

2016-2017

Mention Biologie et Technologie du Végétal

Lutte contre la carie commune du blé :

Quelles pistes en agriculture biologique ?

Etude de l'efficacité de traitements de semences et de la virulence de souches de carie présentes en France

GAMBARO Sophie ▶

Sous la direction de Mme GOMBERT Julie ▶

Membres du jury

GUILMETTE Thomas | Enseignant Chercheur en pathologie fongique des semences à l'IRHS - Tuteur

CAMPION Claire | Enseignant Chercheur en pathologie fongique des semences à l'IRHS - Observateur

MONTRICHARD Françoise | Enseignants Chercheuse en Biochimie à l'IRHS – Responsable de formation

L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

Consulter la licence creative commons complète en français :

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



REMERCIEMENTS

Je souhaiterais remercier en guise de préambule Jean-Albert Fougereux pour m'avoir permis d'effectuer mon stage à la FNAMS de Brain sur l'Authion.

Je souhaiterais aussi remercier tout le personnel de la FNAMS qui m'a si bien accueillie pendant ce stage, et qui m'a permis de le réaliser dans les meilleures conditions de travail qui soit.

Ensuite, je souhaite remercier tout particulièrement mon maître de stage Julie Gombert qui m'a accompagnée lors de ce projet et répondu à mes nombreuses questions ; mais aussi Julianne Raveneau pour son aide et avec qui j'ai eu la chance de découvrir l'expérimentation sur céréales et protéagineux, ce qui a rendu ce stage encore plus enrichissant.

Pour finir, je remercie également les autres techniciens d'expérimentation pour les connaissances qu'ils ont pu m'apporter. Je remercie enfin les autres stagiaires et saisonniers qui ont contribué à la bonne ambiance de travail, et qui m'ont aussi aidé lors des notations sur la Carie du blé.

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussignée Gambaro Sophie

déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiante le 10/08/2017

Cet engagement de non plagiat doit être signé et joint
à tous les rapports, dossiers, mémoires.

Présidence de l'université

Liste des abréviations

BPE : Bonne Pratique d'Expérimentation

CASDAR : Compte d'Affectation Spéciale « Développement Agricole et Rural »

CEB : Commission des Essais Biologiques

CTPS : Comité Technique Permanent de la Sélection

FNAMS : Fédération Nationale des Agriculteurs Multiplicateurs de Semences

GNIS : Groupement national Interprofessionnel des Semences et Plants

GEVES : Groupe d'Etude et de Contrôle des Variétés et Semences

HD : Hôtes Différentiels

ISF : Fédération Internationale des Semences

SNES : Station Nationale d'essais de Semences

uBIO: Universal Biological Indexer and Organizer

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
1.1. Présentation du lieu de stage	1
1.2. Etat de la littérature sur la Carie du blé	2
1.2.1. Cycle de développement du blé tendre	2
1.2.2. La carie du blé	2
a) Agents pathogènes responsables de la carie commune du blé.....	2
b) Cycle de développement de l'agent de la carie commune <i>T.caries</i>	2
Origine de l'infection	2
Déroulement de l'infection	3
c) Détection visuelle de la maladie	3
1.2.3. Moyens de lutte contre la carie du blé	3
a) Utilisation de traitements de semences	3
b) Lutte variétale.....	4
1.3. Objectif du stage, stratégie adoptée.	5
2. MATERIEL ET METHODES	6
2.1. Evaluation de l'efficacité de produits de traitements de semence contre la carie	6
2.1.1. Préparation du matériel végétal.....	6
2.1.2. Conduite de la culture	6
2.1.3. Réalisation des observations	7
2.1.4. Etudes statistiques	7
2.2. Projet Carie ABBLE – Identification des spectres de virulence des différentes souches	
2.2.1. Obtention des différentes souches de <i>T.caries</i> et des plantules contaminées	8
2.2.2. Conduite de la culture	8
2.2.3. Réalisation des observations	9
3. RESULTATS	9
3.1. Evaluation de l'efficacité des traitements de semences contre la carie	9

3.1.1. Impact sur la densité de levée	9
3.1.2. Impact sur le nombre d'épis	9
3.1.3. Efficacité des traitements de semence contre la carie	10
3.2. <i>Identification des spectres de virulences des différentes souches</i>	10
4. DISCUSSION	11
4.1. <i>Evaluation de l'efficacité de traitements de semences contre la carie</i>	11
4.1.1. Impact sur la levée et le nombre d'épis	11
4.1.2. Efficacité des traitements contre la carie	13
a) Copseed	14
b) Vinaigre.....	15
c) TS 1502 et TS 1701	16
d) Redigo et Celest Net	16
4.2. <i>Identification des spectres de virulence des souches</i>	17
5. CONCLUSIONS - PERSPECTIVES	18
5.1. <i>Evaluation de l'efficacité des traitements de semences contre la carie</i>	18
5.2. <i>Identification des spectres de virulence des différentes souches</i>	19
6. REFERENCES	19
6.1. <i>Bibliographie</i>	19
6.2. <i>Webographie</i>	21

Liste des illustrations et tableaux

FIGURE 1 : ORGANISATION ET PRESENTATION DES MEMBRES DE LA FILIERE SEMENCE.

FIGURE 2 : LOCALISATION DES DIFFERENTES STATIONS APPARTENANT A LA FNAMS. (SOURCE : SITE DE LA FNAMS)

FIGURE 3: SCHEMA RECAPITULANT LES DIFFERENTES PHASES DU CYCLE DE DEVELOPPEMENT DE LA CARIE COMMUNE

FIGURE 4 : SPORES DE T. CARIES.

FIGURE 5 : SPORES DE T. CARIES.

FIGURE 6 : CYCLE DE DEVELOPPEMENT DETAILLE DE L'AGENT *TILLETIA CARIES* RESPONSABLE DE LA CARIE COMMUNE DU BLE.

FIGURE 7 : SYMPTOMES PROVOQUES PAR LA CARIE COMMUNE DU BLE SUR LES EPIS CARIES

FIGURE 8 : SYMPTOMES PROVOQUES PAR LA CARIE COMMUNE SUR DES GRAINS DE BLES.

FIGURE 9: POSITION APPROXIMATIVE DES 3 GRAINS DE BLES DEVANT ETRE OUVERT LORS DES NOTATIONS.

FIGURE 10 : DENSITE DE LEVEE AU M² DU BLE AU STADE 2-2,5 FEUILLES EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS DE SEMENCES

FIGURE 11 : NOMBRE D'EPIS MOYEN PRESENTS PAR PLACETTE AU NIVEAU DE CHAQUE MODALITE

FIGURE 12 : POURCENTAGE D'EPIS CARIES RETROUVE EN FONCTION DU TRAITEMENT DE SEMENCE APPLIQUE.

FIGURE 13: REPARTITION DES POURCENTAGES D'EPIS CARIES DES QUATRE TEMOINS APACHE

FIGURE 14 : REPARTITION DES POURCENTAGES D'EPIS CARIES DES HOTES DIFFERENTIELS (HD) INOCULES PAR LA SOUCHE DE REFERENCE

FIGURE 15 : DENSITE DE LEVEE AU M² EN FONCTION DE CHAQUE MODALITE MESUREE A LA STATION DE BOURGES

FIGURE 16 : EFFICACITE MOYENNE DU VINAIGRE A DIFFERENTES DOSES PAR RAPPORT AU TEMOIN CONTAMINE NON TRAITE

FIGURE 17: INCIDENCE DU TAUX DE CONTAMINATION DES SEMENCES CARIES SUR LE NOMBRE D'EPIS CARIES

FIGURE 18 : MOYENNES AJUSTEES PLURIANNUELLES ET MULTILOCALES DES % D'EPIS CARIES SUR LES ESSAIS DE VARIETES DE BLE TENDRE .

TABLEAU I : COMPOSITION ET MODE D'ACTION DE CERTAINS TRAITEMENTS DE SEMENCES UTILISES EN AGRICULTURES CONVENTIONNELLES CONTRE LA CARIE DU BLE.

TABLEAU II : MODE D'ACTION DE CERTAINS TRAITEMENTS DE SEMENCE POUVANT ETRE UTILISES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE.

TABLEAU III : RECAPITULATIF DES DIFFERENCES AU NIVEAU DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL ENTRE LES DEUX ESSAIS

TABLEAU IV : PRESENTATION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS DE SEMENCES UTILISES ET DU NOM DE LA MODALITE ASSOCIE.

TABLEAU V : HOTES DIFFERENTIELS (HD) PROVENANT DE LA GAMME DE METZGER AINSI QUE LES 4 VARIETES TEMOINS UTILISES

TABLEAU VI: EFFICACITE DES DIFFERENTS TRAITEMENTS DE SEMENCE EXPRIMEE EN POURCENTAGE

TABLEAU VII : POURCENTAGE D'EPIS CARIES OBTENU CHEZ LES 4 TEMOINS APRES CONTAMINATION PAR LA SOUCHE 1.

TABLEAU VIII : INTENSITE DE L'ATTAQUE DE LA GAMME DIFFERENTIELLE INOCULEE AVEC LES 11 SOUCHES DE CARIES, EXPRIMEE EN POURCENTAGE D'EPIS CARIES.

TABLEAU IX : INTENSITE DE L'ATTAQUE DE LA GAMME DIFFERENTIELLE INOCULEE AVEC LES 11 SOUCHES DE CARIES, EXPRIMEE EN POURCENTAGE D'EPIS CARIES PAR RAPPORT AU POURCENTAGE D'EPIS CARIES DU TEMOIN SENSIBLE HD1.

TABLEAU X : COMPARATIF DES POURCENTAGES D'EPIS CARIES OBTENUS DANS CHAQUE MODALITE ET D'EFFICACITE DE CHAQUE TRAITEMENT ENTRE L'ESSAI DE BRAIN SUR L'AUTHION ET L'ESSAI DE BOURGES

TABLEAU XI : COMPARATIF DES GROUPES STATISTIQUES POUR LE POURCENTAGE D'EPIS CARIES RETROUVE DANS CHAQUE TRAITEMENT ENTRE L'ESSAI DE BRAIN ET L'ESSAI DE BOURGES.

TABLEAU XII : NOMBRE DE PLANTULES SUR 15 OU LA CARIE A ETE DETECTEE PAR Q-PCR EN FONCTION DU CT SEUIL CHOISI.

TABLEAU XIII : VIRULENCE DE POPULATION LOCALE DE CARIE COMMUNE CONTRE LES GENES DE RESISTANCES (BT) ISSUS DE DIFFERENTS CULTIVARS ET DE COLLECTIONS DE MATERIEL GENETIQUE DE BLE.

Liste des annexes

ANNEXE I : SCHEMA DE LA STRUCTURE D'UN GRAIN DE BLE (A) ET D'UN EPILET (B), AINSI QUE LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT DU BLE DETAILLE (C) SUIVANT L'ECHELLE DE ZADDOCK ET BBCH.

ANNEXE II : PLAN DE L'ESSAI « EFFICACITE DE DIFFERENTS TRAITEMENTS DE SEMENCES ».

ANNEXE III : PLAN DE L'ESSAI « ETUDE DES VIRULENCES PRESENTES EN FRANCE ».

ANNEXE IV : LISTE DE TOUTES LES MODALITES DE L'ESSAI « ETUDE DES VIRULENCES PRESENTES EN FRANCE »

ANNEXE V : APPELLATION DE LA SOUCHE DANS LE RAPPORT POUR CHAQUE LOT DE SOUCHE DE CARIE.

ANNEXE VI : RESULTAT DE L'ANALYSE STATISTIQUE DES DENSITES DE LEVEE OBTENUES AU STADE 2/2,5 FEUILLES.

ANNEXE VII : RESULTAT DE L'ANALYSE STATISTIQUE DES DENSITES DE LEVEE OBTENUES AU STADE 3 FEUILLES.

ANNEXE VIII : RESULTAT DE L'ANALYSE STATISTIQUE DU NOMBRE D'EPIS PAR PLACETTE AU SEIN DE CHAQUE MODALITE.

ANNEXE IX : RESULTAT DE L'ANALYSE STATISTIQUE DU POURCENTAGE D'EPIS CARIE RETROUVE CHEZ CHAQUE MODALITE.

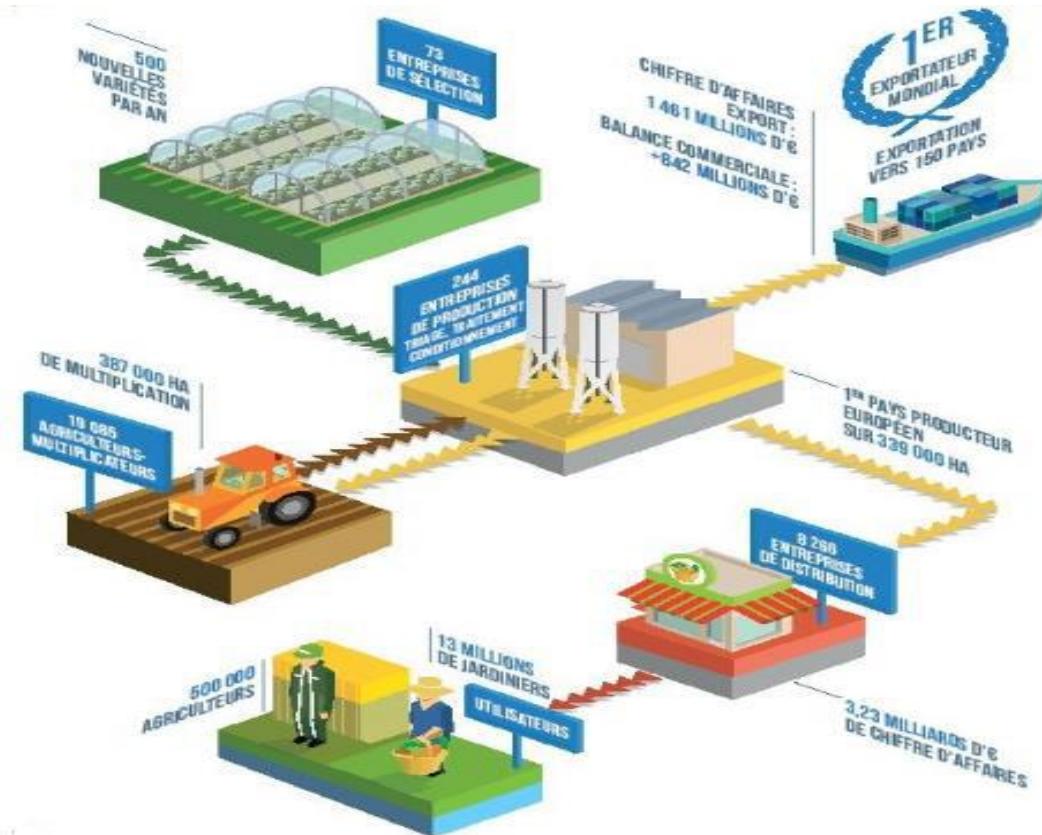


Figure 1 : Organisation et présentation des membres de la filière semence.

La FNAMS est directement au contact des agriculteurs multiplicateurs, eux-mêmes en contact avec les entreprises de production. Celles-ci sont reliées aux entreprises de sélection, aux exportateurs mais aussi aux entreprises de distributions en contact avec les agriculteurs et les utilisateurs. (Source : site internet du Gnis)

1. Paris - Siège social

2. Brain sur l'Authion - Centre technique

Station régionales

3. Troyes
4. Ouzouer-le-Marché
5. Étoile sur Rhône
6. Condom
7. Castelnaudary
8. St Doulchard



Figure 2 : Localisation des différentes stations appartenant à la FNAMS. (Source : site internet de la FNAMS)

Lutte contre la carie commune du blé : Quelles pistes en agriculture biologique ?

1. Introduction

1.1. Présentation du lieu de stage

Fondée en 1956, la FNAMS est une fédération de syndicats professionnels agricoles représentant les agriculteurs multiplicateurs de semence au sein de la filière semence. Le GNIS (Groupement national Interprofessionnel des Semences et Plants) est l'un des trois organismes majoritaires en amont de cette filière semence, avec le CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection) et le GEVES (Groupe d'étude et de contrôle des Variétés et Semences). Cette filière semence est constituée de nombreux acteurs (figure 1) dont 18 784 agriculteurs multiplicateurs et représente un chiffre d'affaire de 4,6 milliards d'euros en 2016, ce qui témoigne de son importance économique et du dynamisme de ce secteur (Gnis & ISF).

La FNAMS a deux missions principales. La première est d'établir des références technico-économiques en cultures porte-graine sur quatre groupes d'espèces : céréales et protéagineux, fourragères, potagères et betteraves industrielles. La FNAMS a fondé également de nombreux partenariats avec des instituts techniques ou encore la recherche publique. La protection des cultures représente la grande majorité du volume de cette activité technique (59%) (FNAMS, 2015a). La seconde mission est de protéger les agriculteurs multiplicateurs de semences, notamment en défendant leur rémunération via l'amélioration de la compétitivité des semences produites en France.

Ses actions sont financées majoritairement par l'interprofession (GNIS) mais bénéficient également d'un soutien financier du Ministère en charge de l'agriculture, de France Agrimer, des régions Centre, Pays de la Loire et Rhône-Alpes ainsi que de partenariats avec certaines Chambres d'agriculture et Instituts Techniques (Terre Inovia, Arvalis-Institut du végétal).

Pour permettre une implantation sur le terrain, la FNAMS est organisée en un réseau de 7 stations (figure 2). Celles-ci ont toutes la certification BPE (Bonnes Pratiques d'Expérimentation) nécessaire pour l'homologation. J'ai réalisé mon stage au sein de la station de Brain sur l'Authion (49) d'une surface de 25 ha environ, et qui bénéficie de la présence du laboratoire LABOSEM sur le même site, laboratoire d'analyses agricoles spécialisé dans l'analyse de semence. Celui-ci analyse notamment les échantillons de semences récoltés sur les parcelles du réseau d'expérimentation FNAMS (FNAMS, 2015a).

