

## Sélection de variétés de blé et de triticales résistantes à la fusariose sur épi

F. MASCHER, V. MICHEL et R. A. BROWNE\*, Agroscope RAC Changins, case postale 1012, CH-1260 Nyon 1

@ E-mail: [fabio.mascher@rac.admin.ch](mailto:fabio.mascher@rac.admin.ch)  
Tél. (+41) 22 36 34 733.

### Résumé

La fusariose sur épi des céréales entraîne non seulement une réduction du rendement mais contamine les graines par des toxines potentiellement nuisibles. La lutte contre cette maladie passe par des mesures culturales préventives et le choix de variétés résistantes. La création de variétés de céréales résistantes exige une bonne connaissance des mécanismes de résistance disponibles dans le pool de sélection et l'élaboration de méthodes de sélection pertinentes, simples et reproductibles. La sélection du blé et du triticales, effectuée à Changins, tient particulièrement compte de la notation des symptômes après inoculation artificielle de l'épi. L'introduction de méthodes plus évoluées dans le programme de sélection, comme le test sur feuilles détachées, est discutée dans cet article.

### Introduction

La fusariose sur épi du blé et du triticales s'exprime après la floraison par des épis partiellement ou complètement échaudés. Parfois, une couche duveteuse grise, blanche ou rosâtre s'étend sur les glumes et sur les grains. Les premiers symptômes visibles de la fusariose sur épi sont de petites taches brunes sur les glumes. Typiquement, la maladie envahit progressivement l'épi. Au premier stade, seuls quelques épillets sont atteints tandis que le reste de l'épi est vert (fig.1). Ensuite, la partie supérieure de l'épi sèche prématurément avant que tout l'épi ne mure. Les grains issus de ces épis infectés sont blanchâtres, atrophiés et malformés. Le champignon peut rester bien visible sur les grains sous forme de la fine couche duveteuse décrite plus haut. La fusariose sur épi peut occasionner de graves pertes de rendement dues à la nécrose précoce des épis et à des grains mal remplis et déformés (Jones et Mirocha, 1998). En outre, lors de son développement sur la plante, le champignon sécrète des mycotoxines



Fig. 1. Epi de blé de printemps présentant des symptômes de la fusariose sur épi. L'infection est intervenue dans un épillet au centre de l'épi. L'infection envahit progressivement tout l'épi.

\*Adresse actuelle: Department of Biochemistry, Sanger Building, University of Cambridge, CB2 1GA, UK.

qui contaminent les grains et sont dangereuses pour les êtres humains et les animaux (Cahagnier, 2001; Gutzwiller *et al.*, 2005). Ces mycotoxines jouent aussi un rôle dans le développement de la fusariose sur épi; cet aspect sera traité plus loin dans le texte.

## Cycle d'infection

De grandes épidémies de fusariose sur épi, ayant engendré des pertes économiques importantes ont, en partie, été attribuées au développement de la pratique du travail minimal du sol (Miller *et al.*, 1998). Cette technique laisse des grandes quantités de débris végétaux en surface qui offrent un substrat idéal pour la multiplication des *Fusarium* (Yi *et al.*, 2002). Les cultures de maïs laissent des résidus particulièrement importants, du fait de la grande quantité de biomasse et de l'affinité élevée de *Fusarium graminearum*, un des agents pathogènes causant la fusariose sur épi, pour cette plante. Le précédent maïs est donc bien connu pour augmenter le risque de fusariose (Champeil *et al.*, 2004).

Toutefois, le champignon ne peut attaquer les épis de blé que s'il pleut et que la température est assez élevée (McMullen *et al.*, 1997). Les gouttes de pluie permettent la dispersion des spores du pathogène, notamment à partir du sol, et les transportent jusqu'au niveau de l'épi. L'humidité relative élevée permet la germination des spores et leur entrée dans la fleur. La sévérité et le développement de l'infection sont largement influencés par la sensibilité de la variété de blé ou de triticales utilisées (Hecker *et al.*, 2004; nos données, pas encore publiées). Cet aspect sera traité plus loin.

