

Agir rapidement pour contenir la carie commune : exploration de diverses méthodes de contrôle

Fontaine L.¹, Robin N.², Bruyère J.³, du Chevron P.⁴

¹ ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique), 9 rue André Brouard, CS 70510, F- 49105 Angers Cedex 02

² ARVALIS – Institut du végétal, 21 Chemin de Pau, F- 64121 Montardon

³ FREDON Nord Pas-de-Calais, 265 rue Henri Becquerel - B.P. 74, F- 62750 Loos-en-Gohelle

⁴ ARVALIS – Institut du végétal, IBP – Université Paris Sud - Rue de Noetzlin – Bât. 630, F- 91405 Orsay CEDEX

Correspondance : laurence.fontaine@itab.asso.fr

Résumé

La carie commune du blé (*Tilletia caries*, *Tilletia foetida*) est une maladie fongique au fort pouvoir de propagation, qui entraîne le refus de lots de céréales à la collecte. Diverses pistes ont été explorées pour aider à la contrôler en AB (projet de recherche 2008-2011). Les résultats ont montré l'importance du choix variétal : si la plupart des variétés de blé tendre cultivées en AB sont sensibles à la carie, quelques-unes montrent de bons niveaux de résistance. En matière de traitement des semences, il n'existe pas de produit homologué et utilisable en AB efficace à 100% ; plusieurs pistes prometteuses ont néanmoins été repérées. Le seul produit homologué à ce jour (Cerall) montre une efficacité significative mais parfois irrégulière. Des produits à base d'acide acétique (vinaigre blanc) ou de farine de moutarde (Tillecur) conduisent à un niveau de protection équivalent. Des apports de cuivre à des doses très réduites (de l'ordre de 50g Cu métal/q) conduisent à de bons niveaux de protection, plus réguliers. En amont de ces solutions, la prévention est un préalable indispensable : pratique de rotations des cultures diversifiées, observation des parcelles, choix des semences, réalisation d'analyses régulières des semences de ferme, nettoyage des matériels de récolte...

Mots-clés : carie commune, *Tilletia caries*, *Tilletia foetida*, tolérance variétale, traitement de semence

Abstract: Acting against common bunt: exploration of various control methods

Common bunt (*Tilletia caries*, *Tilletia foetida*) is a fungal disease with a large ability to spread. Consequences may be rejection of grains for sale or even a large decrease of yield. Different trials were carried out in organic farming in a research project (funded by the French Ministry of Agriculture between 2008 and 2011) to achieve a better control of common bunt. Results confirm that the resistance of wheat cultivars is a factor to consider. Despite most varieties currently cultivated in organic farming are sensitive to common bunt, some cultivars appeared to be resistant to the races tested. Concerning seed treatment, no product is available for organic farming and 100% efficient; but several solutions have been identified. Only one product is currently authorized for common bunt control on cereals (cerall), it has a significant but sometimes irregular efficiency. Products with acetic acid (white vinegar) or with a base of mustard flour (Tillecur) have similar results. Copper products at low level (reduced to about 500g Cu/t) give a very good level of protection. Before using those solutions, prevention is essential to mobilise, through diversified crop rotations, field observation, seed choice, regular analysis of farm seed, cleaning of machinery...

Keywords: common bunt, *Tilletia caries*, *Tilletia foetida*, variety resistance, seed treatment

Introduction

La carie commune du blé est une maladie fongique très ancienne. Courante en France jusque dans les années 50, la lutte chimique par le traitement des semences a permis de la réduire à un bruit de fond. Elle s'est de nouveau manifestée il y a une dizaine d'années, en particulier en agriculture biologique (AB), en lien avec d'une part l'absence de produit homologué pour cet usage utilisable en AB et, d'autre part la méconnaissance de la maladie entraînant l'absence de mesures prophylactiques. Les mesures de sensibilisation menées depuis contribuent à plus de précautions, tandis qu'un produit de traitement des semences a été homologué (Cerall) ; sa diffusion reste néanmoins réduite et très peu d'agriculteurs y ont accès.

La présence de carie a de fortes conséquences économiques : en cas de présence avérée, un lot entier peut être déclassé même si la contamination est faible ; les grains dégagent une odeur caractéristique et désagréable qui se transmet aux farines. Le très fort pouvoir de propagation de la carie, par les semences (au battage, les grains contaminés éclatent et des spores se positionnent à la surface des grains sains, entraînant des contaminations exponentielles en cas de re-semis), ou par le sol (où les spores peuvent se conserver plusieurs années), en fait un risque majeur en AB. Le blé tendre est principalement concerné, mais aussi ses apparentés (épeautre, engrain, blé dur...).