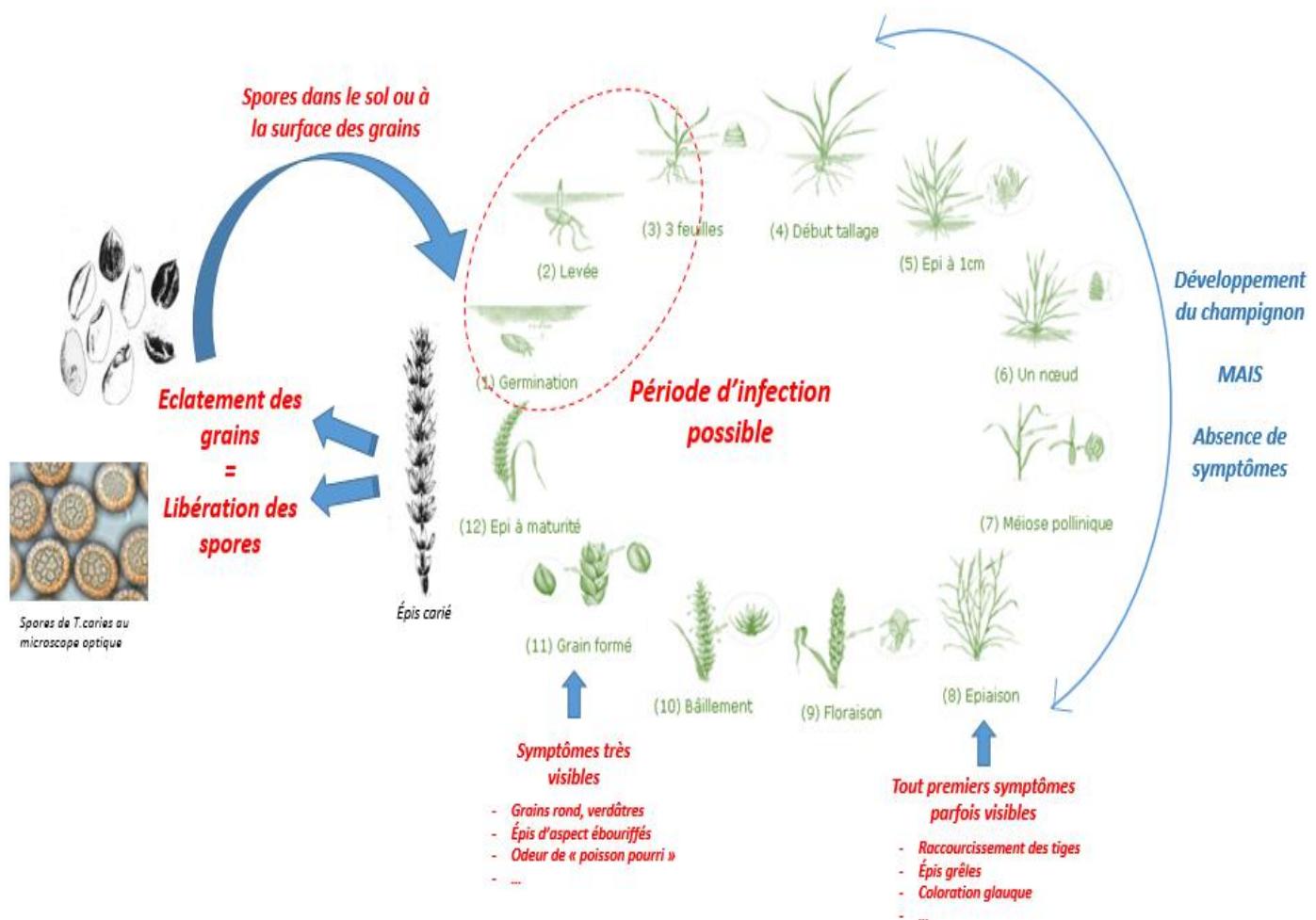


Figure 3: Schéma récapitulant les différentes phases du cycle de développement de la carie commune et ses conséquences par rapport à l'avancée du développement du blé. (Source : Sites « Smut fungi of Australia », « Index ».)

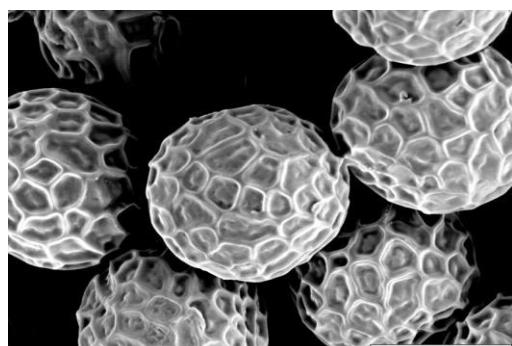


Figure 4 : Spores de *T. caries*.

Ces spores sont observées par microscope électronique à balayage et ont été obtenues sur *Triticum aestivum*. La barre d'échelle mesure 10 µm. (Source : Smut Fungi of Australia)

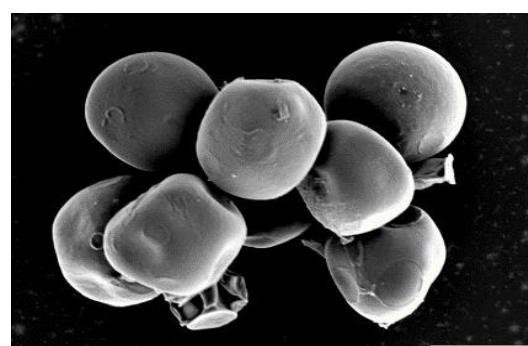


Figure 5 : Spores de *T. laevis*.

Ces spores sont observées par microscope électronique à balayage et ont été obtenues sur *Triticum aestivum*. La barre d'échelle mesure 10 µm. (Source : Smut Fungi of Australia)

1.2. Etat de la littérature sur la Carie du blé

La carie est une maladie très ancienne décrite par Pline l'Ancien (23-79) et dont l'origine fut découverte en 1750 par le naturaliste Tillet. Jusqu'aux années 50, la carie fut notamment la maladie la plus destructrice de blé en région Pacifique Nord-Ouest. Les conséquences économiques pour la filière semence sont importantes puisque les lots cariés ou boutés ne sont pas commercialisables. Une diminution possible du rendement de 80%, une altération de la qualité sanitaire des semences et une très forte capacité de dissémination font de la carie une maladie très préjudiciable pour le blé. Les traitements de semences chimiques ont permis de contrôler cette maladie en agriculture conventionnelle mais la carie reste un risque majeur en agriculture biologique. (Rey *et al.*, 2010)

1.2.1. Cycle de développement du blé tendre

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) appartient à la famille des Poacées. Il s'agit de l'espèce de blé la plus cultivée en France. Son cycle de développement est représenté en annexe I où sont aussi représentées les structures de l'épi et du grain de blé. La figure 3 montre un schéma simplifié du cycle de la carie par rapport au cycle du blé.

1.2.2. La carie du blé

a) Agents pathogènes responsables de la carie commune du blé

Cette maladie largement représentée est provoquée par des champignons hétéro-basidiomycètes, de l'ordre des Ustilaginales, et de la famille des Tillétiacées appartenant au genre *Tilletia* (site uBIO). La carie commune du blé est une maladie provoquée principalement par l'agent *Tilletia caries* (appelée aussi *T. tritici*) mais aussi par *T. levis* (appelé également *T. foetida*) dont les spores sont visibles en figures 4 et 5. Il existe d'autres agents responsables de la carie commune chez le blé dans le monde tels que *T. triticoïdes* ou *T. indica* (Wilcoxson *et al.*, 1996).

b) Cycle de développement de l'agent de la carie commune *T. caries*

Origine de l'infection

L'infection du blé tendre par *T. caries* peut avoir pour origine les spores présentes dans le sol ou véhiculées à la surface des semences. Lors de la moisson, les grains cariés éclatent et libèrent les spores qu'ils contiennent : celles-ci peuvent être transportées par le vent, peuvent se retrouver au niveau du sol ou contaminer directement les semences, d'où un risque de contamination exponentielle si ces semences sont utilisées par la suite. La contamination par les semences constitue la voie la plus directe car elle permet un contact de la spore avec le coléoptile lors de son émergence à la surface du sol. (Rapilly *et al.*, 1971)

Un grain carié contient entre 4 et 9 millions de spores (Champion, 1997) et ces spores peuvent survivre plusieurs années dans le sol ou sur les semences, d'où une très forte capacité de dissémination.

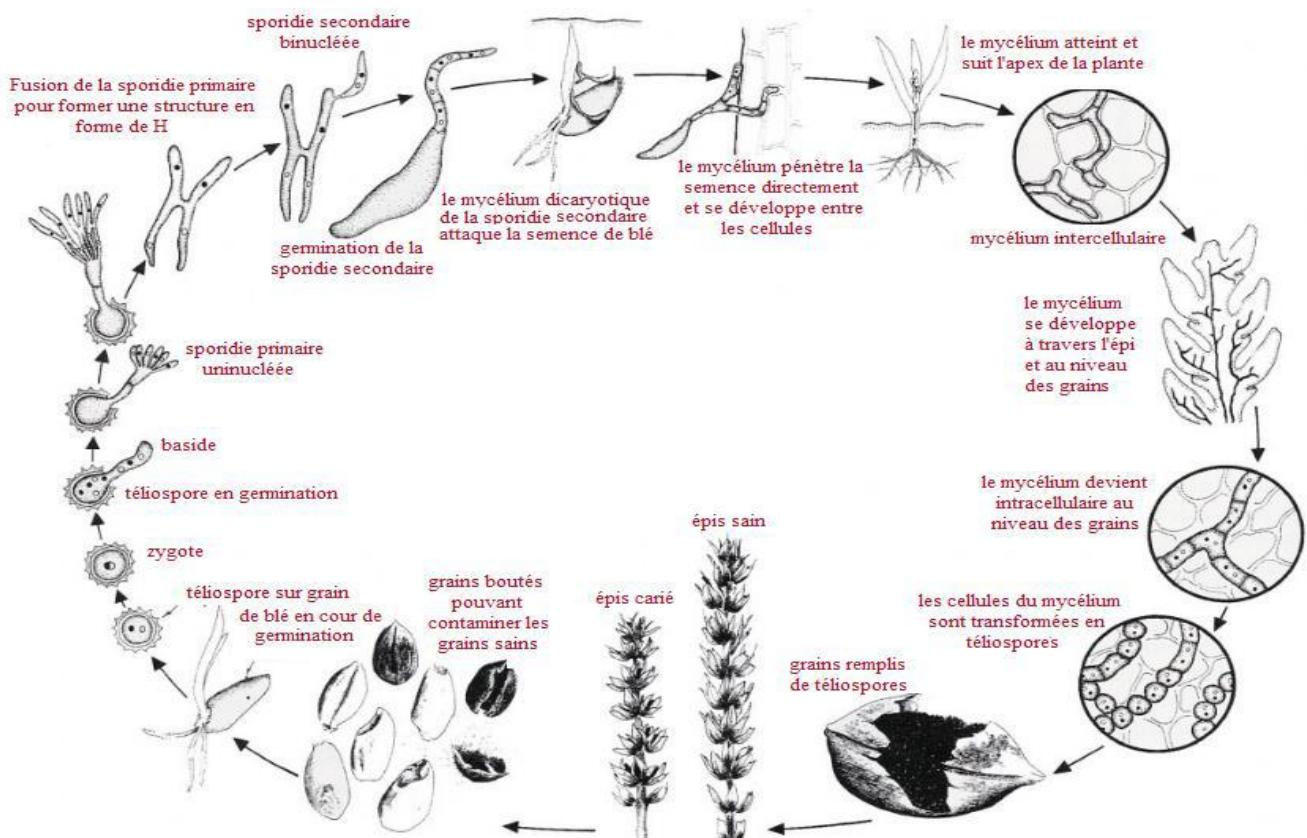


Figure 6 : Cycle de développement détaillé de l'agent *Tilletia caries* responsable de la carie commune du blé. Les différentes étapes de ce cycle sont indiquées en rouge. La contamination du grain de blé peut aussi se faire à partir de spores tombées au niveau du sol. (Source : Site Entofito)



Figure 7 : Symptômes provoqués par la carie commune du blé sur les épis cariés (représentés à droite), par rapport à des épis sains (à gauche).

Taille des épis : environ 15cm.

(Source : Sophie Gambaro, FNAMS 2017)



Figure 8 : Symptômes provoqués par la carie commune sur des grains de blés. Grains cariés remplis de spores (à droite), de forme arrondie et de couleur olive ; par rapport à des grains de blé sains (à gauche) plus allongés, de couleur jaune et avec un sillon très visible.

Taille d'un grain sain : environ 6mm.

(Source : Sophie Gambaro, FNAMS 2017)

Déroulement de l'infection

Les spores de *T. caries* germent avec un optimum entre 5 et 10°C mais la germination diminue à partir de 22°C (Purdy & Kendrick, 1963). Un pH légèrement alcalin et une humidité de 40-50% de la capacité de rétention en eau du sol est favorable à leur germination. Lors de la phase de germination, les spores appelées probasides germent après fusion des deux noyaux formant alors un tube mycélien (baside) (Figure 6). Celui-ci produit des spores haploïdes appelées sporidies qui fusionnent par paire pour produire un mycélium dicaryotique, pénétrant alors le coléoptile après germination de la graine (Rapilly et al., 1971). L'hyphe passe alors au niveau des bases des feuilles et remonte jusqu'au méristème apical où il colonisera le futur épi et ses ovaires. Les probasides produites par la suite seront contenus dans le péricarpe. L'hyphe doit avoir pénétré le méristème avant le début de montaison pour que la maladie se développe. De plus, le champignon ne peut plus pénétrer la plante après le stade 2 feuilles car les parois végétales deviennent trop épaisses (Wilcoxon et al., 1996).

c) Détection visuelle de la maladie

La présence de la maladie est presque indéetectable avant la formation des grains de blé : la carie peut provoquer un léger raccourcissement des plantes, une augmentation du tallage avec des brins mous, des épis grêles ou stériles, mais ces symptômes varient en fonction de la race de *T. caries* et de la variété touchée (Rapilly et al., 1971). Après le stade « grain laiteux », les symptômes sont bien visibles avec l'apparition possible d'une coloration légère bleu-verdâtre (glauque) sur les feuilles et une coloration beaucoup plus marquée sur les épis. Cette coloration se manifeste surtout au niveau du rachis et de la base des glumes. L'épi carié présente généralement un retard de maturation et une forme plus courte que l'épi sain.

Au fur et à mesure de la maturation, les glumes se redressent et donnent un aspect « ébouriffé » à l'épi, laissant visible les grains malades (figure 7). Généralement, tous les grains sont touchés. Les grains cariés sont plus courts et arrondis, légers, trapus à la base, bruns gris et ridés et leur sillon est à peine visible (figure 8). Ils s'écrasent à la moindre pression et libèrent les spores qu'ils contiennent. Un nuage noir lors de la moisson est caractéristique d'une forte présence de carie. Un autre signe caractéristique est une odeur de poisson rance dégagée par les spores à cause de la production de triméthylamine (Malone & Muskett, 1997).

1.2.3. Moyens de lutte contre la carie du blé

a) Utilisation de traitements de semences

En France, la norme est actuellement de « zéro » spore pour les semences non traitées. En effet, une étude menée par le GEVES et la FNAMS en 2013 a montré que le seuil de contamination était seulement de 1 spore/semence (FNAMS, 2014) d'où l'importance de cette norme. La lutte n'étant pas possible en végétation, celle-ci doit se faire le plus en amont possible.

Tableau I : Composition et mode d'action de certains traitements de semences utilisés en agriculture conventionnelle contre la carie du blé. Ceux-ci ont tous une action systémique et permettent de limiter la croissance du champignon.

Traitement	Composition	Mode d'action
VIBRANCE GOLD	Difénoconazole Fludioxonil Sedaxane	<ul style="list-style-type: none"> - Inhibition de la respiration par liaison avec la succinate deshydrogenase - Inhibition de la déméthylation des stérols, d'où inhibition de la biosynthèse de membrane cellulaires composées d'ergostérols - Inhibition de la synthèse de glycérol par inhibition du transport associé à la phosphorylation de glucose <p>(Source : sites AgChemAcces, Zeun <i>et al.</i>, 2013)</p>
CELEST GOLD	Difénoconazole Fludioxonil	<ul style="list-style-type: none"> - Limite la contamination par les semences et le sol (Source : Sage Pesticides, Syngenta) - Action systémique renforçant le coléoptile <p>(Source : site AgChemAcces)</p>
REDIGO	Prothioconazole	<ul style="list-style-type: none"> - Inhibition de la biosynthèse de stérol (Moreau, 2006)
RANCONA 15 ME (micro-emulsion)	Ipconazole	<ul style="list-style-type: none"> - Inhibition de la synthèse d'ergostérols (Source : Site ChEBI)

Tableau II : Mode d'action de certains traitements de semences pouvant être utilisés en agriculture biologique.

Traitement	Mode d'action
COPSEED	<ul style="list-style-type: none"> - Inhibent la germination des spores par effet multi-site (processus respiratoires, synthèse protéique et activité membranaire) (ANSES, 2014)
Cerall	<ul style="list-style-type: none"> - Action antagoniste - Concurrence spatiale et nutritive - Induction d'un phénomène de résistance chez la plante - En laboratoire : meilleur développement de la plante (ANSES, 2008; Boulon, 2010)
Acide acétique	<ul style="list-style-type: none"> - Entraîne une acidité faible qui inhibe la germination des spores (Saidi <i>et al.</i>, 2001)

Les traitements chimiques tels que VIBRANCE GOLD, CELEST NET, REDIGO ou RANCONA 15 ME sont très efficaces vis-à-vis des contaminations des semences et du sol. Leurs compositions et leurs actions sont indiquées dans le tableau I.

Si ceux-ci permettent de lutter efficacement contre la carie en agriculture conventionnelle, il n'existe pas encore de traitements homologués totalement efficaces en agriculture biologique. Deux traitements sont actuellement autorisés : COPSEED et CERALL. CERALL est un produit à base de *Pseudomonas chlororaphis* présentant une efficacité significative mais non totale et assez variable (Robin, 2016). COPSEED, à base de sulfate de cuivre tribasique possède une efficacité beaucoup plus régulière. Les traitements à base d'acide acétique sont efficaces mais parfois phytotoxiques (Saidi *et al.*, 2001). L'action des différents traitements exposés ci-dessus est indiquée dans le tableau II. Enfin, le TILLECUR (fortifiant biologique) formé à partir de farine de moutarde et non homologué pour la lutte contre la carie, présente une efficacité intéressante mais nécessite l'utilisation d'un gros volume de bouillie (Rey *et al.*, 2010).

b) Lutte variétale

L'utilisation de lignées de blé résistantes à la carie du blé est très intéressante en agriculture biologique. Il a été répertorié 15 gènes nommés Bt impliqués dans la résistance à la carie et un facteur de résistance Btp, mais les gènes présents ou non dans de nombreux cultivars ne sont pas encore connus (Wilcoxon *et al.*, 1996). Fofana *et al* ont d'ailleurs démontré en premiers l'existence de 3 QTL (quantitative trait loci) associés à la défense contre la carie, localisés au niveau des chromosomes 1B et 7A et qui expliqueraient 32% des variations phénotypiques. De plus, ce type de résistance serait non race-spécifique et donc permettrait une résistance durable face à la population de pathogène (Fofana *et al.*, 2008).

Dans le monde, les cultivars résistants à la carie commune du blé semblent être principalement concentrés dans une région s'étendant de la Serbie au Monténégro, en passant par la Macédoine, la Turquie et l'Iran. (Bonman *et al.*, 2006)

1.3. Objectif du stage, stratégie adoptée.

Les objectifs de ce stage s'inscrivent dans la problématique de lutter contre la carie du blé, maladie transmise par les semences très préjudiciable et en recrudescence en agriculture biologique. Deux aspects de cette lutte seront traités : (i) l'utilisation de traitements de semences, primordiaux que ce soit en agriculture conventionnelle ou biologique et (ii) l'utilisation des résistances variétales.

Le recours aux traitements de semences est incontournable dans la lutte contre la carie, que ce soit en agriculture conventionnelle ou biologique. L'objectif est d'évaluer au champ l'efficacité de différents traitements de semences chimiques et biologiques dans l'optique de futures homologations notamment, mais aussi pour confirmer ou non l'efficacité de certains traitements de semences déjà homologués.

