

7. Protection contre la carie en agriculture biologique

C. Bataille¹, D. Eylembosch² et A. Chandelier¹

1	La carie commune, qu'est-ce que c'est ?.....	2
2	Moyens de lutte.....	4
3	Conclusions et Perspectives.....	10

¹ CRA-W – Département Sciences du Vivant – Unité Santé des Plantes & Forêts

² CRA-W – Département Productions Agricoles – Unité Productions Végétales

1 La carie commune, qu'est-ce que c'est ?

La carie est une maladie qui altère le rendement et la qualité des récoltes. Celle-ci est causée par des champignons appartenant au genre *Tilletia*, principalement *Tilletia caries* et dans une moindre mesure *Tilletia laevis*. Ces pathogènes ont été identifiés en Wallonie en 2018 et sont depuis en recrudescence dans les cultures de froment biologique, faute de solution adéquate pour les contrôler. En effet, les traitements de semences disponibles en agriculture biologique n'atteignent pas les 99 % d'efficacité nécessaires pour enrayer la propagation de la maladie, contrairement à ceux utilisables en agriculture conventionnelle. C'est pourquoi la recherche se tourne aujourd'hui vers l'étude de différents moyens de lutte biologique qui, en combinaison, permettraient d'atteindre une éradication quasi totale de la carie. Les résistances variétales, les traitements de semences en adéquation avec l'agriculture biologique et la détection de la carie au stade jeunes plantules sont autant de pistes qui ont été étudiées au CRA-W en 2020 et 2021.

Les informations reprises dans cette introduction proviennent du document suivant : CARIE « Agir rapidement pour contenir la carie commune *Tilletia caries* ou *Tilletia foetida* » (Paris, 9 février 2012)³.

1.1 Biologie du champignon

Un grain carié peut contenir jusqu'à 9 millions de spores de *Tilletia caries*. Au moment du battage, les grains des épis cariés libèrent ces spores appelées téliospires. Ces dernières permettent au champignon de se disséminer dans l'environnement ou sur les grains récoltés, et d'y survivre jusqu'au prochain semis. Lorsque les conditions deviennent favorables au développement de la maladie, les spores vont germer. Les spores de *Tilletia caries* sont capables de germer à des températures comprises entre 2° et 29°C (optimum à 11°C) et lorsque l'humidité du sol oscille entre 40 et 50 % de sa capacité en rétention. Le champignon va ensuite infecter le coléoptile (s'il est suffisamment en contact avec celui-ci) de la future plantule avant la levée et continuer sa progression jusqu'à l'ébauche de l'épi. Il va plus particulièrement viser les fleurs, dès leur formation, pour pouvoir envahir l'ovaire de celles-ci et y produire sa masse de spores. Les autres organes de l'épi ne sont pas atteints par le pathogène et la maladie n'est donc visible qu'au moment de la maturation des grains, soit des mois après son infection. Les plantes infectées émettront ensuite des millions de spores lors du battage des grains pour répéter ainsi le cycle.

1.2 Symptômes en froment

Bien que l'infection des plantes ait lieu entre le semis et la levée des plantules, les symptômes de la carie ne sont eux visibles qu'au moment de l'épiaison. Selon les races de *Tilletia caries* et les variétés de froment, un léger raccourcissement des plantes peut être observé. Un nombre de talles plus important peut aussi être observé mais celles-ci aboutissent bien souvent à des épis avortés.

³ Source : Actes, Journée Technique, 9 février 2012, Paris, Restitution du programme de recherche : 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. <http://itab.asso.fr/downloads/actes%20suite/carie-actes2012.pdf> (20/08/2021).

À l'épiaison, les épis cariés auront tendance à devenir de teinte bleu-vert au contraire des épis sains de teinte verte, cette couleur étant principalement marquée sur le rachis et sur la base des glumes.

Les épis cariés montrent un aspect ébouriffé dû à l'écartement anormal des glumes qui laissent alors apparaître le grain carié. Ce dernier est plus court, plus sombre et plus arrondi qu'un grain sain. À la récolte, les grains cariés céderont à la moindre pression et libéreront une poussière de spores noires qui contaminera alors les autres grains.