Le programme de recherche Contrats de Branche « Agir rapidement pour contenir la carie commune », qui a reçu l'appui financier du Ministère en charge de l'agriculture, a exploré plusieurs pistes pour faire face à la maladie et maîtriser sa propagation. Il avait notamment pour objectifs : (1) d'évaluer les différences variétales en matière de tolérance à la carie ; (2) de caractériser les pathotypes présents en France ; (3) d'identifier et de tester les leviers d'action pour obtenir des semences saines, notamment en matière de traitement ou de désinfection des semences avec des produits compatibles avec le cahier des charges de l'AB.

Ce programme rassemblait divers acteurs du développement agricole, Instituts Techniques Agricoles (Arvalis, Itab), Chambres d'Agriculture (26, 89), FREDON (Nord Pas-de-Calais, Midi-Pyrénées), coopératives (SCA Qualisol, Coop de France). Il a bénéficié de l'appui de la SNES-GEVES et de la FNAMS. Il s'est déroulé de novembre 2008 à février 2012.

1. Matériel et méthodes

1.1 Biologie de la carie commune

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. En France, *Tilletia caries* (syn. *T. tritici*) et, en de moindres mesures, *Tilletia foetida* (syn. *T. laevis*) sont les espèces responsables de carie commune que l'on retrouve le plus fréquemment sur blé.

Le cycle de ces champignons est résumé dans la Figure 1. 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. Le champignon pénètre 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, il 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. Les blés atteints de carie commune

passent pratiquement inaperçus avant l'épiaison. À la récolte, les grains cariés sont très légers, trapus à la base, bruns gris et ridés, leur sillon est à peine visible. Ils s'écrasent à la moindre pression en libérant une poussière de spores noires qui va contaminer les grains sains et le sol au battage.

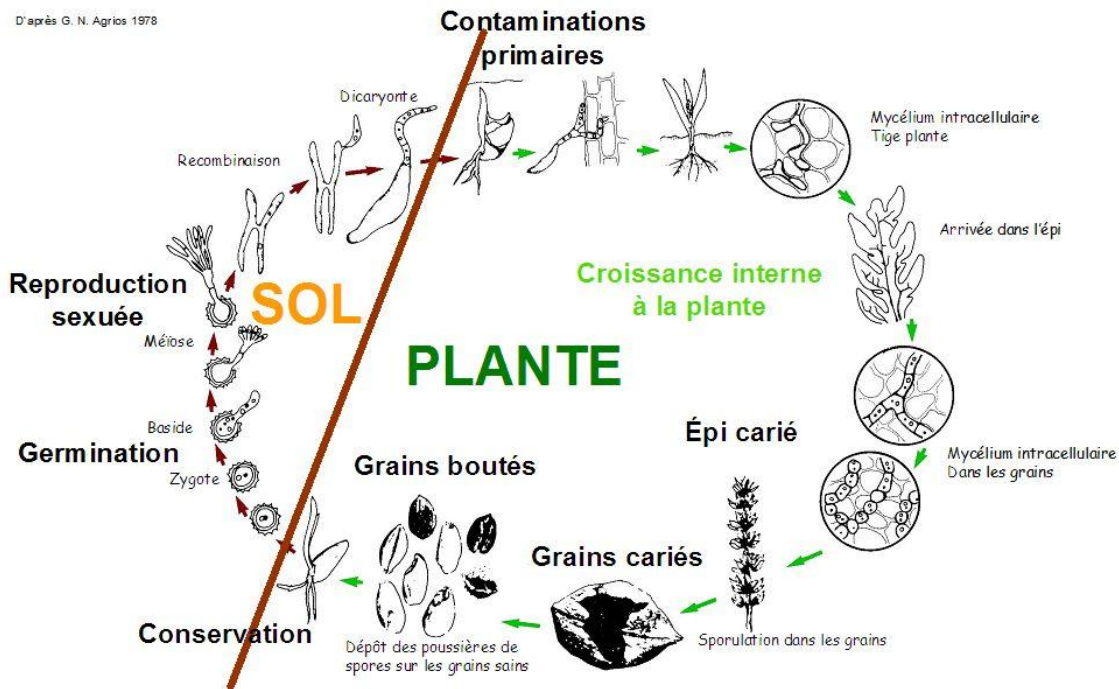


Figure 1 : Le cycle de la carie commune du blé (D'après G. N. Agrios, 1978)

1.2 Expérimentations menées

Deux types d'expérimentations au champ conduites dans le cadre du projet sont présentés dans cet article. Il s'agissait d'étudier les pistes de contrôle de la carie que sont d'une part le choix variétal et, d'autre part, le traitement des semences.