Le second volet de ce travail s'inscrit dans le cadre du projet CASDAR ABBLE (Carie commune : étude de la variabilité des populations en France en vue du développement d'un test de résistance variétal pour l'inscription des variétés de blé tendre en Agriculture Biologique, 2015-2018). Un test fiable et rapide de résistance variétale doit être développé vis-à-vis des virulences prédominantes en France. Ainsi, la première étape du projet concerne l'étude de la variabilité des espèces et virulences en France. Des épis et des grains cariés ont été collectés dans la France entière, l'inoculum a été multiplié et il s'agit maintenant de déterminer les spectres de virulence des souches collectées. Cette étape sera réalisée par inoculation des souches sur une gamme d'hôtes différentiels. L'objectif sera à terme de choisir les souches les plus représentatives des virulences présentes en France pour les utiliser dans la suite de ce projet.

Tableau III : Récapitulatif des différences au niveau du protocole expérimental entre les deux essais « Evaluation de l'efficacité de traitements de semences contre la carie » et « Identification des spectres de virulence des souches ».

Essai Traitement de semence Projet Carie ABBLE		
Durée de l'essai	Sur une année	Sur trois années
Provenance des spores	Essai Bourges 2016	Régions céréalières de France représentatives de l'agriculture biologique
Nombre de souches de <i>T.caries</i> utilisés	1 seule	11 souches parmi les 20 isolées
Variété de blé utilisée	Une seule : Galactic	15 hôtes différentiels + 4 variétés témoins
Conduite culturale	Semis réalisés directement au champ après contamination et traitement des semences	Semis et inoculation réalisés en condition contrôlé puis repiquage au stade 2-3 feuilles
Notations réalisées	- Densité de levée au stade 2-2,5 feuilles - Densité de levée au stade 3 feuilles - Pourcentage d'épis cariés	Pourcentage d'épis cariés
Analyse statistique	Variance et Test de Tukey ; ou Test de kruskal wallis	Aucune

Tableau IV : Présentation des différents traitements de semences utilisés et du nom de la modalité associé. Les modalités T9 et T10 correspondent à des traitements de semences dont le nom est codé pour des raisons de confidentialité.

Nom de la modalité	Traitement de semence correspondant
T1	Témoin sain non traité
T2	Témoin contaminé non traité
T3	REDIGO 0,1 l/q
T4	CELEST NET 0,2 l/q
T5	COPSEED 0,1 l/q
T6	VINAIGRE 2,0 l/q
T7	VINAIGRE 1,0 l/q
T8	VINAIGRE 0,5 l/q
T9	TS 1502 0,2 l/q
T10	TS 1701 0,2 l/q

2. Matériel et Méthodes

Les deux essais ci-dessous ont été réalisés sur la station de Brain sur l'Authion et présentent le même type de notation. Cependant, leurs conditions de réalisation sont différentes d'où leur distinction en deux parties. Les différences entre les deux essais sont récapitulées dans le tableau III.

2.1. Evaluation de l'efficacité de produits de traitements de semences contre la carie

2.1.1. Préparation du matériel végétal

La contamination artificielle des semences de la variété de blé tendre Galactic a été réalisée par ARVALIS avec *T.caries* à hauteur de 1g de spores par Kg selon la méthode CEB n°42 (Atger et al., 2000). Les spores proviennent d'un essai de la FNAMS à Bourges en 2016. Pour réaliser la contamination, les spores prélevées dans des grains cariés ont été mises avec les semences dans un récipient et repartis au contact des semences lors de l'agitation du récipient. Les différents traitements testés sont indiqués dans le tableau IV. Les traitements ont été appliqués sur les semences avec la machine ROTOSTAT 500 à la station Montardon (1,2 L/q de bouillie).

2.1.2. Conduite de la culture

Après un déchaumage, le semis a été réalisé le 19/10/2016 sur la station de Brain sur l'Authion à faible densité pour faciliter les comptages, avec un semoir EASY DRILL (220 graines/m², sélecteur 40). Pour éviter toute contamination croisée, le semis a été effectué en prenant soin de semer en premier le témoin sain, puis les différentes modalités traitées pour finir par le témoin contaminé non traité. Le dispositif expérimental est un dispositif en blocs (Fisher) à 4 répétitions avec témoins inclus. Chaque parcelle élémentaire fait 10m². En raison du type de semoir utilisé, ce dispositif intègre également une autre variété (Descartes) indiquée en tant que blé de rotation (annexe II).

La parcelle a nécessité plusieurs interventions phytosanitaires : herbicides (DEFI 2,5 L/ha, CHLOROTOCIDE 3L, SEKENS 1,3 L/ha et AXIAL 1,1 L/ha), fongicide (CHEROKEE 1,4 L/ha et ADEXAR 1,2 L/ha) et anti-limace (SLUXX). Une fertilisation a également été apportée avec un apport de 220 Kg/ha 18.46 (18% d'azote, 46% de phosphate) et 250 Kg/ha Kieserit (apport de souffre et de magnésium) le 24/02/17, 80 U d'ammonium 33,5% le 29/03/17 et 40 U le 05/05/17. Ces apports permettent le développement optimal de la culture.



Figure 9: Position approximative des 3 grains de blés devant être ouverts lors des notations. L'épi de gauche est sain, tandis que celui de droite est carié. Les 3 grains ouverts doivent être situés en bas, au milieu et en haut de l'épi car parfois, seule une partie de l'épi est touchée. Ainsi, en ne regardant qu'à un seul endroit, les notations seraient faussées. Les épis mesurent environ 15cm de longueur.

Source : Sophie Gambaro, FNAMS 2017.

2.1.3. Réalisation des observations

Le piquetage des placettes d'observation sur chaque parcelle a été réalisé le 18/10/2016, pour une longueur totale de 6 mètres linéaires (2 placettes par parcelle). Avec 4 répétitions et 2 placettes par parcelle, il y a donc 8 placettes par modalité. Un comptage au stade 2-2,5 et 3 feuilles a été effectué pour évaluer l'impact du traitement de semence sur la levée.

La formule suivante a été appliquée pour déterminer la densité de pied au m² : $((p1 + p2)/6)/0,166$ avec $p1$ = nombre de pied par placette.

Au stade grain laiteux, les épis correspondants à chacune des placettes ont été prélevés au champ, bloc par bloc. Les sacs contenant les épis ont été stockés en chambre froide le temps de réaliser les notations exprimées en pourcentages d'épis cariés. Lors de la notation, 3 grains par épis ont été ouverts de façon à couvrir toute la surface l'épi (figure 9). L'épi est considéré carié lorsque l'un des grains est carié. Sinon, il est considéré comme sain.

Le calcul du pourcentage d'efficacité des traitements a été déterminé à partir de la formule suivante : $100 * (%T_{contaminé} - \% traitement) / \%T_{contaminé}$ avec % : pourcentage d'épis carié et T : Témoin

Après les notations, seuls les épis cariés ont été conservés en chambre froide pour servir d'inoculum lors de futurs essais et le reste a été détruit. A ce stade, les épis cariés sont très facilement repérables mais les observations ne doivent toutefois pas se faire plus tard, car les grains cariés pourraient éclater et libérer les spores de caries. Ainsi, les épis restants ont été fauchés au stade grain pâteux au plus tard et retirés pour être détruits.

2.1.4. Analyse statistique

Les tests statistiques ont été menés avec le logiciel RStudio Version 0.98.1103 - © 2009-2014 RStudio, Inc où Le package Agricolae version 1.2-4 a également été utilisé. D'autres tests ont été réalisés avec ExcelSTAT. Les résultats sont présentés dans les annexes VI à IX.

Une analyse de variance (anova) est réalisée pour chaque résultat, suivie d'un test de Tukey en cas de différences significatives. En cas de non vérification des conditions d'utilisation de l'anova, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé.

Tableau V : Hôtes différentiels (HD) provenant de la gamme de Metzger ainsi que les 4 variétés témoins utilisés lors de cet essai. Les gènes de résistance présents respectivement dans chaque hôte différentiel sont également indiqués. HD1 est un témoin sensible à la carie de par l'absence de gène de résistance (Bt-0 dans le tableau). Les gènes de résistances ne sont pas connus pour les variétés témoins mais il est possible qu'ils en aient.

Hôtes différentiels et variétés témoins	Référence/ Dénomination	Gènes de résistance
HD 1	Heines VII	Bt-0
HD 2	Sel. 2092	Bt-1
HD 3	Sel. 1102	Bt-2
HD 4	Ridit	Bt-3
HD 5	CI 1558	Bt-4
HD 6	Hohenheimer	Bt-5
HD 7	Rio	Bt-6
HD 8	Sel. 50077	Bt-7
HD 9	PI 173438/Eg	Bt-8
HD 11	Eg/PI 178383	Bt-9
HD 12	Eg/PI 178383	Bt-10
HD 13	Eg/Pi 166910	Bt-11
HD 14	PI 119333	Bt-12
HD 15	Thule III	Bt-13
HD 17	Carlton	Bt-15 (tétraploïde)
APA	Apache	Aucun
ARE	Arezzo	Aucun
REN	Renan	Aucun
LUK	Lukullus	Aucun

2.2. Projet Carie ABBLE – Identification des spectres de virulence des différentes souches

2.2.1. Obtention des différentes souches de *T.caries* et des plantules contaminées

L'année précédente, la SNES et la FNAMS ont multiplié l'inoculum de 20 isolats initialement collectés à partir de grains boutés provenant de régions céréalières françaises. Ces isolats sont répartis entre deux sites à raison de 10 isolats par site et 1 isolat en commun entre les sites de la FNAMS à Brain-sur-l'Authion et de la FREDON Nord Pas de Calais à Auchy-les-Mines. Il a été décidé que chaque isolat serait considéré comme une souche de carie, mais il est tout à fait possible que des isolats soient en réalité la même souche, ou alors qu'il y ait plusieurs souches dans un seul isolat, de par l'utilisation de grains boutés (spores à la surface du grain pouvant provenir de plusieurs souches).

Les 11 souches de carie étudiées par la FNAMS sont nommées S1 à S11. Les 15 variétés de blé d'hôtes différentiels (HD) sont indiquées dans le tableau V de même que le nom des variétés utilisées comme témoin. Les hôtes différentiels sont initialement au nombre de 17, mais les HD 10 et 16 n'ont pas été retenus car ils possèdent plusieurs gènes de résistance et parce que la réponse du HD16 est également instable.

L'inoculation des semences par chaque souche ainsi que le semis se fait en conditions contrôlées. Semer en conditions contrôlées permet d'avoir des températures froides favorables à la germination des spores et ralentissant le développement de la plante, d'où une période sensible de contamination par la carie plus longue. Ces semis ont ainsi été réalisés en plaque micro-mottes et les plantules exposées à des températures favorables à la germination des spores de *Tilletia* : 4°C pendant 3 semaines puis 18-20°C et 16h de lumière pendant deux semaines (jusqu'au stade 2 feuilles). L'inoculation a été réalisée par la même méthode que précédemment. Cette étape fut réalisée par le GEVES qui a également contrôlé le taux de contamination.

2.2.2. Conduite de la culture

Un travail de déchaumage et de rotobèche ont été effectués en amont du repiquage (19/10/16). Le repiquage des plantules au stade 2-3 feuilles fut ensuite réalisé les 02/12/16 et 05/12/16 par la FNAMS à la station de Brain sur l'Authion où 25 plantules ont été repiquées par modalité (souche x variété) avec un dispositif de 3 répétitions. Le plan du semis est indiqué en annexe III. Toutes les différentes modalités sont récapitulées dans l'annexe IV de même que la dénomination exacte du lot correspondant à chaque souche (Annexe V). Pour chaque répétition, les hôtes différentiels sont groupés par souche par souci de clarté.

Des interventions phytosanitaires ont été réalisées : herbicides (ROUND UP 3 L/ha, SEKENS 1,3 L/ha et AXIAL 1,1 l/ha) et fongicide (CHEROKEE 1,4 L/ha et ADEXAR 1,2 L/ha). De même, 220 Kg/ha 18.46 (18% d'azote, 46% de phosphate) et 250 Kg/ha Kieserit (apport de souffre et de magnésium) ont été apportés le 24/02/17, 80 U et 40 U d'ammonium 33,5% respectivement le 29/03/17 et 05/05/17. Ces apports permettent le développement optimal de la culture.

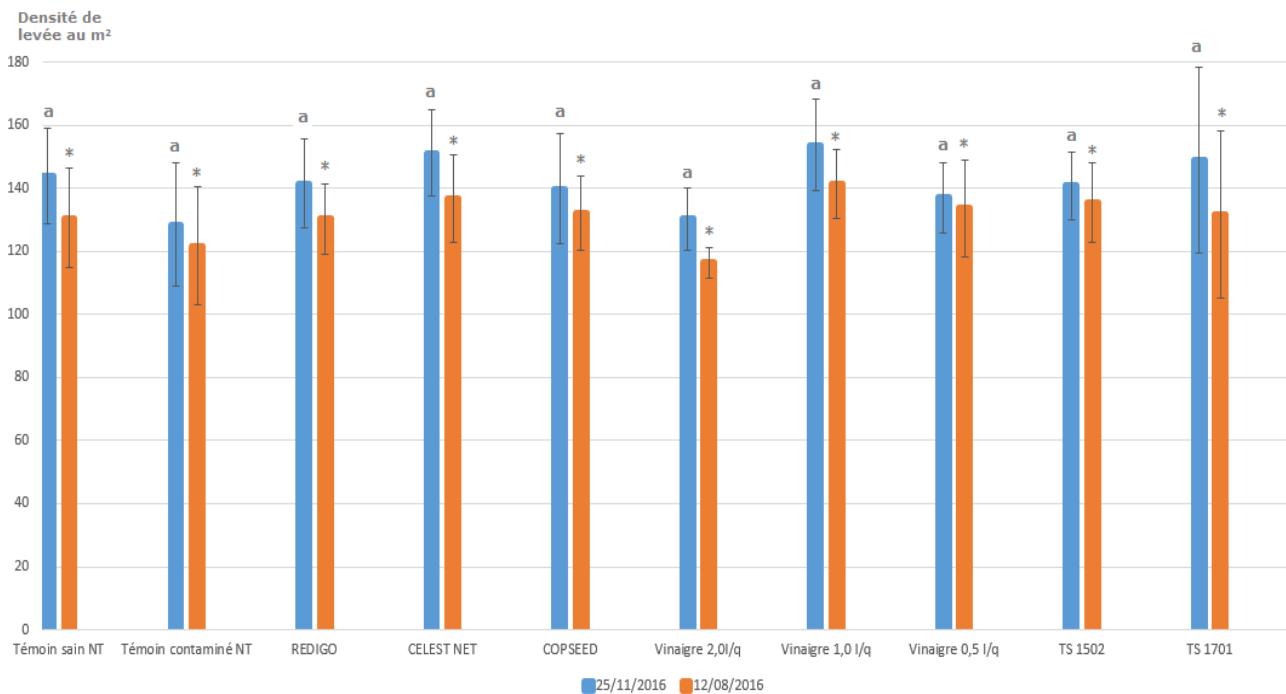


Figure 10 : Densité de levée au m² du blé en fonction des différents traitements de semences appliqués ou non sur les semences. Cette mesure a été réalisée le 12/08/2016 et le 25/11/2016, les dates correspondant respectivement aux stades 2-2,5 et 3 feuilles du blé.

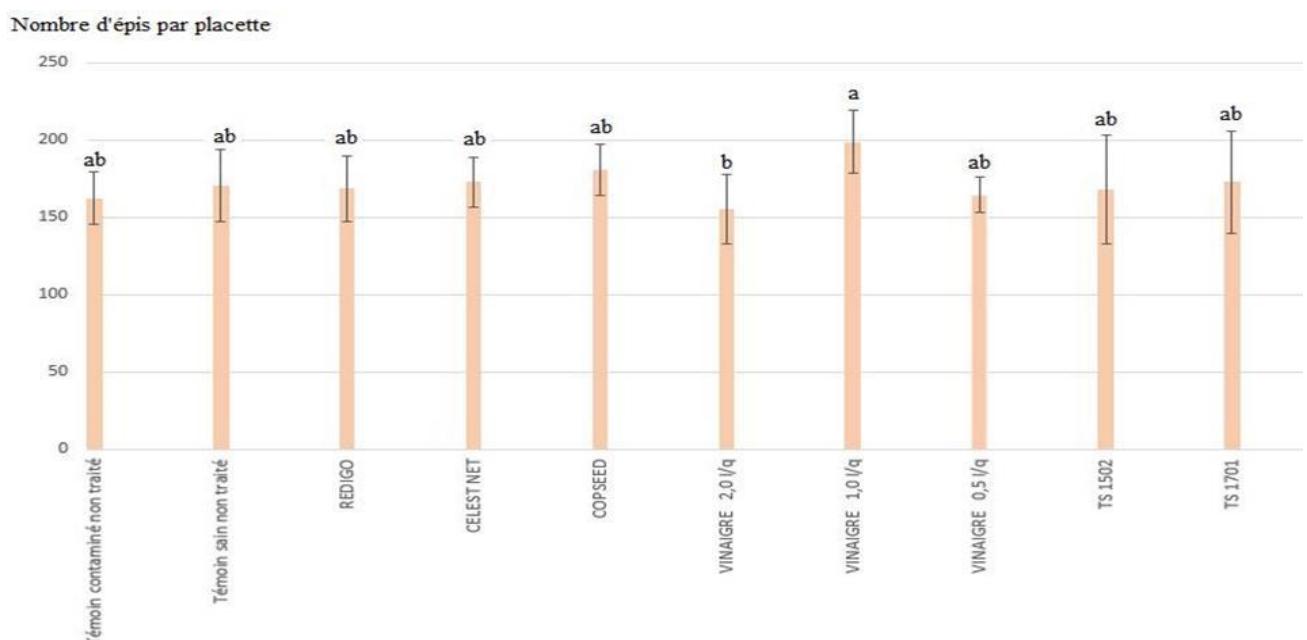


Figure 11 : Nombre d'épis moyen présents par placette au niveau de chaque modalité

2.2.3. Réalisation des observations

Les notations sont réalisées au stade grain laiteux-pâteux avec un prélèvement de 25 épis par répétition, soit 75 épis notés au total par modalité. Comme précédemment, les épis prélevés ont été stockés en chambre froide jusqu'à notation. Les notations sont exprimées en pourcentage d'épis cariés et s'effectuent de la même façon que précédemment. Les épis cariés ont été conservés souche par souche pour servir d'inoculum lors de futurs essais. De même, après notations, tous les épis ont été fauchés au stade grain pâteux au plus tard et retirés de la parcelle pour être détruits. Une souche sera considérée ici comme virulente sur l'hôte différentiel lorsque le pourcentage d'épis carié sera supérieur à 10%.

