

La carie commune du blé : surveillance et moyens de lutte

Sans solution curative en culture, il est primordial de surveiller cette maladie transmise principalement par la semence et de limiter sa propagation.

ROMAIN VALADE⁽¹⁾, VÉRONIQUE LAUDINOT⁽²⁾ ET VALÉRIE GRIMAULT⁽³⁾

(1) Arvalis-Institut du végétal - Boigneville. (2) Chambre d'agriculture Grand-Est - Laxou. (3) Geves - Beaucauzé

La carie commune du blé, causée par *Tilletia caries* et *Tilletia laevis* (plus connu sous son ancien nom *T. foetida*), était une maladie fongique courante en France jusque dans les années 1950, puis elle a été contrôlée par les traitements de semences. Depuis une quinzaine d'années, elle est en réémergence en Europe du Nord et de l'Est, en particulier en agriculture biologique, en lien avec l'absence de produit homologué et efficace au début du développement de cette agriculture et par le manque de mesures prophylactiques potentiellement causées par « l'oubli » de la maladie dans la mémoire collective.

Différentes caries causées par des complexes d'espèces

Les caries (photos 1 à 3), identifiées dès 1755 par Tillet, sont provoquées par des champignons basidiomycètes appartenant au genre *Tilletia*.

La carie commune du blé est attribuée à la fois à *Tilletia caries* (syn. *Tilletia tritici*) et à *Tilletia laevis* (syn. *Tilletia foetida*). La carie naine du blé est causée par *Tilletia controversa* (syn. *Tilletia brevifaciens*) (photos 4 à 6 page suivante). Ces trois espèces de carie causent les maladies les plus dommageables au niveau mondial sur le blé. Taxonomiquement, *T. caries*, *T. foetida* et *T. controversa* s'avèrent génétiquement et



1. Épi de blé carié. 2. Grains boutés. 3. Grains contaminés.

Photos : Geves

moléculairement très proches ; des croisements par reproduction sexuée ont été observés entre ces trois espèces, interrogeant certains auteurs sur leur appartenance à une même espèce (Shi *et al.*, 1996 ; Bao, 2009 ; Carris, 2010). Une autre espèce appartenant au genre *Tilletia* provoque une maladie très importante chez le blé (Afrique du Sud, États-Unis, Inde...), nommée carie de Karnal, due à l'infestation par *Tilletia indica*, un champignon de quarantaine en Europe. Il existe aussi la carie du seigle (*T. secalis*), présente en Europe centrale et de l'Est, la carie de l'orge (*T. panicii*), existant en

Europe centrale, et la carie du riz (*T. horrida*) en Extrême-Orient, Asie du Sud-Est et Amérique ; ainsi que des caries sur des graminées sauvages, dont quelques-unes ont été signalées en France, comme *T. walkeri* sur ray-grass (Itab, 2012).

La carie commune : quelles espèces présentes en France ?

La carie commune, la plus répandue en France, est dommageable sur blé tendre (voir Encadré 1). Les autres céréales comme le blé dur et l'épeautre sont moins sensibles, le seigle et le triticale sont quasiment in-

RÉSUMÉ

♦ **CONTEXTE** - La carie commune du blé est en réémergence depuis une quinzaine d'années en Europe du Nord et de l'Est, en particulier en agriculture biologique. Elle peut aussi s'avérer problématique en agriculture conventionnelle, dans le cas d'un sol contaminé, en l'absence d'un traitement de semences systémique. Son développement peut occasionner d'importantes pertes de rendement.

♦ **ESPÈCES** - La carie commune est attribuée à *Tilletia caries* et *T. laevis* (ex-*foetida*), avec une forte prévalence de la première espèce. La seconde, auparavant endémique du pourtour méditerranéen, est désormais

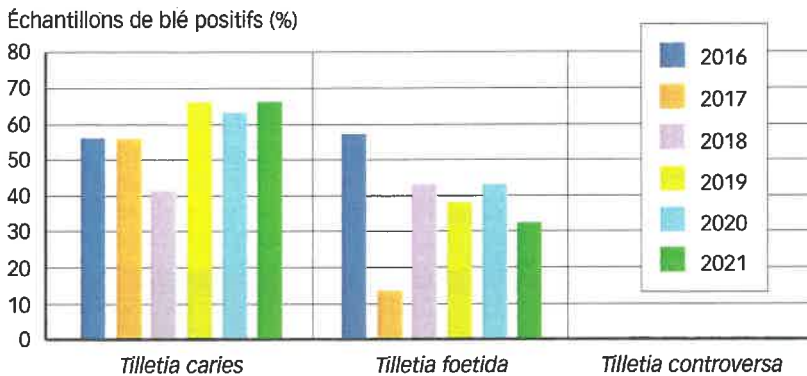
omniprésente sur le territoire. La contamination s'effectue par les semences et/ou le sol.