## Mesures de lutte

Une lutte efficace contre la fusariose sur épi vise à éviter ou à réduire l'infection primaire mais aussi à limiter les conséquences négatives d'une infection en cours. L'inoculum primaire peut être limité par des techniques culturales qui détruisent ou enfouissent les débris de la culture précédente. Ceci est d'autant plus nécessaire lorsque le plan de rotation prévoit une céréale après maïs ou en répiage d'une autre céréale (Krebs *et al.*, 2000). Plusieurs fongicides à base de tébuconazole et de prochloraz ont été utilisés pour réduire l'infection primaire des épis de blé (Mauler-Machnik et Suty, 1997). Toutefois, dans la pratique, la lutte chimique contre la maladie donne souvent des résultats insuffisants et n'évite pas l'accumulation de mycotoxines dans les grains (Forrer *et al.*, 2000; Milus et Parsons, 1994). L'utilisation de fongicides à base de strobilurines peut même favoriser la colonisation du pathogène et la contamination par les mycotoxines, probablement à cause de leur activité de stimulateur de croissance (Forrer *et al.*, 2000).

Considérant la faible efficacité des fongicides, l'emploi de variétés de céréales résistantes renforce la protection de la récolte contre la fusariose et ses conséquences néfastes sur la qualité du produit.

Une variété ne doit donc pas seulement résister à l'infection au niveau de l'épi mais aussi à l'accumulation de mycotoxines dans les grains. La sélection de telles variétés est une tâche de longue durée exigeant le développement de méthodes de sélection très poussées. Cet article donne un aperçu de la pathogénèse et des mécanismes de résistance présents dans le blé et le triticales. Il montre les méthodes de sélection actuellement utilisées à Changins et l'affinage des méthodes. Enfin, il présente les performances des variétés actuelles en matière de résistance à la fusariose.

## Mécanismes d'infection et de résistance

*Fusarium graminearum* et *F. culmorum* sont les espèces pathogènes majeures responsables de la fusariose sur épi. *Fusarium poae*, *F. avenaceum*, *Microdochium nivale* ainsi que d'autres espèces de *Fusarium* jouent un rôle moins important (Parry *et al.*, 1995). Il est toutefois assez commun de trouver un mélange de plusieurs espèces et de différentes souches sur le même épi (Doohan *et al.*, 2003). La contribution de chaque souche à la lésion de l'épi et l'interaction entre les souches sont encore mal connues. Dans une expérience en serre, nous avons classifié 42 souches de *Fusarium graminearum* et *F. culmorum* suisses en trois classes d'agressivité: élevée, moyenne et faible. Comme Fernandez et Chen (2005), nous n'avons pas trouvé de différence d'agressivité entre les espèces *Fusarium graminearum* et *F. culmorum* (données non publiées).

L'infection a lieu durant la floraison. Bai (1995) a même observé des infections tardives jusqu'au stade de la maturité laiteuse (BBCH 75). Après germination, le tube germinale pénètre dans l'épillet et se développe sur les glumes, utilisant les nutriments disponibles (Kang et Buchenauer, 2000). Le champignon pénètre ensuite dans la fleur et s'enfile dans les stomates, dans des blessures et les étamines. Les étamines sont le site préféré de pénétration parce qu'elles contiennent des composés qui stimulent la croissance des champignons (Strange et Smith, 1971). Le mode d'infection peut toutefois varier d'une variété à l'autre. Quand l'épillet est infecté, le champignon se propage dans le reste de l'épi, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur, en utilisant le système vasculaire. Ce dernier type de propagation peut provoquer l'interruption du flux de la sève vers les parties supérieures de l'épi (fig. 2).



Fig. 2. Epi atteint de fusariose. La propagation du champignon à l'intérieur de l'épi provoque l'interruption du flux de la sève vers les parties supérieures.



Pendant son développement, les isolats appartenant au groupe de *F. graminearum* et *F. culmorum* produisent des mycotoxines du groupe des trichothécènes (désoxynivalénol: DON et nivalénol: NIV) et des stéroles (zéaralénone: ZON). Les *Fusarium* mineurs sécrètent d'autres types de mycotoxines. Le DON endommage les membranes cellulaires et réduit l'activité des chloroplastes, jouant donc un rôle actif dans la pathogenèse (McCormick, 2004). Rien n'est actuellement connu sur l'effet des autres toxines dans ce processus. Toutefois, on sait que les toxines sont impliquées dans la survie et la compétitivité des *Fusarium* dans leurs niches écologiques, lors de la colonisation des débris végétaux (Lutz *et al.*, 2003).