1.2.1 Test de la sensibilité d'espèces de céréales et de variétés de blé

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 des essais mis en place étaient 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. Les essais ont été menés dans le cadre du projet par Arvalis – Institut du végétal à Villers-le-Bâcle (91), la Chambre d'Agriculture de l'Yonne à Venouse (89) et la Chambre d'agriculture de la Drôme à Besayes (26).

Diverses 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. 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 animé par l'ITAB et Arvalis ; les résultats d'essais plus anciens menés par Arvalis depuis 2001 ont été ajoutés pour les synthèses. Afin de consolider les résultats vis-à-vis de la diversité des races de carie, certaines variétés ont été contaminées dans les 3 lieux d'essai du projet avec des races locales de carie, toutes issues d'épis de blé tendre. Les contaminations artificielles des semences sont volontairement très élevées en vue de mieux discriminer les variétés (2g de spores/kg pour un objectif de 20.000 spores/grain).

1.2.2 Etude des races de carie présentes en France

Le choix de variétés de blé résistantes à la carie est un des moyens pour maîtriser la carie. Cependant, la carie du blé se déclinant en plusieurs races, une variété peut être résistante à une race mais sensible à une autre. L'identification des races de carie présentes en France et leur répartition géographique est donc un préalable nécessaire à l'étude de la résistance des variétés.

Une gamme différentielle a été cultivée sur plusieurs sites pour étudier la variabilité des races de carie testées. Il s'agit d'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 plante aussi une lignée connue pour ne posséder aucun gène de résistance. Si cette lignée est indemne, l'essai n'est pas valide. Selon la littérature, le niveau de contamination du témoin sensible HEINES VII doit atteindre au moins 70 % pour permettre une bonne caractérisation des virulences (Goates, 2006).

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 Auchy-les-Mines (62) par la FREDON Nord Pas de Calais, Montardon (64) par Arvalis, et Lunel (82) par Qualisol.

1.2.3 Evaluation de l'efficacité de traitement des semences

Pour évaluer l'efficacité d'intrants potentiellement utilisables en AB, ARVALIS – Institut du végétal, les Chambres d'agriculture de la Drôme et de l'Yonne, Qualisol et la FREDON Nord Pas-de-Calais 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.

Les traitements de semences concernés peuvent être classés en diverses catégories :

- Produits d'origine naturelle : Tillecur (à base de farine de moutarde), Cerall (à base de bactéries *Pseudomonas chlororaphis*, seul produit actuellement homologué utilisable en AB), calcaire
- Produits d'origine usuelle (ménagère) : vinaigre, farine mélangée à du lait
- Produits à base de cuivre : diverses préparations commerciales ou bouillies bordelaises (sulfate de cuivre, hydroxyde de cuivre, oxychlorure de cuivre) à plusieurs dosages (de 300 à 20 g/q d'équivalent Cu métal).
- Huiles essentielles : de thym, cannelle, tea tree, bois de rose, clou de girofle, origan de Grèce...
- Références conventionnelles (rôle de témoin efficace) : Celest ou Rédigo

Les expérimentateurs ont aussi fait varier de nombreux paramètres : les doses, les niveaux de contaminations initiales, les origines des spores (années et lieux), la contamination ou non du sol.

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 exploitée 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. Les résultats sont exprimés en % d'épis cariés et en % d'efficacité calculée en comparaison de la contamination du témoin non traité. 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.

2. Résultats obtenus, discussion

2.1 Sensibilités et résistances des espèces de céréales et variétés de blé

Comme l'illustre la Figure 2, les variétés de blé dur (*Triticum 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 élevé 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 apparues 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.

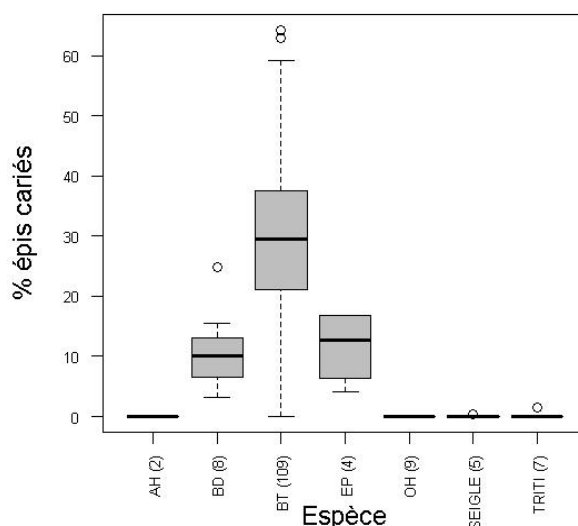


Figure 2 : Distribution variétale des moyennes ajustées pluriannuelles et multilocales des % d'épis cariés observés sur les essais de Villiers le Bâcle (91) (2001-2011), Besayes (26) et Venouse (89) par espèce. Le chiffre () indique le nombre de variétés testées pour chaque espèce.