3. Résultats

3.1. Evaluation de l'efficacité des traitements de semences contre la carie

3.1.1. Impact sur la densité de levée

La densité de levée par m^2 du blé en fonction du traitement de semences utilisé ou non sur les semences a été déterminée aux stades 2-2,5 feuilles et 3 feuilles (Figure 10). Au stade 2-2,5 feuilles, celle-ci est en moyenne de 144 pieds par m^2 pour le « témoin sain non traité ». A ce stade, il n'y a aucune différence significative de levée entre les semences saines non traitées et les semences contaminées non traitées. De même, il n'y a aucune différence significative de densité de levée entre les semences non traitées (« Témoin non contaminé non traité » et « Témoin contaminé non traité ») et les semences traitées pour lesquelles la densité moyenne varie de 130 à 155 pieds/ m^2 . Au stade 3 feuilles, la densité s'élève à 131 pieds/ m^2 pour la modalité « Témoin non contaminé » et varie entre 116 et 141 pieds/ m^2 pour les autres modalités avec traitement de semence. Comme précédemment, il n'y a pas de différence significative entre les modalités. Ces traitements de semences ne semblent donc pas avoir d'impact négatif sur la densité de levée.

3.1.2. Impact sur le nombre d'épis

La figure 11 montre le nombre d'épis moyen retrouvés par placette au niveau de chaque modalité. Il est de 171 pour la modalité « Témoin sain non traité » et varie entre 155 et 199 épis par placette pour les autres modalités. Ce nombre d'épis par placette de la modalité « Vinaigre 2,0 l/q » est significativement inférieur à celui de la modalité « Vinaigre 1,0 l/q » (155 épis contre 199 en moyenne). Cependant, ces valeurs ne sont pas significativement différentes de celles des autres modalités, y compris la modalité « vinaigre 0,5 l/q ».

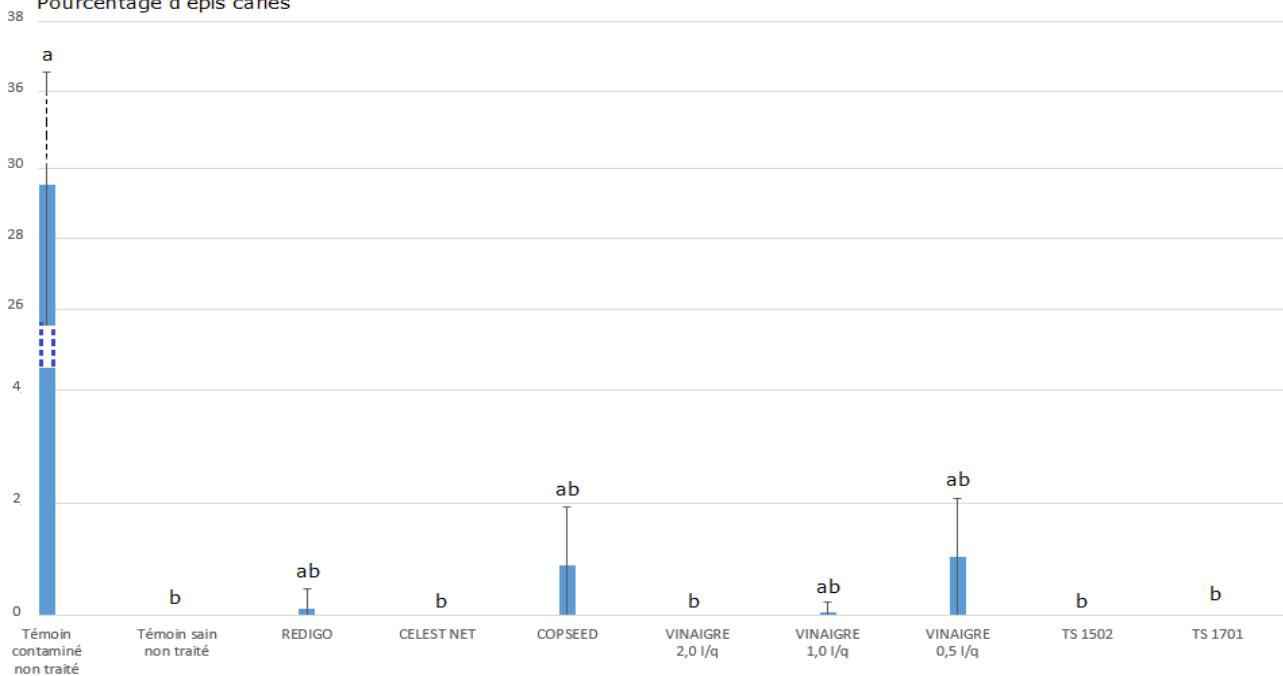


Figure 12 : Pourcentage d'épis cariés retrouvé en fonction du traitement de semence appliquée.

Tableau VI: Efficacité des différents traitements de semence exprimée en pourcentage, déterminée à partir du pourcentage d'épis cariés retrouvé avec le témoin contaminé non traité.

	REDIGO	CELEST NET	COPSEED	Vinaigre 2,0 l/q	Vinaigre 1,0 l/q	Vinaigre 0,5 l/q	TS 1502	TS 1701
Efficacité	99,57 %	100 %	96,95 %	100 %	99,78 %	96,43 %	100 %	100 %

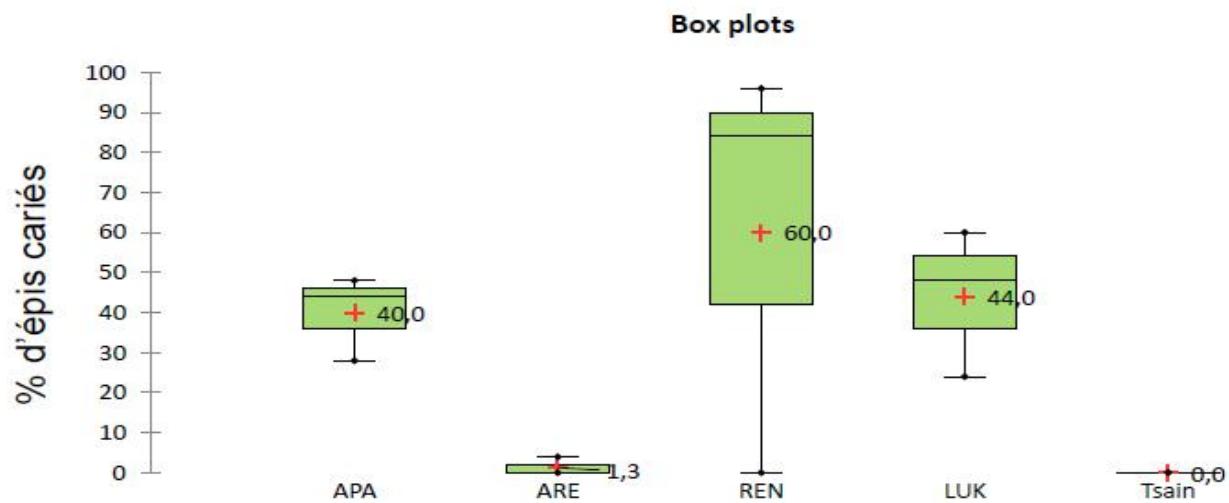


Figure 13: Répartition des pourcentages d'épis cariés des quatre témoins Apache (APA), Arezzo (ARE), Renan (REN) et Lukullus (LUK) ainsi que du témoin sain ; contaminés avec la souche de référence S1.

3.1.3. Efficacité des traitements de semences contre la carie

Le pourcentage d'épis cariés moyen obtenu pour chaque modalité est indiqué dans la figure 12. Ce pourcentage est de 29,5% pour la modalité « Témoin contaminé non traité », tandis qu'il est de 0% pour « Témoin sain non traité ». L'essai est donc validé car la maladie est bien présente, et il n'y a pas de contamination par le sol.

Le témoin contaminé non traité fait partie d'un premier groupe statistique « a » avec le plus important taux de contamination (29,5%). Le 2^{ème} groupe statistique « b » est formé du témoin sain et des traitements « TS 1502 », « TS 1701 », « CELEST NET » et « Vinaigre 2,0 l/q avec un pourcentage nul d'épis cariés. Enfin, les autres traitements font partie d'un 3^{ème} groupe statistique « ab » et présentent des taux de contamination intermédiaires variant entre 0,07 et 1,06 % d'épis cariés. Les traitements faisant partie de ce groupe (« COPSEED », « REDIGO », « Vinaigre 0,5 l/q » et « Vinaigre 1,0 l/q ») ne sont ni significativement différents du groupe « a », ni significativement différents du groupe « b ».

En termes d'efficacité (tableau VI), les traitements « Celest Net », « Vinaigre 2,0 l/q », « TS 1502 » et « TS 1701 » présentent une efficacité de 100% tandis que l'efficacité de Copseed », « Redigo », « Vinaigre 0,5 l/q » et « Vinaigre 1,0 l/q varie entre 96,43% et 99,78% d'efficacité.

3.2. Identification des spectres de virulences des différentes souches

Les pourcentages d'épis cariés obtenus chez les quatre témoins sont relativement homogènes entre chaque bloc, sauf pour le témoin Renan (Figure 13) pour lequel on passe de 0% à 90% d'épis cariés. Ces valeurs restent inexplicables car d'autres prélèvements ont été réalisés et ont donné les mêmes résultats.

Le tableau VII montre le pourcentage moyen d'épis cariés obtenu chez les 4 témoins contaminés par la souche 1. Le témoin sain ne présente aucun épi carié. Les résultats mettent également en évidence que la variété de blé Arezzo est très peu sensible à la carie avec un pourcentage d'épis cariés très faible (1%) tandis que les trois autres variétés Apache, Renan et Lukullus sont très sensibles. En effet, Renan présente un taux d'épis carié de 60%, et Apache et Lukullus un taux de 40% et 44%, respectivement.

La répartition des pourcentages d'épis cariés des hôtes différentiels inoculés par la souche 1 est indiquée dans la figure 14. Si la plupart des hôtes différentiels sont très résistants (aucun épi carié trouvé), les HD1 (témoin sensible), HD3, HD8 et HD17 sont sensibles vis-à-vis de la souche 1 de référence.

Tableau VII : Pourcentage d'épis cariés obtenu chez les 4 témoins après contamination par la souche 1.

	Apache	Arezzo	Renan	Lukulus	Témoin sain
Pourcentage d'épis cariés	40%	1%	60%	44%	0%

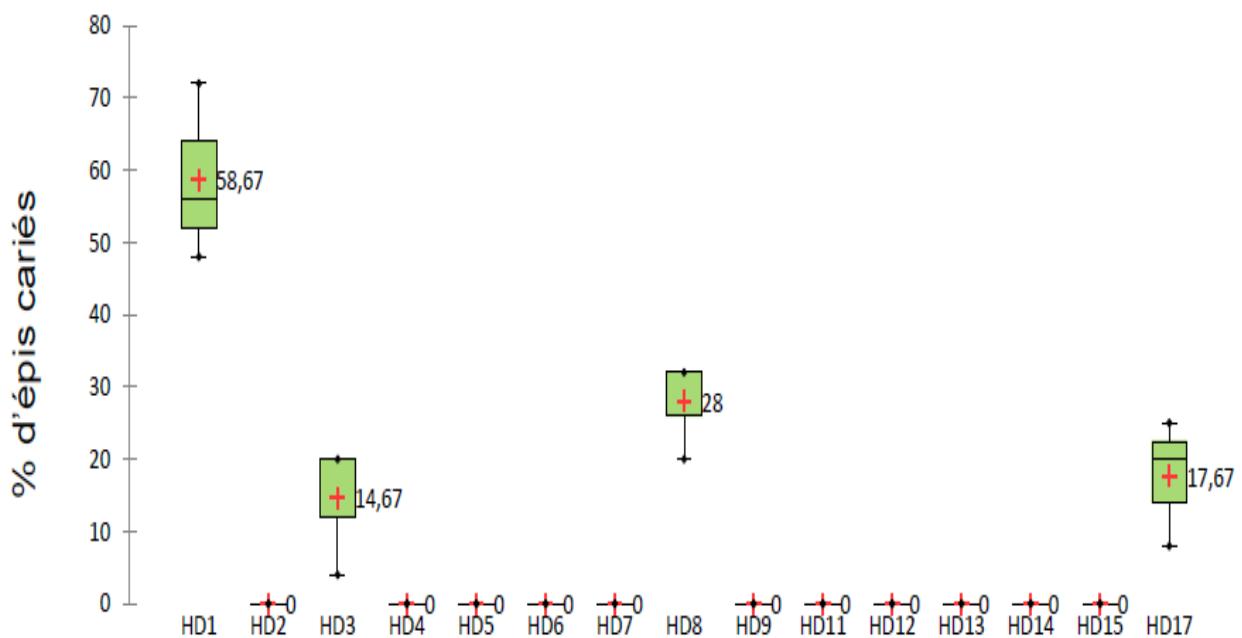


Figure 14 : Répartition des pourcentages d'épis cariés des hôtes différentiels (HD) inoculés par la souche de référence S1.

Le tableau VIII indique l'intensité de l'attaque de la gamme différentielle inoculée avec les 11 souches de caries, exprimée en pourcentage d'épis cariés.

Le profil de virulence obtenu pour chaque souche est très différent. En effet, la souche 1 est virulente sur HD1, HD3, HD8 et HD17. Les souches 2, 6, 8 et 10 sont virulentes sur HD1 uniquement, tandis que les souches 3, 9 et 11 le sont sur HD1 et HD8. La souche 4 est virulente sur HD1, HD2 et HD8, tandis que la souche 5 l'est sur HD1, HD3 et HD8. Enfin, la souche 7 est virulente sur HD1, HD8 et HD17.

Les intensités d'attaques des différentes souches sur HD1 diffèrent également puisque que les pourcentages d'épis cariés varient de 26% pour la souche 11 à 59% pour les souches 1 et 4. De même, le pourcentage d'épis cariés retrouvé chez les différents hôtes différentiels, lorsqu'il y a virulence, n'est pas identique pour chaque souche.

Enfin, ce tableau indique que la majorité des souches présentent une virulence contre le gène de résistance Bt-7 (7 souches sur 11) et dans une moindre mesure contre les gènes Bt-2 et Bt-15 (2 souches sur 11). Seule la souche 4 est virulente vis-à-vis du gène de résistance Bt-1.

Le tableau IX montre l'intensité de l'attaque de la gamme différentielle inoculée avec les 11 souches de caries, exprimée par rapport au pourcentage d'épis cariés du témoin sensible (HD1).

Les profils de virulence obtenus sont alors légèrement différents par rapport au tableau précédent puisque la souche 4 est devenue virulente contre le gène de résistance Bt-2 (15%), la souche 8 est devenue virulente contre Bt-2 (15%) et Bt-7 (15%), les souches 9 et 10 sont devenues virulentes contre le gène Bt-15 (respectivement 15 et 18%) et la souche 11 est devenue virulente contre Bt-11 (12%).

Certaines souches affichent des pourcentages d'épis cariés supérieurs à 100% par rapport à ceux des témoins HD1. Cela est observé uniquement avec l'hôte différentiel 8 inoculé avec la souche 4 (112% d'épis cariés), la souche 5 (107%) et la souche 11 (142%) par rapport au témoin sensible (HD1).

Tableau VIII : Intensité de l'attaque de la gamme différentielle inoculée avec les 11 souches de caries, exprimée en pourcentage d'épis cariés. Dans une optique de simplifier ce tableau, les cases sont restées vides lorsque le pourcentage d'épis cariés est de 0%. Le code couleur utilisé (beige – jaune – orange – rouge) correspond à l'importance de ce pourcentage où les pourcentages en beige sont considérés comme insuffisants (<10%) pour parler de souche virulente vis-à-vis de l'hôte différentiel (HD).

HD	GENE DE RESISTANCE	SOUCES PATHOGENES										
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
1	Bt-0	59%	52%	43%	59%	27%	47%	49%	53%	52%	39%	26%
2	Bt-1				33%							
3	Bt-2	15%			9%	11%			8%			
4	Bt-3											
5	Bt-4											
6	Bt-5											
7	Bt-6											
8	Bt-7	28%	4%	39%	66%	29%		27%	8%	44%		37%
9	Bt-8											
11	Bt-9											
12	Bt-10											
13	Bt-11											3%
14	Bt-12											
15	Bt-13						1%					
17	Bt-15	18%	3%		3%			13%	1%	8%	7%	1%

Tableau IX : Intensité de l'attaque de la gamme différentielle inoculée avec les 11 souches de caries, exprimée en pourcentage d'épis cariés par rapport au pourcentage d'épis cariés du témoin sensible HD1. Dans une optique de simplifier ce tableau, les cases sont restées vides lorsque le pourcentage d'épis cariés est de 0%. Les cases ont été colorées en vert pâles lorsqu'il y avait un pourcentage d'épis carié insuffisant pour décréter une virulence (<10%). Les valeurs en bleu sont supérieures à 100% mais peuvent être considérées égales aux 100% des témoins sensibles.

HD	GENE DE RESISTANCE	SOUCES PATHOGENES										
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
1	Bt-0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	Bt-1				56%							
3	Bt-2	25%			15%	41%			15%			
4	Bt-3											
5	Bt-4											
6	Bt-5											
7	Bt-6											
8	Bt-7	48%	8%	91%	112%	107%		55%	15%	85%		142%
9	Bt-8											
11	Bt-9											
12	Bt-10											
13	Bt-11											12%
14	Bt-12											
15	Bt-13						2%					
17	Bt-15	31%	6%		5%			26%	2%	15%	18%	4%

4. Discussion

4.1. Evaluation de l'efficacité de traitements de semences contre la carie

4.1.1. Impact sur la levée et le nombre d'épis

Aucun des traitements de semences utilisés ne semble affecter la levée des plantes dans cet essai, que ce soit au stade 2 ou 3 feuilles. Les traitements de semences n'ont donc pas entraîné de phytotoxicité dans cet essai.

Le même essai a été réalisé à la station FNAMS de Bourges dont les densités de levée au m^2 obtenues sont indiquées dans la figure 15. La densité de levée varie de 220 à 248 plantes par m^2 et il n'y a aucune différence significative entre les différentes modalités traitées et les témoins non traités. Ces résultats confirment l'absence de phytotoxicité des traitements de semences testés.

Pourtant, certains traitements tels que le vinaigre auraient pu présenter des problèmes de levée. En effet, d'après l'étude menée par Borgen et Nielsen en 2001, une réduction de la vigueur germinative du blé est observée dès 2 l/q pour des solutions à 30 et 99,9% en acide acétique, et dès 3 l/q pour des solutions à 10 et 20%. Par contre, aucun impact sur la vigueur germinative n'a été observée pour des solutions à 5% avec des apports de 0,5 à 5 l/q (Borgen & Nielsen, 2001).

Toutefois, dans cet essai (essai de Brain 2017) le vinaigre utilisé présente une concentration en acide acétique inférieure à 10% avec une application maximale de 20 mL/kg (soit 2l/q), ce qui serait insuffisant d'après cette étude pour observer un effet sur la vigueur germinative. Cependant, une étude menée par la FREDON de 2010 à 2013 a montré que si le vinaigre n'a pas d'effet phytotoxique à 0,5 et 1 l/q, ce n'est pas le cas à une concentration de 2l/q. En effet, cette concentration a entraîné une diminution d'environ 20% de la levée par rapport au témoin non traité (Bruyère, 2013). Ainsi, ces résultats sont en opposition avec l'étude de Borgen et Nielsen (2001) et ceci témoigne donc de l'importance de réaliser plusieurs études.