Le blé et le triticale disposent de plusieurs mécanismes de résistance contre le développement de la maladie. Le champignon a besoin de fleurs ouvertes pour pénétrer. Certaines variétés fleurissent sans que les épillets ne s'ouvrent, ce qui leur permettrait d'échapper à l'infection. D'autres variétés évitent l'infection par une durée de floraison très courte, par des épis présentant un petit nombre de fleurs ou par un épi lâche et aéré, ce qui permet un rapide ressuyage. Une cuticule épaisse peut arrêter la pénétration du champignon et une tige longue peut prévenir la contamination de l'épi par des spores venant du sol ou des feuilles (Hilton *et al.*, 1996). Outre ces mécanismes de résistance constitutifs, il existe aussi plusieurs types de résistance physiologiques. Schroeder et Christensen (1963) ont décrit le type de résistance 1, actif contre l'infection initiale de la fleur et le type 2, limitant la diffusion de l'infection dans le tissu et dans le reste de l'épi. La résistance de type 2 se base vraisemblablement sur l'induction de callosités dans les vaisseaux et l'accumulation de lignine dans les parois cellulaires (Kang et Buchenauer, 2000). Les bases physiologiques du type 1 sont encore mal connues. D'autres types de résistance sont d'importance primordiale pour la sélection de variétés résistantes. La résistance à l'attaque des grains a été décrite par Mesterhazy (1995) comme appartenant au type 3. Ici, le champignon ne pénètre pas dans les grains et n'altère donc pas leur composition. Les grains sont donc moins endommagés que ne le laissent supposer les symptômes visibles sur l'épi. Néanmoins, le sélectionneur doit veiller à ce que le pathogène ne puisse pas produire des mycotoxines à la surface des graines. La faculté de freiner l'accumulation des mycotoxines dans les graines, donc la capacité de la variété à bloquer la synthèse de mycotoxines par le champignon ou à dégrader les mycotoxines a été rapportée par Miller *et al.* (1985). Dans un programme de sélection, les variétés tolérantes de fortes teneurs en mycotoxines, sans toutefois montrer des symptômes visibles sur l'épi, doivent être éliminées.

Pour la sélection, le phénotype idéal devrait résister à l'infection initiale du champignon, puis restreindre les conséquences de la maladie en limitant la dispersion de l'infection dans les autres organes de la plante et empêcher l'accumulation de mycotoxines dans les grains. Pour sélectionner un tel phénotype, il faut bien connaître les bases génétiques de la résistance et pouvoir développer les méthodes de sélection adéquates.

Jusqu'à présent, un génotype de céréale présentant une résistance absolue à la fusariose sur épi n'a pas encore été trouvé. Le niveau de résistance est continu et va de peu sensible à très sensible. A Changins, le spectre de réaction des variétés aux tests de résistance varie de peu sensible (par exemple Arina, Nadro, Quarna) à intermédiaire (Runal et Zinal), puis sensible (Levis) pour atteindre très sensible (Winnetou, Drifter ou Royssac), dans les résultats des tests d'homologation de 1999 à 2004.

En absence de résistance absolue mais avec une large gamme de niveaux, la résistance à la fusariose du blé et du triticale est donc un cas typique de résistance horizontale (Kolb *et al.*, 2001). Des analyses génétiques très poussées ont relevé que plusieurs gènes mineurs codent pour une partie de la résis-

tance à la maladie (Paillard *et al.*, 2004). L'effet de ces gènes est cumulatif. Pour obtenir des variétés résistantes, il est donc souhaitable d'accumuler le plus de gènes de résistance possible dans le même génotype.

Des variétés résistantes sont à disposition comme sources de résistance, comme par exemple Arina (CH), Renan (F), Frontana (BR) et la variété chinoise Sumai 3. Récemment, de grands progrès ont été faits dans la compréhension des bases génétiques de ces variétés expliquant ces bons comportements. L'analyse poussée de la base de résistance d'Arina a mis en évidence l'implication d'au moins sept loci dans son patrimoine génétique (Paillard *et al.*, 2004). La variété chinoise Sumai 3 montre une très forte résistance du type 2 (Anderson *et al.*, 2001). Les analyses génétiques ont montré que la résistance est principalement contrôlée par un allèle localisé sur le bras court du chromosome 3B (Anderson *et al.*, 2001). Avec la localisation de cet allèle et la disponibilité d'un marqueur moléculaire proche de l'allèle, beaucoup d'efforts de sélection se sont résumés à l'utilisation de ce gène comme source de résistance (Kolb *et al.* 2001). Les variétés Steele-ND et Alsen, obtentions de la North Dakota Agricultural Experiment Station (Etats-Unis), en sont un exemple. En Suisse, la sélection vise également à introduire la résistance Sumai 3 dans le matériel, tout en gardant les résistances déjà disponibles dans les variétés actuelles.