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 rapporté dans la littérature. La carie commune causée par *T. caries* et par *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 alors considérée comme exceptionnelle (Hardison et al., 1959 ; Duran et Fischer, 1961). La synthèse des résultats des tests variétaux vis-à-vis de la carie porte au total sur 109 variétés. 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. Parmi les variétés testées (Figure 3), seules 10 présentent un très bon niveau de résistance. Notons également que les 5 variétés les plus cultivées en agriculture biologique (FranceAgriMer, 2010) sont parmi les variétés sensibles à la carie (Renan 39% ; Pireneo 22% ; Atlass 28% ; Lona 42% ; Saturnus 34%).

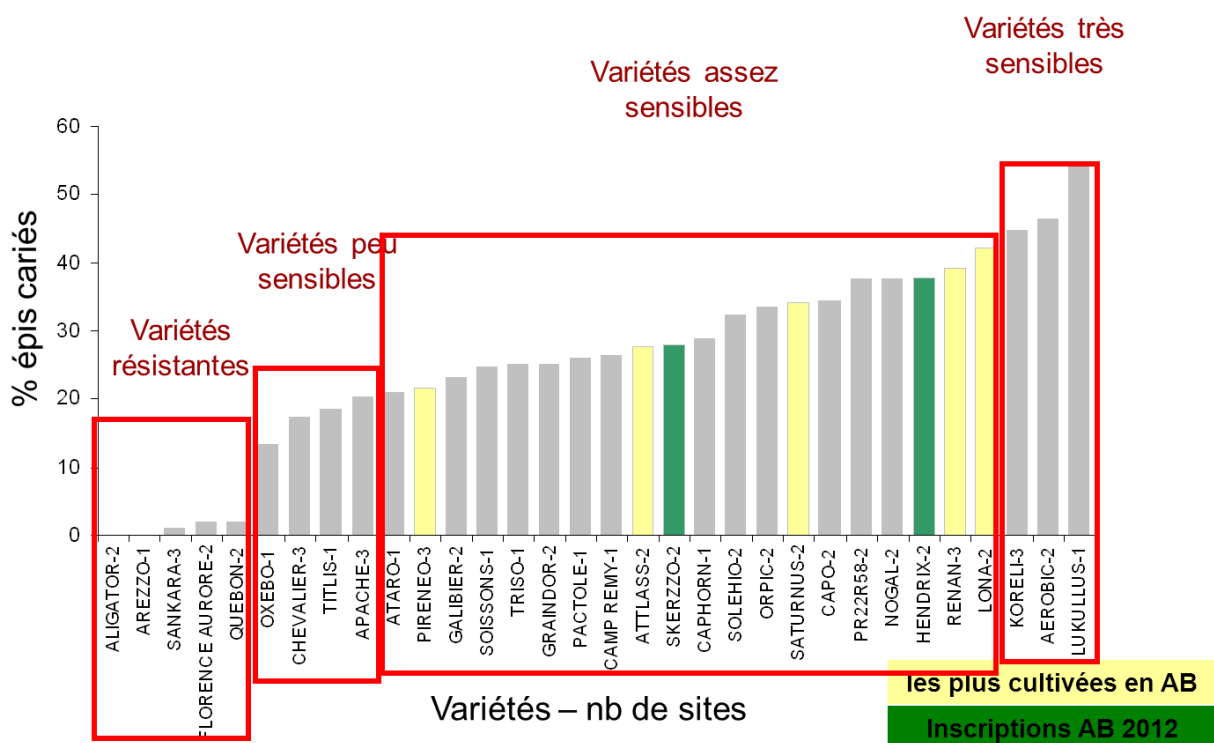


Figure 3 : Moyennes ajustées et multilocales des % d'épis cariés observés sur les essais de Villiers (91), Besayes (26) et Venouse (89). Attention, on ne peut exclure que les variétés résistantes soient attaquées par d'autres races de carie commune que celles utilisées dans les essais.

Bien que le classement des sensibilités variétales soit globalement bien respecté, les résultats (Figure 4) confirment 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 deux lieux.