♦ **LUTTE** - Différents moyens de lutte en combinaison peuvent permettre de lutter contre la carie commune du blé, en commençant par l'utilisation de semences saines. L'implantation d'un blé dans une parcelle infectée devrait respecter idéalement un délai de cinq à dix ans, durée de conservation des spores dans le sol. Autres mesures prophylactiques : réduire le travail du sol pour diminuer l'inoculum, favoriser une levée rapide, nettoyer rigoureusement les matériels. Depuis 2021, le Comité technique permanent de la

sélection des plantes cultivées (CTPS) a introduit le caractère de résistance à la carie dans ses critères pour l'inscription des variétés de blé au catalogue officiel, permettant d'identifier des variétés à résistance intermédiaire. Il n'existe pas de méthode de lutte curative en végétation. Seuls des traitements fongicides des semences peuvent protéger les plantes contre le développement des spores présentes sur les semences ou dans le sol.

♦ **MOTS-CLÉS** - Carie, *Tilletia caries*, *Tilletia laevis*, semences, céréales à paille, analyse, certification, détection, prophylaxie.

Fig. 1 : Échantillons positifs pour chaque espèce de *Tilletia*, analysés au Laboratoire national de référence entre 2016 et 2021



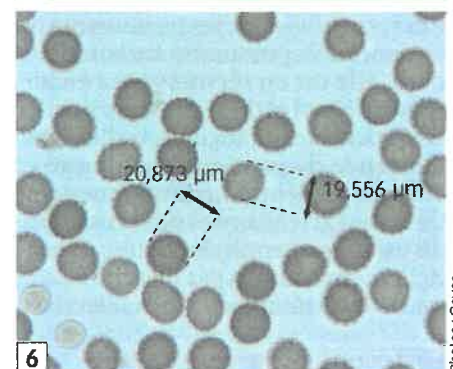
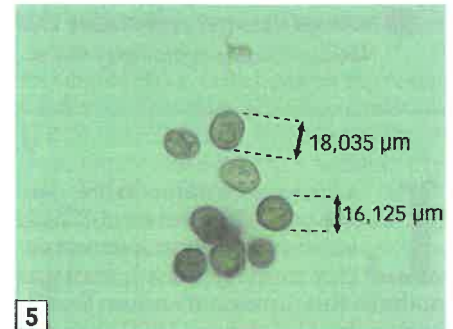
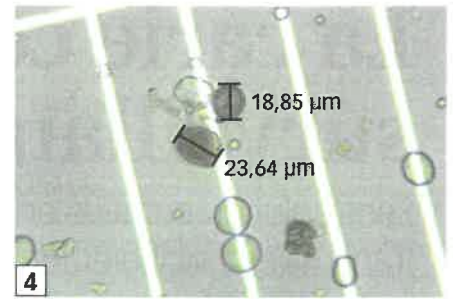
1 – Un problème majeur en agriculture biologique, mais pas uniquement...

La carie commune du blé s'avère un problème majeur en agriculture biologique par les importantes pertes de rendement qu'elle peut engendrer, par la détérioration de la qualité sanitaire des semences et le pouvoir exceptionnel de propagation de la maladie transmise principalement par la semence, mais aussi par le sol, où les spores restent viables pendant une dizaine d'années. Des retombées en agriculture conventionnelle sont éga-

lement possibles dans le cas d'un sol contaminé, en l'absence d'un traitement de semences systémique, pouvant engendrer un développement de la maladie sans aucun moyen de lutte en culture ; d'autant plus que la majorité des variétés de blé européennes sont sensibles à la carie.

Le risque est important et les conséquences économiques fortes : les lots issus de récolte cariée ne sont pas commercialisables avec refus à la

collecte pour la meunerie voire l'alimentation animale. En effet, même s'il n'y a pas d'effet toxique connu de la carie sur l'être humain, une odeur de poisson pourri se dégage lorsque les grains sont broyés, ce qui a un impact sur la qualité de la farine et peut la rendre impropre à la consommation (y compris animale). Pour la semence certifiée non traitée, le seuil de contamination réglementaire en France est de 0 spore/gramme !



4. *Tilletia caries*. 5. *Tilletia laevis* (= *T. foetida*). 6. *Tilletia controversa*.

les concentrations allant de < 100 spores à > 100 000 spores/g de semences. Depuis 2016, les analyses des semences reçues par le Laboratoire national de référence (LNR) montrent un taux élevé d'échantillons positifs (environ deux tiers des échantillons reçus) assez stable ces dernières années en France, et confirment la faible fréquence de *T. controversa* (Figure 1). Le taux très élevé d'échantillons positifs est probablement surestimé par rapport à la réalité du terrain, car les échantillons envoyés pour analyses sont *a priori* des échantillons à risque, mais il confirme l'importance de bien surveiller cette maladie sur notre territoire.

