄNZIGER Irene, 2003. Stinkbrandanfälligkeit in- und ausländischer Weizensorten [Résistances des variétés de blé à la carie ordinaire], *AgrarForschung* 10, 328-333.

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.

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/

Observatoire de la carie, les principales tendances

Pierre PRADALIE

Coop de France
ZAC du Petit Bois - Av de l'agrobiopôle - BP 82256 – Auzeville – 31322 Castanet Tolosan cedex

Objectifs

Afin de mieux connaître l'épidémiologie de la carie, un observatoire a été mis en place. Les objectifs étaient :

- quantifier la pression carie à la collecte auprès d'organismes stockeurs (OS),
- quantifier la pression carie chez des agriculteurs,
- essayer de mettre en lien la qualité sanitaire de la récolte avec les pratiques culturales.

Pour ce faire deux types d'actions ont été réalisés :

- prélèvements d'échantillons à la collecte ou chez les producteurs de cinq coopératives ou union de coopératives, sur un territoire couvrant les quatre régions principales de production : le Centre, le grand Ouest, le Sud-Est et le Grand Sud-Ouest.
- enquêtes chez le producteur concerné sur l'historique de la parcelle, l'origine de la semence, les itinéraires techniques...

Méthode

Ce volet a été coordonné par Coop de France. Les analyses des prélèvements ont été effectuées par le laboratoire de la FREDEC Midi-Pyrénées.

Prélèvements auprès des OS

Un prélèvement était effectué pour environ 250 t de collecte.
101 échantillons prélevés en 2007, 13 échantillons prélevés en 2010.

Prélèvements et enquêtes auprès des agriculteurs

116 échantillons prélevés en 2008 ; 99 enquêtes agriculteurs effectuées.
70 échantillons et enquêtes entre 2009 et 2011.

Au total

Plus de 280 échantillons analysés : 114 à la collecte, 186 au champ. 170 enquêtes réalisées.

Principaux résultats

Le tableau page suivante présente les résultats exprimés en % d'échantillons par classe de contamination, elles-mêmes exprimées en nombre de spores par gramme de grains.

Correspondance des classes :

- 4 000 spores/g = environ 200 spores par grain (si pmg = 50)
- 1 000 spores/g = environ 50 spores par grain (si pmg = 50)
- 100 spores/g = environ 5 spores par grain (si pmg = 50)

		Tilletia Caries			Tilletia Foetida			Total C + F			
		Echantillons "Collecte des OS"	Echantillons "aux Champs" 2008	Echantillons "aux Champs" 09/10/11	Echantillons "Collecte des OS"	Echantillons "aux Champs" 2008	Echantillons "aux Champs" 09/10/11	Echantillons "Collecte des OS"	Echantillons "aux Champs" 2008	Echantillons "aux Champs" 09/10/11	
	Part de lots Cariés (%)	76%	76%	27%	70%	53%	16%	92%	86%	37%	
Nbre de spores par gramme de semence	**0 <**	37	32	64	55	50	10	25	23	64	**≤ 100**
	100 <	14	14	2	25	1	1	12	15	2	**≤ 400**
	400 <	7	2	2	8	0	0	8	2	2	**≤ 600**
	600 <	3	10	2	4	0	0	9	3	2	**≤ 1 000**
	1 000 <	9	14	0	5	5	0	11	5	0	**≤ 2000**
	2 000 <	10	11	0	1	7	0	11	7	0	**≤ 4 000**
		21	16	0	3	36	0	25	44	0	**> 4 000**

Evolution de la présence de *Tilletia caries* et *Tilletia foetida*

Légende : 1 = 0 à 100 sp/g, 2 = 100 à 400 sp/g, 3 = 400 à 600 sp/g, 4 = 600 à 1000 sp/g, 5 = 1000 à 2000 sp/g, 5 = 1000, 6 = 2000 à 4000 sp/g, 7 > 4000 sp/g.

Figure 1. Evolution de la présence de *Tilletia caries*

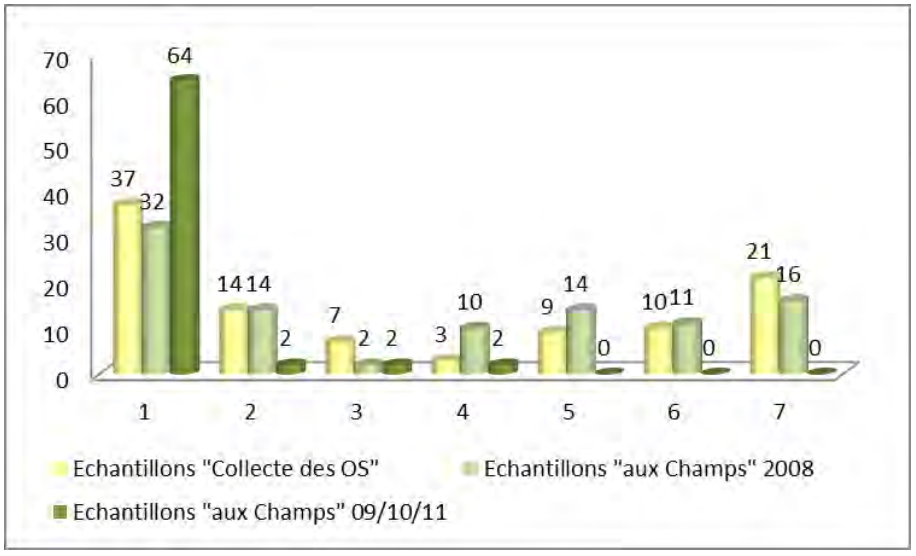


Figure 2. Evolution de la présence de *Tilletia foetida*

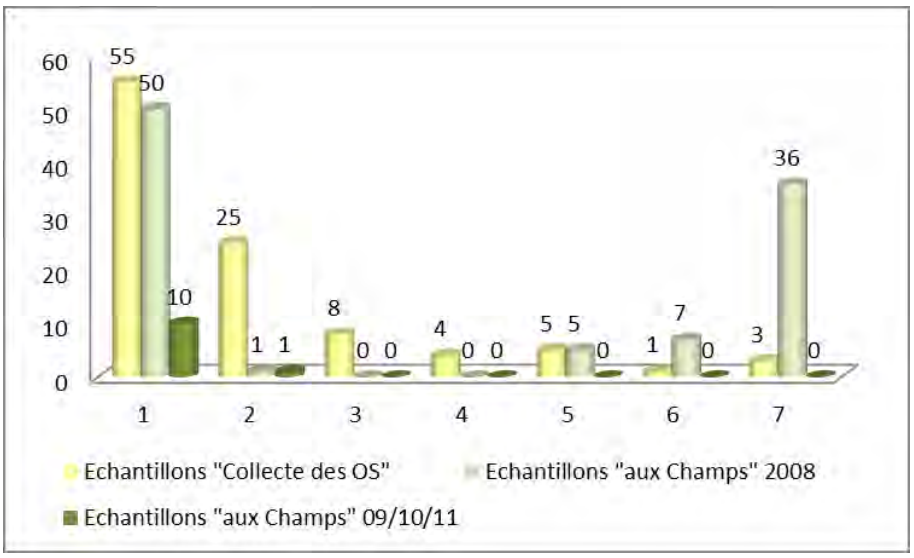
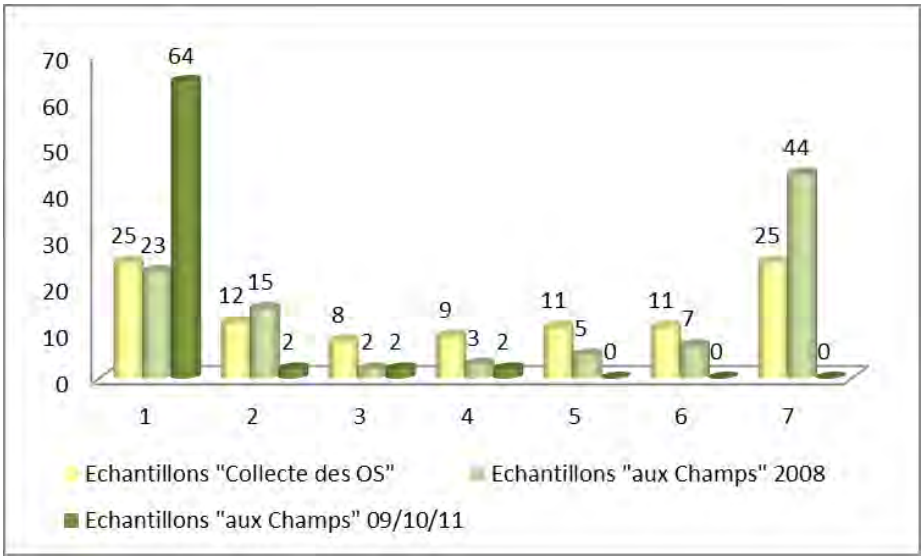


Figure 3. Evolution de la présence de *Tilletia caries + foetida*



Sur les prélèvements « collecte » : ➥ 92 % de lots cariés,

Sur les prélèvements « producteurs 08 » : ➥ 86 % de lots cariés,

Sur les prélèvements « producteurs 09-10-11 » : ➥ 37 % de lots cariés,

Le nombre de lots cariés diminue mais c'est surtout le taux de contamination (nombre de spore par gramme de semence) qui diminue fortement.

Cependant, il est difficile de comparer ces 3 cycles d'analyses car la représentativité des lots ne sont pas homogènes d'un cycle à l'autre et la méthode d'analyse a évolué.

A priori, le fait que les céréaliers utilisent plus de semences certifiées et qu'ils renouvellent plus rapidement leurs semences de ferme contribuent à une diminution de la pression carie…

Discussions

Constats

- Omniprésence de la Carie en début de programme.
- Forte contamination des sols, a priori (essai Qualisol sur 2 ans, *voir plus bas*).
- Présence de *Tilletia foetida* partout en France qui n'est donc pas (ou plus ?) cantonnée sur le pourtour méditerranéen.
- Aucun lot n'a été repéré lors de détections « artisanales » (odeur et eau) en première approche, malgré le taux parfois élevé de certains échantillons lors des analyses ; d'où l'importance de faire une analyse en laboratoire surtout pour choisir la destination.
- Les analyses de lots producteurs ayant une odeur suspecte ont décelé une forte contamination en spores par gramme de semence.
- Il a été constaté que le risque carie était plus important dans les situations où le facteur contaminant était la semence (/sol).

- Sur les prélèvements chez l'agriculteur, importante diminution du nombre de lots cariés entre 2008 et 2009/10/11, mais surtout de leur niveau de contamination en nombre de spores par gramme de semence.
- Augmentation de l'utilisation de semences certifiées et renouvellement plus précoce des semences fermière.

Biais

- Variabilité des résultats d'analyses, qui peuvent varier de manière importante selon la méthode d'analyse pour un même échantillon.
- Relativiser l'importante diminution du nombre de lots cariés lors des prélèvements chez les agriculteurs en 2009-10-11 car prélèvements peu représentatifs de la collecte (70 échantillons sur 3 ans).

Eléments de discussion/conclusion complémentaires

- Qualisol a effectué des prélèvements sur des sols fortement contaminés avec des semences saines deux années consécutives : pas de contamination *T. caries*. Il semblerait qu'une période pluvieuse avant semis ferait germer les spores de carie qui deviennent rapidement non viable sans hôte...
- Par contre, quelque soit la climatologie, la carie apparaîtra si une graine contaminée est implantée dans un sol contaminé.

A retenir

1 - Il apparaît que c'est **au niveau des semences** qu'il faut agir prioritairement...

2 - **Rester très vigilant** sur l'état sanitaire de ses semences, renouveler plus fréquemment ses semences en utilisant des semences certifiées.

Approfondissement des connaissances épidémiologiques : études en conditions contrôlées

Nathalie EYCHENNE, Sophie CONSTANTINO

FREDEC Midi-Pyrénées

Complexe agricole d'Auzeville – 2 Route de Narbonne – Castanet Tolosan Cedex

Objectifs

La FREDEC Midi-Pyrénées a mené de nombreux essais en conditions contrôlées avec pour objectif de mieux connaître les conditions de développement de la maladie. Ces essais en conditions contrôlées permettent de maîtriser des facteurs peu maîtrisables au champ comme la température et l'humidité, ce qui permet de les étudier en détail.

Méthode

Un premier groupe d'essais (étude 1) consistait à mettre en exergue les facteurs favorisant le développement de la maladie. Les facteurs : **température, humidité du sol, type de sol, profondeur de semis** ont été étudiés ainsi que le **type de contamination (semence et/ou sol)**. On dispose de résultats pour 4 années de 2008 à 2011.

Un deuxième groupe d'essais (étude 2) consistait à étudier plus précisément l'influence de la **température** et de **l'humidité du sol**, en vue d'obtenir une courbe de réponse. Ces essais ont été menés en 2009 et 2010.

Un troisième groupe d'essais (étude 3) consistait à étudier l'effet de la **contamination initiale**. Pour cela, différents niveaux de contamination ont été testés que ce soit sur les semences ou le sol. Ces essais ont été menés en 2009 et 2010.

Les semis sont réalisés en barquette puis les plants de blé sont transplantés au champ au stade 3 feuilles. Les conditions sont donc contrôlées du semis jusqu'au stade 3 feuilles, stade auquel la plante n'est plus sensible à la carie. Ensuite les conditions climatiques de l'année s'exercent normalement.

Les modalités d'essai sont précisées dans le tableau en annexe de cet article.

Principaux résultats

Etude 1 : approfondir les connaissances épidémiologiques

Le nombre de spores de caries par grain à la récolte a été comptabilisé pour chaque modalité de chaque essai.