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 (Fontaine *et al.*, 2009, Du Cheyron *et al.*, 2011).

Afin de rendre les résultats des essais variétaux 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. 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 et la diffusion des résultats doit être accompagnée d'une mention précisant leurs limites de validité.

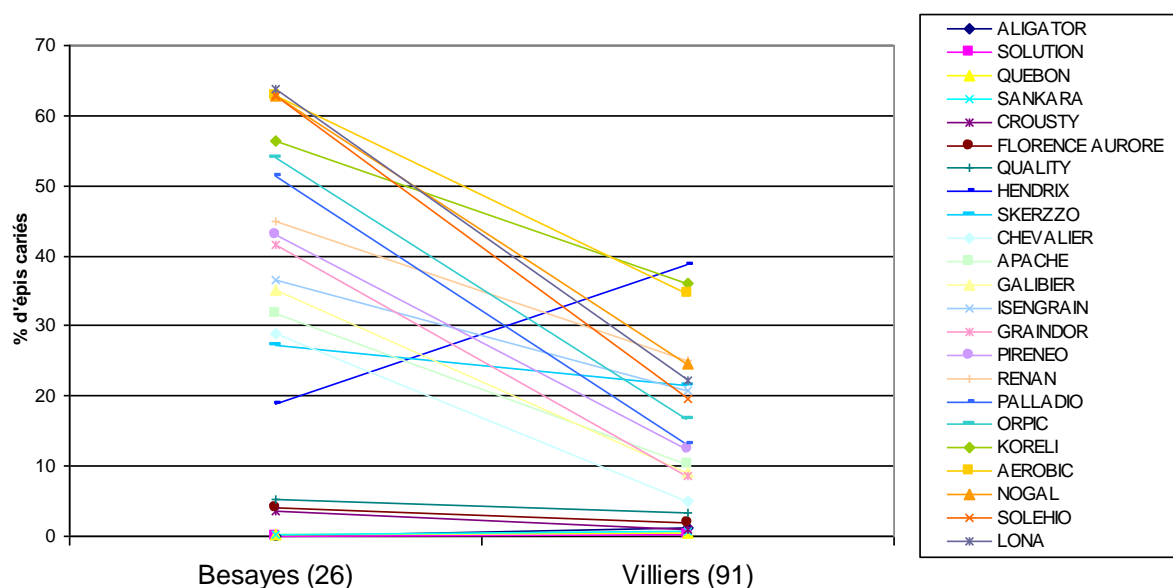


Figure 4 : Comparaison des % d'épis cariés obtenus à Villiers le Bâcle (91) (Moyenne pluriannuelle ajustée) de ceux obtenus à Besayes (26)

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

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 (Tableau 1), 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 Auchy-les-Mines 2011 doivent être pris avec précaution.

Tableau 1 : 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.

VARIETE	GENE DE RESISTANCE	SOUCHES PATHOGENES				
		VILLIERS (91) (2011)	VILLIERS (91) (2010)	MONTARDON (64) (2011)	Auchy-les-Mines (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+					

Les premiers résultats indiquent que la virulence Bt-7 est largement présente en France. Dans une moindre mesure, Bt-15 apparaît également régulièrement contournée. 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 d'Auchy-les-Mines, alors qu'il semble toujours efficace à Besayes. Bt-2 est apparu inefficace à Loos en Gohelle uniquement. Bt-4, Bt-5 et Bt-9 doivent être surveillés à Montardon.

Ces résultats semblent indiquer qu'il existe une certaine diversité des pathotypes de carie sur le territoire français. Notamment les races présentes à Auchy-les-Mines (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. 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.

2.3 Efficacité de différents produits de traitement des semences

Les résultats de l'évaluation de l'efficacité de divers produits appliqués en traitement des semences ont donné lieu à une analyse statistique, qui 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 étant 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 (Figure 5) entre d'une part le témoin non traité (groupe C), la modalité Cerall (groupe B), et la référence conventionnelle et les 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).