1.3 Situations à risque

- Utilisation de semences non traitées contre la carie
- Utilisation de semences fermières (non triées et non traitées).
- A partir du stade 2 feuilles, les parois de la plantule sont trop épaisses et le champignon ne sait plus y pénétrer. Plus le laps de temps entre le semis et le stade 2 feuilles est long et plus le pathogène a le temps d'infecter les plantules. Les semis tardifs sont donc plus à risque car les conditions froides sont favorables au développement de la carie et ralentissent le développement des plantules.
- Retour sur une parcelle infectée avec une céréale sensible : blé dur et blé tendre sont plus sensibles que l'épeautre.

1.4 Voies de contamination

À ce jour, deux voies de contamination ont été identifiées :

Contamination par les semences

La contamination des semences par les spores du champignon reste la voie la plus directe et celle qui donne lieu aux épidémies les plus importantes. En effet, ce mode de transmission permet de mettre directement en contact la spore avec le coléoptile. Celle-ci n'aura plus qu'à attendre les conditions favorables pour germer et infecter les tissus végétaux. La probabilité de contamination est donc très grande dans ce cas-ci.

Contamination par le sol

Cette voie de contamination est plus hasardeuse mais toujours à risque. En effet, la probabilité que la spore de carie soit suffisamment proche du grain semé pour infecter son coléoptile est beaucoup plus faible que dans la situation précédente. Les épidémies engendrées par ce type de contamination sont donc moins fréquentes. Les spores de carie germent après des épisodes météorologiques humides et à la faveur de températures propres à chaque espèce de *Tilletia* spp. Cela signifie que des étés pluvieux induisent une germination des spores avant le semis des céréales et donc un épuisement progressif des stocks de spores avant infection. En revanche, les étés plus secs conservent le stock de spores intact. Une spore peut survivre jusqu'à 5 ans dans le sol. Les sols compactés sont défavorables à la carie car celle-ci a besoin d'oxygène pour se développer.

2 Moyens de lutte

Si la carie commune des céréales est si redoutable, c'est notamment parce qu'il n'existe aucun moyen d'arrêter son développement après l'infection. Seule la prévention permet donc de lutter contre cette maladie.

L'utilisation de semences saines dans le système de culture est essentielle pour limiter le risque de développement de la carie. Cependant, utiliser des semences saines n'empêche pas l'infection par des spores du champignon présentes dans le sol. Par ailleurs, la présence de spores de carie sur les semences peut passer inaperçue et le recours à des tests de détection s'avère souvent nécessaire. Utiliser des semences traitées avec un produit visant à empêcher le développement de la carie lors de la germination est une bonne alternative. Toutefois, il existe peu d'information sur des produits de désinfection de semences autorisés en agriculture biologique et efficaces contre la carie. Enfin, une autre méthode consiste à utiliser des variétés résistantes.

2.1 Résistance variétale

Le choix de la variété est le critère le plus important à prendre en compte dans le contexte de l'agriculture biologique (AB). En effet, l'AB ne peut s'appuyer que sur peu de solutions pour remédier à un problème en cours de saison (maladie, ravageur...). C'est pourquoi, l'utilisation de variétés résistantes permet de diminuer grandement ces risques d'accident durant la culture. Dans le cas de la carie, des variétés résistantes existent dans les pays voisins mais aucun screening des variétés présentes sur le marché belge n'avait encore été mené pour déterminer si l'une d'elles était tolérante voire résistante.

2.1.1 Contexte

Depuis 2 ans, des essais sont conduits par l'U04 du CRA-W afin de déterminer la tolérance variétale à des souches locales de carie des céréales sélectionnées et cultivées en Belgique. Ces recherches sont axées principalement sur le blé tendre, mais s'intéressent également à quelques variétés d'épeautre, de triticales, de seigle et d'avoine.

Dans le cadre de ces recherches, le semis des différentes variétés a été réalisé en micro parcelles d'essai en conditions réelles de culture. En 2019-2020, 31 variétés de froment ont été évaluées après avoir été contaminées par infection des semences avant le semis. En 2020-2021, 29 variétés de froment, 3 variétés d'épeautre et 3 variétés de triticales ont été étudiées après infection des semences avant le semis. Seules quelques variétés de froment, d'épeautre, de seigle, de triticales et d'avoine ont été évaluées après avoir été semées dans du sol contaminé.