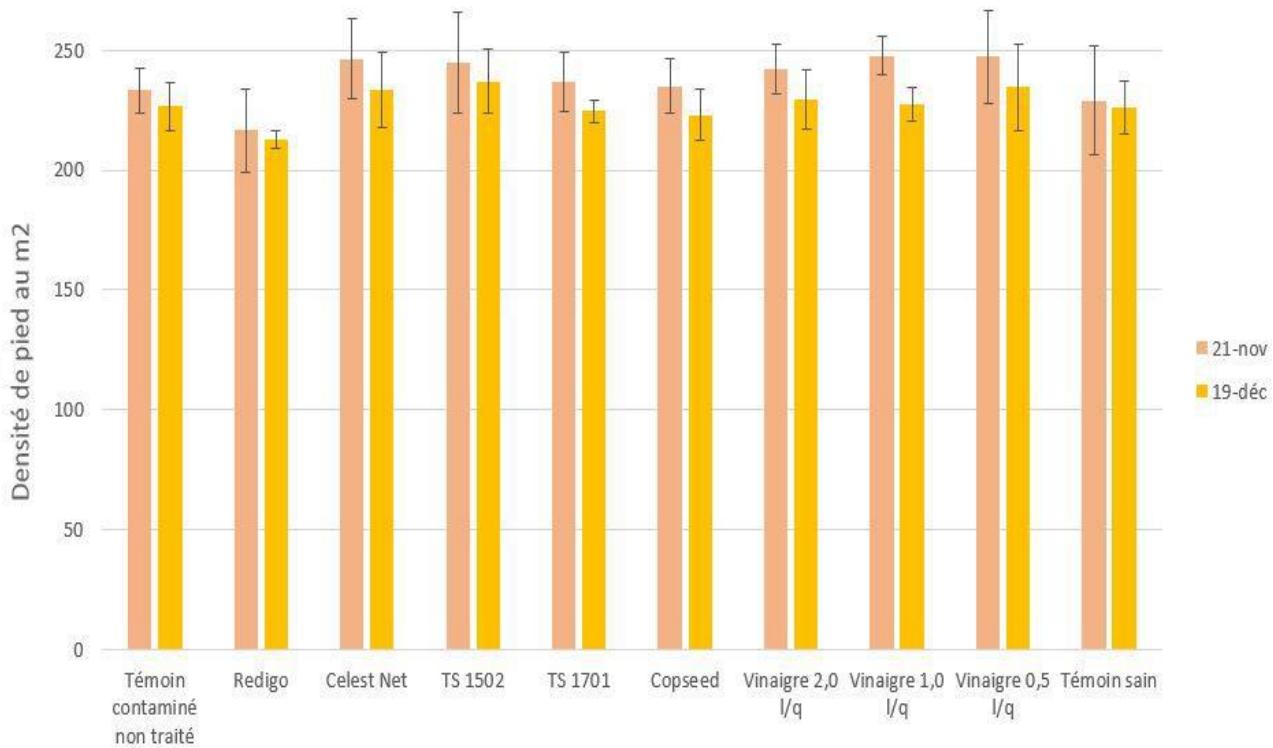


Figure 15 : Densité de levée au m² en fonction de chaque modalité mesurée à la station de Bourges le 21 novembre et le 19 décembre. L'absence de lettre indique qu'il n'y a pas de différences significatives entre les modalités.

Tableau X : Comparatif des pourcentages d'épis cariés obtenus dans chaque modalité et d'efficacité de chaque traitement entre l'essai de Brain sur l'Authion et l'essai de Bourges

	Brain sur l'Authion (49)		Bourges (18)	
	Pourcentage épis cariés	Pourcentage d'efficacité	Pourcentage épis cariés	Pourcentage d'efficacité
Témoin contaminé non traité	29,53%	/	42,74%	/
Redigo	0,13%	99,57%	0%	100%
Celest Net	0%	100%	0%	100%
Copseed	0,90%	96,95%	3,84%	91%
Vinaigre 2 l/q	0%	100%	1,45%	97%
Vinagre 1 l/q	0,07%	99,78%	0,86%	97,98%
Vinaigre 0,5 l/q	1,06%	96,43%	6,05%	85,83%
TS 1502	0%	100%	0,07%	99,83%
TS 1701	0%	100%	0%	100%

Les résultats obtenus dans le cadre de nos travaux montrent que la modalité « Vinaigre 2l/q » présente la plus faible densité au m² au stade 3 feuilles sur l'essai de Brain, même si cette densité n'est pas significativement différente avec les autres modalités (figures 10) Par ailleurs, cette différence est probablement à l'origine de la différence significative du nombre d'épis observée entre les modalités « Vinaigre 1,0 l/q » et « Vinaigre 2,0 l/q ». C'est pourquoi il est difficile d'établir si le traitement de semences à base de vinaigre à 2l/q entraîne une phytotoxicité ou non.

Concernant le traitement Copseed, l'absence d'impact sur la levée confirme l'avis de l'ANSES relatif à la demande d'autorisation de mise sur le marché signée le 4 aout 2014. En effet, celui-ci indiquait que dans le cadre d'un traitement de semences, le cuivre n'est pas absorbé par la plante et que le risque d'impact négatif sur celle-ci est limité. De plus, ce traitement n'aurait aucun effet négatif sur le nombre de pieds levés lors de cette étude (ANSES, 2014).

De même, les densités de levée obtenues confirment les résultats des études menées par l'ANSES, indiquant que les traitements REDIGO, CELEST NET et COPSEED ne présentent aucun symptôme de phytotoxicité et d'effet négatif sur la levée des céréales (ANSES, 2012a; ANSES, 2012b; ANSES, 2008).

4.1.2. Efficacité des traitements contre la carie

Les résultats de taux d'épis cariés obtenus dans cet essai avec les différents témoins (contaminés et sains) permettent de valider les conditions de l'essai. Ainsi, le taux d'épis cariés obtenu pour le témoin contaminé non traité permet d'évaluer l'intensité de la maladie alors que le témoin sain permet d'évaluer une éventuelle contamination par le sol.

Dans notre essai, les 29,5% d'épis cariés obtenus dans le témoin contaminé sont suffisants pour évaluer l'efficacité des traitements de semences et l'absence d'épis cariés dans le témoin sain confirme que le sol est indemne de spores de carie. Les traitements semences testés apportent pour certains une protection totale contre la carie (CELEST NET, Vinaigre 2l/q, TS 1502 et TS 1701) et pour d'autres une protection partielle (REDIGO, COPSEED, Vinaigre 1 et 0.5l/q).

Le même essai a été réalisé sur la station de Bourges dont le comparatif des résultats obtenus entre les stations de Bourges et Brain sur l'Authion est présenté dans le tableau X. Ces résultats montrent tout d'abord que la pression de la maladie a été plus élevée à la station de Bourges (42,74% d'épis cariés) qu'à celle de Brain sur l'Authion (29,5% d'épis cariés). Cette différence peut probablement s'expliquer par des conditions météorologiques différentes dans les deux sites. En effet, un temps plus froid ralentit la croissance du blé et donc laisse plus de temps au champignon de pénétrer la plante avant qu'elle atteigne le stade 2 feuilles, stade où la plante n'est plus sensible. Ainsi, en raison de cette pression plus forte, les taux d'épis cariés sont plus élevés à Bourges qu'à Brain. De plus, même si les résultats obtenus avec les différents traitements de semences sont relativement similaires entre les deux sites, des différences sont observées sur le taux d'épis cariés et l'efficacité de quelques traitements de semences.

Tableau XI : Comparatif des groupes statistiques pour le pourcentage d'épis cariés retrouvé dans chaque traitement entre l'essai de Brain et l'essai de Bourges.

Station de Brain sur l'Authion		Station de Bourges	
Traitement	Groupe	Traitement	Groupe
Celest Net	A	Redigo	A
Vinaigre 2,0 l/q	A	Celest Net	A
TS 1701	A	TS 1701	A
TS 1502	A	TS 1502	A
Vinaigre 1,0 l/q	A	Vinaigre 1,0 l/q	A
Redigo	B	Vinaigre 2,0 l/q	B
Copseed	A	Copseed	A
Vinaigre 0,5,0 l/q	B	Vinaigre 0,5,0 l/q	B
Témoin contaminé	B	Témoin contaminé	B

Ainsi, pour la station de Brain, le nombre d'épis cariés sur les traitements « Vinaigre 1,0 l/q », « Vinaigre 0,5 l/q », « Redigo » et « Copseed » ne sont pas significativement différents de ceux retrouvés sur le témoin contaminé non traité ; alors que dans la station de Bourges, le traitement « Redigo » est significativement différent et mais pas le traitement « Vinaigre 2,0 l/q » (Tableau XI). Dans les deux cas, les résultats de l'analyse statistique sont surprenants de par la grande différence de pourcentage d'épis cariés entre la modalité « Témoin contaminé » et les autres modalités avec traitements de semences ; la formation de 3 groupes statistiques distincts aurait été plus attendue. Par exemple, dans l'essai de Brain, le pourcentage d'épis cariés passe de 29,5% à 1,1% pour la modalité « Vinaigre 0,5 l/q », celle ayant le plus grand pourcentage.

Enfin, afin de prendre en compte les différents facteurs impactant l'importance de la maladie, il est essentiel de comparer les pourcentages d'efficacité de chaque traitement et non le pourcentage d'épis touchés pour comparer les traitements d'un essai à l'autre. En effet, les traitements « COPSEED » à Brain et « Vinaigre à 2 l/q à Bourges » ont tous les deux obtenu une efficacité d'environ 97% mais le pourcentage d'épis cariés est respectivement de 0,9 et 1,45 % ; soit un pourcentage 1,6 fois plus important.

a) Copseed

Si le traitement Copseed démontre une assez bonne efficacité à Brain avec seulement 0,9% d'épis carié, le pourcentage d'épis cariés à Bourges est plus important, notamment par une pression de la maladie plus élevée. Ainsi en termes d'efficacité, le Copseed est de seulement 91% à Bourges contre environ 97% à Brain.

D'après les résultats publiés dans « Perspectives Agricoles » (Essai Montans Mars 2015), le traitement Copseed utilisé également à 0,1 l/q, affiche sur 11 essais une efficacité allant de moins de 40% à presque 100%, pour une moyenne de 83% (Robin, 2015). De plus, la FNAMS également en 2015 avait obtenu 66% d'efficacité pour ce traitement (FNAMS, 2016). L'efficacité obtenue lors de cet essai de 2017 que ce soit à Brain ou Bourges est donc supérieure à la moyenne d'efficacité de ce traitement ; mais il y a visiblement un problème de régularité vis-à-vis de son efficacité contre la carie. De plus, elle n'est jamais totale et protège essentiellement les semences contaminées. En effet, en cas de sol contaminé, l'efficacité du COPSEED passe à environ 50% ce qui serait donc insuffisant (ARVALIS Institut du végétal, 2016).

Le Copseed semble être relativement efficace dans cet essai, mais le manque de régularité de son efficacité pourrait s'avérer problématique pour l'agriculteur.

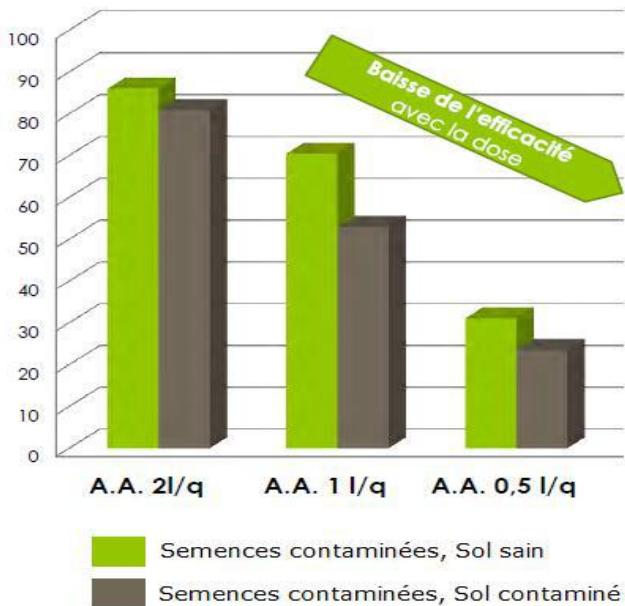


Figure 16 : Efficacité moyenne du Vinaigre (composé d'acide acétique abrégé AA) à différentes doses par rapport au témoin contaminé non traité lors de la campagne 2010-2012 menée par la FREDON Nord-Pas-de-Calais (Bruyère, 2013).

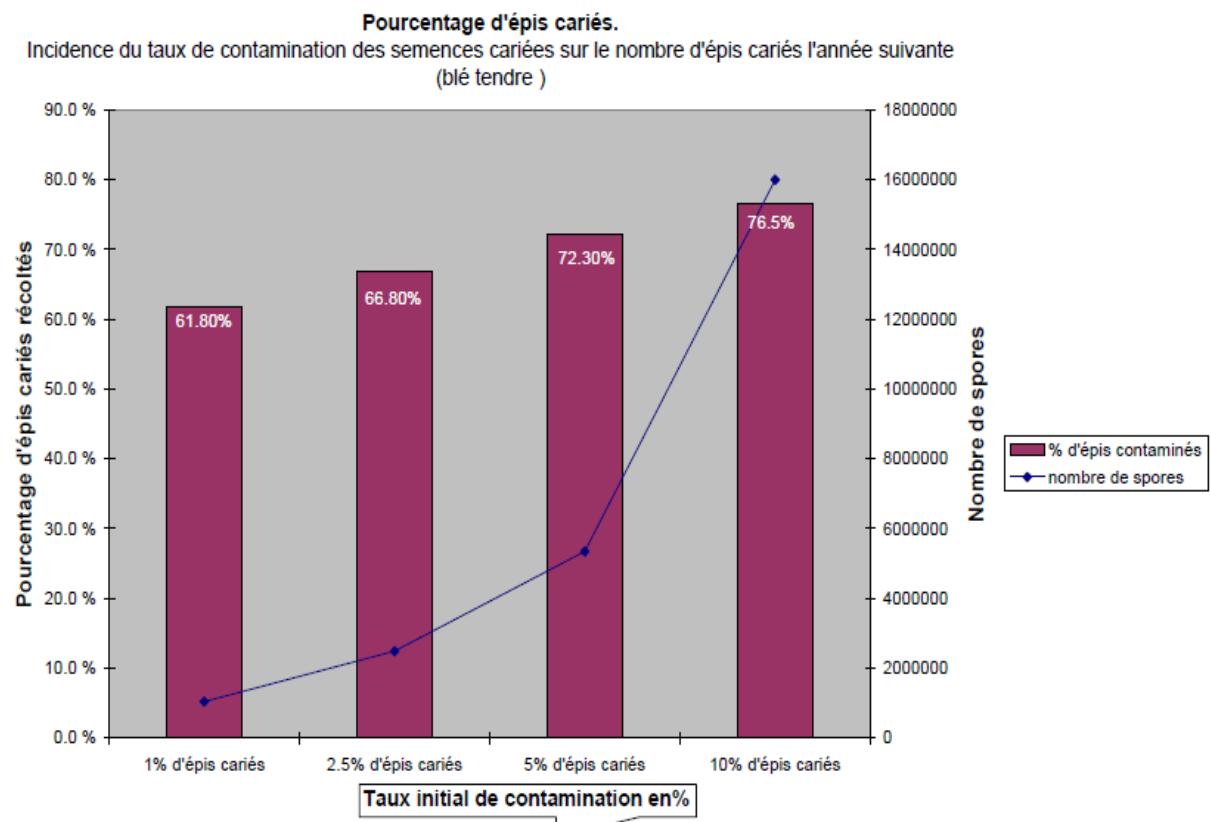


Figure 17: Incidence du taux de contamination des semences cariées sur le nombre d'épis cariés et le nombre de spores par gramme de grains l'année suivante (Source : Arvalis campagne 2002-2003 extrait de l'ITAB de 2007 (Fontaine, 2007)).

b) Vinaigre

Concernant l'utilisation du vinaigre comme traitement de semences contre la carie, les résultats de l'essai de Brain mettent en évidence un effet dose où le pourcentage d'épis cariés semble diminuer avec l'augmentation de la dose de vinaigre utilisée. Curieusement, cet effet dose n'est pas visible à Bourges où le pourcentage d'épis cariés est plus important à la dose de 2L/q qu'avec 1L/q de vinaigre. Par contre, les résultats montrent nettement que la dose de 0,5 L/q ne permet pas une lutte efficace, surtout à Bourges (6,05% d'épis cariés).

De plus, sur un blé d'hiver (variété Galactic), Borgen et Nielsen ont mesuré que pour une concentration en acide acétique de 5%, l'efficacité était de 25% environ (Borgen & Nielsen, 2001). De même, dans l'étude de la FREDON (2010-2012), l'efficacité du Vinaigre à 0,5 L/q comme traitement de semences contre de la carie variait de 20% si les semences et le sol étaient contaminés, à 30% si le sol était sain (Bruyère, 2013) (Figure 16). L'efficacité obtenue dans les essais de Brain et Bourges est donc largement supérieure à l'efficacité obtenue lors de ces études, mais les données précédentes montrent une efficacité très variable et parfois très faible (25%).

Pour les autres doses de vinaigre, l'efficacité obtenue est presque totale dès 1 L/q (un seul épi carié sur toute la modalité) et de 100% avec 2 L/q pour l'essai de Brain, alors qu'elle ne dépasse pas 98% à Bourges. De même, dans l'étude de Borgen et Nielsen, il faut une quantité de 2 L/q de Vinaigre avec 5% d'acide acétique pour observer une efficacité de 100%, ce qui aurait peut-être pu être le cas à Bourges si l'effet dose s'était poursuivi après 1 L/q. Celle-ci n'est d'ailleurs que de 68% pour une dose de 1 L/q en sol non contaminé lors de l'étude de la FREDON (Bruyère, 2013), mais cela pourrait s'expliquer par la très grande quantité de spores utilisée (2 g de spore par Kg de semences).

Toutefois, l'étude de la FREDON met également en avant le fait que le vinaigre, quelle que soit la dose choisie (0,5 ; 1 ou 2 L/q), présente une efficacité moins importante en cas de sol contaminé (Bruyère, 2013) (Figure 16). C'est pourquoi il aurait été intéressant de pouvoir effectuer ces expériences également en présence de sol contaminé. En effet, d'après la synthèse nationale d'Arvalis de 2016, le vinaigre ne permettrait pas de lutter contre les spores présentes dans de sol (ARVALIS Institut du végétal, 2016).

Le vinaigre semble donc être relativement un bon traitement de semences contre la carie du blé lors d'une contamination par les semences (sol sain), mais il est nécessaire de trouver la bonne dose pour avoir un compromis entre efficacité et phytotoxicité. La dose optimale ici serait 1 L/q avec une bonne efficacité (bien que partielle) et aucune phytotoxicité, contrairement à celle de 2 L/q où un doute subsiste au niveau de sa phytotoxicité malgré une forte efficacité.