Biologie et symptômes de la carie commune

Une contamination de la plante avant le stade 2 feuilles

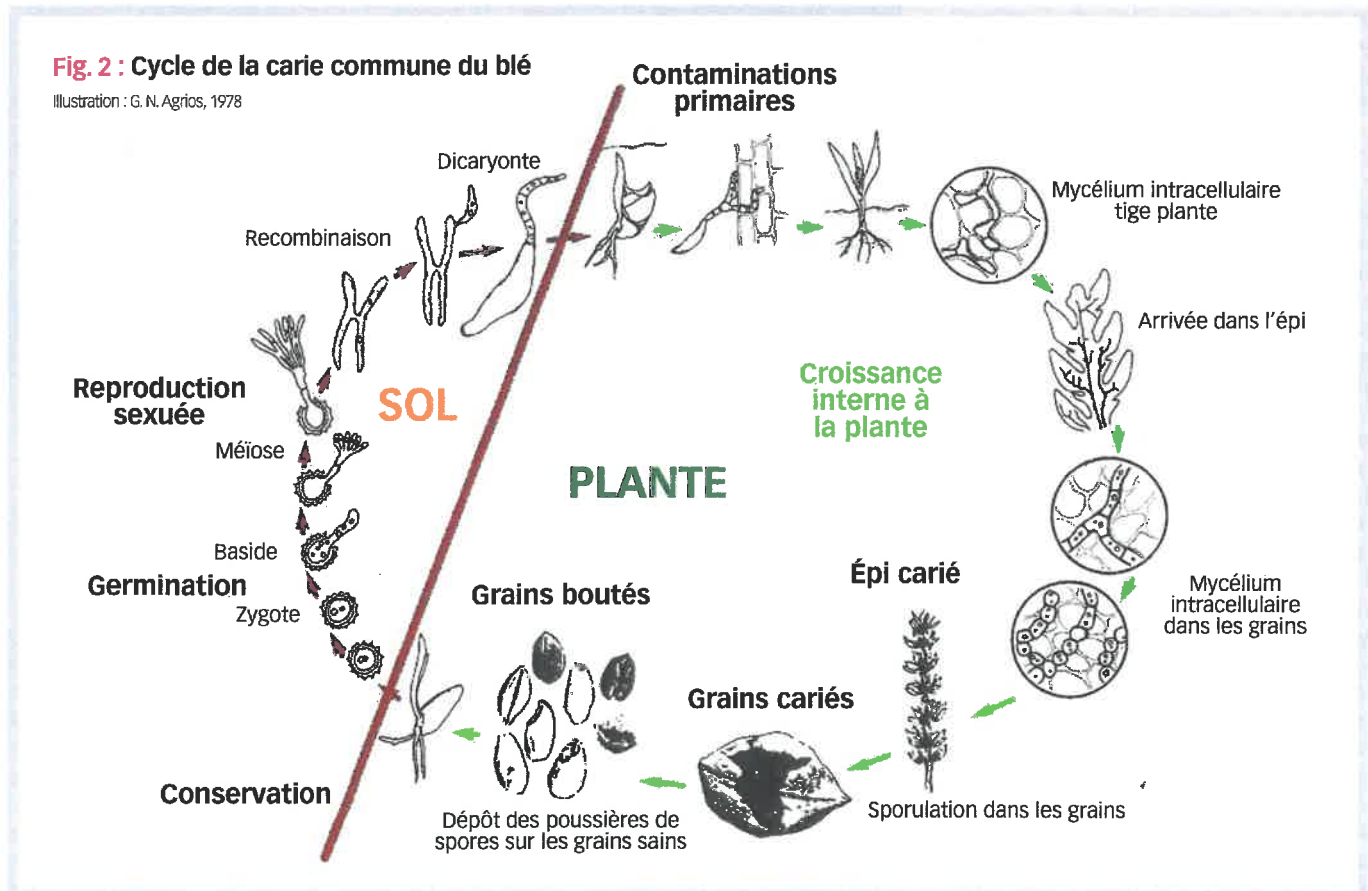
Ce sont les spores de *Tilletia*, nommées téliosporos, qui permettent la conservation et la dissémination du champignon. La phase de contamination peut survenir de deux manières : soit par la semence, soit par le sol (Figure 2).

demnes, et l'avoine d'hiver et l'orge d'hiver totalement résistantes.

Tilletia caries est une espèce adaptée au climat tempéré, et déterminée comme majoritaire en Angleterre (Mac Neil, 2004) et en France (Itab, 2007). *Tilletia foetida* est initialement une espèce de la zone méditerranéenne, rencontrée de façon éparse sur l'ensemble du territoire français. La carie naine, due à *Tilletia controversa*, est très rare en France. C'est une espèce des zones de moyenne montagne (> 600 m), plus fréquente dans les régions enneigées d'Europe centrale et en Suisse. Signalée dans le centre-est de la France il y a longtemps, elle est maintenant régulièrement détectée en France.