Les variétés actuelles montrant une faible sensibilité à la maladie Arina, Titlis, Ségor, Fiorina, Nadro et Earl/Quarna sont issues de croisements n'impliquant pas cette origine chinoise. Leur résistance élevée s'appuie sur plusieurs mécanismes de résistance mineurs et cumulatifs, qui retardent le processus d'infection de l'épi et accumulent peu les mycotoxines (Hecker *et al.*, 2004; nos résultats pas encore publiés).

## Méthodes de sélection de la résistance

La sélection pour la résistance vise à retenir le phénotype dont les caractéristiques se rapprochent de l'idéal. Dans le programme de sélection d'Agroscope RAC Changins, environ 1000 lignées de sélection de blé et de triticale sont examinées annuellement, il est ainsi nécessaire de définir très précisément les critères de choix et d'appliquer des méthodes faciles, fiables et rapides (Michel, 2001).

La notation des symptômes visibles sur l'épi est sans doute le critère de sélection le plus simple. Le système de notation utilisé à Changins est basé sur une échelle de 1 à 9 (1 = sans symptômes et 9 = épi mort) (tabl.1). L'échelle suit une progression logarithmique ce qui facilite la saisie des notes au champ et rend la notation plus fiable (Michel, 2001).

**Tableau 1. Echelle d'évaluation utilisée pour l'estimation de la sévérité de l'infection par *Fusarium* sur épi dans les pépinières à Changins (d'après Michel, 2001).**

| Note | Part de l'épi infectée | Description des symptômes                                        |
|------|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1    | 0%                     | Sans symptômes                                                   |
| 2    | 2,5%                   | Traces de symptômes, un épillet sur 10 épis montre des symptômes |
| 3    | 10%                    | 10% des épillets de chaque épi sont infectés                     |
| 4    | 25%                    | Un quart des épillets d'un épi sont infectés                     |
| 5    | 50%                    | La moitié des épillets d'un épi sont infectés                    |
| 6    | 75%                    | Trois quarts des épillets d'un épi sont infectés                 |
| 7    | 90%                    | 10% des épillets d'un épi ne sont pas infectés                   |
| 8    | 97,5%                  | Peu d'épillets d'un épi ne sont pas infectés                     |
| 9    | 100%                   | Tous les épis sont morts                                         |

Dans la pratique, les tests de résistance sont réalisés au champ. Pour l'inoculum, un mélange de spores de 20 différents isolats suisses de *Fusarium culmorum* sont utilisés. Les isolats sont cultivés sur grains d'avoine qui favorisent une bonne production de spores (Saur et Benacef, 1993). L'inoculation est faite par pulvérisation d'une suspension de  $10^6$  spores par ml, à raison de 300 l/ha. Après inoculation, le site est maintenu dans une humidité relative élevée par asper-sion à haute pression et faible débit. L'intensité de l'irrigation est bien entendu adaptée aux conditions climatiques du moment. L'infection est répétée trois fois dans l'intervalle d'une semaine, en commençant lorsque la variété de blé Galaxy (CACBAS, France), la plus précoce, commence à fleurir. A partir de la génération F7, les lignées de sélection sont incluses dans le test de résistance pour la fusariose. Ceci signifie qu'entre ces tests de sélection et son inscription au catalogue national, la variété a été testée pendant cinq ans. Les figures 3 et 4 montrent les résistances de trois variétés de blé d'automne et trois de blé de printemps testées pendant cette durée. Les résultats ainsi obtenus montrent des fluctuations très importantes entre les années. Trois ans au moins sont nécessaires pour pouvoir juger du niveau de résistance d'une lignée avec une certaine assurance. En effet, les variétés résistantes se distinguent des variétés sensibles par un niveau d'infection régulièrement plus bas, comme Arina. L'accent est mis sur la relation existant entre les symptômes visibles sur l'épi et les autres conséquences de l'infection comme l'accumulation de mycotoxines (en particulier le DON) dans les grains, la baisse de rendement, la réduction