Le traitement statistique des résultats fait ressortir nettement certains facteurs **:**

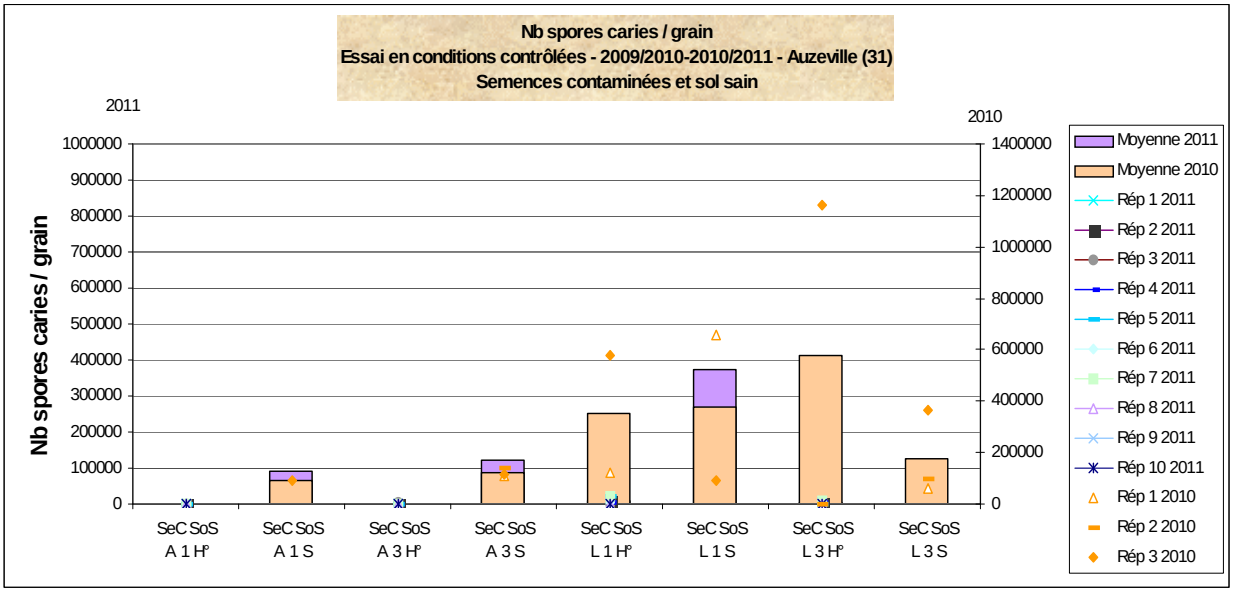
- un effet très hautement significatif du **niveau de contamination initiale des semences** (P-value=0.0000109***)
- un effet hautement significatif du **type de sol** (P-value = 0.001470**)
- un effet hautement significatif de **l'humidité de sol** entre le semis et le stade 2 feuilles du blé (P-value = 0.008880**)

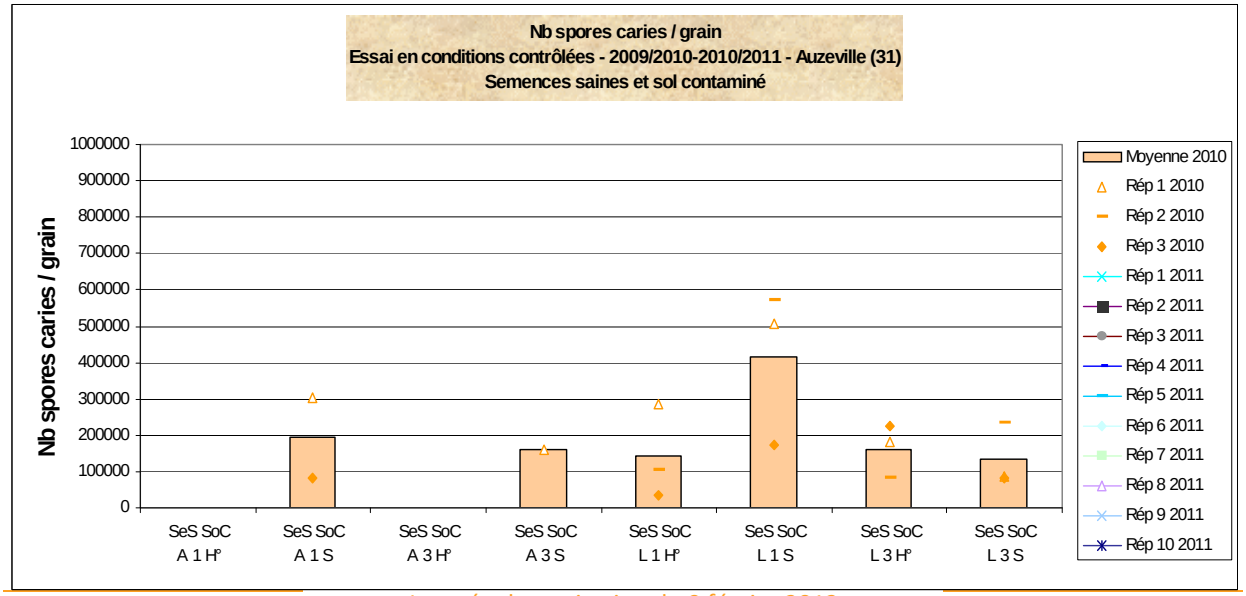
Les résultats obtenus entre 2008 et 2011, appuyés pas les analyses statistiques, permettent de dégager les tendances suivantes :

- le **niveau de contamination initiale des semences** influence très significativement la contamination finale de manière positive ;
- le **sol limoneux** présente des niveaux de contamination à la récolte significativement supérieurs à ceux du sol argileux ;
- **l'humidité du sol** favorise le niveau de contamination final de la récolte ;
- plus le semis est superficiel, plus le nombre de spores est important à la récolte.

Ce dernier point est surprenant, car plus le semis est profond, plus le temps pour que le blé atteigne 2 feuilles est long et donc plus la période de contamination potentielle est longue. On peut émettre une hypothèse pour expliquer cette observation : un phénomène d'anoxie. En effet, il semble que la germination des spores de carie nécessite un certain niveau d'oxygénation. Or on peut penser que le taux d'oxygène dans le sol est légèrement plus significatif à 1 cm de profondeur qu'à 3 cm.

L'influence de la contamination du sol n'a pas été mise en évidence dans les tests statistiques. **La contamination des semences** semble donc prépondérante devant la contamination du sol pour expliquer la contamination finale à la récolte, tout facteur abiotique confondu.



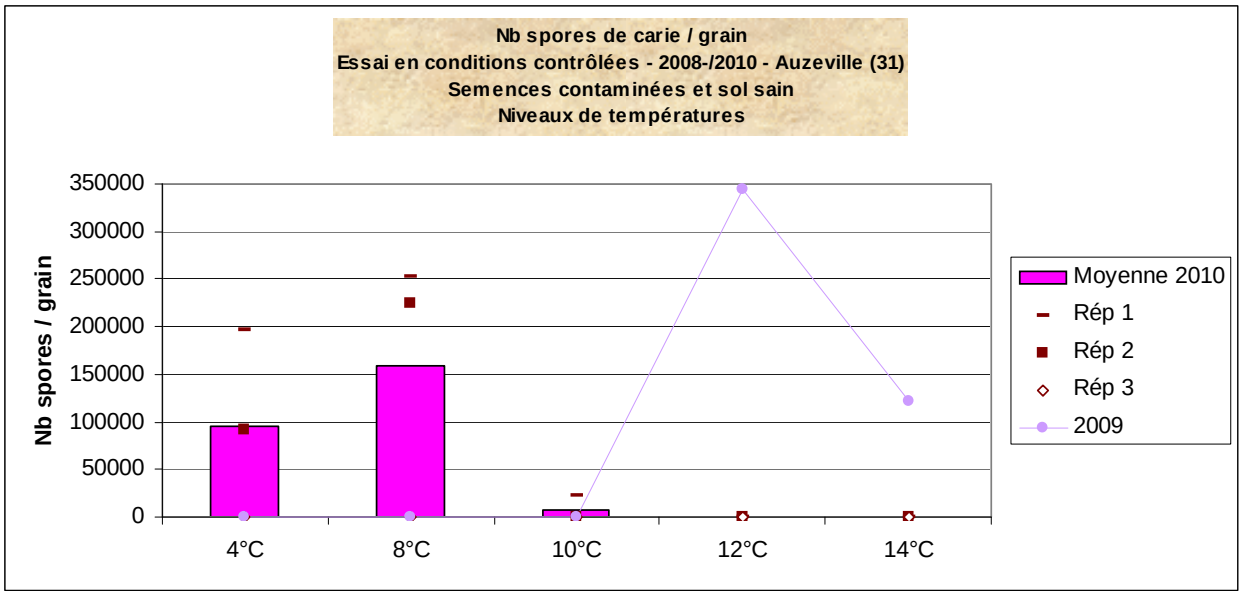


En plus du dénombrement du nombre de spores à la récolte, les résultats ont été exprimés en % d'épis et % de grains cariés. Dans ces cas, l'analyse statistique n'a pas pu montrer de différences significatives de contaminations à la récolte, quels que soient les niveaux de contamination initiale des semences, du sol, de la profondeur de semis, du type de sol et de l'humidité du sol. Cette absence de différences provient certainement :

- d'une importante variabilité des contaminations obtenues à la récolte entre les répétitions d'une même modalité et de nombreuses répétitions non contaminées ;
- mais aussi du choix de méthode de notation : la notation du % d'épis cariés est moins précise que le nombre de spores par grain quantifié au laboratoire.

Etude 2 : comprendre l'effet des températures et de l'humidité du sol (courbe de réponse) sur le développement de la carie

Un effet significatif de la température a été décelé sur le nombre de spores de caries par grain (F= 5.8165 ; N=15 ; P-value=0.03139*). La contamination observée à la récolte dépend du niveau de températures entre le semis et le stade 2 feuilles du blé : la température la plus favorable à la contamination par la carie dans nos essais est de 12°C suivie par 14°C puis par le groupe 4°C-8°C-10°C.



Malgré le nombre limité de résultats statistiques significatifs, les tendances suivantes ressortent :

- en 2009, la contamination observée à la récolte atteint un maximum lorsque la température du semis au stade 3 feuille se situe autour de 12°C ce qui confirme les résultats obtenus précédemment et les données bibliographiques ;
- la contamination décroît lorsque la température pendant la période semis – 3F dépasse cet optimum pour les 2 années d'étude ;
- la contamination est possible, même à des niveaux de faibles humidité de sol pendant la période semis – 3F pour les 2 années d'étude ;
- la contamination à la récolte décroît en présence d'humidité trop importante, lorsque la capacité de saturation du sol est atteinte pour 2009.

L'analyse n'a pas pu montrer de différences statistiques de contaminations à la récolte selon les différentes températures ou humidités, en raison certainement d'une importante variabilité des contaminations obtenues à la récolte entre les 3 répétitions d'une même modalité et de nombreuses répétitions non contaminées. A titre d'exemple, on note une variabilité SE de 79903 spores/grain autour des contaminations moyennes enregistrées à la récolte pour une température de 8°C, soit environ la moitié de la valeur de la moyenne, et ce pourtant sur une modalité où 2 des 3 répétitions présentent une contamination significative.

Réflexions

Plusieurs réflexions émergent de ces études menées en conditions contrôlées :

- il semble qu'il n'y ait pas de relation entre le nombre d'épis ou de grains cariés contrôlés visuellement et le nombre de spores par grain obtenu par analyse au laboratoire : ces analyses de comptage au laboratoire s'avèrent ainsi indispensables pour étudier et caractériser les niveaux réels de contamination.
- La méthodologie de contamination artificielle des semences employée permet d'obtenir le niveau de contamination souhaitée et une contamination homogène du lot.
- Malgré un niveau de contamination artificielle homogène, la dispersion des niveaux de contamination à la récolte est extrêmement importante entre les différentes répétitions d'une même modalité.
- Un taux de germination insuffisant des spores utilisées limite la contamination des grains à la récolte et porte atteinte ainsi aux résultats obtenus, aux comparaisons entre modalités et aux résultats d'une étude.
- Des résultats étonnants et aberrants sont quelquefois constatés : par exemple, une moindre contamination à la récolte des modalités hautement contaminées initialement par rapport à celles faiblement contaminées au départ.

Le sol étant un organisme vivant, où cohabitent et se concurrencent de nombreux micro-organismes, il est probable qu'une partie de l'explication concernant ces dispersions soit à chercher de ce côté-là. Une autre hypothèse est également formulée : il est également possible que certains facteurs, inconnus aujourd'hui, jouent sur la dormance des spores, qui est levée uniquement dans certaines conditions spécifiques. Ces pistes de recherche doivent être explorées.

Tableau 1 - Programme Carie : Récapitulatif des modalités testées en conditions contrôlées (FREDEC Midi-Pyrénées)

Travail réalisé (programme ONIGC 2007-2008)	Travail réalisé (CB année 1 / 2008-2009)	Travail réalisé (CB année 2/ 2009-2010)	Travail réalisé (CB année 3/ 2010-2011)
Etude 1 : approfondir les connaissances épidémiologiques – Evaluation en conditions contrôlées			
Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Renan 80 modalités Témoin : sol sain et semences saines <u>Facteurs variables testés :</u> Contaminations des semences : semences saines et contaminées naturellement à 2760 spores/grain (0.22 g spores/kg) Contaminations des sols : sol sain et contaminé artificiellement (1000 spores/cm² de substrat) 2 sols : argileux et limoneux 2 profondeurs de semis : 1 cm et 3 cm 2 humidités du sol : humide (3N) et sec (1N) 2 températures : 4°C et 14°C	Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Renan 32 modalités Témoin : sol sain et semences saines <u>Facteur fixe :</u> Température : 12°C <u>Facteurs variables testés :</u> Contaminations des semences : semences saines et contaminées naturellement à 294 spores/grain (0.024 g spores/kg) Contaminations des sols : sol sain et contaminé artificiellement (1000 spores/cm² de substrat) 2 sols : argileux et limoneux 2 profondeurs de semis : 1 cm et 3 cm 2 humidités du sol : 3N et 1N	Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Renan 32 modalités 3 répétitions / modalité Témoin : sol sain et semences saines <u>Facteur fixe :</u> Température : 12°C <u>Facteurs variables testés :</u> Semences : saines et contaminées artificiellement à 2 grammes spores / kg de grain– Méthode CEB) Contaminations des sols : sol sain et contaminé artificiellement (32472 spores/cm² de substrat – Méthode CEB) 2 sols : argileux et limoneux 2 profondeurs de semis : 1 cm et 3 cm 2 humidités du sol : humide et sec	Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Renan 8 modalités 10 répétitions / modalité Témoin : sol sain et semences saines <u>Facteurs fixes :</u> Température : 12°C Humidité du sol : humide (3N) Sol sain : non contaminé Semences contaminées artificiellement à 2 grammes spores / kg de grain (25 000 spores/grain) <u>Facteurs variables testés :</u> 2 sols : argileux et limoneux 2 profondeurs de semis : 1 cm et 3 cm

Etude 2 : comprendre l'effet des températures & de l'humidité du sol (courbe de réponse) sur le développement de la carie		Etude 4 : détecter précocement les caries dans la plante
Travail réalisé (CB année 1 / 2008-2009)	Travail réalisé (CB année 2/ 2009-2010)	Travail réalisé (hors CB année 3/ 2010-2011)
Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Greina 10 modalités Témoin : sol sain 5 modalités pour la température 5 modalités pour l'humidité du sol <u>Facteurs fixes :</u> Semences contaminées naturellement 2009 à 714 spores / grain (0.057 g spores / kg) 1 profondeur de semis : 1 cm 1 sol : argileux	Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Renan Témoin : sol sain 10 modalités <u>Facteurs fixes pour les études A et B</u> : Semences contaminées artificiellement à 2 g spores/kg de grain– Méthode CEB 1 profondeur de semis : 1 cm 1 sol : argileux Etude A : <u>Facteur fixe :</u> Température : 12°C <u>Facteurs variables testés :</u> 5 doses différentes d'eau par semaine (en mm : 1N à 5N) du semis jusqu'au stade 2 feuilles Etude B : <u>Facteurs fixes :</u> Humidité du sol : 12°C <u>Facteurs variables testés :</u> 1 gamme de 5 températures : 4°C, 8°C, 10°C, 12°C, 14°C	Détection des spores de carie par PCR 17 échantillons > 9 Chambre d'agriculture de l'Yonne > 7 Arvalis > 1 Fredec Midi-Pyrénées