Dans le cadre du projet contrat de branche « Agir contre la carie commune », l'étude de

280 populations de carie de 2007 à 2011 a montré une fréquence élevée de *T. caries* et *T. foetida*, et une omniprésence en France de *T. foetida* qui ne serait donc plus endémique du pourtour méditerranéen. En 2007, 64% des échantillons étaient fortement contaminés par *T. caries* et *T. foetida*, avec plus de 400 spores/g de semences. Dans le cadre d'un autre projet financé par FranceAgriMer en 2012, l'étude des populations de carie commune, sur 23 échantillons avec comptages et observation des spores au microscope, a confirmé la forte prévalence de *T. caries* dans les échantillons (96%) par rapport à *T. foetida* (4%), et l'absence de *Tilletia controversa*. Le niveau de contamination de *T. caries* s'est montré globalement plus élevé que celui de *T. foetida*, avec néanmoins une forte variabilité de *T. caries*,



Dans les deux cas, les téliosporés, après avoir germé, produisent des hyphes qui pénètrent dans le coléoptile de la plante avant la levée. 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. Ainsi, plus le temps qui sépare le semis du stade 2 feuilles sera long, plus le risque de contamination sera élevé. Une fois l'infection réalisée, le champignon progresse à l'intérieur des tissus de façon asymptomatique pour ensuite contaminer l'ébauche de l'épi et plus particulièrement les fleurs, pour enfin produire une masse de spores.

Des épis déformés, des grains cariés

Les premiers symptômes ne sont donc observables qu'à partir du stade fin montaison/début épisaison du blé : un léger raccourcissement des tiges, une augmentation du tallage avec des brins mous, des épis grêles ou stériles abaissent le nombre de tiges épiées par pied. Une chlorose sur feuilles est parfois notée. À l'épisaison, une coloration bleu-verdâtre (glauque) peut marquer les feuilles et les tiges, principalement au niveau du nœud supérieur ainsi que les épis (rachis, base des glumes) (Rapilly 2001).

Les épis cariés épiant un peu avant les plantes saines et semblent présenter un retard au moment de la maturation. Ils sont

déformés, avec un aspect ébouriffé et sont souvent plus courts en longueur. Les autres organes de l'épi tels que les glumes, les glumelles et le rachis ne sont pas atteints. Dans un épi, tous les grains ne sont pas forcément contaminés (au moment de l'observation). 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, remplis-

sant le grain de téliosporés noirs. Les grains cariés sont plus courts, plus arrondis, plus légers que les grains sains, 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 : un grain carié peut contenir jusqu'à 9 millions de spores, soulignant la forte capacité de dispersion de la maladie (photos 1 à 3) !

2 – Le projet Fast

Un des objectifs du projet Fast (2019-2024), intégré dans le réseau Dephy Expé du plan Écophyto, est d'évaluer la possibilité d'impasser de traitements chimiques des semences, tous bioagresseurs confondus, sur une durée de cinq à six ans. Ce projet est porté par la chambre d'agriculture Grand-Est, en partenariat avec les chambres d'agriculture d'Alsace, des Ardennes et des Vosges, la coopérative EMC2, le Ceta de Romilly et l'unité mixte de recherche (UMR) Agir, équipe Vasco d'Inrae.

Contamination par les semences

Ainsi, les spores de champignon, libérées à la récolte du blé par éclatement des grains cariés, polluent directement les grains sains qui sont alors nommés « grains boutés ». Si ces derniers sont utilisés comme semences, ils auront de fortes chances de donner des plantes malades. En effet, 1 % d'épis cariés à la récolte suffit pour obtenir une contamination de l'ordre de 60 % d'épis cariés à la campagne suivante si la récolte est utilisée en semences et les conditions propices au développement de la maladie.

Des recherches menées en Allemagne concluent que la maladie est transmissible par les semences pour les variétés les plus sensibles dès le seuil de cinq à dix spores/grain ; et, au-delà de vingt spores/grain (soit environ 400 spores/gramme), le risque de transmission par les semences est très

élevé. Une expérimentation (Geves/Fnams, 2013) a pu mettre en évidence la possibilité de contamination pour une seule spore de *Tilletia caries* par graine de semences.

Contamination par le sol

La seconde source de contamination des plantes est la présence de spores de carie dans les couches superficielles du sol. Lors de la moisson d'une parcelle cariée, des spores de carie tombent au sol, contaminant ce dernier. Les spores sont également retrouvées sur les machines, notamment les moissonneuses-batteuses qui, passant d'un champ à l'autre, peuvent contaminer des sols sains. Les spores sont aussi dispersées par le vent. Elles trouvent refuge dans les horizons superficiels du sol où elles peuvent demeurer vivantes jusqu'à une dizaine d'années.