2.1.2 Résultats

Contamination par les semences :

Sur les 2 années d'essais, les résultats confirment les résistances annoncées des variétés de froment suivantes : Tillexus et Tilliko (variétés autrichiennes) et Arezzo (variété française).

Dans l'essai mené en 2019-2020, sur les 31 variétés de froment testées, seules deux ont montré un potentiel de tolérance intéressant (Figure 7.1). Il s'agit de Campesino et de Mentor. Ces

deux variétés ont de nouveau été testées en 2020-2021. Les variétés n'ayant présenté aucun potentiel de tolérance à la carie ont été écartées de l'essai implanté l'année suivante.

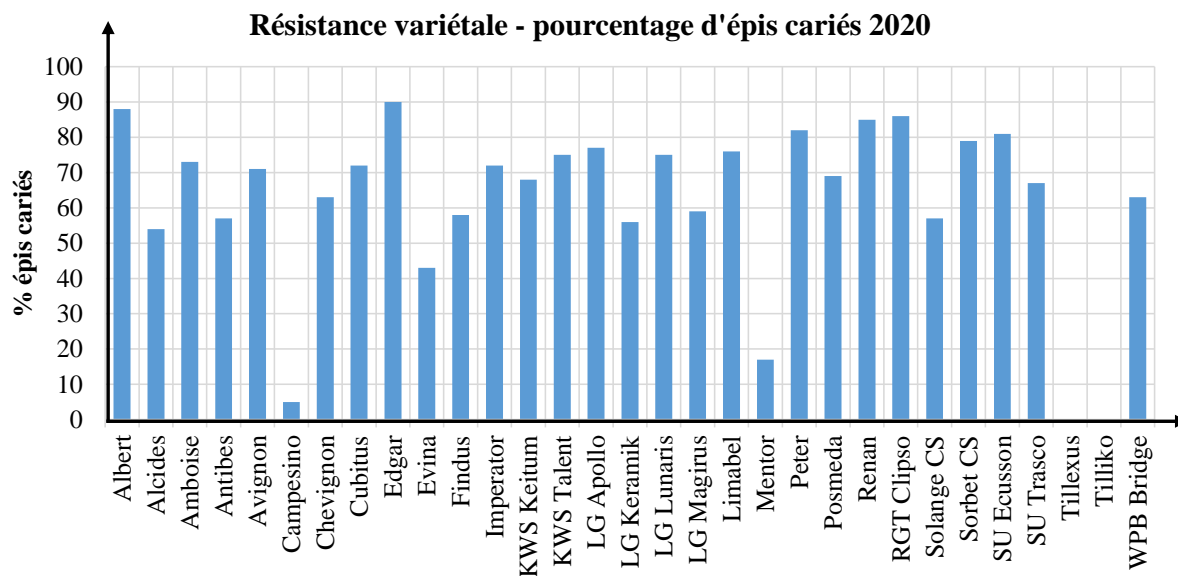


Figure 7.1 – Pourcentage d'épis cariés par variété – essai 2019-2020 – infection via les semences. La variété Renan est la référence sensible et les variétés Tillico et Tillexus sont les références résistantes.

Durant l'essai conduit en 2020-2021, Campesino a exprimé un comportement similaire à Arezzo, variété reconnue résistante en France et Mentor a confirmé une moindre sensibilité à la carie (Figure 7.2). Les variétés Bergamo, Catalyst, Graham et WPB Calgary, testées pour la première fois en 2021, semblent être du même niveau de tolérance que Mentor. Les résultats de 2021 semblent également indiquer une bonne résistance des épeautres et des triticales testés à la carie de nos régions, Cosmos montrant néanmoins une légère sensibilité.