De plus, le Vinaigre utilisé à 0,5 L/q à Brain et chacune des doses à Bourges (tout comme le Copseed) présente au minimum environ 1% d'épis cariés au champ. D'après une étude réalisée par ARVALIS en 2002/2003 (Figure 17), si un agriculteur utilise comme semence la récolte d'un champ avec 1% d'épis cariés seulement, il peut s'attendre en l'absence de traitement de semences à avoir plus de 60% d'épis cariés l'année suivante (Fontaine, 2007). De même, il ne pourra pas vendre cette semence sans application d'un traitement de semence, de par la norme actuelle « zéro spores ».

c) TS 1502 et TS 1701

Pour ce qui est des traitements codés « TS 1502 » et « TS 1701 », leur efficacité semble parfaite vis-à-vis de la carie avec l'application de 0,2 l/q pour l'essai de Brain, mais l'essai de Bourges a montré 0,07% d'épis cariés avec le traitement TS 1501. Ce pourcentage représente un nombre très faible d'épis cariés retrouvés dans la modalité, pouvant très bien provenir d'une contamination par exemple lors du semis (grain d'une modalité précédente resté coincé dans le semoir). De plus, le « TS 1502 » avait déjà eu une efficacité de 100% lors de l'essai FNAMS en 2015, donc son efficacité semblerait stable. Une fois homologués, ces deux traitements constituerait un moyen de lutte particulièrement efficace contre la carie en agriculture conventionnelle.

Cependant, l'efficacité de ces traitements n'est testée ici que pour une contamination de l'ordre de 1g de spore par Kg de semence et aucune contamination du sol, donc d'autres essais seraient nécessaires pour faire varier ces facteurs mais aussi pour confirmer la régularité de leurs efficacités.

d) Redigo et Celest Net

Le traitement de semences REDIGO présente à Brain une efficacité de 99,57%, ce qui correspond à 2 épis cariés observés sur toute la modalité (8 placettes, soit environ 1280 épis notés). Ces résultats sont surprenants car ce traitement de semences à base de prothioconazole est habituellement une référence de protection chimique des semences contre la carie. D'ailleurs, il a obtenu une efficacité totale à Bourges mais aussi sur les essais Montans 2015 (Robin, 2015) lors d'essais à partir de semences contaminées. Lors des essais de 2013, 2014 et 2015, la FNAMS avait obtenu respectivement une efficacité de 98%, 100% et 99%, et donc une forte efficacité, presque totale (FNAMS, 2015a,b, 2016). Ces efficacités restant très élevées à chaque essai, les baisses minimales d'efficacités pourraient être probablement dues à des contaminations (grain d'une modalité précédente resté coincé dans le semoir).

Le traitement CELEST NET affiche également une efficacité de 100% que ce soit à Brain ou à Bourges, alors que les essais de la FNAMS de 2013, 2014, 2015 et 2016 ont montré respectivement une efficacité de 99%, 100%, 76% et 100% (FNAMS, 2015a,b, 2016, 2017). Au vu des efficacités totales obtenues dans presque tous les essais, l'efficacité de 76% en 2015 semble assez étonnante et proviendrait peut-être d'un problème de contamination.

Les deux traitements REDIGO et CELEST NET semblent donc très efficaces en cas de semences contaminées (sol sain). En cas de sol contaminé, bien qu'ayant une action systémique, les essais ci-dessous montrent que leur efficacité diminue: l'essai Montans 2015 indique que l'efficacité du REDIGO est passée à 98% lorsque le sol était contaminé (ANSES, 2012b; Robin, 2015). De même, avec un sol contaminé, l'efficacité du traitement CELEST NET avec 2 g de spore par Kg de semence passerait de 100% à 93% lors de l'essai 2013 en collaboration FNAMS/ARVALIS (ARVALIS Institut du végétal, 2016), et d'une efficacité de 99% à 94% pour l'essai Montans 2015 (Robin, 2015)

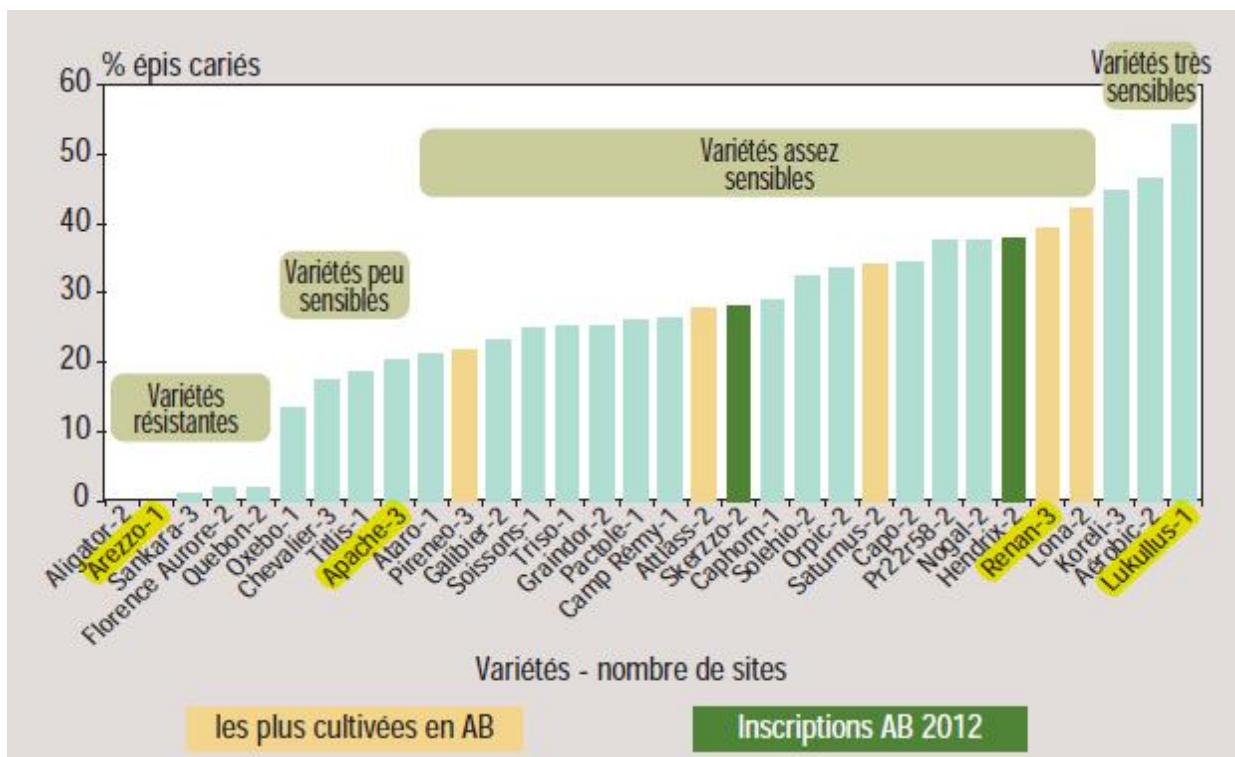


Figure 18 : Moyennes ajustées pluriannuelles et multilocales des % d'épis cariés observés sur les essais de variétés de blé tendre implantés à Villiers-le-Bâcle (91) (2001-2011), Besayes (26) et Venouse (89). (Du Cheyron & Robin, 2012)

Tableau XII : Nombre de plantules sur 15 où la carie a été détectée par q-PCR en fonction du Ct seuil choisi. Le pourcentage de plantules cariées est indiqué entre parenthèse. La variété Apache n'a pas été testée par manque de plantules.

	Ct 23	Ct 24	Ct 25
Lukullus	3 (20%)	8 (53%)	11 (73%)
Renan	13 (87%)	13 (87%)	13 (87%)
Arezzo	1 (6%)	3 (20%)	9 (60%)

4.2. Identification des spectres de virulence des souches

Les pourcentages d'épis cariés obtenus pour les 4 témoins suite à la contamination par la souche 1 confirment les précédentes études indiquant que la variété Arezzo est résistante à la carie, tandis que les variétés Apache, Lukullus et Renan y sont sensibles.

En effet, les résultats pluriannuels des essais Arvalis de Villiers le Bâcle de même que ceux implantés à Besayes et Venouse montrent que Lukullus est une variété très sensible, Renan assez sensible et Apache peu sensible tandis qu'Arezzo est une variété résistante à la carie (Figure 18) (Fontaine *et al.*, 2009; du Cheyron & Robin, 2012). Dans notre essai, Renan s'est révélé plus sensible que Lukullus, et Apache aussi sensible que Lukullus mais ces résultats peuvent s'expliquer par les souches différentes présentes dans les différentes études. De même, il n'est pas exclu qu'Arezzo soit sensible à une autre souche de carie.

En parallèle de l'essai au champ, des q-PCR ont été réalisées par le GEVES sur ces témoins pour essayer de quantifier la présence de l'agent pathogène dans les plantules au stade 3-4 feuilles et tenter de la corrélérer avec les résultats obtenus au champ. Cette détection de *Tilletia spp* repose sur une pré-étude du programme FAM 2012 utilisant la PCR en temps réel (ARVALIS Institut du végétal *et al.*, 2012) qui a permis de repérer les facteurs clés pour obtenir un taux de contamination détectable par PCR : viabilité des spores, températures basses entre le semis et le stade 2 feuilles, prélèvement sur la tige à un stade 3-4 feuilles.

Les résultats du GEVES sont présentés dans le tableau XII. Le protocole utilisé est très délicat au niveau du choix de la valeur seuil (Ct) : en effet, à un Ct près, ici Ct de 23 ou Ct de 25, la q-PCR ne permet pas de classer entre elles les variétés Lukullus et Arezzo vis-à-vis de leur sensibilité à la carie. Par contre, avec un Ct de 24, ils ont pu classer Arezzo comme le plus résistant vis-à-vis de cette souche, puis Lukullus et enfin Renan comme variété la plus sensible. Ces résultats se sont donc retrouvés au niveau du champ puisque le même classement a été établi et le protocole de q-PCR semble prometteur pour la suite du projet.

Concernant les résultats de la gamme d'hôtes différentiels, les niveaux de résistance sont hautement contrastés allant de 1 à 59 % d'épis cariés (tableau VIII). Lorsque les pourcentages d'épis cariés sont ramenés au pourcentage du témoin sensible HD1 (Heines, Bt-0 i.e. ne possède aucun gène de résistance contre la carie), certains pourcentages deviennent supérieurs à 100%, c'est-à-dire qu'ils présentent davantage d'épis cariés que le témoin sensible (HD1). Cependant, par exemple pour l'hôte différentiel HD8 contaminé par la souche 11, il n'y a que quelques épis cariés de différence par rapport à l'hôte différentiel HD1 (1 à 4 épis supplémentaires suivant le bloc). Le fait que les prélèvements se fassent par 25 épis (nécessité technique en raison de la lourdeur des notations) entraîne automatiquement de fortes variations des pourcentages d'épis cariés pour seulement quelques épis de différence. Ainsi, les souches 4, 5 et 11 ont visiblement contourné totalement la résistance induite par le gène Bt-7 des HD8 puisque la sensibilité est la même que pour le témoin HD1.

Tableau XIII : Virulence de population locale de carie commune contre les gènes de résistances (Bt) issus de différents cultivars et de collections de matériel génétique de blé. (Matanguihan, 2011)

Origine des populations de la carie commune	Années de notation	Gènes de résistance Bt efficents contre les populations de carie commune
Hongrie	1991-1997	Bt5, Bt6, Bt8, Bt9, Bt10
Europe	2000-2002	Bt3, Bt5, Bt6, Bt8, Bt9, Bt11, Bt12, Bt13
Autriche & Allemagne	2005-2006	Bt4, Bt5, Bt6, Bt8, Bt9, Bt10, Bt11, Bt12, Bt14
Pologne	2004-2005	Bt4, Bt8, Bt11
Roumanie	2005-2006	Bt5, Bt8, Bt9, Bt10, Bt11, Bt12, Bt13
Lituanie	2008-2009	Bt4, Bt5, Bt6, Bt8, Bt9, Bt11, Bt12

Les virulences les plus représentées ici sont Bt-7 et Bt-15, ce qui rejoint parfaitement l'étude réalisée en 2010-2011 dans le cadre du « contrat de Branche » à partir de souches locales sur différents sites : Villiers-le-Bâcle (91) par ARVALIS, Besayes (26) par la Chambre d'agriculture (CA 26), Venouse (89), Loos en Gohelle (62) par la FREDON, Montardon (64) par ARVALIS, et Lunel (82) par QUALISOL (Fontaine *et al.*, 2013). La virulence Bt-15 semble cependant plus importante aujourd'hui qu'en 2010-2011, même si elle reste moins importante que Bt-7.

Toutefois, il semble y avoir également une virulence Bt-2 qui n'était apparue qu'à Loos en Gohelle, mais qu'on retrouve ici chez les souches 1, 4, 5 et 8. Ces souches proviennent respectivement de Brain sur l'Authion (Maine et Loire) pour les souches 1 et 4, de Puy St Eusebe (Hautes Alpes) pour la souche 5, et de Salette (Haute Loire) pour la souche 8. Ainsi, cette virulence est présente dans plusieurs régions de France. Au niveau européen, une étude a montré que la virulence Bt-2 se retrouve dans de nombreux pays où elle est prédominante avec les virulences Bt-1, Bt-3 et Bt-7 (tableau XIII , Matanguihan, 2011). Par ailleurs, une nouvelle virulence est apparue. En effet, la virulence Bt-1 jamais observée en France, est maintenant présente (souche 4 de Brain sur l'Authion) et serait susceptible de se retrouver dans d'autres régions de France à l'avenir. Ceci montre l'importance de réaliser des études épidémiologiques régulières car les virulences présentes en France évoluent.

5. Conclusions - Perspectives

5.1. Evaluation de l'efficacité des traitements de semences contre la carie

Les traitements de semences testés dans cet essai ont tous présenté une efficacité vis-à-vis de la carie commune du blé, mais les traitements biologiques ne sont pas encore aussi efficaces que les traitements chimiques. En effet, les traitements chimiques ont tous permis une efficacité globale de 100% contrairement aux traitements biologiques (96,43% à 100%). De plus, si l'efficacité des traitements chimiques tels que CELEST NET ou REDIGO semble régulière au fil des ans, les traitements biologiques, notamment ici le COPSEED semblent plus irréguliers et ne présentent qu'une efficacité partielle. L'utilisation du vinaigre comme traitement de semences paraît intéressante pour une dose de 1 l/q puisque son efficacité est presque totale dans cet essai, mais celle-ci semble trop irrégulière au vu des études précédentes. De plus, le vinaigre présenterait un risque de phytotoxicité avec une trop forte dose. C'est pourquoi il serait utile de réaliser d'autres essais pour définir un meilleur équilibre efficacité/phytotoxicité. De même, les études précédentes montrent que l'efficacité des traitements semble varier suivant la souche utilisée (ou le lieu et l'année d'origine des spores), les conditions météorologiques (localisation de l'essai) ou encore le niveau de contamination initial des semences ou du sol. C'est pourquoi il serait utile d'étudier l'impact de ces différents facteurs sur l'efficacité de ces traitements.

5.2. Identification des spectres de virulence des différentes souches

L'inoculation de la gamme d'hôtes différentiels a montré une prédominance des virulences Bt-7, Bt-15 mais aussi dans une moindre mesure Bt-2, cela parmi les 11 souches étudiées à la FNAMS de Brain-sur-l'Authion (sur les 20 souches identifiées en France). Le choix de(s) (la) souche(s) utilisé(e)s pour la suite du projet ABBLE dépendra des virulences obtenues avec les 10 autres souches (essai en cours de la FREDON) : la souche choisie devra représenter le plus possible les virulences présentes en France. Ainsi, utiliser un mélange de 2 souches pourrait être intéressant, à condition de vérifier l'impossibilité d'échanges de virulences entre les souches.

Dans la suite du projet ABBLE, la ou les souches choisies seront utilisées pour inoculer 10 variétés de blé tendre (témoins sensibles ou résistants, variétés très cultivées en agriculture biologique ou en cours d'inscription CTPS...) afin d'effectuer non seulement un test de résistance au champ, mais également un test précoce de détection par q-PCR. L'objectif sera ainsi d'étudier la résistance des variétés les plus cultivées en AB vis-à-vis des virulences prédominantes en France, mais aussi de vérifier la corrélation entre résistance au stade adulte au champ, et résistance au stade précoce. S'il y a corrélation entre les deux, cela permettra d'utiliser un test de résistance beaucoup plus rapide et plus facile à mettre en œuvre que des essais au champ.

6. Références

6.1. Bibliographie

- ANSES. 2008.** AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la demande de changement mineur de composition de la préparation phytopharmaceutique CERALL.
- ANSES. 2012a.** AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à une demande d'autorisation de mise sur le marché de la préparation CELEST NET, de la société Syngenta Agro S.A.S., après approbation du fludioxonil au titre du règlement (CE) n°1107/2009.
- ANSES. 2012b.** AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à une demande d'autorisation de mise sur le marché de la préparation REDIGO PRO et de sa préparation identique MISOL PRO à base de prothioconazole et de tébuconazole, de la société BAYER S.A.S.
- ANSES. 2014.** Avis de l'Agence nationale de sécurité alimentaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la demande de mise sur le marché de la préparation COPSEED, à base de Sulfate de cuivre de la société NUFARM SAS. Maisons-Alfort.
- ARVALIS Institut du végétal. 2016.** Traitements de semences et Lutte contre les ravageurs, synthèse nationale.
- ARVALIS Institut du végétal, ITAB, ANSES, GEVES. 2012.** La carie du blé : mieux la connaître pour mieux lutter.
- Atger JC, Gaillard J., Petit F, Seguin B, SZTOR E, THIERY G. 2000.** Méthode d'essai d'efficacité pratique de fongicides destinés à combattre les champignons parasites transmis par les semences de céréales à pailles.
- Bonman JM, Bockelman HE, Goates BJ, Obert DE, McGuire PE, Qualset CO, Hjmans RJ. 2006.** Geographic Distribution of Common and Dwarf Bunt Resistance in Landraces of subsp. Crop Science **46**: 1622.

Borgen A, Nielsen B. 2001. Effect of seed treatment with acetic acid for control of seed borne diseases. In: North Warwickshire: [Anders Borgen].

Bruyère J. 2013. Utilisation de l'acide acétique (vinaigre) dans la lutte contre la carie du blé (*T.caries* et *T.foetida*).

Champion R. 1997. Identifier les champignons transmis par les semences. Editions Quae.

Du Cheyron P, Robin N. 2012. Blé tendre, Des pistes pour contenir la carie commune en agriculture biologique. Perspectives Agricoles: 54–57.

FNAMS. 2015a. Rapport d'activité. 2016: 1–5.

FNAMS. 2015b. Recueil des données d'expérimentation céréales, Campagne 2012-2013.

FNAMS. 2015c. Recueil des données d'expérimentation céréales, Campagne 2013-2014.

FNAMS. 2016. Recueil des données d'expérimentation céréales, Campagne 2014-2015.

FNAMS. 2017. Recueil des données d'expérimentation céréales, Campagne 2015-2016.

Fofana B, Humphreys DG, Cloutier S, McCartney CA, Somers DJ. 2008. Mapping quantitative trait loci controlling common bunt resistance in a doubled haploid population derived from the spring wheat cross RL4452 × AC Domain. Molecular Breeding **21**: 317–325.

Fontaine L. 2007. Carie du blé: agir avant qu'il ne soit trop tard.

Fontaine L, du Cheyron P, Morand P, Skikers S. 2009. Evaluer les résistances variétales pour lutter contre la carie commune en production de céréales biologiques en particulier le blé tendre. : 513–518.