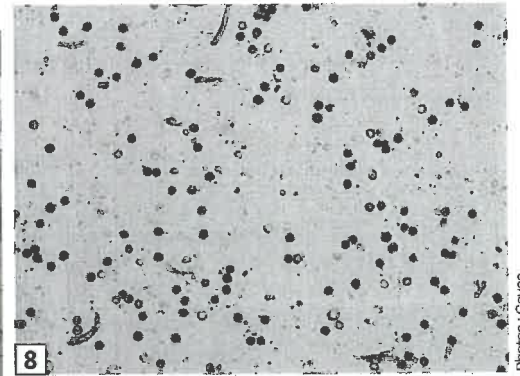
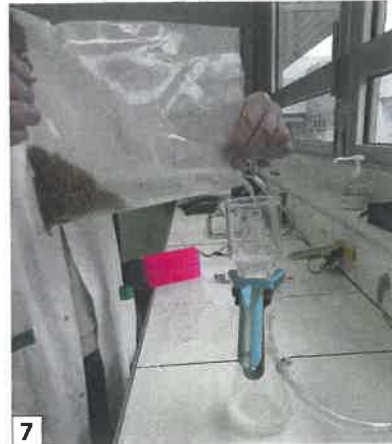
Les conditions de sol favorables à la germination et l'infection des plantes par la carie sont les suivantes :

- une température entre 2 et 29°C avec un optimum de 11°C pour *T. caries* et un optimum de température compris entre 15 et 20°C pour *T. foetida* ;
- une humidité entre 40 et 50% de la capacité de rétention d'eau ;
- un pH > 7 (légèrement alcalin).

Quelles méthodes de lutte ?

Des semences de qualité

Différents moyens de lutte en combinaison peuvent permettre de lutter contre la carie commune du blé (Figure 3).



7. Mise en filtration du macérat de semences de blé pour la détection de la carie. 8. Spores de *Tilletia caries* sur cellule de Mallassee.

Photos : Geves

L'une des premières méthodes de lutte est d'utiliser des semences saines. Pour la certification de semences non traitées, la norme sanitaire est de 0 spore de *Tilletia* sp. dans l'échantillon soumis à l'analyse de certification. La méthode de détection actuelle en certification est basée sur la méthode Anses-LSV et un working sheet de l'International Seed Testing Association (Ista). Elle comporte un trempage des semences sous agitation, puis filtration et centrifugation pour concentrer les spores, suivie d'une observation au microscope et un dénombrement (photos 7 et 8). Elle est mise en œuvre par le LNR au Geves (Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences) et par des laboratoires agréés. C'est une analyse qui demande une grande

qualité d'observation, et la formation et qualification des analystes sont longues. En effet, les différentes espèces de *Tilletia* doivent être identifiées, et il ne faut pas les confondre avec des grains d'amidon ou de pollen ! Les trois se distinguent morphologiquement par leurs téliospores : avec des parois réticulées, de couleur brun rougeâtre ou brun clair pour *T. caries*, des parois lisses, de couleur brun, olivâtre pour *T. foetida*, des parois réticulées, avec présence d'une gaine, de couleur jaune à brun rougeâtre pour *T. controversa* (photos 4 à 6). Dans le cadre d'utilisation de semences fermières, une règle de décision (Figure 4) est mise actuellement à l'épreuve, dans le cadre du projet Fast (voir Encadré 2 p. 29), par des agriculteurs expérimentateurs conven-

Fig. 3 : Représentation de la combinaison de moyens de lutte issue du projet Fast (voir Encadré 2)