Etude 3 : connaître les risques de développement de la carie par rapport à un état sanitaire initial des semences et du sol		Etude 5 : vérifier la viabilité des spores de caries
Travail réalisé (CB année 1 / 2008-2009)	Travail réalisé (CB année 2/ 2009-2010)	Travail réalisé (hors CB année 3/ 2010-2011)
Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Lona 16 modalités Témoin : sol sain et semences saines <u>Facteurs fixes :</u> 1 profondeur de semis : 1 cm 1 sol : argileux Température : 12°C <u>Facteurs variables testés :</u> Semences contaminées naturellement : 4 niveaux de contamination (0 ; 14 ; 42 ; 256 sp/grain soit respectivement 0 ; 0.00112 ; 0.00336 ; 0.02046 g spores / kg) Sol contaminé artificiellement : 4 niveaux de contamination (0 ; 10 ; 1000 ; 1000 spores/cm²)	Semis en barquettes Plantation au champ au stade 3 feuilles Variété : Renan 16 modalités Témoin : sol sain et semences saines <u>Facteurs fixes :</u> 1 profondeur de semis : 1 cm 1 sol : argileux Température : 12°C <u>Facteurs variables testés :</u> Semences contaminées naturellement artificiellement: 4 niveaux de contamination (0 ; 100 ; 1000 ; 10000 spores / grain soit respectivement 0 ; 0.008 ; 0.08 ; 0.8 g spores / kg) Sol contaminé artificiellement : 4 niveaux de contamination (0 ; 32472 ; 324720 ; 649440 spores / cm²)	7 échantillons testés dans le cadre des essais sur la dissémination des spores par les animaux (cf : xxx) : > 3 de fientes de coqs, > 3 de fécès de porcs et > 1 spore pure (Test de germination) + autres 5 échantillons > test positif Arvalis 2007 > test négatif Arvalis 2007 > test positif Arvalis 2010 > test négatif Arvalis 2010 > Nord Pas de Calais 2010

Variabilité des races de carie et de leur virulence à l'échelle nationale

Philippe DU CHEYRON

ARVALIS – Institut du végétal
Rue de Noetzlin – 91405 Orsay cedex

Introduction, objectif de l'étude

Le choix de variétés de blé résistantes à la carie est un des moyens pour maîtriser la carie. Cependant, le niveau de résistance d'une variété peut dépendre des races rencontrées dans les essais qui servent à leur évaluation. En effet la carie du blé se décline en plusieurs races, une variété pouvant être résistante à une race mais sensible à une autre. La cartographie des races de carie présente en France est donc un préalable nécessaire à l'étude de la résistance des variétés.

Méthode

Pour connaître les races de carie présentes en France, ARVALIS – Institut du végétal (Orsay – 91) a mené 2 types d'essais, en lien avec les partenaires du programme : l'étude de la gamme différentielle et les essais variétés.

La gamme différentielle est un ensemble de lignées de blé qui comportent chacune un gène de résistance connu à la carie, les gènes Bt. Si une des lignées de la gamme est atteinte par la carie, cela signifie que la souche locale contourne ce gène de résistance. La race, ou pathotype, est alors caractérisée par le spectre de virulences qu'elle possède. On compare donc dans chaque lieu d'essai les combinaisons de gènes contournés. Les différences permettent de caractériser et localiser la diversité des races de carie présentes. Pour valider les essais, on implante aussi une lignée connue pour ne posséder aucun gène de résistance. Si cette lignée est indemne, l'essai n'est pas valide. On trouve dans la littérature que le niveau de contamination du témoin sensible HEINES VII doit atteindre au moins 70 % pour permettre une bonne caractérisation des virulences (GOATES B.J.).

La gamme comprend les lignées suivantes (17) : Heines VII BT-0 (absence de gène de résistance), Sel 2092 BT-1, Sel 1102 BT-2, Ridit BT-3, CL 1558 BT-4, Hohenheimer BT-5, Rio BT-6, Sel 50077 BT-7, PL 173438/EG BT-8, EG/PL 178383 BT-9, EG/PL 178383 BT-10, BT 8 9 10+, EG/PL 166910 BT-11, PL 119333 BT-12, Thule III BT-13, Doubbi BT-14 et Carlton BT-15.

Quelques grammes de semences traitées de chaque lignée ont été envoyés par B.J. GOATES à ARVALIS - Orsay. Au cours de la première année du programme, les lignées de la gamme différentielle ont été multipliées. Pour éviter la dissémination des races de carie, il a été décidé de tester la gamme différentielle sur différents sites plutôt que de faire voyager les souches jusqu'à un seul site de test. La 2ème année, la gamme a été inoculée avec des races locales à Villiers-le-Bâcle (91) par ARVALIS, Besayes (26) par la CA 26, et à Venouse (89) par la CA 89. Au cours de la troisième année, les mêmes lieux ont été testés à nouveau, auxquels se sont ajoutés Loos en Gohelle (62) par la FREDON, Montardon (64) par ARVALIS, et Lunel (82) par QUALISOL.

Résultats

Les résultats de certains essais n'ont pas pu être exploités pour différentes raisons (témoin sensible non attaqué, destruction de l'expérimentation avant récolte par des gibiers). Néanmoins 5 essais ont donné des premiers résultats, dont 2 avec des niveaux d'attaque du témoin sensible très élevé, Villiers le Bâcle en 2011 et Besayes en 2010. Avec des niveaux d'attaque plus faibles, les résultats de Villiers le Bâcle 2010, Montardon 2011 et Loos en Gohelle 2011 doivent être pris avec précaution.

VARIETE	GENE DE RESISTANCE	SOUCHES PATHOGENES				
		VILLIERS (91) (2011)	VILLIERS (91) (2010)	MONTARDON (64) (2011)	LOOS EN GOHELLE (62) (2011)	BESAYES (26) (2010)
HEINES VII	BT-0	100% (62%)	100% (13.6%)	100% (2.8%)	100% (24.7%)	100% (90.1%)
SEL. 2092	BT-1					
SEL. 1102	BT-2	0.2%			32.3%	
RIDIT	BT-3		0.1%		1.0%	
CL 1558	BT-4	0.3%		8.8%	0.6%	
HOHENHEIMER	BT-5		1.3%	240.0%		1.9%
RIO	BT-6	0.4%	3.1%			2.6%
SEL. 50077	BT-7	29.6%	21.4%	49.7%	42.3%	20.5%
PL 173438/EG	BT-8	3.3%				
EG/PL 178383	BT-9			13.5%	1.6%	
EG/PL 178383	BT-10					
EG/PL 166910	BT-11					
PL 119333	BT-12					
THULE III	BT-13	20.1%	2.7%		9.1%	1.8%
DOUBBI	BT-14					
CARLTON	BT-15	11.5%	3.7%	44.3%	6.9%	16.6%
BT-8, 9, 10+	BT-8, 9, 10+					

Tableau 2 : Intensité de l'attaque de la gamme différentielle par lieu et par année inoculée avec des races locales, exprimée en % d'épis cariés et ramenée en % du témoin sensible HEINES VII. Les nombres () expriment le % d'épis cariés sur le témoin HEINES VII.

Les premiers résultats (cf Tableau 2) indiquent que la virulence Bt-7 est largement présente en France. Dans une moindre mesure, Bt-15 apparaît également régulièrement contourné. Il en résulte que ces gènes de résistances ne sont plus très efficaces pour lutter contre la carie commune en France. Une certaine diversité, révélée par quelques différences de lignées isogéniques attaquées, semble se dessiner. Ainsi Bt-13 est contourné par les souches de Villiers et de Loos en Gohelle, alors qu'il semble toujours efficace à Besayes. Bt-2 est apparu inefficace à Loos en Gohel uniquement. Bt-4, Bt-5 et Bt-9 doivent être surveillés à Montardon.

Conclusions et perspectives

Les premiers résultats de la gamme différentielle semblent indiquer qu'il existe une certaine diversité des pathotypes de carie sur le territoire français. Notamment les races présentes à Loos en Gohelle (62) et à Montardon (64) semblent présenter des virulences absentes des pathotypes utilisés à Villiers le Bâcle (91) et à Besayes (26). Cela confirme la nécessité de consolider les résultats de ces essais par d'autres expérimentations.

L'intensité de l'attaque sur le témoin HEINES VII n'ayant pas toujours été suffisante, les premiers résultats devront être confirmés par une année de tests supplémentaires sur ces sites. De plus, il sera nécessaire de compléter le maillage du territoire par l'étude d'autres échantillons de carie issus de localisations différentes. En 2012, la gamme différentielle a été contaminée et implantée à Loos en Gohelle (62) par la FREDON et en Meurthe et Moselle par la Chambre d'Agriculture.

Dans l'attente de ces informations complémentaires, la diffusion des résultats sur les niveaux de résistance des variétés doit être accompagnée d'une mention précisant leurs limites de validité.

De plus, il faut être extrêmement vigilant lors des échanges des semences et de leurs déplacements d'un lieu à l'autre. En effet, faute d'attention suffisante, une nouvelle race avec de nouvelles virulences pourrait rapidement être introduite dans des régions dans lesquelles ces virulences étaient absentes.

A retenir :

1 – Ces premiers résultats indiquent qu'il existe sur le territoire français une certaine diversité des races de caries et de leurs virulences.

Ainsi il n'est pas exclu qu'une variété qui apparaîtrait résistante à une race, soit sensible à une autre. Dans l'attente d'informations complémentaires sur la diversité des races de carie, les résultats sur les niveaux de résistance des variétés doivent absolument être accompagnés d'une mention précisant leurs limites de validité.

2 – Tant qu'on ne connaîtra pas la structuration géographique des populations de carie, il restera vivement recommandé d'être très vigilant lors des échanges et des déplacements de semences non certifiées d'un lieu à l'autre pour ne pas favoriser la dissémination des virulences.

2 – CONTROLER LA CARIE COMMUNE

Sensibilités et résistances : choisir la céréale et la variété

Philippe DU CHEYRON

ARVALIS – Institut du végétal
Rue de Noetzlin – 91405 Orsay cedex

Introduction, objectif de l'étude

Dans le cas de parcelles infectées par la carie, le risque de contamination par le sol, bien que plus difficile que par les semences, est néanmoins réel. Les spores de carie pouvant se conserver plusieurs années dans le sol, l'utilisation de variétés ou d'espèces résistantes apparaît comme un moyen efficace pour assurer une récolte saine et réduire le stock de spores dans le sol.

Les objectifs de ces essais sont de : 1/ décrire le comportement des variétés de blé face à la carie commune ; 2/ connaître la faculté de la carie issue de blé tendre à attaquer d'autres espèces de céréale à paille.

Sensibilité à la carie des espèces de céréales

Les résistances variétales du blé tendre et dans une moindre mesure de plusieurs espèces de céréales ont été étudiées pendant le programme. Parmi les espèces, des variétés d'orge, d'avoine, de triticale, de blé dur, d'épeautre et de seigle ont été contaminées avec des spores de carie issue d'épis cariés de blé tendre. Trois partenaires ont participé à ces essais : ARVALIS – Institut du végétal Orsay (91), la chambre d'agriculture de la Drôme et la chambre d'agriculture de l'Yonne.

Résultats

Comme l'illustre la **figure 1**, les variétés de blé dur (*Titicum durum*) et d'épeautre (*Triticum spelta*) se sont révélées sensibles à la carie commune utilisée dans les essais, mais semblent présenter un niveau moyen de résistance à ces races plus important que celui du blé tendre (*Triticum aestivum*). On peut également faire l'hypothèse que les races de carie commune utilisées pour les essais étant issues d'épis contaminés de blé tendre, elles sont plus agressives sur blé tendre que sur les autres espèces du genre *Triticum*. L'avoine d'hiver (*Avena sativa*) et l'orge d'hiver (*Hordeum vulgare*) sont totalement résistantes aux races de carie commune du blé utilisées dans les essais. Le seigle (*Secale cereale*) et le triticale (*Triticum secale*) sont quasiment indemnes à l'exception de quelques traces sur les variétés Caroass et Recrut en seigle et Triskell en triticale.

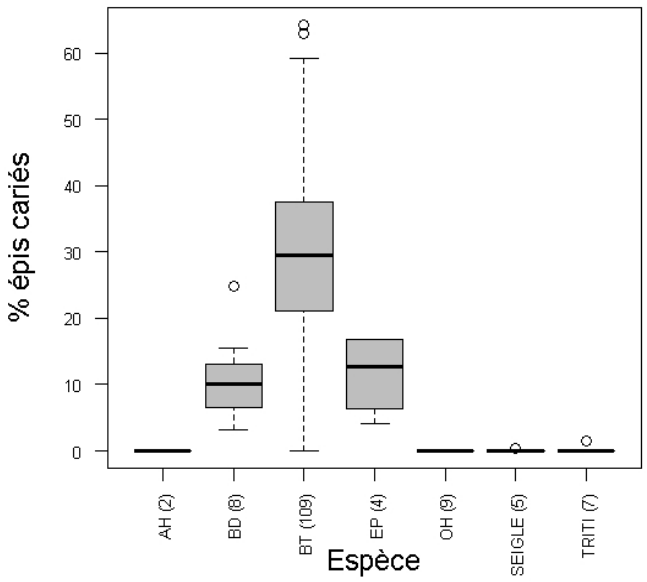


Figure 1 : Distribution variétales des moyennes ajustées pluriannuelles et multilocales des % d'épis cariés observés sur les essais de Villiers le Bâcle (91) (2001-2011), Besayes (26) et Venouse (89) par espèce. Le chiffre () indique le nombre de variétés testées pour chaque espèce.
Légende : AH : Avoine d'Hiver ; BD : Blé Dur ; BT : Blé Tendre ; EP : Epeautre ; OH : Orge d'Hiver ; TRITI : Triticale

Ces résultats sont conformes avec ce qui est reporté dans la littérature. La carie commune causée par *Tilletia tritici* (syn. *T. caries*) et par *Tilletia laevis* (syn. *T. foetida*) est une maladie des espèces du genre *Triticum*. Bien qu'elle ait déjà été observée sur d'autres espèces de graminées, l'attaque de carie reste considérée comme exceptionnelle (Hardison et *al.*, 1959; Duran and Fischer, 1961).

Sensibilité des variétés de blé tendre d'hiver

Le choix des variétés de blé tendre s'est concentré sur celles qui intéressent l'agriculture biologique pour leurs caractéristiques (bonne qualité boulangère, résistance aux maladies, fort pouvoir couvrant…) et qui ont intégré le réseau d'essais variétés en AB animés par l'ITAB et ARVALIS. Afin de consolider les résultats vis-à-vis de la diversité des races, certaines variétés ont été contaminées dans 3 lieux différents avec des races locales de carie, toutes issues d'épis de blé tendre. Ces essais ont été conduits par ARVALIS – Institut du végétal à Villiers le Bâcle (91) et par les chambres d'agriculture de la Drôme (Besayes - 26) et de l'Yonne (Venouse - 89).

Les contaminations des essais sont volontairement très élevées en vue de mieux discriminer les variétés (objectif de 20.000 sp/grain en semences).