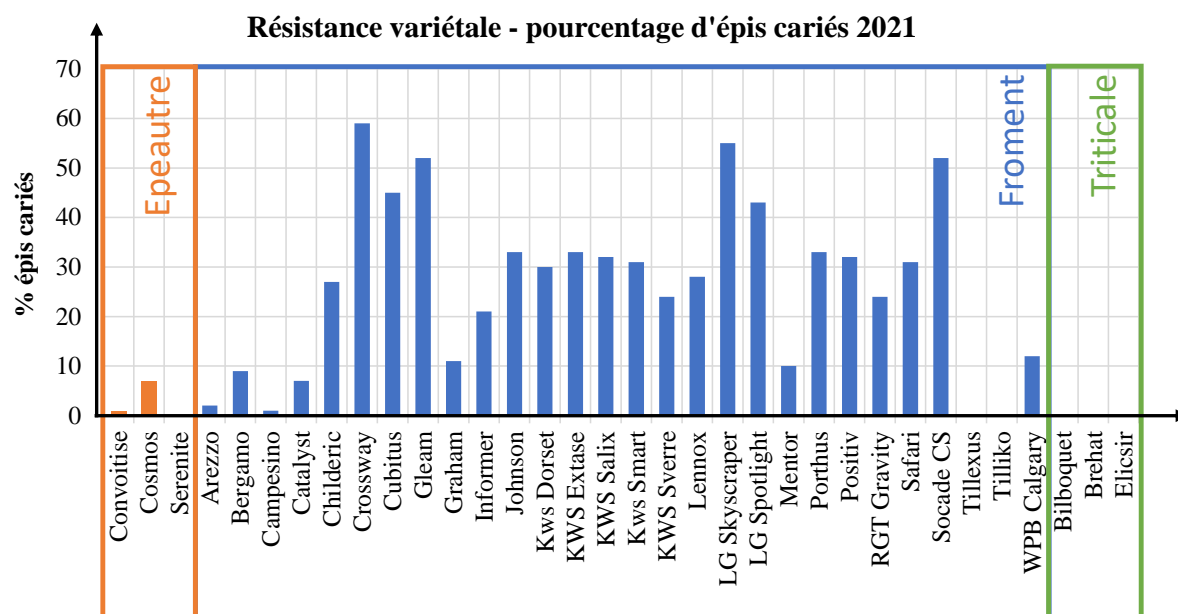


Figure 7.2 – Pourcentage d'épis cariés par variété – essai 2020-2021 – infection via les semences. La variété Renan est la référence sensible et les variétés Tillico, Tillexus et Arezzo sont les références résistantes.

Contamination via le sol :

En novembre 2020, un essai avec des semences non traitées et non inoculées a été implanté dans un sol potentiellement contaminé afin d'évaluer l'importance de cette voie de contamination. La parcelle où l'essai a été mené correspondait à la parcelle de l'essai 2019-2020 sur laquelle des grains cariés avaient été laissés au sol jusqu'au semis.

Lors des observations à l'épiaison, il n'y avait quasiment aucun épi carié. L'une des hypothèses pour expliquer ce résultat pourrait être une destruction de l'inoculum suite à la germination des téliospores avant le semis de froment. Il se pourrait également que la probabilité d'infection par le sol nécessite un niveau d'inoculum particulièrement élevé, non rencontré dans notre essai.

2.1.3 Conclusions

Parmi les variétés de froment d'hiver commercialisées en Belgique et mises en essai, six d'entre-elles semblent présenter une bonne tolérance à la carie. Campesino a la plus forte tolérance. Suivent les variétés Bergamo, Catalyst, Graham, Mentor et WPB Calgary. Ces variétés ne sont pas totalement résistantes mais leur tolérance peut limiter le risque de contamination et de multiplication du champignon. Elles semblent donc toutes indiquées pour leur utilisation dans la prévention contre cette maladie. Leur sensibilité aux maladies du feuillage et des épis limite malheureusement leur emploi en agriculture biologique. Des recherches supplémentaires doivent donc encore être menées pour identifier des variétés résistantes à la carie au sein des variétés adaptées à l'agriculture biologique.

Enfin, l'épeautre et surtout le triticale semblent beaucoup moins sensibles à la carie que le froment et sont donc à préconiser dans les situations à risques. Ceci reste cependant à vérifier dans de futures années d'essai.