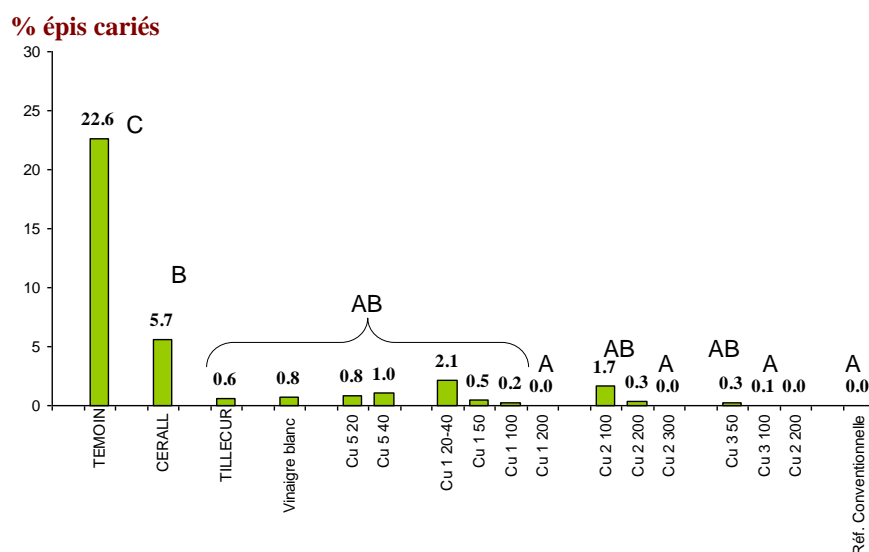


Figure 5 : Pourcentage d'épis cariés après traitement des semences, analyse du regroupement d'essais (comparaison moyennes ajustée, test Tukey).

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 (Bruyère, 2011, 2013).

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, sans pénalisation de la levée notée à ces niveaux d'apports de cuivre : l'efficacité se situe entre 90 à 100 % pour un apport de 50 g Cu/q (Figure 6). 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 faibles 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.

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.

Efficacité apports de Cuivre : 50 g / q

8 tests, différents composés Cu

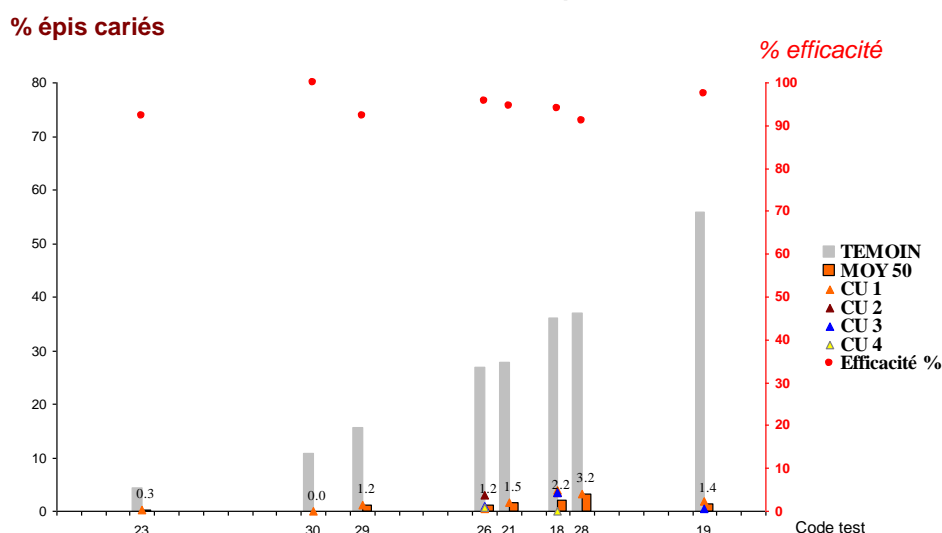


Figure 6 : Efficacité des apports de cuivre à 50 g/q d'apport (analyse du regroupement d'essais).

A noter que le projet a bénéficié de l'apport de travaux extérieurs, dont les résultats ont été partagés et discutés. D'une part, la FNAMS a évalué l'efficacité du broissage des semences. Celui-ci s'avère

intéressant, mais insuffisant pour atteindre les niveaux d'efficacité des traitements des semences cités plus haut. Le broissage peut néanmoins être un préalable pour diminuer un taux de contamination élevé avant utilisation d'un traitement de semences aux propriétés anti-fongiques, en vue d'en augmenter l'efficacité. D'autre part, un procédé suédois a été testé, Thermoseed, qui consiste à désinfecter les semences par thérapie avec de l'air chaud et humide (essai Arvalis en collaboration avec Incotec). Le traitement thermique de ce lot a présenté une très bonne efficacité en accord avec les tests scandinaves. Ce procédé qui permet une protection contre différents pathogènes des semences de céréales à paille n'est pas à ce jour disponible en France (au-delà des usines scandinaves, une unité mobile est développée dont le coût reste à évaluer).