Résultats

L'analyse de variance des résultats met en évidence un effet variété hautement significatif. L'interaction variété X Lieu est également significative. Cette interaction pourrait être liée à l'utilisation de races de carie commune différentes sur les 3 sites d'essais.

Sur 109 variétés testées (cf **Tableau 2**), seules 10 présentent un très bon niveau de résistance, en étant indemnes ou quasiment indemnes d'épi carié. Notons également que les 5 variétés les plus cultivées en agriculture biologique (FranceAgriMer 2010) sont parmi les variétés sensibles à la carie : Renan 39,3% ; Pireneo 21,6% ; Attlass 27,7% ; Lona 42,2% ; Saturnus 34,2%.

Site	Villiers le Bâcle (91)		Besayes (26)		Venouses (89)		Villiers (91) + Besayes (26) + Venouse (89)		
Variété	nb	Moyenne ajustée pluriannuelle (% épis cariés)	nb	Moyenne ajustée pluriannuelle (% épis cariés)	nb	Moyenne 2009 (% épis cariés)	nb	Moy. Ajust.multiloc.et plurian. (% épis cariés)	Groupes homogènes
ALIGATOR	2	0.0	1	0.0			**3**	**0.0**	u
SOLUTION	2	0.3	1	0.0			**3**	**0.0**	tu
AREZZO	2	0.0					**2**	**0.1**	stu
SANKARA	2	0.8	1	0.3	1	0.4	**4**	**1.1**	rstu
FLORENCE AURORE	2	2.0	3	3.9			**5**	**1.9**	rstu
QUEBON	2	0.5	1	0.3			**3**	**1.9**	rstu
QUALITY	1	3.3	3	5.3			**4**	**2.6**	qrst
SAMURAI	1	0.5					**1**	**3.0**	qrst
CROUSTY	6	0.9	2	3.6			**8**	**3.3**	qrst
LEVIS	4	0.6					**4**	**4.0**	pqrst
AROLLA	2	1.7					**2**	**6.6**	nopqrs
GLOBUS	2	2.4					**2**	**6.7**	nopqrs
CORNELIUS	2	2.2					**2**	**7.0**	mnopqrs
OXEBO	2	7.6					**2**	**13.4**	jklmnopqr
CH CLARO	1	9.8					**1**	**15.7**	ijklmnopqr
POTENZIAL	1	8.1					**1**	**15.7**	ijklmnopqr
PREMIO	1	10.6					**1**	**15.7**	ijklmnopqr
VALBONA			1	25.9			**1**	**16.0**	ijklmnopqr
CHEVALIER	3	5.0	3	28.8	1	29.3	**7**	**17.4**	ijklmnopq
TITLIS	2	11.6					**2**	**18.6**	hijklmnop
AMBITION	2	10.0					**2**	**19.1**	hijklmnop
MAYEN	2	12.7					**2**	**19.6**	hijklmnop
ANTONIUS	1	14.0					**1**	**19.8**	hijklmnop
APACHE	9	10.3	3	31.9	1	23.7	**13**	**20.4**	hijklmnop
RUSTIC	1	13.1					**1**	**20.8**	ghijklmnop
ATARO	3	12.8					**3**	**21.1**	ghijklmnop
PIRENEO	3	12.3	1	43.1	1	23.1	**5**	**21.6**	ghijklmnop
CIMABUE	1	13.0					**1**	**21.7**	fghijklmnop
ARPEGE	2	11.7					**2**	**22.2**	fghijklmno
POLLUX	1	14.1					**1**	**22.6**	fghijklmno
LUDWIG	3	14.1					**3**	**22.9**	fghijklmno
GALIBIER	1	9.0	3	35.0			**4**	**23.2**	fghijklmno
ZINAL	3	14.9					**3**	**23.5**	fghijklmno
PIASTRE	1	13.9					**1**	**23.6**	fghijklmno
ENERGO	1	16.3					**1**	**24.5**	fghijklmn
STEFANUS	2	17.1					**2**	**24.6**	fghijklmn
SOISSONS	3	13.5					**3**	**24.8**	fghijklmn
GASCOGNE	2	12.6					**2**	**25.0**	fghijklmn
TRISO					1	28.3	**1**	**25.0**	fghijklmn
GRAINDOR	2	8.7	3	41.5			**5**	**25.1**	fghijklmn
LUKAS	1	18.6					**1**	**25.4**	efghijklmn
MAXYL	1	17.7					**1**	**25.4**	efghijklmn
BAROUDEUR	2	14.1					**2**	**25.8**	efghijklm
PACTOLE	3	16.2					**3**	**26.1**	efghijklm
CAMP REMY	2	14.6					**2**	**26.4**	defghijklm
MALACCA	2	14.1					**2**	**26.4**	defghijklm
ATTLASS	2	21.8			1	25.6	**3**	**27.7**	defghijklm
ORATORIO	2	14.3					**2**	**27.9**	defghijklm
VIRTUOSE	2	15.7					**2**	**27.9**	defghijklm
SKERZZO	2	21.5	1	27.3			**3**	**28.0**	defghijklm
ESPERIA	1	20.3					**1**	**28.4**	cdefghijklm
WENGA	1	17.9					**1**	**28.4**	cdefghijklm
SOISSANA	1	18.1					**1**	**28.4**	cdefghijklm
CAPHORN	3	19.2					**3**	**28.8**	cdefghijkl

Site	Villiers le Bâcle (91)		Besayes (26)		Venouses (89)		Villiers (91) + Besayes (26) + Venouse (89)		
Variété	nb	Moyenne ajustée pluriannuelle (% épis cariés)	nb	Moyenne ajustée pluriannuelle (% épis cariés)	nb	Moyenne 2009 (% épis cariés)	nb	Moy. Ajust.multiloc.et plurian. (% épis cariés)	Groupes homogènes
ALDRIC	1	19.3					**1**	**29.4**	cdefghijkl
INSPIRATION	1	18.7					**1**	**29.4**	cdefghijkl
COURTOT	2	16.1					**2**	**29.4**	cdefghijkl
SWINGGY	2	21.0					**2**	**29.6**	cdefghijkl
PALLADIO	3	13.2	3	51.5			**6**	**30.3**	cdefghijkl
EPIDOC	2	19.6					**2**	**30.5**	cdefghijkl
CEZANNE	3	17.6					**3**	**30.9**	cdefghijkl
AZTEC	2	18.2					**2**	**31.1**	cdefghijkl
ISENGRAIN	4	20.8	1	36.6			**5**	**31.3**	cdefghijkl
AUBUSSON	1	22.3					**1**	**31.4**	bcdefghijkl
FIORENZO	1	20.7					**1**	**31.4**	bcdefghijkl
BLASIUS	1	24.5					**1**	**31.8**	bcdefghijkl
VALODOR	1	20.5					**1**	**31.8**	bcdefghijkl
SOLEHIO	2	19.7	1	62.9			**3**	**32.4**	bcdefghijkl
MANAGER	1	21.9					**1**	**32.5**	bcdefghijkl
RUNAL	1	21.9					**1**	**32.5**	bcdefghijkl
PAJERO	2	19.8					**2**	**32.5**	bcdefghijkl
RAPOR	2	19.4					**2**	**32.7**	bcdefghijkl
ROCHFORT	1	25.8					**1**	**33.6**	bcdefghijkl
ORPIC	3	16.7	2	54.0			**5**	**33.6**	bcdefghijkl
TREMIE	2	19.4					**2**	**34.1**	bcdefghijkl
SATURNUS	2	22.8			1	41.0	**3**	**34.2**	bcdefghijkl
CAPO	1	38.3			1	25.9	**2**	**34.4**	bcdefghijkl
SIALA	1	21.0					**1**	**34.6**	bcdefghijkl
SW KUNGSJET	1	21.4					**1**	**35.7**	bcdefghijk
SULTAN	1	26.2					**1**	**36.8**	bcdefghijk
NIRVANA	1	25.0					**1**	**36.8**	bcdefghij
BATTANT	1	13.6			1	56.8	**2**	**37.2**	bcdefghij
PR22R58	3	32.9			1	25.7	**4**	**37.7**	bcdefghij
NOGAL	2	24.7	1	62.9			**3**	**37.7**	bcdefghij
HENDRIX	2	38.7	1	18.9			**3**	**37.8**	bcdefghij
RENAN	8	25.1	3	44.8	1	62.9	**12**	**39.3**	bcdefghi
ACOUSTIC	1	31.2					**1**	**40.0**	abcdefghi
CLIVIO	1	31.8					**1**	**40.0**	abcdefghi
LONA	4	22.3	2	63.8			**6**	**42.2**	abcdefgh
ATRIUM	1	15.5			1	69.2	**2**	**43.1**	abcdefgh
ACCROC	1	34.0					**1**	**43.3**	abcdefgh
ACHAT					1	47.7	**1**	**43.9**	abcdefgh
PANNONIKUS	1	34.7					**1**	**44.7**	abcdefg
KORELI	1	36.1	1	56.4	1	41.8	**3**	**44.9**	abcdefg
AEROBIC	1	34.6	1	62.9			**2**	**46.4**	abcdefg
ORACLE	1	33.6					**1**	**46.7**	abcdefg
EPOS	1	35.2					**1**	**47.7**	abcdef
PALEDOR	1	35.9					**1**	**47.7**	abcdef
MIDAS	2	37.7					**2**	**49.0**	abcde
BRENTANO	2	44.0					**2**	**52.3**	abcde
VULCANUS	1	41.7					**1**	**53.3**	abcde
LUKULLUS	2	41.8					**2**	**54.4**	abcd
BITOP	1	42.7					**1**	**54.4**	abcd
BATIS	1	46.8					**1**	**54.7**	abcd
JB ASANO	1	44.9					**1**	**56.6**	abc
FIGARO	1	47.8					**1**	**59.9**	ab
MENESTREL	1	48.8					**1**	**61.0**	ab
ATHLON	1	45.3					**1**	**62.2**	ab
PRINQUAL			1	66.2			**1**	**67.2**	a

Tableau 2 : Moyennes ajustées pluriannuelles et multilocales des % d'épis cariés observés sur les essais de Villiers le Bâcle (91) (2001-2011), Besayes (26) et Venouse (89) des variétés de blé tendre.

Bien que le classement des sensibilités variétales soit globalement bien respecté, la **Figure 2** confirme qu'il existe bien une interaction Variété X Lieu, ou Variété X Race de carie entre les essais de Villiers le Bâcle (91) et ceux de Besayes (26). Cette interaction est la plus marquée sur la variété Hendrix qui semble apporter de la résistance à Besayes, alors qu'elle est parmi les plus sensibles à Villiers. Quelques variétés (Aligator, Solution, Quebon, Sankara, Crousty, Florence Aurore et Quality) affichent un excellent niveau de résistance dans les 2 lieux.

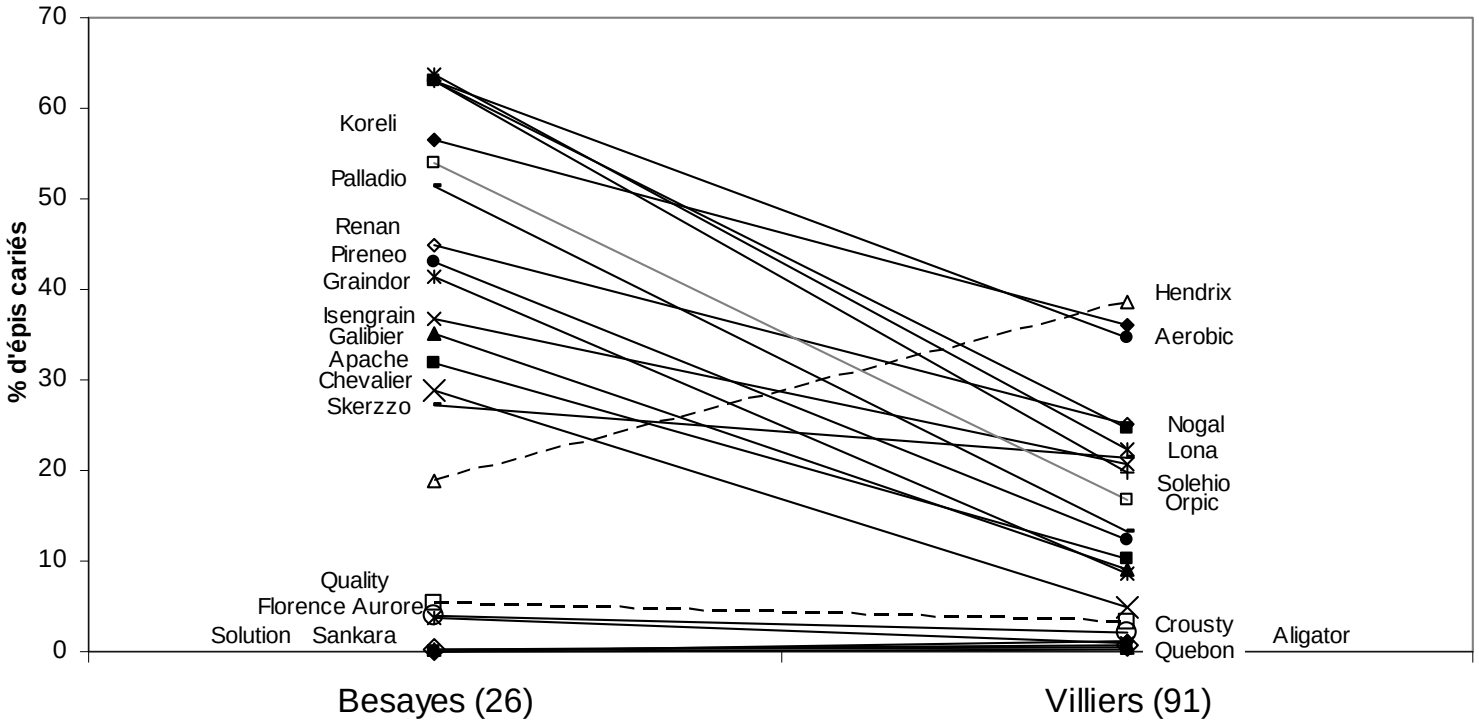


Figure 2 : Comparaison des % d'épis cariés obtenus à Villiers le Bâcle (91) (Moyenne pluriannuelle ajustée) de ceux obtenus à Besayes (26)

Conclusions et perspectives

Les résultats des essais de résistance des variétés de blé tendre à la carie commune révèlent une forte variabilité de niveau de sensibilité parmi les variétés cultivées pouvant aller jusqu'à une résistance totale. Cependant un ring test européen mis en place en 2007 avait mis en évidence une forte interaction Variété X Race de carie, Sankara et Quebon, quasi indemnes avec la race de Villiers le Bâcle (91) ayant été parfois fortement attaquées sur d'autres sites européens.

Afin de rendre les résultats des essais variétés plus fiables, l'étude des races de carie commune présentes en France et de leurs spectres de virulence devrait se poursuivre. Les premiers résultats doivent être confirmés et le nombre de sites testés élargis. Le développement d'une méthode de détection précoce par voie moléculaire (PCR au stade début tallage) pourrait permettre d'accélérer et de centraliser les tests de la gamme différentielle en milieu contrôlé.