2.2 Traitements de semences biologiques

En agriculture biologique, le choix variétal est un critère primordial dans la lutte contre la carie. Si, comme nous l'avons montré ci-avant, certaines variétés montrent bien une tolérance à la carie, celle-ci n'est pas totale. Il peut dès lors s'avérer essentiel d'associer à ces variétés un traitement de semences efficace. C'est pourquoi depuis deux ans, l'U03 du CRA-W s'est penchée sur l'étude de l'efficacité des traitements de semences actuellement recommandés en agriculture biologique.

2.2.1 Contexte

En 2019-2020 et en 2020-2021, un essai de traitements de semences a été installé sur les terres du CRA-W dans le but de tester 5 produits actuellement recommandés en agriculture biologique par l'ITAB. Les semences de Renan (2019-2020) et de Sorbet CS (2020-2021) ont donc été inoculées avec respectivement 5g et 2g⁴ de spores de carie par kg de semences puis traitées avec les solutions suivantes (quantités données pour 100kg de semences) :

vinaigre 7% 1L + 1L d'eau

Cerall 1L (*Pseudomonas chlororaphis*)

Copseed 100mL (solution à base de cuivre non agréée en Belgique)

⁴ Les 2g de spores de carie / kg de semences correspondent aux recommandations de la norme OEPP 1/19(4) Efficacy evaluation of fungicides - Seed-borne cereal fungi.

farine de moutarde 1.5kg (*Sinapis alba*) + 4.5L d'eau
Redigo 100mL (référence de synthèse)

Les semences traitées ont ensuite été semées en novembre. Les résultats présentés ci-dessous reprennent donc deux années d'essais.

Ayant reçu plusieurs questions quant à la quantité jugée trop importante d'eau à ajouter au vinaigre pour traiter les semences et à la peur de trop humidifier celles-ci, un essai avec différentes doses de vinaigre (0.5, 1, 1.5 et 2L pour 100kg de semences) sans ajout d'eau a aussi été installé en 2020-2021. Les résultats discutés ci-dessous ne reprendront donc qu'une seule année d'essai.

2.2.2 Résultats

Les résultats sont ici présentés en pourcentage d'épis cariés (Figure 7.3). Bien que les solutions dites « naturelles » ne soient pas aussi efficaces que le Redigo, le graphique montre tout de même de très bons résultats pour la farine de moutarde, le Copseed et le vinaigre, en moyenne sur deux ans. Le vinaigre est pénalisé par ses résultats de 2020 et ceci peut-être à cause d'une inoculation en carie plus importante cette année-là. Il a d'ailleurs montré une meilleure protection (non statistique) contre la carie que la farine de moutarde et le Copseed en 2021. Le Cerall ne semble pas être une solution adaptée contre la carie.