2.4 L'importance de la prévention pour lutter contre la carie

Si les produits testés montrent de très bons résultats d'efficacité, il ressort néanmoins que celle-ci n'est jamais totale (et la majorité de ces produits ne bénéficient pas d'un usage homologué à ce jour). De plus, le traitement doit se faire, par définition, avant le semis ; une fois le cycle de culture commencé, aucun traitement contre la carie n'est possible, si ce n'est faucher la parcelle avant maturité. C'est pourquoi, en amont, la mise en œuvre de mesures prophylactiques est indispensable à mobiliser en AB. La Figure 7 résume les leviers d'action qui peuvent être activés pour aider à contrôler la carie, en fonction des connaissances sur la biologie du champignon. Leur combinaison augmente les chances de réussite.

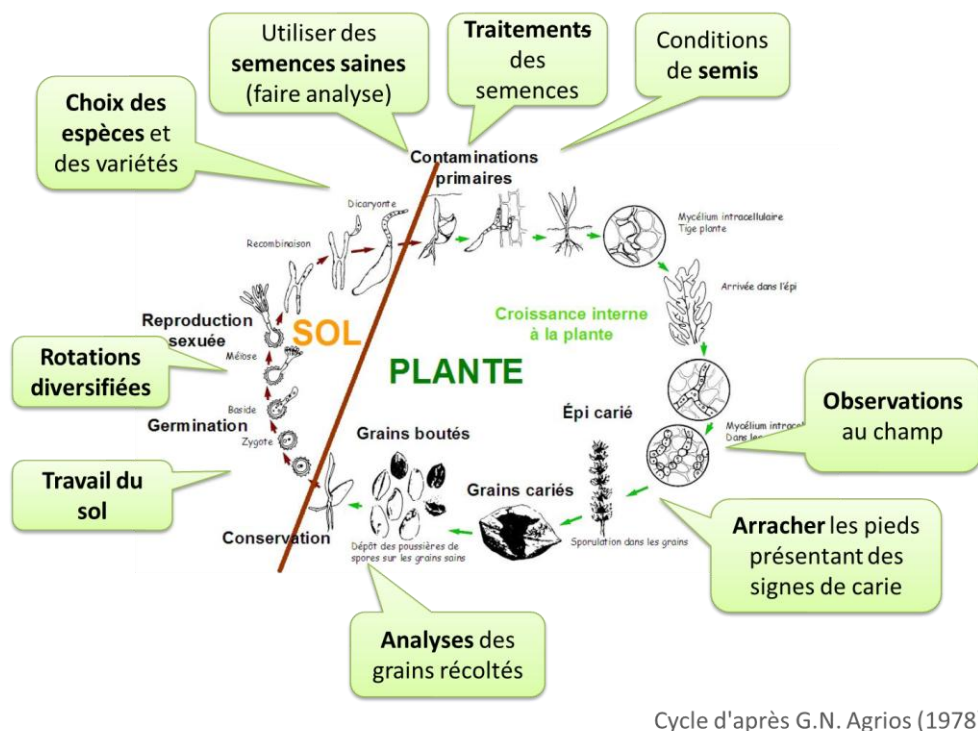


Figure 7 : Le cycle de la carie commune du blé et les leviers d'action pour la contrôler

Les résultats acquis sur les résistances par espèce (et, en de moindres mesures, par variété de blé), sachant que les spores peuvent rester viables plusieurs années dans le sol, nous montrent en premier lieu que la pratique de rotations des cultures diversifiées limite les risques. Au semis, semences de blé et spores de carie pouvant germer en même temps (et le champignon contaminer la plantule), il convient de favoriser une levée rapide, pour atteindre le stade 2 feuilles auquel la plantule est hors d'atteinte. L'utilisation de semences saines, par ailleurs, va de soi. Avant la récolte, le blé est à

surveiller (surtout en cas de suspicion de risque de contamination initiale), pour détecter l'éventuelle présence de carie et agir en conséquence. A la récolte, des analyses sont fortement recommandées (pour connaître les risques de contamination du sol), surtout en cas d'utilisation de semences fermières (pour connaître les risques de contamination par les semences). En cas d'analyse positive, il est aussi possible de compter sur le travail du sol : un labour profond de la parcelle enfouira les spores en-dessous du prochain lit de semences ; attention néanmoins aux labours suivants qui pourront remettre les spores au niveau du lit des semences, éviter dans ce cas la culture de céréales sensibles. Il est fortement recommandé, quoi qu'il en soit, d'utiliser des semences traitées quand une céréale sensible reviendra sur la parcelle.

Conclusion

Ce programme de recherche a permis de montrer que la maîtrise de la carie est possible, en combinant diverses méthodes de lutte, depuis les mesures préventives au traitement des semences (Rey *et al*, 2011, ITAB, 2012, Robin *et al*, 2012).