Dans l'attente d'une meilleure connaissance des races de carie :

- une veille sur le niveau de résistance des nouvelles variétés pouvant intéresser l'agriculture biologique doit se poursuivre ;
- la diffusion des résultats doit être accompagnée d'une mention précisant leurs limites de validité.

- Dans le cas de parcelles contaminées par la carie :
  - s'orienter vers des variétés résistantes (et compléter par d'autres facteurs de maîtrise, comme le traitement des semences), ou mieux, vers d'autres espèces de céréales à paille, telle que l'orge, le seigle ou le triticale. Attention le blé dur et l'épeautre sont sensibles.
  - Ne pas cultiver une variété sensible sur la parcelle dans les 5 ans qui suivent une récolte contaminée.

A retenir :

1 –Il existe une forte variabilité génétique de niveau de résistance des céréales à la carie, pouvant aller jusqu'à la résistance totale. Cependant ces résistances peuvent être contournées par des races différentes de carie.

2 - La très grande majorité des variétés de blé apparait comme sensible à la carie commune, dans les conditions dans lesquelles la résistance a été évaluée.

3 –La carie commune du blé tendre n'est pas capable, ou que très difficilement, d'attaquer d'autres espèces de céréales à paille comme l'orge, le seigle, le triticale et l'avoine.

La diversification des rotations apparaît donc comme un bon moyen de lutte, à combiner à d'autres.

Traitements de semences : contrôler la carie

Nathalie ROBIN
ARVALIS – Institut du végétal
21 Chemin de Pau – 64121 Montardon

Julien BRUYERE
FREDON Nord-Pas de Calais
265 rue Henri Becquerel – 62750 Loos-en-Gohelle

Introduction, objectif de l'étude

L'application d'un traitement fongicide sur les semences est une pratique qui a déjà fait ses preuves pour protéger la culture contre la carie commune et prévenir de nouvelles contaminations des semences ou du sol par dissémination des spores. En agriculture biologique, un seul traitement de semences, à base de bactéries *Pseudomonas chlororaphis*, est à ce jour homologué (Cerall, 1 l/q) et disponible en station de semences. D'autres intrants sont potentiellement utilisables en agriculture biologique, leur efficacité est à évaluer.

Méthode

Pour évaluer l'efficacité d'intrants potentiellement utilisables, ARVALIS – Institut du végétal, les Chambres d'agriculture de la Drôme et de l'Yonne, Qualisol et la FREDON Nord Pas-de-Calais, tous partenaires du programme « Contrats de branche », ont conduit différents essais au champ, selon un dispositif en bloc (3 ou 4 répétitions), avec des parcelles élémentaires de taille variable (du mètre linéaire jusqu'à 20 m²). Ces essais ont été réalisés dans des conditions pédoclimatiques variées : à Montardon (64) et sur des communes du Gers (32) par ARVALIS, à Auchy-les-Mines (62) par la FREDON, à Besayes (26) par la CA 26, à Venouse (89) par la CA 89, et à Lunel (82) par Qualisol.

Lors des différents essais, la contamination a été très majoritairement apportée par les semences, soit à l'aide d'une contamination artificielle selon la méthode CEB n°42, conduisant à un apport de 20 000 à 30 000 spores/semence (niveau volontairement élevé pour étudier l'efficacité des produits) avec dans certains cas une adaptation d'après les travaux de Waldow & Jahn (2007), soit à l'aide de semences contaminées naturellement à la récolte (40 000 à 110 000 spores / semence selon les lots).

Différents produits, ainsi que différentes doses de produit, ont été étudiés, la nature et l'effectif des modalités différant d'un essai à l'autre. Les résultats présentés ne sont pas exhaustifs : ne sont ici considérés que les modalités présentes sur plusieurs essais valides (avec expression significative de la maladie). Il s'agit :

- du traitement de semences Cerall à la dose homologuée (1 l/quintal),
- d'un fortifiant biologique à base de farine de moutarde, Tillecur à 1,3 kq /quintal (appliqué après mélange dans 4 litres d'eau),
- d'un apport d'acide acétique sous forme de vinaigre blanc (dose proche de 2 l/q, appliquée après dilution dans 1 litre d'eau),
- d'apports d'élément métal Cuivre, à l'aide de différents composés (essentiellement sulfate de cuivre, hydroxyde de cuivre, oxychlorure de cuivre) et avec différents niveaux (de 300 à 20 g Cu /quintal selon les composés). Ces apports sont dilués dans de l'eau (environ 1,2 l) avant application de la bouillie ainsi constituée.
- d'un traitement de semences de référence en agriculture conventionnelle (avec préparation d'une bouillie 1.2 l/q).

Le contrôle principal a porté sur le taux d'épis cariés.

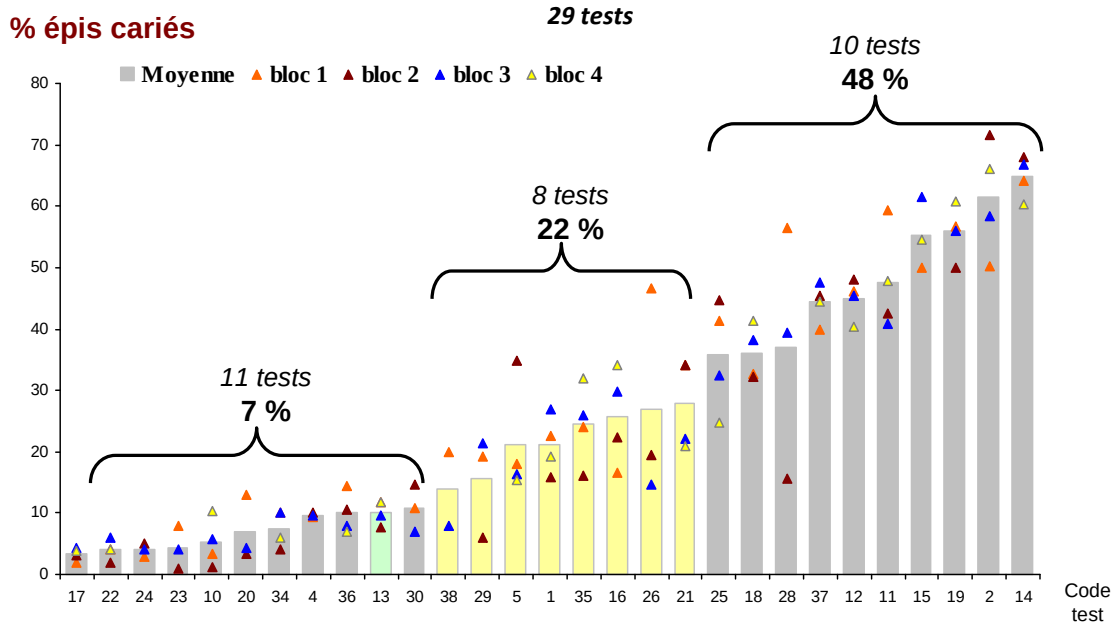
Dans certains essais des notations de peuplement ont également été réalisées pour une première approche du comportement des modalités étudiées (résultats non présentés).

Résultats

Les résultats concernent 29 tests (un test correspondant à un essai ou une partie d'essai au sein de laquelle seules les modalités traitement de semences diffèrent). Une dizaine de tests n'a pas pu être exploité suite à une expression insuffisante de la maladie (moins de 3 % d'épis cariés) ou à une hétérogénéité trop importante sur le témoin non protégé.

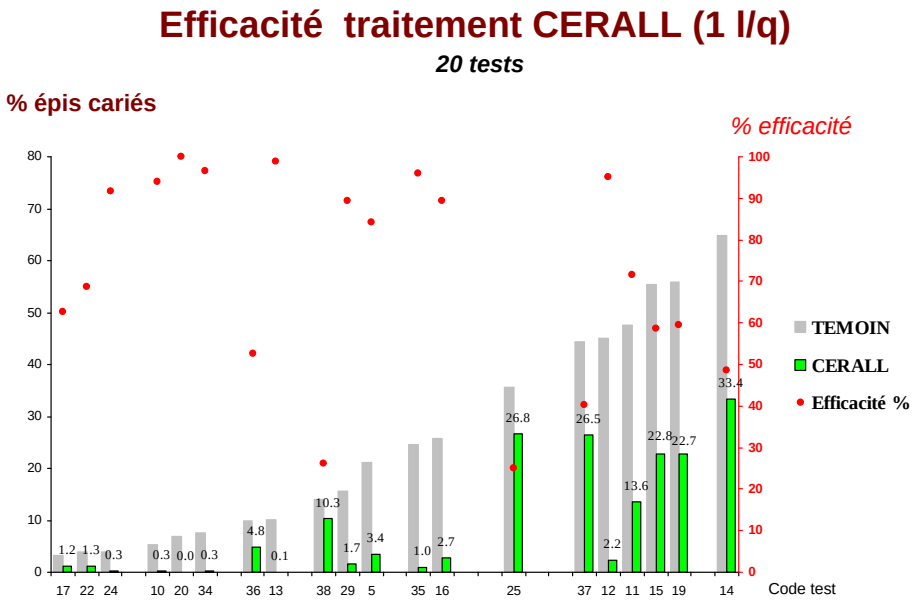
Sur ces 29 tests, il est observé une expression de la maladie très variable, allant de 3 à 65 % d'épis cariés sur le témoin (figure ci-dessous).

Expression de la maladie, taux d'épis cariés (%) sur les témoins non protégés



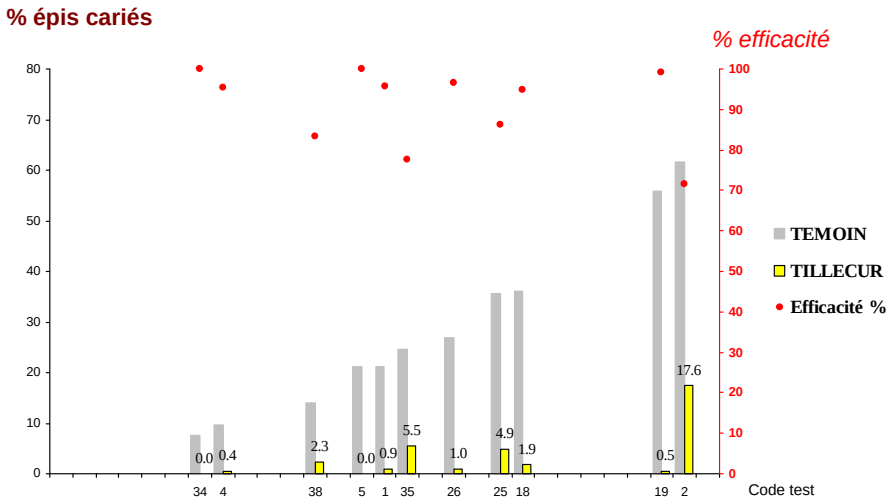
Les résultats des différentes modalités (ou groupe de modalités en ce qui concerne les apports de cuivre) sont présentés successivement dans les graphiques suivants, avant les résultats de l'analyse statistique du regroupement d'essais.

Sur chaque graphique, le taux d'épis cariés de la modalité est indiqué, comparativement à celui du témoin non protégé (en fond), et ce pour chaque test. Les tests sont classés par ordre croissant d'expression de la maladie. Il est également représenté le % d'efficacité calculé. Face aux variations importantes d'expression de la maladie, la valeur de cette efficacité ne peut être considérée indépendamment du taux d'épis cariés du témoin.



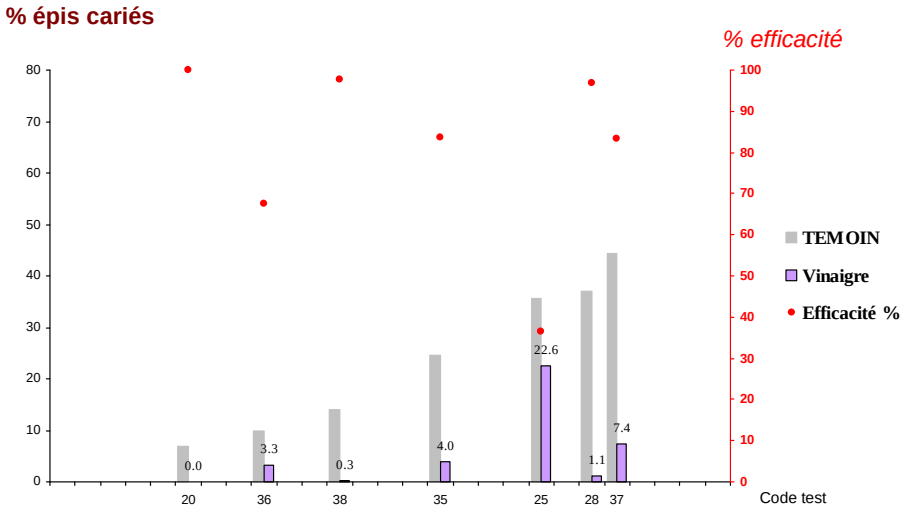
Efficacité Tillecur (1,3 kg/q)

11 tests



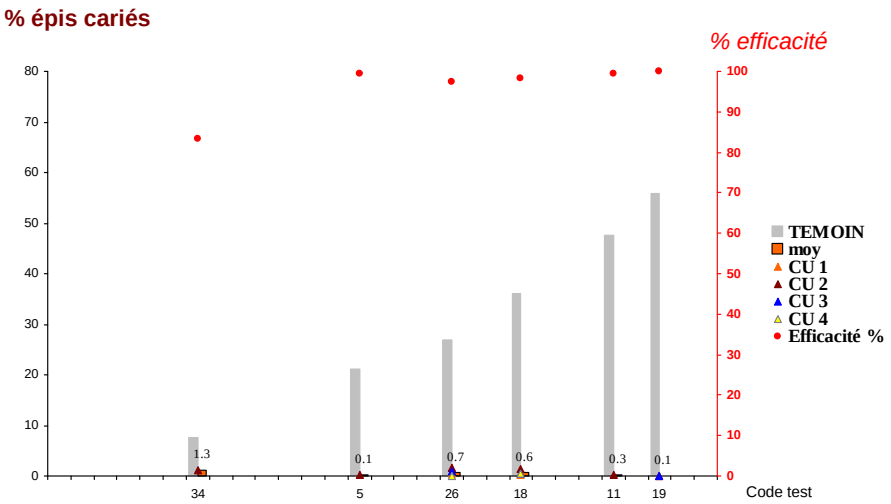
Efficacité acide acétique (Vinaigre blanc 1,8 à 2,5 l/q)