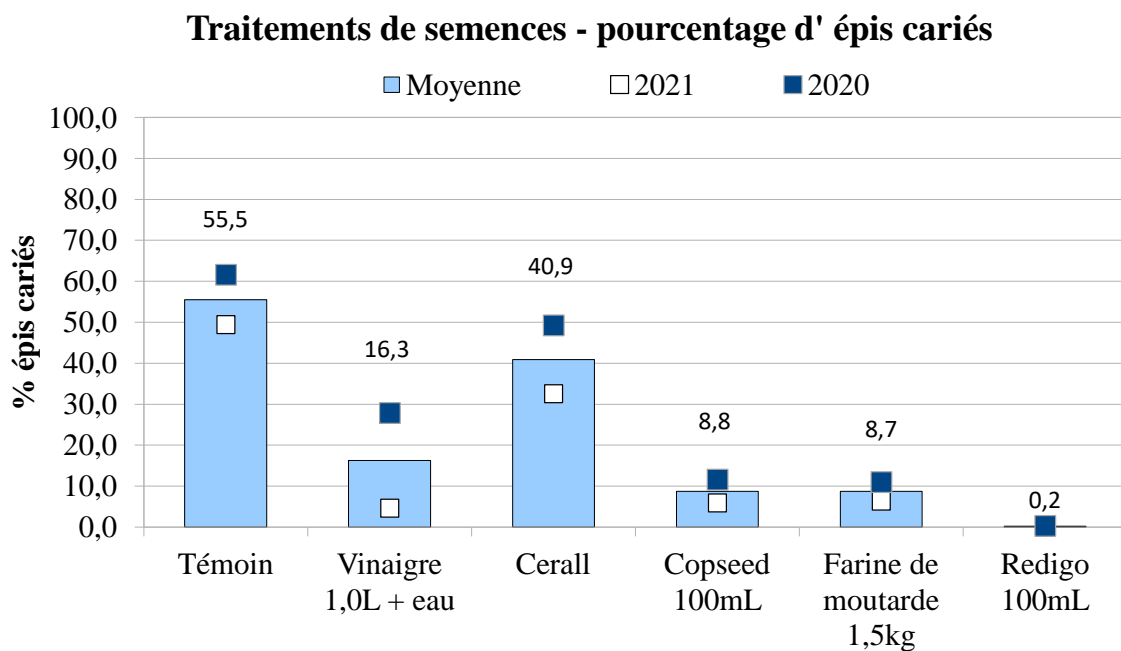


Figure 7.3 – Pourcentage d'épis cariés en fonction des traitements de semences utilisés en 2020, 2021 (points) et en moyenne (histogramme) sur les deux ans. En 2020, l'essai a été réalisé avec la variété Renan et en 2021 avec la variété Sorbet CS. Les concentrations en inoculum étaient de 5g et 2g/kg de semences respectivement en 2020 et 2021.

L'étude des différentes doses de vinaigre en 2021 (Figure 7.4), montre un effet dose sur le pourcentage d'épis cariés. Plus la dose augmente et moins il y a d'épis cariés. Cependant l'ajout d'1L d'eau au vinaigre 1L semble livrer de meilleurs résultats que le vinaigre 1L seul. Ceci s'explique probablement par la meilleure répartition du produit sur les semences.

Traitement de semences - Pourcentage épis cariés Doses de vinaigre 2021

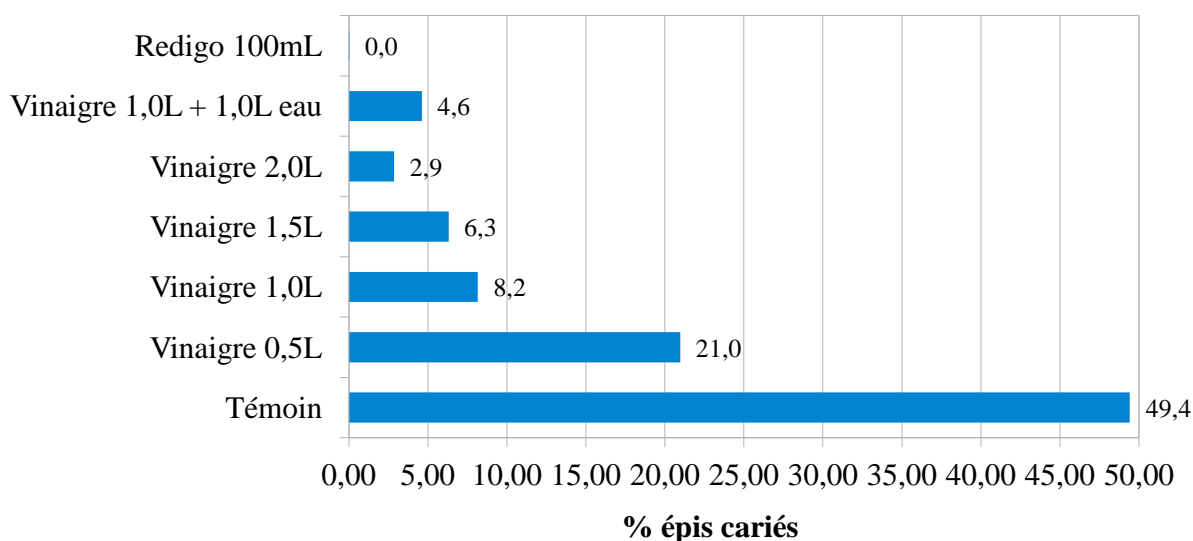


Figure 7.4 – Pourcentage d'épis cariés en fonction des différentes doses de vinaigre utilisées en traitement de semences en 2021. Le Redigo est ici utilisé comme référence des produits de synthèse.