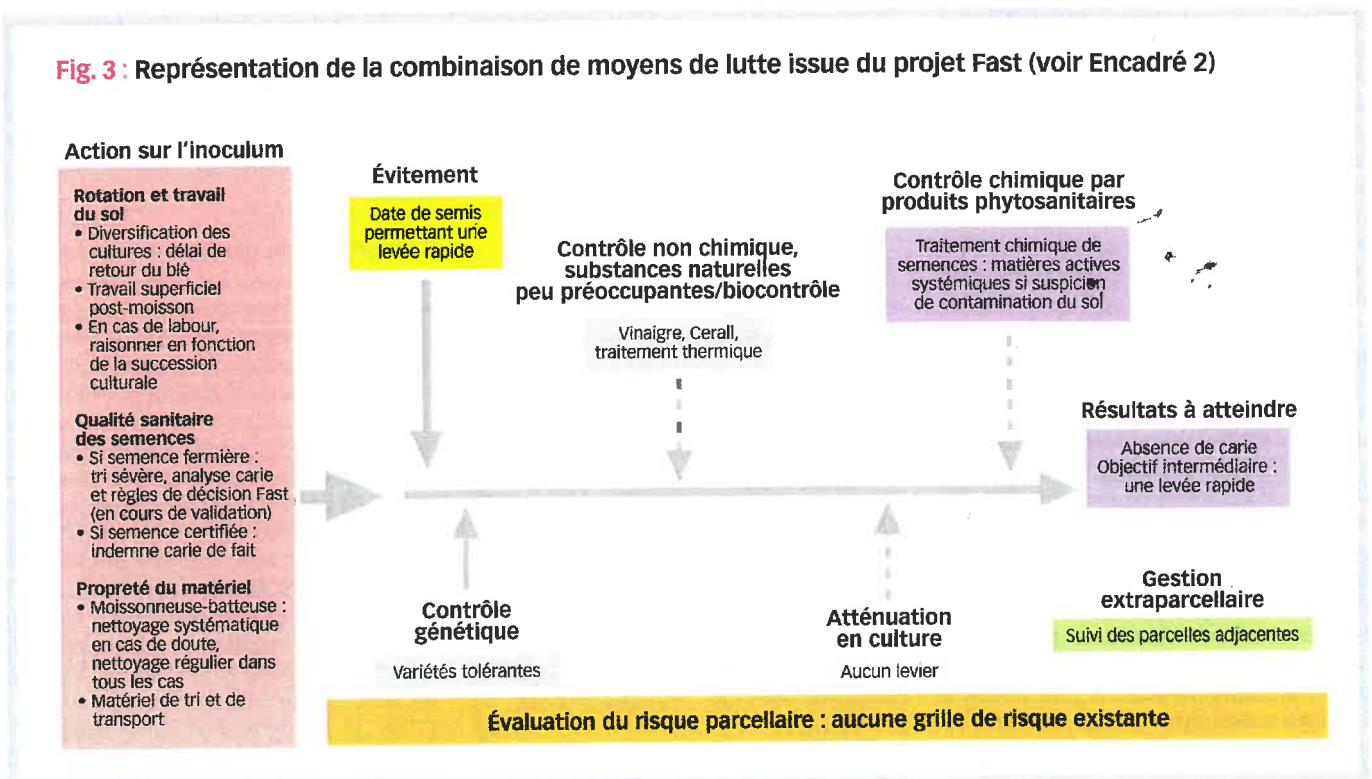
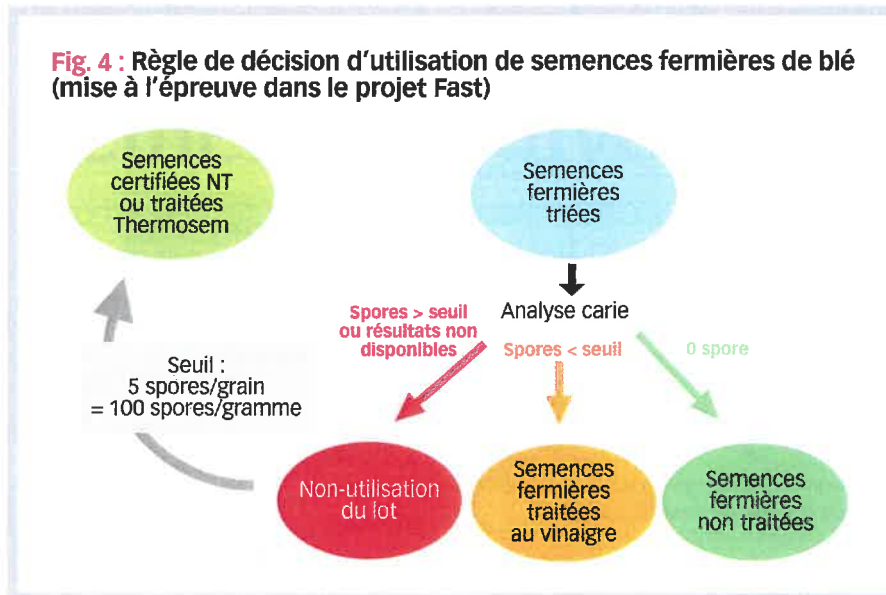


Fig. 4 : Règle de décision d'utilisation de semences fermières de blé (mise à l'épreuve dans le projet Fast)



tionnels dans le but de ne pas utiliser de traitement chimique tout en se préservant de la carie commune. Les lots sont systématiquement analysés avant le semis et subissent un tri et un nettoyage sévères. Selon les résultats d'analyse, les semences sont utilisées sans aucun traitement, traitées avec une solution à base de vinaigre ou éliminées, conduisant alors à l'utilisation de semences certifiées non traitées ou traitées thermiquement.

Le respect d'un délai de retour du blé dans la parcelle

Les spores se conservant entre cinq et dix ans dans le sol, l'implantation d'un blé dans une parcelle infectée devrait respecter idéalement ce délai. Les pratiques actuelles sont rarement en cohérence avec cette règle, le blé tendre d'hiver restant une culture majoritaire des assolements français.