7 tests



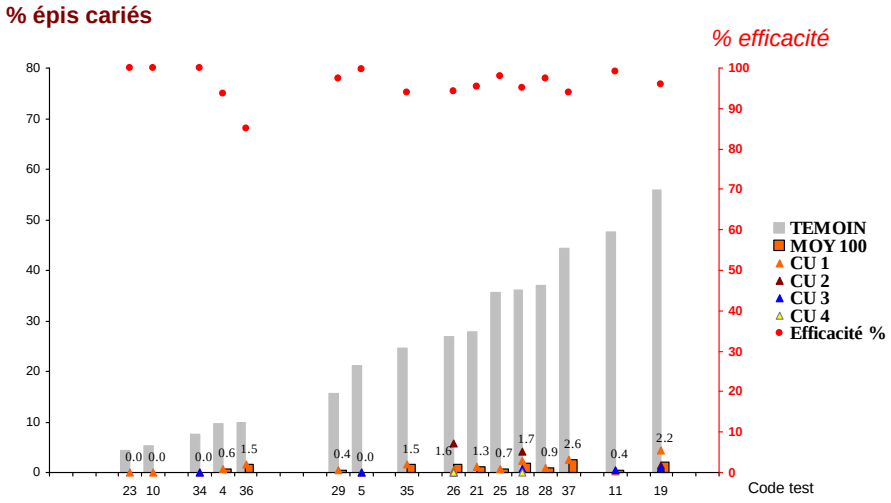
Efficacité apports de Cuivre : 200 g / q

6 tests, différents composés Cu



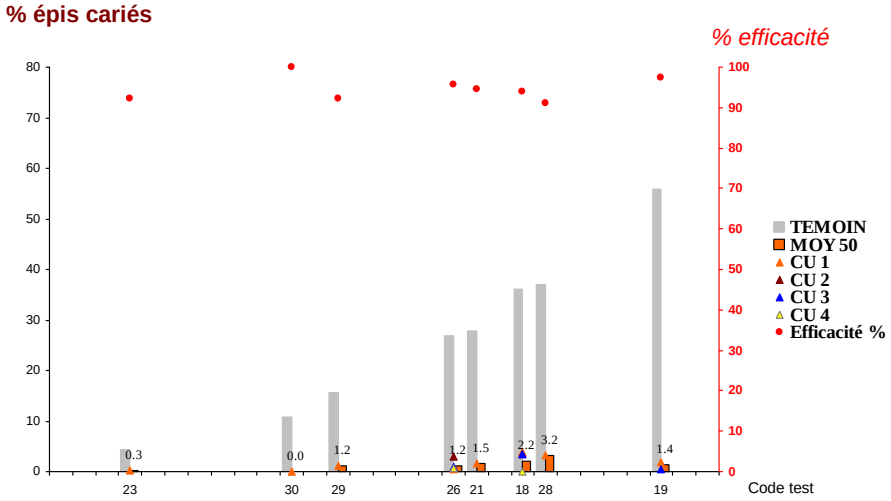
Efficacité apports de Cuivre : 100 g / q

16 tests, différents composés Cu



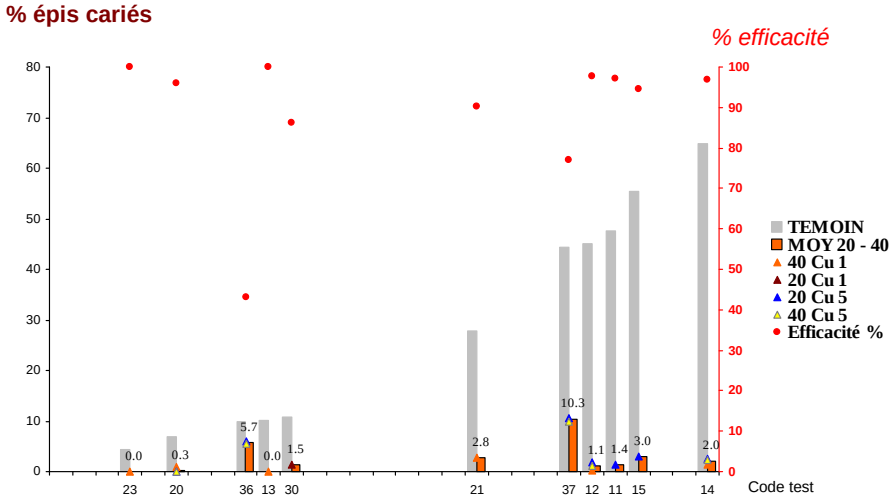
Efficacité apports de Cuivre : 50 g / q

8 tests, différents composés Cu



Efficacité apports de Cuivre : 20 – 40 g / q

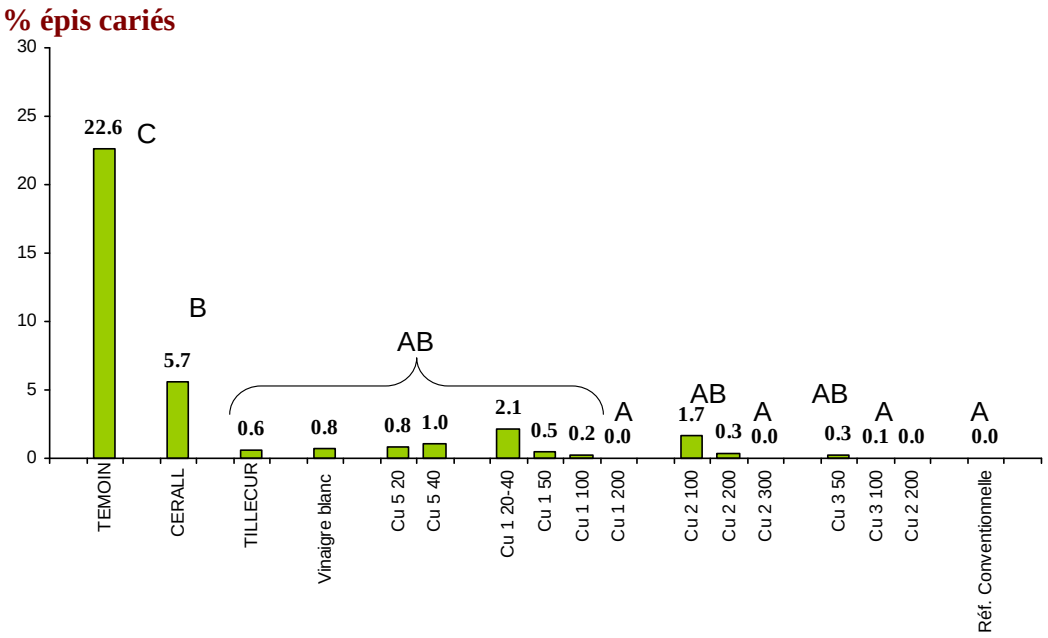
11 tests, deux formes d'apport



L'analyse statistique a porté sur la variable % épis cariés, après transformation (racine arcsinus). L'analyse de la variance est réalisée avec un modèle mixte, le facteur étudié étant le traitement des semences, et les facteurs contrôlés : l'essai, la modalité/essai, le bloc. La comparaison multiple des moyennes, permettant de définir les groupes homogènes, est réalisée avec le test de Tukey.

Avec un CV résiduel de 38 %, il est mis en évidence des différences significatives entre d'une part le témoin (groupe C), la modalité Cerall (groupe B) et quelques modalités, référence conventionnelle et apports élevés de cuivre (groupe A). Les modalités Tillecur, acide acétique et apports Cu inférieurs à 200 g (pour la majorité des composés) présentent des résultats intermédiaires (groupe AB).

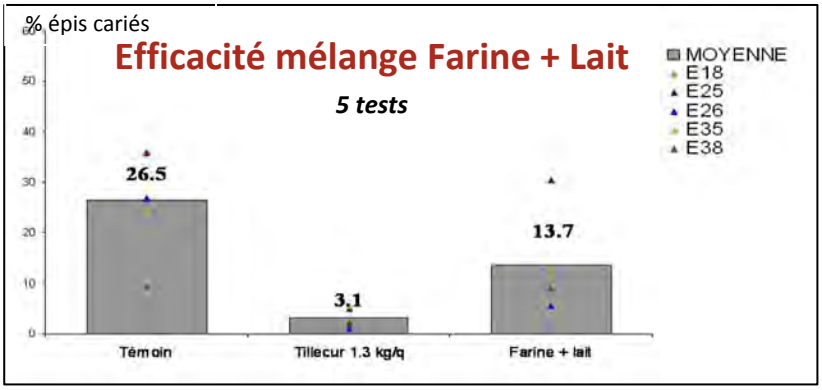
Analyse statistique, moyennes ajustées (test Tukey)



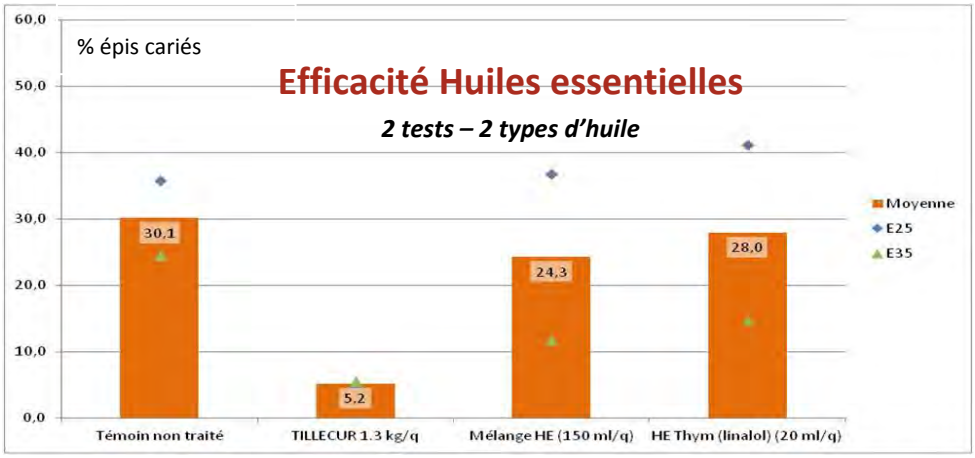
Autres pistes explorées

En plus des essais réalisés sur plusieurs années et/ou sur plusieurs sites sur ces différents produits, d'autres solutions de traitement des semences identifiées dans la bibliographie comme potentiellement intéressantes pour lutter contre la carie du blé ont également été testées, mais sur un nombre de sites plus faible, ou durant une période plus restreinte. C'est pour cette raison qu'elles n'ont pas été intégrées à l'analyse statistique réalisée précédemment. Il s'agit notamment de :

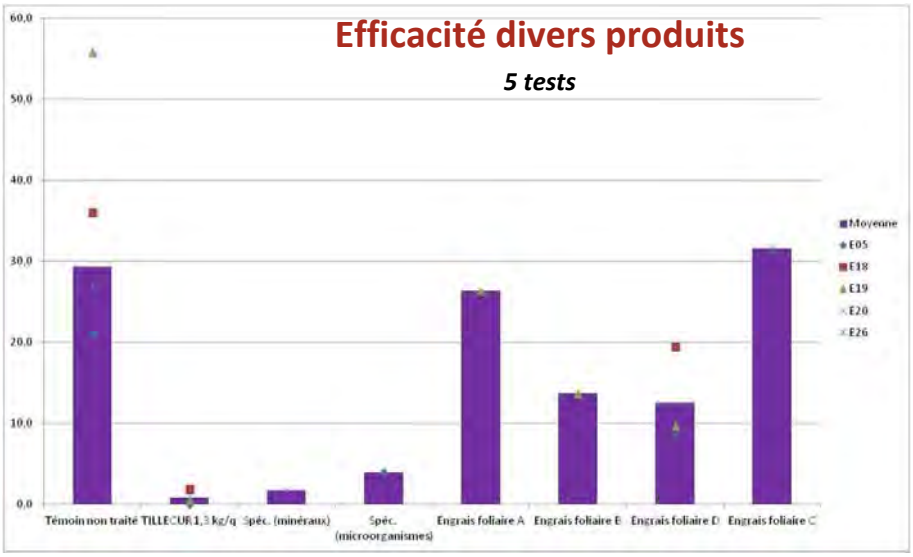
- la solution empirique permettant d'apporter une source de nutriments aux microorganismes antagonistes de *Tilletia sp.* : l'enrobage des semences à l'aide d'un mélange constitué d'1 kg farine de blé et d'1 L de lait par quintal de semences.
- de spécialités à base d'huile(s) essentielle(s) : elles sont utilisées pour leur propriétés fongicides, notamment l'huile essentielle de thym à linalol à la dose de 20 ml par quintal de semences (*Thymus vulgaris et linalol*, 100% pure d'origine biologique et labélisée HECT) ainsi qu'une spécialité commerciale à base d'un mélange d'huiles essentielles (composition non détaillée – utilisée à la dose de 150 ml par quintal de semences).
- de diverses spécialités à base d'extraits minéraux, de microorganismes ou d'engrais foliaires issus d'extraits végétaux.



Le principe empirique de l'enrobage des semences avec un mélange farine + lait n'a pas été concluant en termes de contrôle de la maladie. L'objectif était d'apporter des nutriments aux microorganismes du sol antagonistes de *Tilletia sp.*, il semble que cette solution ne permette pas de faire face à un niveau de contamination important des semences.



Les huiles essentielles, i.e. de thym à linalol ou la spécialité commerciale à base d'un mélange d'huiles essentielles, ont été décevantes aux doses utilisées, avec de faibles pourcentages d'efficacité. Même si ces valeurs sont à relativiser, compte tenu du fort niveau de contamination de la semence, elles n'arrivent pas au niveau d'efficacité des spécialités détaillées précédemment.



Enfin, les autres produits testés (qu'ils soient à base de minéraux, de microorganismes ou d'extraits végétaux) n'ont pas montré d'efficacité significative pour contrôler la maladie dans les conditions des essais où ils ont été étudiés.

Conclusions et perspectives

Lors de ce programme, plusieurs essais ont été réalisés afin d'évaluer l'efficacité de différents produits potentiellement utilisables en agriculture biologique pour lutter contre la carie commune. Ces produits ont été comparés dans diverses situations après application sur des semences contaminées (contamination artificielle ou naturelle).

Le seul traitement de semences homologué ce jour (Cerall, 1 l/q), à base de bactéries *Pseudomonas chlororaphis,* présente une efficacité significative mais avec des résultats irréguliers : il peut notamment être observé des taux conséquents d'épis cariés dans des conditions très favorables à l'expression de la maladie. L'influence de facteurs pédoclimatiques sur l'activité de ces bactéries vis-à-vis de *Tilletia sp*. reste à explorer pour identifier de possibles situations d'échec.

L'application sur les semences de Tillecur, fortifiant biologique à base de farine de moutarde, ainsi que l'application d'acide acétique (vinaigre blanc) conduisent à une protection proche de celle de Cerall (écart non significatif à l'analyse du regroupement d'essais). Dans certaines situations, l'efficacité peut s'avérer supérieure mais il reste quelques cas d'échec avec un contrôle insuffisant.

Les apports de cuivre ont fait l'objet de nombreuses explorations, que ce soit sur le niveau d'apport d'élément métal ou sur le type de composé. Pour un apport correspondant à 200 g de Cu par quintal de semences, il est observé une très bonne protection même dans des situations très exposées, conférant à certains composés une protection significativement supérieure à celle de Cerall et comparable à celle obtenue avec la référence conventionnelle. La réduction de l'apport à 100 g puis 50 g de Cu /q permet encore une protection forte et relativement constante : l'efficacité se situe entre 90 à 100 % pour un apport de 50 g Cu/q. En dessous de 50 g, des résultats prometteurs sont également observés, ce qui laisse envisager un bon contrôle possible de la maladie avec des apports très faible de cuivre. Les travaux sont à poursuivre pour identifier l'incidence du type de composé et de sa formulation pour une application en traitement des semences.