2.2.3 Conclusions

Le vinaigre 1L/100kg de semences (avec idéalement l'ajout d'1L d'eau) et la farine de moutarde 1.5kg (+ 4.5L d'eau) /100kg de semences sont deux solutions biologiques qui permettent de diminuer significativement l'infection en carie sur les grains. L'application d'un de ces deux traitements est fortement recommandée avant le semis d'une culture de froment biologique. Bien que des traitements avec 1.5 et 2.0L de vinaigre semblent mieux fonctionner que des traitements avec 1L, ces doses ne sont pas recommandées. En effet, de la phytotoxicité a été observée dans plusieurs essais provenant de la littérature scientifique. Le Copseed a également montré une bonne efficacité sur carie mais il n'est pas homologué en Belgique.

2.3 Détection dans de jeunes plantules par analyse qPCR

Un test de détection précoce des champignons *Tilletia* spp. responsables de la carie du blé a été évalué pour une utilisation au stade plantule. L'intérêt de cet outil réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire d'attendre l'épiaison pour effectuer les évaluations (de variétés ou de traitement de semences). Cette possibilité évite de contaminer la parcelle et l'équipement de récolte par des grains cariés, et facilite le travail des sélectionneurs et responsables d'essais.

Des plantules ont été collectées en mars et en avril 2021 dans des parcelles emblavées avec des grains de froment inoculés avec des spores de carie. Ces parcelles faisaient partie de l'essai « traitement de semences » décrit au point précédent. Quatre modalités de traitement ont été testées : (1) des grains inoculés non traités, (2) des grains inoculés traités avec de la moutarde, (3) des grains inoculés traités avec du vinaigre (modalité à 1L par 100kg) et (4) des grains inoculés traités avec le produit de synthèse Redigo. Pour chaque modalité, des collectes de plantules ont été effectuées dans 4 parcelles (16 parcelles échantillonnées).

Alors que les plantules ne présentaient aucun symptôme de la maladie, il a été possible de mettre en évidence la présence du champignon dans les tissus végétaux en utilisant le test de détection précoce, le taux de détection étant plus élevé en avril qu'en mars. De plus, des différences ont été observées entre traitements suggérant que le test pouvait être utilisé comme méthode d'évaluation de la qualité d'un traitement de semences contre la carie. A cet égard, le traitement de semences avec le produit Redigo utilisé en agriculture conventionnelle, s'est révélé très efficace (aucune détection du champignon dans les plantules). La modalité « graines inoculées non traitées » a montré le plus haut taux d'infection des plantules. Le traitement à la moutarde s'est révélé un peu plus efficace que le traitement au vinaigre avec un nombre moindre de plantules infectées.

L'outil développé a montré une bonne efficacité pour évaluer l'impact de traitements de semences de froment sur le développement de la carie. Il peut dès lors être envisagé comme méthode de screening pour l'évaluation de la sensibilité variétale au stade plantule.

3 Conclusions et Perspectives

Suite à deux années d'essais, il a été possible de dégager plusieurs conclusions intéressantes :

- variétés de froments présentes une tolérance non négligeable face à la carie. Il s'agit des variétés Campesino, Mentor, Bergamo, Catalyst, Graham et WPB Calgary. Leur sensibilité aux maladies n'est cependant pas compatible avec une utilisation en agriculture biologique
- Deux traitements de semences agréés en agriculture biologique ont montré une efficacité intéressante contre la carie. Il s'agit du vinaigre 1L (avec ou sans 1L d'eau) /100 kg de semences et de la farine de moutarde 1.5kg (+4.5L d'eau) /100kg de semences. Ces résultats confirment les conseils de l'ITAB.

Ces essais ont également permis la mise au point d'une méthode de détection de la carie dans les jeunes plantules. Cette technique pourra s'avérer très utile dans le screening variétal afin de déterminer, déjà aux stades précoces, la sensibilité des variétés face à la carie.

Au cours des prochaines saisons, les essais variétaux et de traitements de semences continueront.

Dans un futur proche :

- L'identification de variétés tolérantes à la carie pourrait permettre d'élargir le choix de variétés intéressantes pour l'agriculture biologique
- L'identification de traitements de semences efficaces permettra de diminuer grandement l'inoculum potentiellement présent sur les semences et donc d'enrayer la propagation de la carie en agriculture biologique.