Réduire le travail du sol pour réduire l'inoculum

L'absence de travail du sol ou des opérations superficielles post-récolte du blé favorise la germination des spores (optimale dans un délai de 2 à 4 mois suivant la récolte) et le déstockage de l'inoculum présent dans la parcelle. Le recours à un travail profond doit être raisonné en fonction de la rotation prévue. Les spores se conservant en profondeur, il faut veiller à ne pas les remettre en surface avant l'implantation d'un blé.

Une implantation favorable à une levée rapide

Une stratégie d'évitement consiste à minimiser la période de sensibilité du blé et ainsi d'atteindre le stade 2 feuilles le plus rapidement possible. Il est donc conseillé, en cas de risque, de semer dans les conditions les plus favorables en termes de préparation

du sol mais aussi de sommes de températures, ce qui signifie, dans de nombreuses régions, des dates de semis assez précoces, ce qui peut avoir des effets non intentionnels comme favoriser la présence de viroses ou d'autres maladies fongiques.

Un nettoyage rigoureux des matériels

Le nettoyage rigoureux de la moissonneuse-batteuse, voire la désinfection avec une solution vinaigrée, est indispensable au moindre doute de contamination de la récolte afin de ne pas infecter des parcelles saines. Une étude danoise (Kristensen & Borgen, 2001) conclut qu'après la récolte d'un champ contaminé, il faut remplir et vider une moissonneuse-batteuse quatre fois avec de la semence saine pour atteindre un taux de contamination acceptable... De même, l'utilisation de matériel de tri dans le cadre de production de semences fermières est soumise à un entretien régulier.

Un choix variétal

Depuis 2021, le Comité technique permanent de la sélection des plantes cultivées (CTPS) a introduit dans ses critères, pour l'inscription des variétés de blé au catalogue officiel, le caractère de résistance à la carie. Le protocole a été mis au point et validé dans le cadre d'un projet CasDar semences (CarieABBlé). Après une étude épidémiologique permettant de déterminer l'espèce prévalente en France (*T. caries*) et les races, une souche a été choisie comme représentative des virulences présentes. Un biotest, basé sur une contamination artificielle des semences des variétés en étude, une croissance en conditions favorables à la maladie et la détection de *T. caries* par qPCR dans les plantules, a été validé par rapport aux résultats au champ. Ce biotest permet de s'affranchir des conditions environnementales et de la variabilité des tests au champ, et

Fig. 5 : Biotest pour évaluer la résistance des variétés de blé à la carie

A = biotest. B = résistance des variétés en étude en comparaison des témoins.

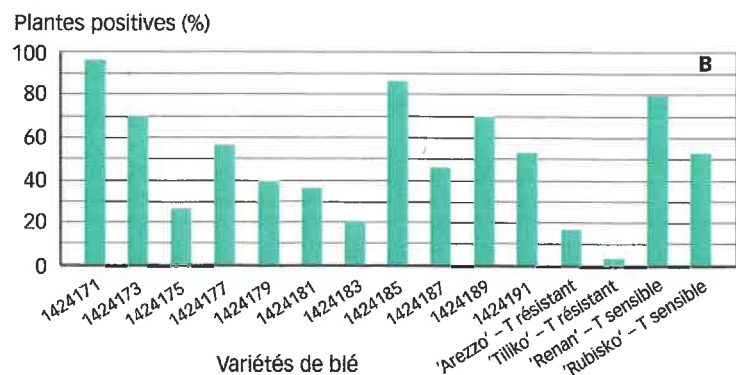
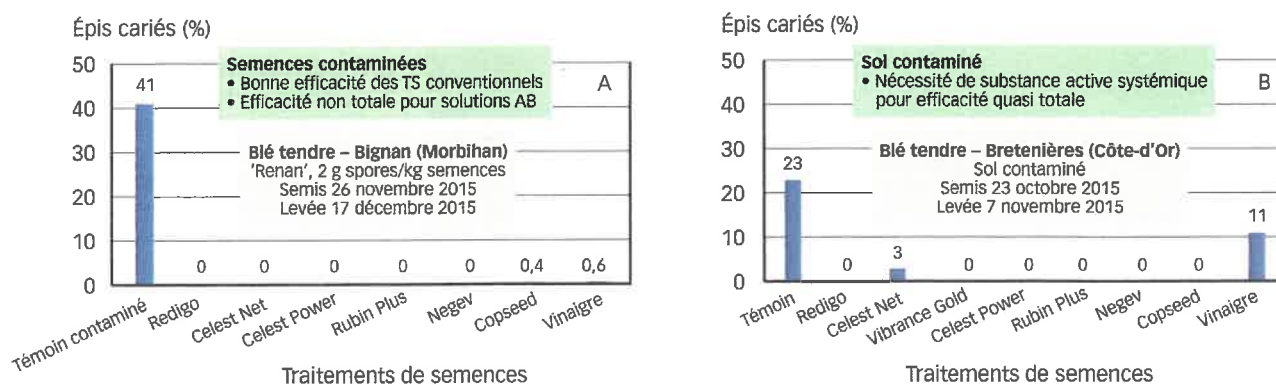