Fontaine L, Robin N, Buyère J, du Cheyron P. 2013. Agir rapidement pour contenir la carie commune : exploration de diverses méthodes de contrôle. : 35–46.

Gnis, ISF. Chiffres-clés du secteur semences. UFS Union Française des semenciers.

Malone J., Muskett A. 1997. Seed-Borne fungi, description of 77 fungus species. J.W. Sheppard Agriculture and Agri-Food Canada.

Matanguihan GJB. 2011. Identification of pathogenic races and microsatellite markers of *Tilletia caries* (DC) Tul. & C. Tul. and mapping of a common bunt resistance gene in winter wheat.

Purdy LH, Kendrick EL. 1963. Influence of environmental factors on the development of wheat bunt in the Pacific Northwest. IV. Effect of soil temperature and soil moisture on infection by soil spores.

Rapilly F, Lemaire J., Cassini R, Simon M, Vegh I, Ponchet J. 1971. Les principales maladies cryptogamiques des céréales. Institut technique des Céréales et des Fourrages.

Rey F, Fontaine L, Robin N, Bruyère J. 2010. La carie du blé, la recherche avance.

Robin N. 2015. Traitement de semences de céréales à pailles : de nouveaux produits dans un nouveau cadre. Perspectives Agricoles: 22–23.

Robin N. 2016. Traitement de semences, une protection toujours d'actualité. ARVALIS info.

Saidi B, Azmeh F, Mamluk O., Sikora R. 2001. Effect of seed treatment with organic acids on the control of common bunt (*Tilletia tritici* and *T. laevis*) in wheat.

uBIO. Universal Biological Indexer and Organizer.

Wilcoxon RD, Ballantyne B, Hettel GP, McNab A, Saari EE. 1996. Bunt and Smut diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Lisboa, Mexico: CIMMYT.

6.2. Webographie

AgChemAccess (2015) : Fludioxonil.
<http://www.agchemaccess.com/Fludioxonil>

ChEBI (2015) : CHEBI:81770 – ipconazole.
<http://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:81770>

Entofito (2015) : *Tilletia caries*.
<http://www.entofito.com/hububatta-surme-hastaliklari-tilletia-spp/>

FNAMS (2016) : Organisation.
<http://www.fnams.fr/presentation/organisation/>

Gnis (2015) : Présentation de la filière semence.
<http://www.gnis-pedagogie.org/filiere-acteur-metier.html>

Index of Agro/partie I/Image (2017) : Stades du développement du blé.
<http://www.infoma-foad.fr/AGRO/partie%20I/Image/Ble-stades-developpement.jpg>

Sage pesticides (2017) : Effets toxiques des matières actives.
<http://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/resultats.aspx?Search=matiere&ID=122>

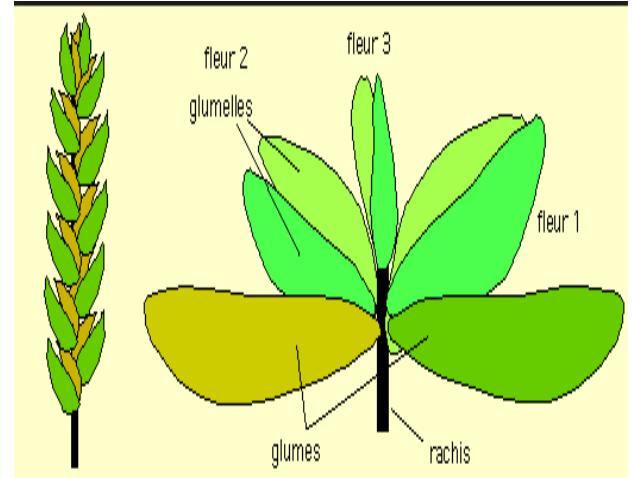
Smut Fungi of Australia (2013) : *Tilletia caries* .
<http://collections.daff.qld.gov.au/web/key/smutfungi/Media/Html/tilletiacaries.html>

Smut Fungi of Australia (2013) : *Tilletia laevis* .
<http://collections.daff.qld.gov.au/web/key/smutfungi/Media/Html/tilletialaevis.html>

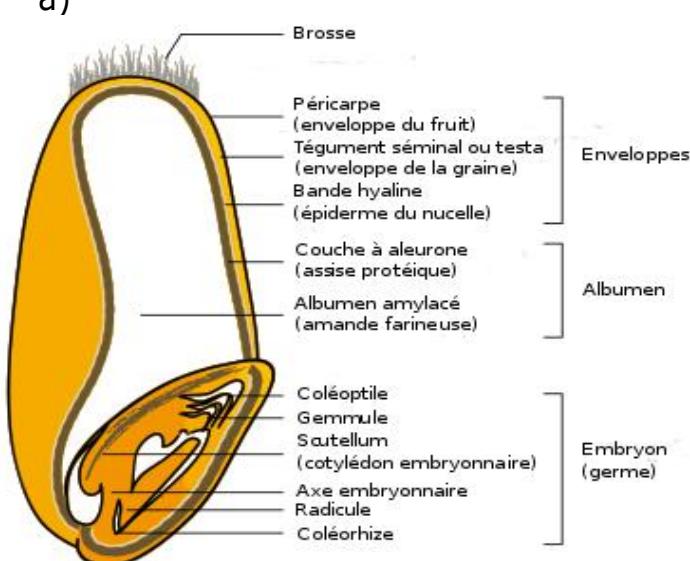
Syngenta (2017) : Celest Gold Net.
<https://www.syngenta.fr/produits/protection-des-semences/fongicides/celest-gold-net>

Annexes

b)

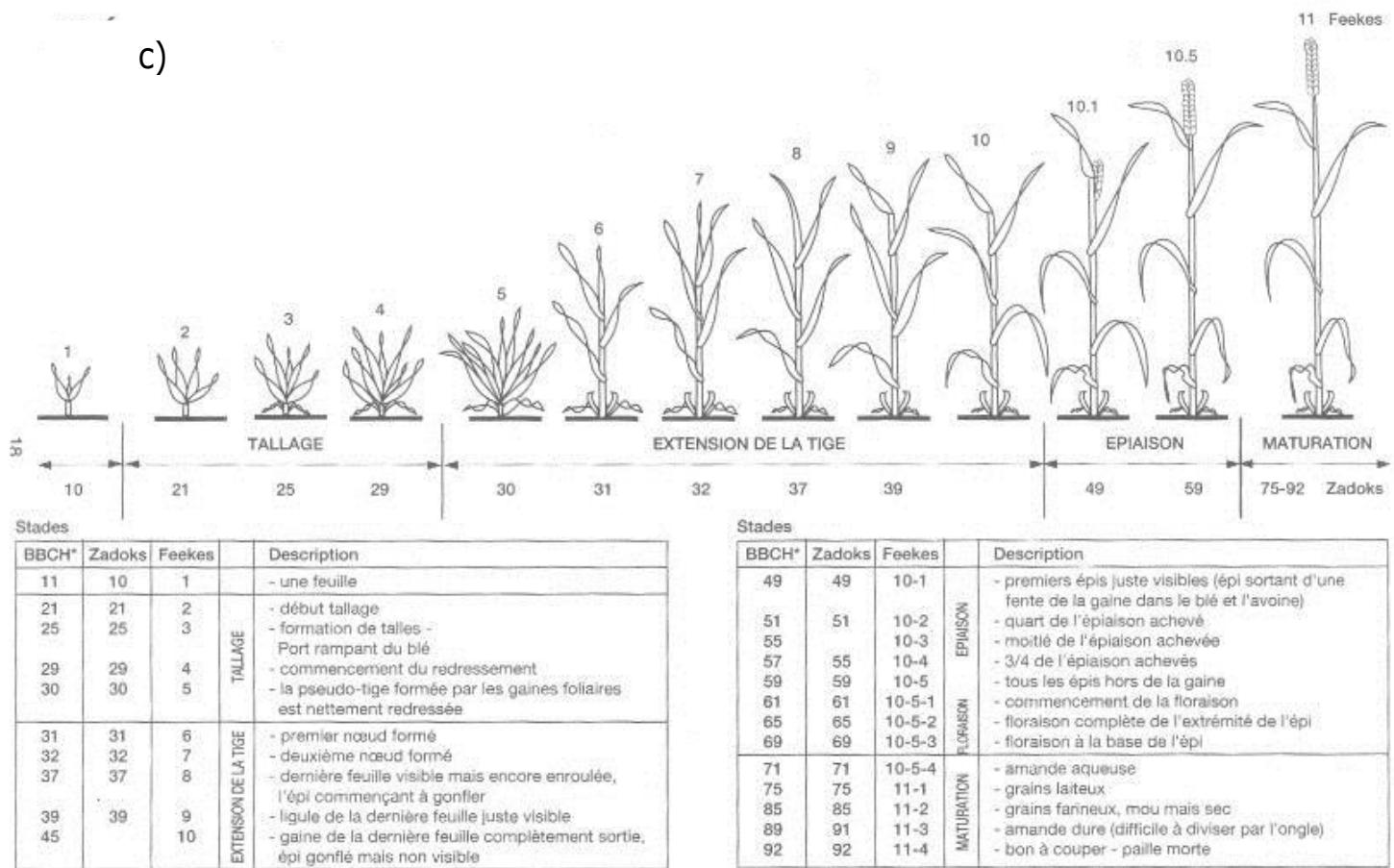


<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/blepain/1ble/11plant/plante.htm>



https://fr.wikipedia.org/wiki/Grain_de_b%C3%A9

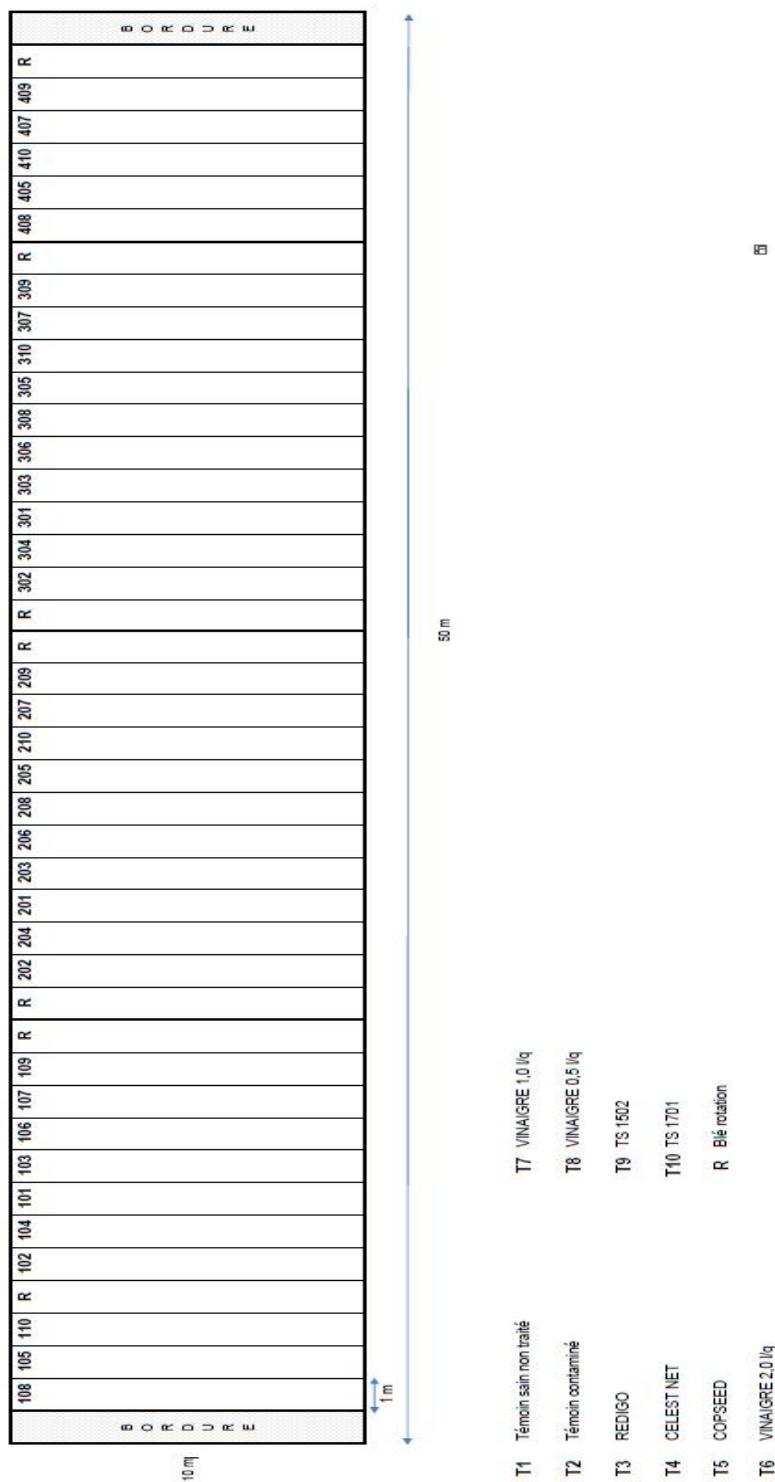
c)



* Nouvelle échelle commune développée par BASF - BAYER - CIBA GEIGY - HOECHST (en cours d'officialisation auprès de la CEB)

Annexe I : Schéma de la structure d'un grain de blé (a) et d'un épillet (b), ainsi que le cycle de développement du blé détaillé (c) suivant l'échelle de zaddock et BBCH. Le stade « grain laiteux-pâteux » du grain de blé se situe lors de la phase de maturation où il y a dessiccation du grain après sa phase de remplissage.

Source : <http://dumgest.pagespro-orange.fr/BBCHbth1.jpg>



Annexe II : Plan de l'essai « Efficacité de différents traitements de semences ».

Le blé de rotation utilisé est la variété « Descartes » et une bordure borde chaque côté de l'essai.

Espèce : Blé hiver + printemps
 THEME : Projet ABLE - Identification des spectres de virulence des isolats

PLAN DE L'ESSAI
 STATION DE BRAIN SUR L'AUTHION



Code essai : C17M0149

Bandes 1 et 2

S9 - III	X	X	S2-III
S5-III	S8-III	S6-III	S10-III
S6-II	S4-II	S11-II	S9-II
S10-I	S6-I	S7-II	S3-II
S5-I	S8-I	S9-I	S2-I

40 m

10 m

S3- III	S7-III	X	X
S2-II	S11-III	S4-III	S1-III
S10-II	S5-II	S8-II	S1-II
S3-I	S11-I	S7-I	S1-I

Annexe III : Plan de l'essai « Etude des virulences présentes en France ».

Chaque case correspond à une répétition de la contamination des 15 HD avec une souche. Il y a donc 15 modalités différentes par case. Dans le cas de la souche 1, 15 HD et 4 témoins ont été contaminés dans chaque répétition, plus un témoin non contaminé, soit 20 modalités par cases pour la souche 1.

Code objet	Souche carie	Variété (gène de résistance)
T1	49150621	HD1 (Bt-0)
T2	49150621	HD2 (Bt-1)
T3	49150621	HD3 (Bt-2)
T4	49150621	HD4 (Bt-3)
T5	49150621	HD5 (Bt-4)
T6	49150621	HD6 (Bt-5)
T7	49150621	HD7 (Bt-6)
T8	49150621	HD8 (Bt-7)
T9	49150621	HD9 (Bt-8)
T10	49150621	HD11 (Bt-9)
T11	49150621	HD12 (Bt-10)
T12	49150621	HD13 (Bt-11)
T13	49150621	HD14 (Bt-12)
T14	49150621	HD15 (Bt-13)
T15	49150621	HD17 (Bt-15)
T16	49150621	LUKULUS
T17	49150621	RENAN
T18	49150621	APACHE
T19	49150621	AREZZO
T20	18150622	HD1 (Bt-0)
T21	18150622	HD2 (Bt-1)
T22	18150622	HD3 (Bt-2)
T23	18150622	HD4 (Bt-3)
T24	18150622	HD5 (Bt-4)
T25	18150622	HD6 (Bt-5)
T26	18150622	HD7 (Bt-6)
T27	18150622	HD8 (Bt-7)
T28	18150622	HD9 (Bt-8)
T29	18150622	HD11 (Bt-9)
T30	18150622	HD12 (Bt-10)
T31	18150622	HD13 (Bt-11)
T32	18150622	HD14 (Bt-12)
T33	18150622	HD15 (Bt-13)
T34	18150622	HD17 (Bt-15)
T35	61150720	HD1 (Bt-0)
T36	61150720	HD2 (Bt-1)
T37	61150720	HD3 (Bt-2)
T38	61150720	HD4 (Bt-3)
T39	61150720	HD5 (Bt-4)
T40	61150720	HD6 (Bt-5)
T41	61150720	HD7 (Bt-6)
T42	61150720	HD8 (Bt-7)
T43	61150720	HD9 (Bt-8)
T44	61150720	HD11 (Bt-9)
T45	61150720	HD12 (Bt-10)
T46	61150720	HD13 (Bt-11)
T47	61150720	HD14 (Bt-12)
T48	61150720	HD15 (Bt-13)
T49	61150720	HD17 (Bt-15)
T50	49150722	HD1 (Bt-0)
T51	49150722	HD2 (Bt-1)
T52	49150722	HD3 (Bt-2)
T53	49150722	HD4 (Bt-3)
T54	49150722	HD5 (Bt-4)
T55	49150722	HD6 (Bt-5)
T56	49150722	HD7 (Bt-6)
T57	49150722	HD8 (Bt-7)