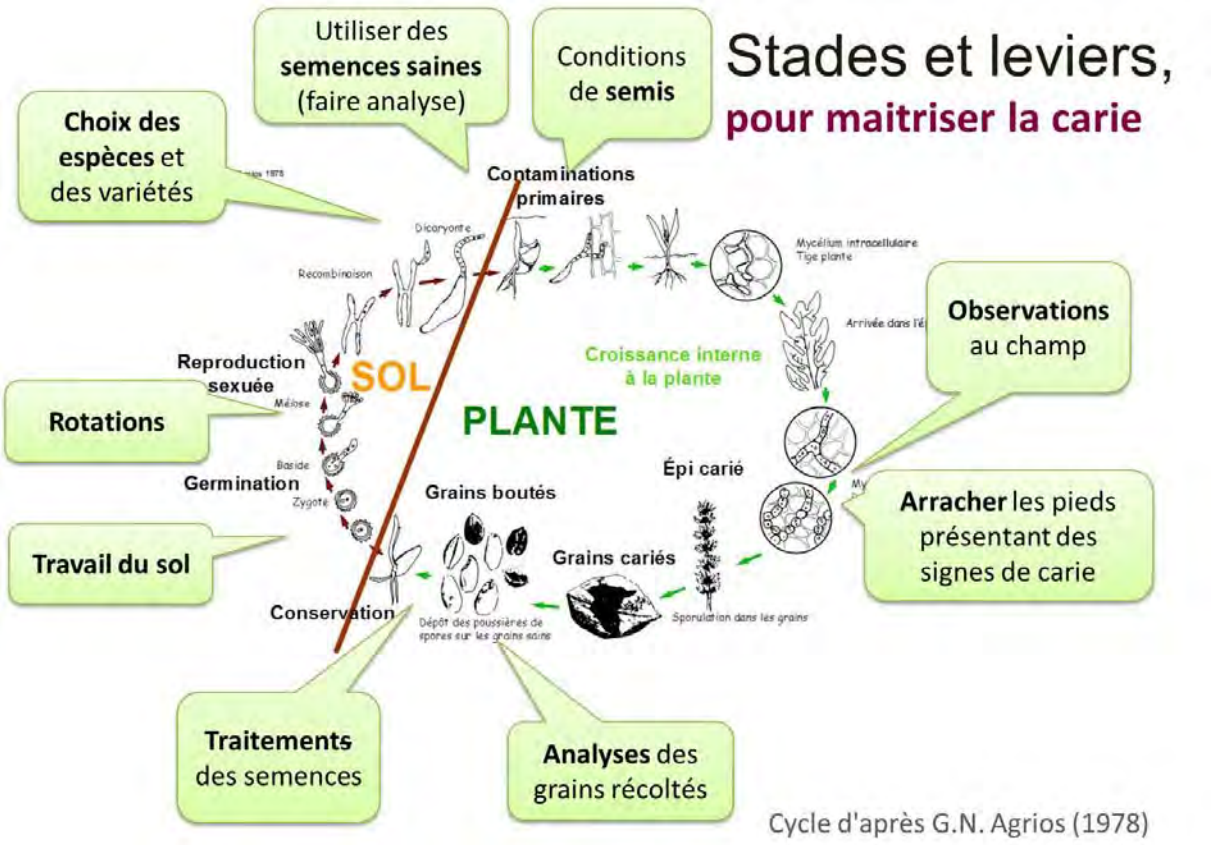
Sur l'ensemble des notations de peuplement réalisées lors de cette étude, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence lors de l'analyse statistique, cependant des pénalisations de peuplement ont pu être observées sur certains essais, notamment pour des apports élevés de cuivre. Des explorations complémentaires sont à poursuivre quant à la sélectivité des produits et leur éventuelle incidence sur la cinétique de levée, sachant que le risque d'implantation de la maladie augmente avec l'intervalle de temps nécessaire à la plante pour atteindre le stade 2 feuilles.

D'autres études restent à conduire. Les résultats présentés ici ne sont pas exhaustifs et d'autres pistes sont à explorer, que ce soit d'autres substances ou bien des associations de produits ayant conduit à une efficacité partielle. La situation de sol contaminé n'a pas pu faire l'objet d'un examen suffisant. Mais que ce soit face à une contamination des semences ou du sol, les résultats obtenus dans le cadre de ce programme soulignent la nécessité de répéter les tests, dans des situations diverses, pour pallier la forte variabilité d'expression de la maladie.

Conclusions sur le contrôle de la carie

Frédéric REY

Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB)
Maison des agriculteurs B – Mas de Saporta CS 50023 – 34875 Lattes



Règles de bonne conduite, pour contenir la carie commune

- **Utiliser des semences** certifiées ou saines (analyse)
- **Favoriser une levée rapide**
- **Observer attentivement la culture** pour déceler le plus tôt possible les signes de carie
- **Eliminer les pieds cariés** (le cas échéant)
- **Faire une analyse de la récolte** (en cas de doute)
- **Faire des rotations**



Mesures possibles,
si présence de carie…

Faire une analyse
pour s'assurer qu'il s'agit bien de carie et pour quantifier le taux de contamination des grains.

Prise de risque

Que faire **au moment de la récolte** ?	Que faire **des grains récoltés** ?	Que faire **sur la parcelle contaminée** ?
Détruire la culture sur pied par brûlage *(demander autorisation préfectorale)*	**Incinérer les récoltes** contaminées	**Allonger la rotation et cultiver des espèces non sensibles** pendant 5 ans : avoine, orge, seigle, *triticale* et bien sûr les légumineuses, les crucifères…
Récolter la parcelle cariée en dernier *Faire tourner le cylindre batteur à basse vitesse en ouvrant le contre-batteur ; faire fonctionner les ventilateurs.* Après la récolte, **nettoyer** soigneusement tout le matériel	Valoriser la récolte à la ferme en **consommation animale** *(risque de dissémination non connue à ce jour)* La **semence fermière** est possible à condition de : - **traiter** au *Cerall* (ou au *Tillecur*) - **surveiller** attentivement la culture	**Labour profond puis travail superficiel** **Choisir des variétés de blé peu sensibles** pendant 5 ans et favoriser une levée rapide **+ Vigilance accrue**

3 – POURSUIVRE LA RECHERCHE

Analyse des spores aujourd'hui et demain : détection sur semence, viabilité des spores, détection précoce

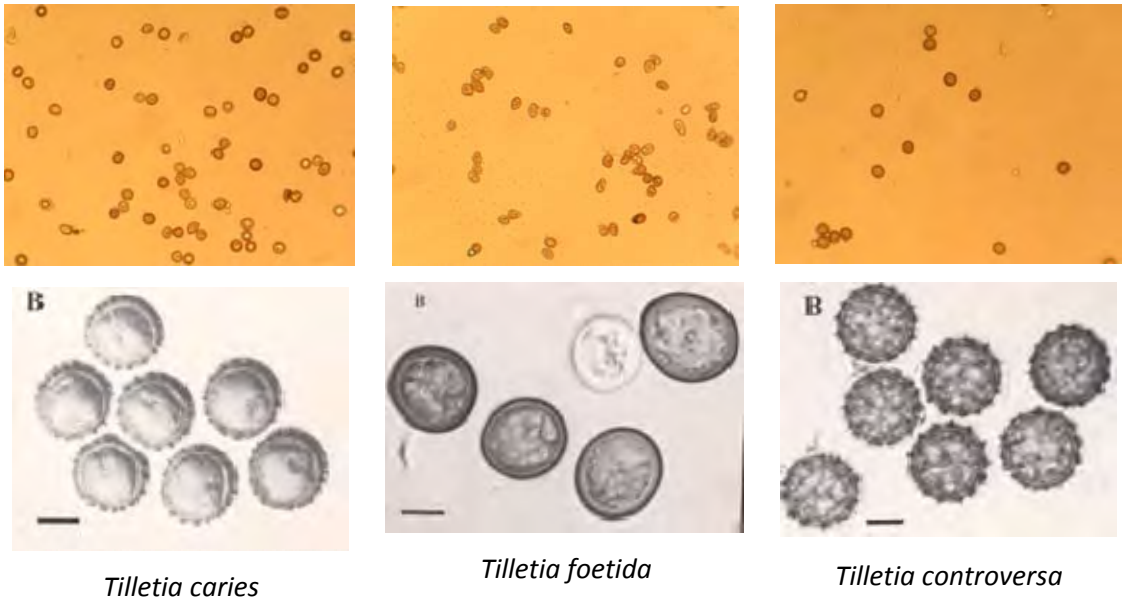
Isabelle SERANDAT
GEVES-SNES
Rue Georges Morel - BP 90024 – 49071 - Beaucouzé Cedex

Sophie CONSTANTINO et Nathalie EYCHENNE
FREDEC Midi-Pyrénées
Complexe agricole d'Auzeville – 2 Route de Narbonne – Castanet Tolosan Cedex

Julie TOUSSAINT-FERREYROLLE
ARVALIS – Institut du végéta
Domaine AgroParisTech – Bât. INRA Bioger-cpp – 78850 Thiverval-Grignon

Aujourd'hui, la détection et le dénombrement des spores de carie

La détection de la carie sur céréales est réalisée sur 50 grammes de semences (environ 1000 grains). 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 suivant plusieurs critères morphologiques (voir photos). 10 prélèvements sont effectués et placés sur un hématimètre pour déterminer la concentration en spores par millilitres de solution. La concentration moyenne des 10 prélèvements est alors convertie en nombre de spores par gramme de semences, pour chaque espèce de carie. Avec cette méthode, le seuil de détection est de 5 spores par grain.



Tilletia caries | *Tilletia foetida* | *Tilletia controversa*

Les spores des *Tilletia* sont caractéristiques et permettent leur identification
(© SNES et T. Matsumoto and T. Bell, *Laboratory Guide To SMUT FUNGI*)

Limites du dénombrement

L'analyse par dénombrement des spores de carie fournit une information intéressante car elle renseigne sur le niveau de contamination d'un lot. En revanche, elle ne dit rien du potentiel de contamination de ces semences. En effet, seules les spores vivantes poseront éventuellement problème.

Demain, la détection et la détermination de la viabilité des spores de carie

Le dénombrement des spores viables est donc nécessaire pour connaître, en plus du nombre de spores, le nombre de spores vivantes et problématiques.

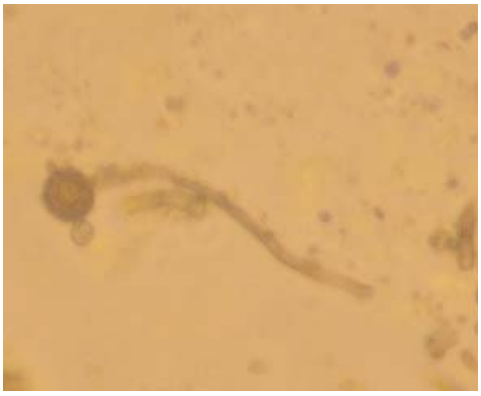
Par exemple, dans le cadre du programme, des expérimentations ont été menées sur des animaux ayant ingéré de l'aliment carié par ARVALIS – Institut du végétal (41). L'objectif était de connaître le pouvoir de dissémination de la carie par les fécès. Les résultats des tests de germination des spores des excrétas sont tous négatifs, même le témoin positif dont les spores étaient pourtant viables lors de l'analyse du début de l'expérimentation. Pour conclure sur cette expérience, il faut impérativement s'assurer que la méthode de détection des spores viables soit fiable et maîtrisée.

Si les semences traitées du conventionnel ne sont pas actuellement analysées pour la carie (en lien avec la forte efficacité des traitements et les difficultés méthodologiques dues à la coloration des semences par les produits de traitement), l'arrivée de traitements de semences alternatifs a créé une demande d'analyse sur semences traitées. Les traitements de semence n'éliminant pas les spores, mais les tuant seulement, le dénombrement ne suffit pas, il faut pouvoir en plus différencier les spores viables des autres.

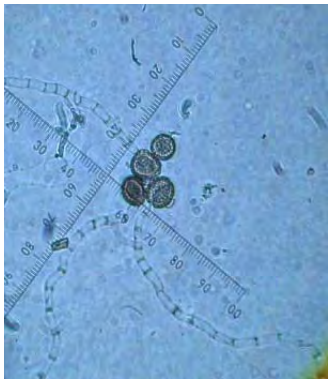
Deux types de méthodes peuvent être utilisés pour détecter et déterminer la viabilité des spores de carie : le test de germination des spores et le test de coloration vitale.

Le test de germination des spores

Le test de germination des spores est un test décrit dans la littérature, choisi pour servir de référence dans la mise au point d'autres méthodes de détermination de la viabilité. Cela était donc un préalable, devant être validé. Une première série de tests a été menée en 2010 sur un milieu Malt agar. La méthode s'est avérée non répétable puisque les résultats obtenus par la FREDEC sur les mêmes échantillons étaient différents de ceux obtenus à la SNES. Suite à une collaboration avec la FNAMS, un nouveau milieu de culture, le Water agar, a été identifié et testé.



Germe de carie, ©SNES



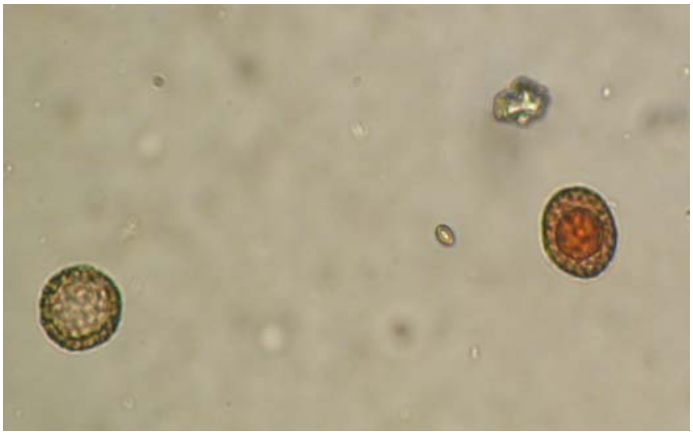
Germe de carie, ©SNES

Avantages et inconvénients de la méthode de germination des spores :

La méthode peut être appliquée à partir du macérât de l'analyse de détection et dénombrement, mais elle nécessite 10 à 15 jours d'incubation et la présence de nombreux saprophytes peut gêner la lecture.

Le test de coloration vitale

Le test de coloration vitale est une méthode intéressante et rapide. Des essais méthodologiques ont été réalisés avec du Tétrazolium et du rose de Bengale. La coloration au Tétrazolium semble être la plus prometteuse. Mais pour valider la méthode, il faut comparer les résultats avec la méthode de référence : la germination des spores.