En matière de résistance variétale, les résultats du programme nous montrent que des solutions existent. Néanmoins, peu de variétés actuelles du marché, répondant aux besoins de l'AB, sont classées parmi les plus résistantes dans les essais conduits. Il faudra attendre plusieurs années avant que les programmes de sélection puissent développer des variétés intégrant ce critère. De plus, ces résultats ont été acquis avec les races de carie utilisées dans les essais du programme. Pour valider leur résistance à plus large échelle, il faudrait caractériser les souches de carie présentes en France, en priorité dans les principaux bassins de production en AB.

Concernant l'application de produits de traitement de semences utilisables en AB, les pistes sont prometteuses, pour compléter l'offre de solutions en sus de la seule spécialité actuellement homologuée. Le vinaigre blanc est intéressant, car simple et d'accès facile, peu coûteux. Un dossier a été transmis à Bruxelles pour demander son classement en substance de base, qui autoriserait son utilisation ; le dossier est actuellement en attente. Les produits à base de cuivre, dont l'efficacité est de bon niveau et plus régulière, sont clairement intéressants ; l'homologation d'une substance commerciale est en attente. La désinfection par la vapeur, enfin, a aussi montré son intérêt et son efficacité, mais la question de son développement en France est posée.

Enfin, le projet a permis de pointer les besoins en termes méthodologiques : les méthodes de détection utilisées permettent de dénombrer les spores présentes dans un échantillon, mais on ne connaît pas leur viabilité. En parallèle du projet, la SNES (GEVES) a pu développer un test de viabilité des spores de carie (colorimétrie), ce qui aidera à confirmer certains résultats de recherche (notamment l'efficacité de produits de traitement). Enfin, les recherches avancent (Arvalis, Inra, Snes, Fredec...) pour la mise au point de méthodes de détection précoce (PCR), qui permettront d'étudier la carie (tests variétaux, tests de produits...) en n'ayant plus besoin de mener les expérimentations jusqu'à l'épiaison et la récolte.

Remerciements : les auteurs remercient les partenaires du projet, en particulier les réalisateurs des expérimentations ayant produit les résultats analysés, ainsi que les agriculteurs ayant accueilli les essais.

Références bibliographiques

Bruyère J., Fontaine L., Rey F., 2011. Recherche de solutions alternatives de protection des semences de blé contre la carie commune de blé (*Tilletia sp.*). Conférence Internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures, à Lille, les 8, 9 et 10 mars 2011.

Bruyère J., 2013. Utilisation de l'acide acétique (vinaigre) dans la lutte contre la carie du blé (*Tilletia caries* et *foetida*), Présentation et résumé, Journées substances naturelles en protection des plantes - 9 & 10 avril 2013 – Paris.

Du Cheyron P., Georges S., Piraux F., Fontaine L., Morand P., Degryse G., 2011. Détermination de la résistance des variétés de blé et céréales aux races françaises de carie commune (*Tilletia caries*), article en version anglaise et française, Conférence IFOAM Corée.

Durán, R., G.W. Fischer. 1961. The genus *Tilletia*. Wash. St. Univ. Press. 138 pp.

Fontaine L., Du Cheyron P., Morand P., Skikers S., 2009, Evaluer les résistances variétales pour lutter contre la carie commune en production céréales biologiques en particulier le blé tendre, Innovations Agronomiques 4, 513-518.

FranceAgriMer, 2010. Variétés et rendements des céréales biologiques en 2009. 8 pp.

Goates B.J., 2006. Common bunt and dwarf bunt. In Wilcoxon, R.D., Saari, E.E. (eds.): Bunt and smut diseases of wheat. Concepts and methods for disease management. CIMMYT, Mexico, pp. 12-25.

Hardison, J.R., J.P. Meiners, J.A. Hoffmann, J.T. Waldher. 1959. Susceptibility of gramineae to *Tilletia contraversa*. Mycologia 51:656-664.

ITAB, 2012. Agir rapidement pour contenir la carie commune. Actes du colloque de restitution du projet de recherche, 9 février 2012, Paris. 55 p. En ligne sur : <http://www.itab.asso.fr/programmes/carie-ble.php>

RRey F., Bruyère J., Mériaux B., 2011. Carie du blé : solutions en AB et avancées des recherches, Présentation, Tech&Bio

Robin N., du Cheyron P., Fontaine L., 2012. Des pistes pour contenir la carie commune en agriculture biologique. Perspectives Agricoles 393.