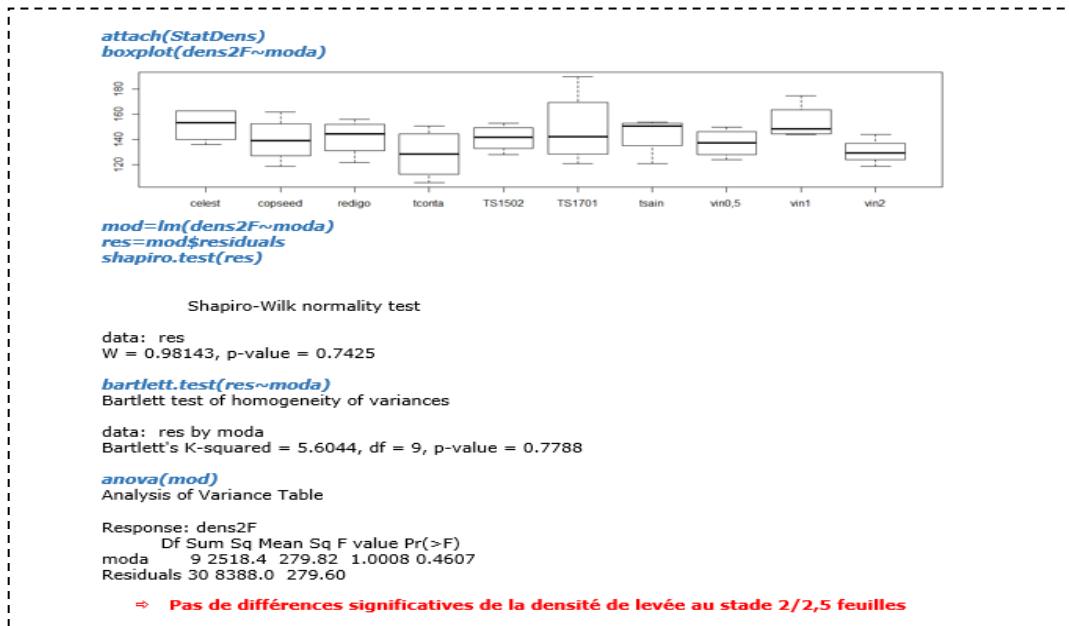
Code objet	Souche carie	Variété (gène de résistance)
T58	49150722	HD9 (Bt-8)
T59	49150722	HD11 (Bt-9)
T60	49150722	HD12 (Bt-10)
T61	49150722	HD13 (Bt-11)
T62	49150722	HD14 (Bt-12)
T63	49150722	HD15 (Bt-13)
T64	49150722	HD17 (Bt-15)
T65	05150826	HD1 (Bt-0)
T66	05150827	HD2 (Bt-1)
T67	05150828	HD3 (Bt-2)
T68	05150829	HD4 (Bt-3)
T69	05150830	HD5 (Bt-4)
T70	05150831	HD6 (Bt-5)
T71	05150832	HD7 (Bt-6)
T72	05150833	HD8 (Bt-7)
T73	05150834	HD9 (Bt-8)
T74	05150835	HD11 (Bt-9)
T75	05150836	HD12 (Bt-10)
T76	05150837	HD13 (Bt-11)
T77	05150838	HD14 (Bt-12)
T78	05150839	HD15 (Bt-13)
T79	05150840	HD17 (Bt-15)
T80	41150831	HD1 (Bt-0)
T81	41150831	HD2 (Bt-1)
T82	41150831	HD3 (Bt-2)
T83	41150831	HD4 (Bt-3)
T84	41150831	HD5 (Bt-4)
T85	41150831	HD6 (Bt-5)
T86	41150831	HD7 (Bt-6)
T87	41150831	HD8 (Bt-7)
T88	41150831	HD9 (Bt-8)
T89	41150831	HD11 (Bt-9)
T90	41150831	HD12 (Bt-10)
T91	41150831	HD13 (Bt-11)
T92	41150831	HD14 (Bt-12)
T93	41150831	HD15 (Bt-13)
T94	41150831	HD17 (Bt-15)
T95	89150903	HD1 (Bt-0)
T96	89150903	HD2 (Bt-1)
T97	89150903	HD3 (Bt-2)
T98	89150903	HD4 (Bt-3)
T99	89150903	HD5 (Bt-4)
T100	89150903	HD6 (Bt-5)
T101	89150903	HD7 (Bt-6)
T102	89150903	HD8 (Bt-7)
T103	89150903	HD9 (Bt-8)
T104	89150903	HD11 (Bt-9)
T105	89150903	HD12 (Bt-10)
T106	89150903	HD13 (Bt-11)
T107	89150903	HD14 (Bt-12)
T108	89150903	HD15 (Bt-13)
T109	89150903	HD17 (Bt-15)
T110	43150918	HD1 (Bt-0)
T111	43150918	HD2 (Bt-1)
T112	43150918	HD3 (Bt-2)
T113	43150918	HD4 (Bt-3)

Code objet	Souche carie	Variété (gène de résistance)
T114	43150918	HD5 (Bt-4)
T115	43150918	HD6 (Bt-5)
T116	43150918	HD7 (Bt-6)
T117	43150918	HD8 (Bt-7)
T118	43150918	HD9 (Bt-8)
T119	43150918	HD11 (Bt-9)
T120	43150918	HD12 (Bt-10)
T121	43150918	HD13 (Bt-11)
T122	43150918	HD14 (Bt-12)
T123	43150918	HD15 (Bt-13)
T124	43150918	HD17 (Bt-15)
T125	35150921	HD1 (Bt-0)
T126	35150921	HD2 (Bt-1)
T127	35150921	HD3 (Bt-2)
T128	35150921	HD4 (Bt-3)
T129	35150921	HD5 (Bt-4)
T130	35150921	HD6 (Bt-5)
T131	35150921	HD7 (Bt-6)
T132	35150921	HD8 (Bt-7)
T133	35150921	HD9 (Bt-8)
T134	35150921	HD11 (Bt-9)
T135	35150921	HD12 (Bt-10)
T136	35150921	HD13 (Bt-11)
T137	35150921	HD14 (Bt-12)
T138	35150921	HD15 (Bt-13)
T139	35150921	HD17 (Bt-15)
T140	26150101-4	HD1 (Bt-0)
T141	26150101-4	HD2 (Bt-1)
T142	26150101-4	HD3 (Bt-2)
T143	26150101-4	HD4 (Bt-3)
T144	26150101-4	HD5 (Bt-4)
T145	26150101-4	HD6 (Bt-5)
T146	26150101-4	HD7 (Bt-6)
T147	26150101-4	HD8 (Bt-7)
T148	26150101-4	HD9 (Bt-8)
T149	26150101-4	HD11 (Bt-9)
T150	26150101-4	HD12 (Bt-10)
T151	26150101-4	HD13 (Bt-11)
T152	26150101-4	HD14 (Bt-12)
T153	26150101-4	HD15 (Bt-13)
T154	26150101-4	HD17 (Bt-15)
T155	26150101-5	HD1 (Bt-0)
T156	26150101-5	HD2 (Bt-1)
T157	26150101-5	HD3 (Bt-2)
T158	26150101-5	HD4 (Bt-3)
T159	26150101-5	HD5 (Bt-4)
T160	26150101-5	HD6 (Bt-5)
T161	26150101-5	HD7 (Bt-6)
T162	26150101-5	HD8 (Bt-7)
T163	26150101-5	HD9 (Bt-8)
T164	26150101-5	HD11 (Bt-9)
T165	26150101-5	HD12 (Bt-10)
T166	26150101-5	HD13 (Bt-11)
T167	26150101-5	HD14 (Bt-12)
T168	26150101-5	HD15 (Bt-13)
T169	26150101-5	HD17 (Bt-15)

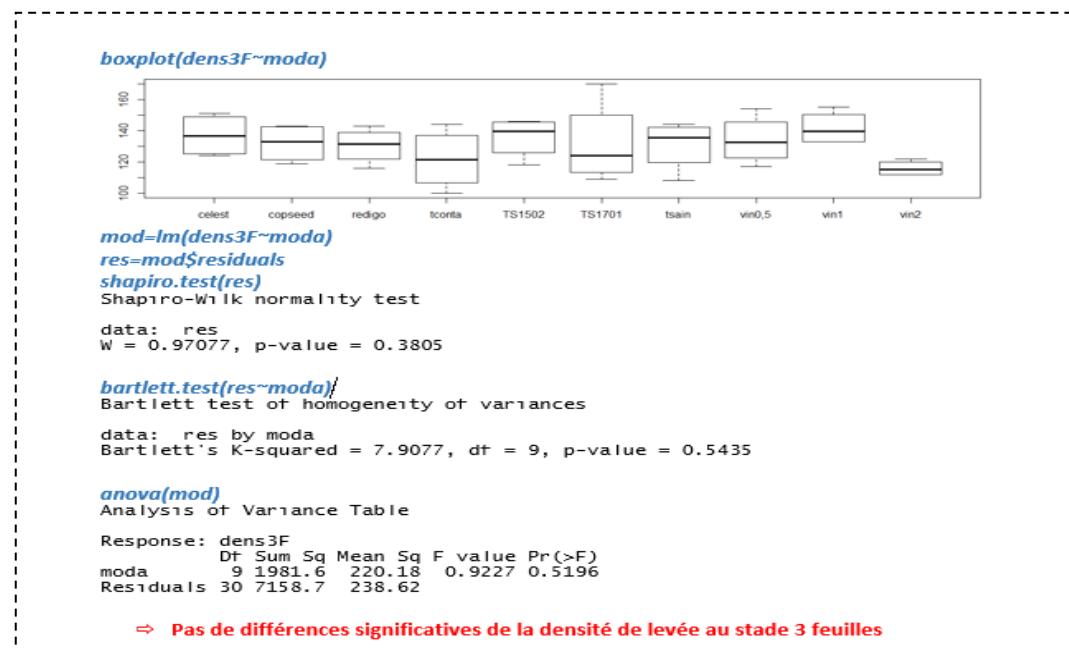
Annexe IV : Liste de toutes les modalités de l'essai « Etude des virulences présentes en France ». Le numéro de souche correspondant à chaque lot (« souche carie) est indiqué dans l'annexe suivante.

N° Lot	Appellation de la souche dans le rapport
49150621	S1
18150622	S2
61150720	S3
49150722	S4
5150826	S5
41150831	S6
89150903	S7
43150918	S8
35150921	S9
26150101-4	S10
26150101-5	S11

Annexe V : Appellation de la souche dans le rapport pour chaque lot de souche de carie.

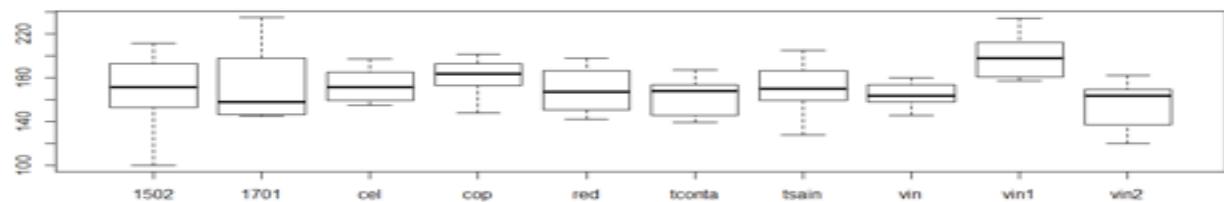


Annexe VI : Résultat de l'analyse statistique des densités de levée obtenues au stade 2/2,5 feuilles. Les lignes en bleu correspondent aux commandes rentrées sur le logiciel R.



Annexe VII : Résultat de l'analyse statistique des densités de levée obtenues au stade 3 feuilles. Les lignes en bleu correspondent aux commandes rentrées sur le logiciel R.

boxplot(epis~MODA)



mod=lm(epis~MODA)

res=mod\$residuals

shapiro.test(res)

Shapiro-Wilk normality test

data: res
W = 0.98953, p-value = 0.7651

bartlett.test(res~moda)

Bartlett test of homogeneity of variances

data: res by moda
Bartlett's K-squared = 13.712, df = 9, p-value = 0.1329

anova(mod)

Analysis of Variance Table

Response: epis

Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
MODA	9	10123	1124.83	2.158 0.03552 *
Residuals	70	36487	521.24	

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '*' 0.1 ' ' 1

⇒ Différence significative du nombre d'épis par placette

comp=HSD.test(mod,"MODA",group=T)
print(comp)

\$statistics
Mean CV MSerror HSD
171.475 13.31424 521.2357 37.30305

\$parameters
Df ntr StudentizedRange alpha test name.t
70 10 4.621386 0.05 Tukey MODA

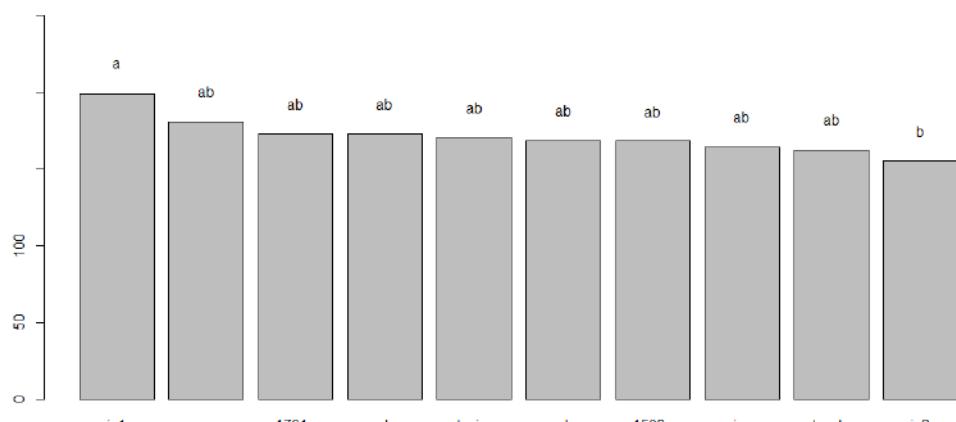
\$means
epis std r Min Max
1502 168.000 35.15679 8 100 211
1701 172.875 33.22408 8 145 235
cel 172.750 15.92617 8 155 197
cop 180.875 16.77104 8 148 201
red 168.500 21.10518 8 142 198
tconta 162.500 17.07128 8 139 187
tsain 170.625 23.71821 8 128 205
vin 164.375 11.37588 8 146 180
vin1 199.000 20.33294 8 177 234
vin2 155.250 22.25662 8 120 182

\$comparison
NULL

\$groups

trt	means	M
1	vin1	199.000 a
2	cop	180.875 ab
3	1701	172.875 ab
4	cel	172.750 ab
5	tsain	170.625 ab
6	red	168.500 ab
7	1502	168.000 ab
8	vin	164.375 ab
9	tconta	162.500 ab
10	vin2	155.250 b

bar.group(comp\$groups,ylim=c(0,250))



Annexe VIII : Résultat de l'analyse statistique du nombre d'épis par placette au sein de chaque modalité. Les lignes en bleu correspondent aux commandes rentrées sur le logiciel R.

Un test non paramétrique de Kruskal Wallis (à l'aide du logiciel Excel Stat) a été réalisé car les conditions de normalités n'étaient pas vérifiées, rendant alors impossible de réaliser un test d'anova.

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur ot	56,301
K (Valeur cr	16,919
DDL	9
p-value (bil	< 0,0001
alpha	0,05

Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Ume des raienne des rai	Groupes
T2	8	244,000	30,500
T4	8	244,000	30,500
T6	8	244,000	30,500
T9	8	244,000	30,500
T10	8	244,000	30,500
T7	8	275,500	34,438
T3	8	278,500	34,813
T5	8	422,500	52,813
T8	8	431,500	53,938
T1	8	612,000	76,500

Tableau des différences par paires :

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T1	0	46,000	41,688	46,000	23,688	46,000	42,063	22,563	46,000	46,000
T2	-46,000	0	-4,313	0,000	-22,313	0,000	-3,938	-23,438	0,000	0,000
T3	-41,688	4,313	0	4,313	-18,000	4,313	0,375	-19,125	4,313	4,313
T4	-46,000	0,000	-4,313	0	-22,313	0,000	-3,938	-23,438	0,000	0,000
T5	-23,688	22,313	18,000	22,313	0	22,313	18,375	-1,125	22,313	22,313
T6	-46,000	0,000	-4,313	0,000	-22,313	0	-3,938	-23,438	0,000	0,000
T7	-42,063	3,938	-0,375	3,938	-18,375	3,938	0	-19,500	3,938	3,938
T8	-22,563	23,438	19,125	23,438	1,125	23,438	19,500	0	23,438	23,438
T9	-46,000	0,000	-4,313	0,000	-22,313	0,000	-3,938	-23,438	0	0,000
T10	-46,000	0,000	-4,313	0,000	-22,313	0,000	-3,938	-23,438	0,000	0

Différence critique : 28,8082

p-values :

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T1	1	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,007	< 0,0001	< 0,0001	0,011	< 0,0001	< 0,0001
T2	< 0,0001	1	0,625	1,000	0,012	1,000	0,656	0,008	1,000	1,000
T3	< 0,0001	0,625	1	0,625	0,042	0,625	0,966	0,030	0,625	0,625
T4	< 0,0001	1,000	0,625	1	0,012	1,000	0,656	0,008	1,000	1,000
T5	0,007	0,012	0,042	0,012	1	0,012	0,038	0,899	0,012	0,012
T6	< 0,0001	1,000	0,625	1,000	0,012	1	0,656	0,008	1,000	1,000
T7	< 0,0001	0,656	0,966	0,656	0,038	0,656	1	0,027	0,656	0,656
T8	0,011	0,008	0,030	0,008	0,899	0,008	0,027	1	0,008	0,008
T9	< 0,0001	1,000	0,625	1,000	0,012	1,000	0,656	0,008	1	1,000
T10	< 0,0001	1,000	0,625	1,000	0,012	1,000	0,656	0,008	1,000	1

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0011

Définitions significatives :

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T1	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
T2	Oui	Non								
T3	Oui	Non								
T4	Oui	Non								
T5	Non									
T6	Oui	Non								
T7	Oui	Non								
T8	Non									
T9	Oui	Non								
T10	Oui	Non								

Annexe IX : Résultat de l'analyse statistique du pourcentage d'épis cariés retrouvé chez chaque modalité. Le test a été réalisé sur le logiciel Excel Stat.

RÉSUMÉ

abstract

La carie commune du blé est une maladie fongique transmissible par les semences très dommageable pour le blé. Si elle est aujourd’hui contrôlée par des traitements de semences chimiques, elle est toujours préjudiciable en agriculture biologique (AB) où il n’existe pas encore de traitements totalement efficaces. C’est pourquoi l’objectif est aujourd’hui de trouver de nouvelles pistes dans les deux aspects possibles de lutte en AB : les traitements de semences et l’utilisation de résistances variétales.

Pour traiter de ces aspects, deux études ont été réalisées. Dans la première, l’efficacité de traitements de semences conventionnels et biologiques a été évaluée. Il s’est avéré que les traitements biologiques tels que le vinaigre ou le COPSEED présentent une certaine efficacité mais irrégulière et jamais au même niveau que les traitements conventionnels tels que REDIGO ou CELEST NET.

Par ailleurs, l’utilisation de résistances variétales nécessite en amont de déterminer les virulences des souches de carie présentes en France. Celle-ci a été déterminée lors de la deuxième étude à l’aide d’une gamme d’hôtes différentiels. Les résultats obtenus montrent une prédominance des virulences Bt-7, Bt-15 et dans une moindre mesure Bt-2 chez les 11 souches testées.

Ces études doivent être poursuivies pour trouver un traitement de semences biologique à la fois efficace contre la carie et régulier, mais aussi pour déterminer la résistance de variétés potentiellement cultivables en AB vis-à-vis des virulences des souches de carie présentes en France.

mots-clés : Carie commune, blé, Traitements de semences, Virulence, Hôtes différentiels, Agriculture biologique

Common bunt is a soil-borne and seed-borne very damaging fungal disease of wheat. Although this disease is currently controlled by chemical seed treatments, common bunt is particularly damaging in organic farming because there is no fully effective seed treatments. That is why the objective of the present study is to find new ways of crop protection against common bunt in organic farming: seed treatments and use of varietal resistance.

To deal with these two aspects, two studies were carried out: in the first one, efficiencies of conventional and organic seed treatments were evaluated. Results show that organic seed treatments like vinegar or COPSEED are effective to protect wheat against common bunt but they are irregular and remain less effective than conventional chemical seed treatments like REDIGO or CELEST NET.

Furthermore, the use of varietal resistance firstly required to determine the virulence of bunt strains located in France. This was done in the second study using differential host range with 11 strains. The results show predominance of the Bt-7 and Bt-15 virulences and to a lesser extent the Bt-2 virulence.

These studies should be continued to find effective and regular organic seed treatments against common bunt, but also to characterize the resistance of new varieties for organic farming in France.

Keywords: Common bunt, Wheat, Seed treatments, Virulence, Differential host, biological farming