Spore de carie viable (à droite) et morte (à gauche), ©SNES

Avantages et inconvénients de la méthode de coloration vitale :

La méthode peut être réalisée en même temps que la détection et le dénombrement, avec un délai de 24h supplémentaires, mais la sensibilité de cette méthode doit encore être testée. De plus, les méthodes de détermination de la viabilité ont été testées uniquement sur *Tilletia caries* et doivent être mises au point sur les autres espèces de carie.

Demain, la détection précoce de la contamination

Les méthodes de dénombrement sont cependant dépendantes des compétences et de l'œil d'un observateur. De plus, elles ne peuvent être conduites que sur semences et donc après la récolte. Il serait donc intéressant de disposer de méthodes permettant la détection précoce de la carie sur plantule. En effet, en se basant sur le fait qu'il est connu que la carie n'est plus capable d'infecter la plante après le stade « 2 feuilles », il semble possible de réaliser une analyse passé ce stade afin de déterminer la présence du champignon dans la plante.

Les avancées techniques concernant les analyses moléculaires permettent aujourd'hui de détecter et quantifier précisément un champignon au sein d'un échantillon végétal, en se basant sur des séquences spécifiques de son génome. Ainsi, de nouveaux projets en cours de dépôt visent à développer d'une part un test de détection spécifique de *Tilletia caries* par PCR (Réaction en Chaîne par Polymérase) et d'autre part un test de quantification de *Tilletia caries* et *T. foetida* par PCR en temps réel (encore appelée PCR Quantitative).

Ces méthodes de détection précoce seraient particulièrement utiles pour :

- la caractérisation de la résistance variétale du blé tendre à la carie dans le cadre des évaluations des variétés (en particulier par le CTPS) ;
- la comparaison de l'efficacité de différents moyens de lutte ;
- l'estimation de la viabilité des spores et du potentiel de contamination d'un lot de semences, d'un sol, de déjections, … par des études rapides en serre ;
- l'étude fine du comportement du champignon dans la plante avant l'expression des symptômes sur épis.

La PCR (approche qualitative)

La méthode de détection par PCR qualitative semble être la méthode la plus adéquate pour détecter précocement la carie. La mise au point d'une méthode valide nécessite trois étapes : 1/ mettre au point une méthode de détection spécifique de la carie, 2/ déterminer à partir de quel stade il est possible de détecter la carie du blé dans les plants et 3/ déterminer le seuil de détection de cette méthode.

Des tests réalisés sur des solutions pures ne contenant que des spores de *Tilletia caries* ont permis en 2010 de finaliser la méthode de détection de *Tilletia caries* par PCR. Après broyage des grains, extraction de l'ADN, amplification de l'ADN et révélation, on peut lire les résultats sur les gels de migrations de l'ADN (cf. photo).

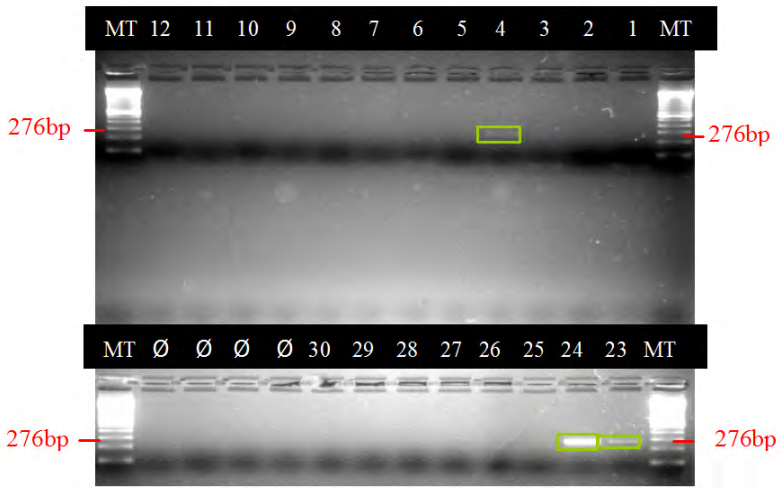
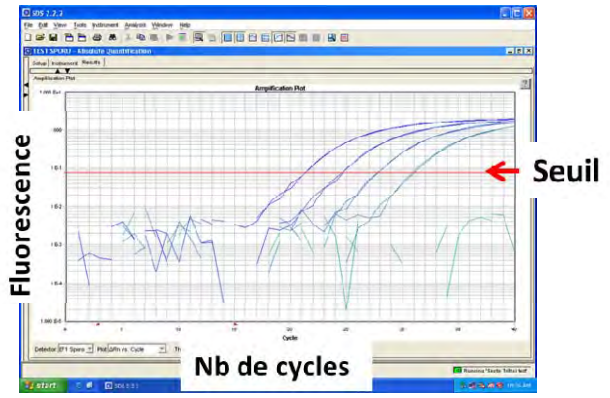


Photo sous lumière UV du gel de migration de l'ADN (©FREDEC)

La quantification par PCR en temps réel

Basée sur le même principe que la PCR décrite précédemment, la PCR en temps réel permet d'aller plus loin en quantifiant l'ADN du champignon détecté. A chaque cycle d'amplification est mesurée une fluorescence, proportionnelle au nombre de séquences amplifiées et donc à la quantité du champignon recherché dans l'échantillon de départ. Lorsque cette fluorescence, qui augmente à chaque cycle, dépasse un seuil, cela signifie que le champignon est présent. Plus le seuil est dépassé tôt dans la réaction, plus la quantité du champignon présente dans l'échantillon est élevée. Une gamme, réalisée avec de l'ADN du champignon à une concentration connue, permet de connaître la correspondance entre la fluorescence mesurée et la quantité d'ADN du champignon.



Ecran de sortie de résultats d'une PCR en temps réel (© Arvalis – Institut du végétal)

Cette méthode, plus rapide que la PCR, est actuellement en développement pour *Tilletia caries* et *Tilletia foetida*. Ses applications pourront être aussi diverses que la sélection et le classement variétal, mais également des tests d'efficacité de traitement de semences ou encore simplement une meilleure connaissance de la biologie et de l'épidémiologie du champignon.

Conclusion

Les perspectives quant aux analyses possibles en laboratoire s'annoncent prometteuses. Identifier les spores de carie viables, détecter la carie précocement dans la plante : toutes ces avancées techniques vont permettre, en complément d'essais au champ, d'accélérer considérablement les recherches sur cette maladie, tant sur la compréhension du champignon que sur le développement de moyens de lutte. Des projets sont en cours et des collaborations entre laboratoires sont envisagées pour travailler sur ces points.

Poursuivre les essais aux champs : recommandations méthodologiques et perspectives

Hélène SICARD
Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB)
Maison de l'agriculture – 9 rue André Brouard – 49105 Angers Cedex 02

Contexte – Enjeux

Bien que la carie soit mieux connue aujourd'hui qu'hier, les recherches doivent se poursuivre pour approfondir les connaissances sur cette maladie, pour mieux la détecter et pour trouver des solutions efficaces pour la contrôler.

Si les essais en laboratoire vont permettre de développer de nouvelles techniques de détection (exemple : PCR) et de mieux connaître la carie en condition contrôlée, les essais aux champs restent indispensables pour avoir des résultats en conditions de pratiques de terrain.

Cette article s'adresse tout particulièrement à des personnes et organismes qui souhaiteraient mettre en place des essais dans ce sens.

Recommandations méthodologiques

Pour mener à bien ces essais aux champs, plusieurs aspects méthodologiques sont à prendre en compte dans les protocoles.

Dispositif expérimental

Tout d'abord, le choix du dispositif expérimental doit se tourner vers le dispositif en bloc avec répétitions. Chaque modalité est répétée au moins 3 fois.

La taille de la parcelle élémentaire doit être suffisante pour permettre le développement de la carie et le comptage des épis cariés. Les essais peuvent être semés en lignes. Une parcelle élémentaire est alors constituée de 2 lignes d'au minimum 1 m de longueur (4 m conseillés). Des tailles supérieures sont bien entendu tout à fait recommandées.

Choix de la variété

Il est bien sûr recommandé de choisir des variétés sensibles pour que la maladie s'exprime le plus fortement possible. Dans le cadre des essais variétés, Renan et Apache sont utilisés comme témoins respectivement sensible et moyennement sensible. Dans le cadre des essais traitements de semences, plusieurs variétés ont été cultivées : Achat, Lona, Renan, Trémie, Orpic…, qui sont des variétés sensibles.

Méthode de contamination des semences

Il est tout à fait envisageable de semer un lot de semence contaminée naturellement. Cependant, la contamination artificielle permet de maitriser le niveau de contamination et ainsi d'homogénéiser les niveaux de contamination entre échantillons, entre différentes années et entre différents lieux d'expérimentations.

La méthode CEB n°42 est la méthode de référence pour les essais d'homologation de produits de traitement. Elle consiste à mélanger 2 g de spores avec 1 kg de semence. Le niveau de contamination est alors élevé, se situant entre 20 et 30.000 spores/grain.

Afin de travailler sur des taux de contamination plus bas, une autre méthode peut être utilisée, basée sur la contamination de petites quantités de semences et le recours à sac en plastique. La méthode Waldow et Jahn (2007) consiste en effet à appliquer les spores sur les parois d'un sac plastique, à agiter, puis à incorporer les semences pesées (par lot de 2,5 kg). Le sac est ensuite fermé et agité pendant une minute. L'ensemble des lots est enfin regroupé et mélangé. Cette méthode permet d'obtenir des lots de semences ayant des contaminations homogènes et permet aussi de faire varier facilement et avec précision les niveaux de contamination.

Quelle que soit la méthode de contamination choisie, y compris naturelle, il faut analyser la semence contaminée, avec des répétions d'échantillons (3 conseillés). Le niveau de contamination est une donnée essentielle dans l'analyse des résultats d'attaque de la maladie.

Origine et stockage des spores

Les spores de carie utilisées pour la contamination des semences proviennent d'épis cariés récoltés et conservés à l'abri de l'humidité dans un local frais, peu éclairé et bien aéré.

Afin de ne pas disséminer les spores de carie, il est conseillé d'utiliser des spores d'origine locale. Cela permettra d'éviter d'introduire une nouvelle souche dans une région.

Au moment choisi pour la contamination, les grains ou épis cariés sont écrasés avec précaution. La poudre obtenue est tamisée pour éliminer les enveloppes des grains ou les débris de l'axe de l'épi. Toujours veiller à bien nettoyer le matériel utilisé.

La contamination artificielle du sol

Les contaminations des sols suivent la méthode CEB n°42. L'inoculum doit être préparé la veille du semis. On prépare la quantité requise de sable fin sec mélangé avec des spores de carie dans la proportion de 10 g de spores pour 1 kg de sable (1 %). Ce sable doit être indemne de tout produit phytosanitaire. Le mélange (sable + spores) est épandu d'une manière très homogène sur toute la surface du sol à raison de 100 g/m². Pour finir, il faut l'enfouir peu profondément (2 - 3 cm) à l'aide d'une griffe afin que les spores soient dans le lit du semis. Il faut veiller à contaminer uniquement la zone où se feront les comptages.

Pourcentage d'épis cariés : l'indicateur de l'expression de la maladie

Un épi est considéré carié dès lors qu'il présente un grain carié. Un grain carié est un grain dont l'amidon est remplacé par des spores noires de carie. Les grains boutés, c'est-à-dire les grains ayant des spores à leur surface, ne sont pas comptabilisés. Pour éviter toute erreur, il faut regarder à l'intérieur des grains. Ne pas hésiter à aller jusqu'à écraser les grains à l'aide d'un marteau.

Le comptage des épis cariés se réalise entre les stades grain laiteux et grains pâteux (au début). Au-delà, la dureté des grains rend l'examen plus difficile. Selon la taille des parcelles d'expérimentation, la totalité des épis présents sur la modalité ou uniquement un échantillon de nombre connu d'épis (au moins 200) est prélevé. Après dénombrement des épis malades, il suffit de calculer par parcelle la proportion d'épis malades.

Il faut ensuite impérativement détruire l'essai le plus tôt possible et dans tous les cas avant dissémination des spores.

Quelques perspectives de recherche aux champs

Les besoins de recherche ne s'arrêtant pas avec le programme Contrats de branche « Agir rapidement pour maîtriser la carie commune », quelques axes ont été identifiés. Cette liste ne se veut pas exhaustive mais seulement indicative.

Implantation de la gamme différentielle

Pour mieux connaître les différentes souches de carie présentes en France, il est nécessaire de compléter le maillage du territoire par l'étude d'autres échantillons de carie à l'aide de la gamme d'hôtes différentiels (cf. p : 22). Afin de ne pas favoriser la dissémination des races de carie, les 17 lignées de la gamme sont contaminées et semées à proximité du lieu d'origine de l'échantillon de spores de carie. Les semences de la gamme différentielle peuvent être fournies par Arvalis – Institut du végétal, Orsay.

Essais variétaux

La sensibilité/résistance d'un grand nombre de variétés reste encore à confirmer ou à tester. Il s'agit donc de cultiver des variétés courantes dans la région et d'évaluer leur comportement face à la carie. Il faut aussi, chaque année, actualiser les connaissances sur les nouvelles variétés. On peut aussi envisager tester des variétés en cours d'inscription au catalogue des variétés.

Essais traitements de semences

A ce jour des produits ont été évalués, mais il reste des questions quant à leur dose d'efficacité, aux types de produits à utiliser et à leurs impacts négatifs sur la germination des graines (sélectivité). Par exemple, les effets du cuivre (doses et forme), du vinaigre (dose et sélectivité), des mélanges (cuivre + vinaigre, …) ou encore de certaines huiles essentielles doivent être évalués plus précisément. Il en est de même pour les procédés physiques.



CARIE DU BLÉ

Agir avant qu'il ne soit trop tard

La **carie commune du blé** (*Tilletia caries* et *Tilletia foetida*) était une maladie courante jusqu'aux années cinquante, transmise par les semences ou par le sol (dissémination sous forme de spores). La pratique de désinfection des semences par lutte chimique l'a réduite à un état de bruit de fond. Mais elle est toujours présente, notamment quand les semences ne sont pas traitées et, de ce fait, concerne l'agriculture biologique.

Face aux difficultés de lutte vis-à-vis de cette maladie, diverses pistes ont été explorées dans un **programme de recherche** financé par le Ministère de l'Agriculture (Contrats de Branche), pendant trois ans. Les objectifs étaient de mieux comprendre l'épidémiologie de la carie, d'identifier les pratiques agronomiques (et combinaisons de pratiques) défavorables au développement du champignon, de repérer les variétés les plus résistantes, d'évaluer les produits de traitement des semences susceptibles d'être utilisés en AB.

Les principaux résultats de ce programme, enrichis par des travaux réalisés dans d'autres cadres, ont été présentés lors de la **Journée de restitution** organisée le 9 février 2012, sur Paris. Ils sont présentés dans ce document.

ITAB, février 2012

Restitution du programme de recherche (2008-2012)

CARIE « *Agir rapidement pour contenir la carie commune Tilletia caries ou Tilletia foetida* »

(Contrats de Branche du Ministère de l'Agriculture)