Fig. 6 : Évaluation comparée (en % d'épis cariés) de traitements de semences (TS) fongicides vis-à-vis de la carie commune, selon deux sources de contamination

Source : Arvalis



d'obtenir un résultat dès le stade 2-3 feuilles en comparaison d'un stade beaucoup plus avancé au champ (stade épis) (Figure 5 page précédente). Cela a permis d'identifier des variétés à résistance intermédiaire, présentant un faible pourcentage de plantes positives en qPCR et d'effectuer un choix variétal selon les conditions de la culture.

Lutte directe

Il n'existe pas de méthode de lutte curative en végétation contre la carie commune du blé. Seuls des traitements fongicides des semences peuvent protéger les plantes contre le développement des spores présentes sur les semences ou dans le sol. Une forte contamination des semences (détection de spores possibles à l'œil nu sur grains « boutés » ou même à l'odorat) rend le semis rédhibitoire. Une faible contamination, détectée uniquement par analyse sanitaire de la semence, peut être gérée par différentes spécialités offrant une protection quasi totale. Cette protection est plus variable en situations de sol contaminé. Ainsi, il est recommandé de privilégier les traitements contenant au moins une substance active

fongicide à action systémique dans ces situations (Figure 6).

En agriculture biologique, le vinaigre, approuvée comme substance de base à 1 l/q – à diluer dans de l'eau (1/1 l) –, présente une bonne efficacité vis-à-vis des semences contaminées, mais elle n'est pas totale et elle ne permet pas de lutter contre la contamination via le sol. La farine de moutarde, autre substance de base utilisée en agriculture biologique, a fait preuve d'efficacité variable. Quant au traitement de semences Copseed (sulfate de cuivre tribasique), il affiche une bonne efficacité même si elle est non totale, et il ne sera pas non plus assez efficace pour lutter contre les spores de carie présentes dans le sol. L'emploi de bactéries *Pseudomonas chlororaphis* (produit Cerall) est autorisé en AB, mais son efficacité est très variable.

Dans les années 2010, la Fédération nationale des agriculteurs multiplicateurs de semences (Fnams) et Arvalis ont évalué l'efficacité du procédé de traitement de semences à la vapeur avec le procédé breveté de thérapie nommé « ThermoSem ». La désinfection à la vapeur s'est avérée très efficace

vis-à-vis des semences contaminées par la carie, sans pouvoir – bien sûr – empêcher la contamination des plantules par des spores se développant dans le sol.

Le suivi de parcelles d'expérimentation montre un taux de contamination non négligeable des récoltes de blé issues de semences traitées chimiquement (voir tableau ci-dessous), avec toutefois une intensité modérée puisque le nombre moyen de spores/gramme des lots positifs reste inférieur à 15 (respectivement 9,6 spores/gramme en 2020, 14,3 spores/gramme en 2021 et 12,2 spores/gramme en 2022).

La campagne 2022 a particulièrement été touchée puisqu'aucune récolte n'était indemne de carie. Les conditions climatiques de l'automne 2021, notamment l'épisode froid entre le 11 octobre et le 25 octobre, peuvent expliquer une sensibilité accrue de la culture dont le développement a été plus lent que les années précédentes (la date de semis moyenne se situant le 11 octobre 2021). À noter que seuls des traitements de semences chimiques systémiques furent utilisés pour les semis d'automne 2021 (récolte 2022). Ainsi, une alternative en AB est la culture d'espèces peu ou non affectées par la carie commune du blé, comme l'orge ou l'avoine, ou l'utilisation de variétés de blé résistantes.

L'automne froid de 2021 expliquerait la campagne 2022, sévèrement touchée.

Suivi de la contamination de blés issus de semences traitées (parcelles d'expérimentation)

| Campagne | Nombre de lots analysés | Nombre de lots sans carie | Nombre de lots analysés entre 0 et 100 spores/g | Nombre de lots analysés à plus de 100 spores/g |
|----------|-------------------------|---------------------------|---|--|
| 2020 | 12 | 7 | 5 | 0 |
| 2021 | 14 | 7 | 7 | 0 |
| 2022 | 10 | 0 | 9 | 1 |

POUR EN SAVOIR PLUS

CONTACT : valerie.grimault@geves.fr

BIBLIOGRAPHIE : la bibliographie de cet article (8 références) est disponible auprès de ses auteurs (contact ci-dessus).

REMERCIEMENTS L'équipe du laboratoire de phytopathologie du Geves pour les images et graphiques ainsi que tous les collaborateurs qui ont permis l'acquisition et la synthèse des données.