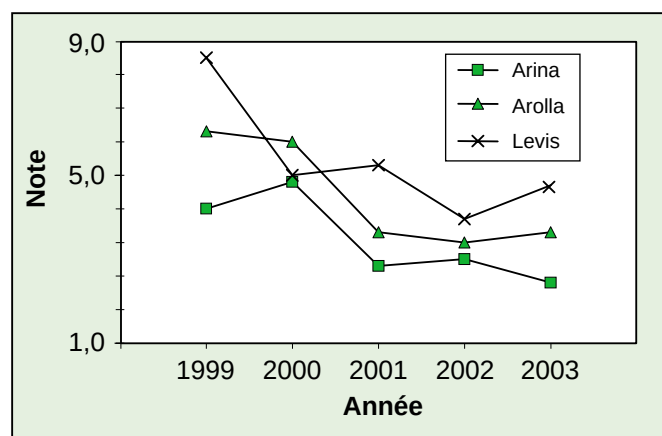


Fig. 3. Notes des variétés suisses de blé d'automne Arina, Arolla et Levis dans les tests de résistance de 1999 à 2003.

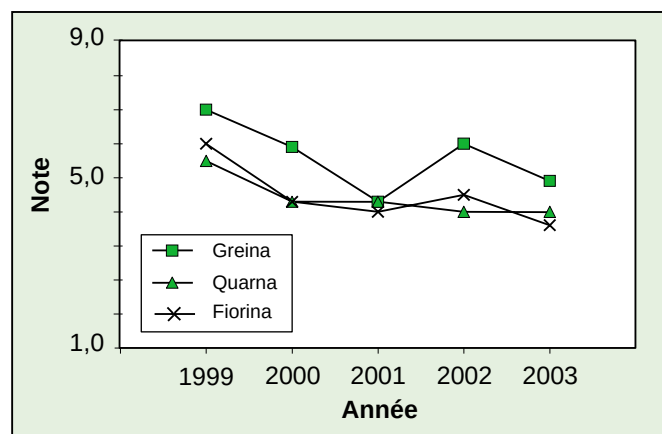


Fig. 4. Notes des variétés suisses de blé de printemps Greina, Quarna et Fiorina dans les tests de résistance de 1999 à 2003.

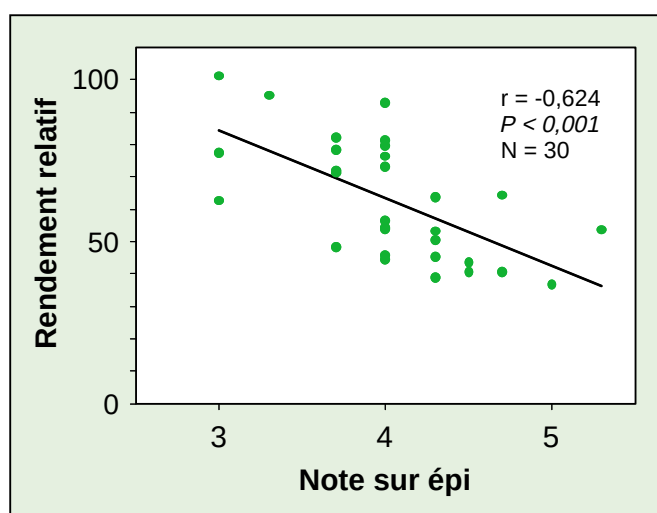


Fig. 5. Relation entre la perte de rendement relatif et la gravité de la maladie dans le blé de printemps suisse.

du poids de mille grains, le taux de grains déformés et d'autres critères encore (Kleijer et Michel, 2001). La relation entre notation des symptômes et perte de rendement dans le blé de printemps est illustrée dans la figure 5. On constate qu'il y a une forte corrélation entre la perte de rendement et les symptômes visibles sur épi. Ce lien n'existe toutefois pas pour toutes nos lignées de sélection et il est possible de trouver des génotypes présentant des symptômes aigus sans que leur rendement ne soit diminué.

Une autre approche pour tester la résistance des lignées de blé consiste à pratiquer un test sur feuilles détachées. Le test vise à caractériser la réponse de la plante à l'agression par les spores pathogènes sur les feuilles, plus pratiques à manier que l'épi. *Fusarium graminearum* et *F. culmorum* ne provoquant pas de symptômes sur feuille, le test emploie l'espèce *Microdochium nivale*, qui provoque des symptômes aussi bien sur l'épi que sur les feuilles.

Après inoculation, les premiers symptômes visibles au microscope se manifestent par la destruction de la paroi cellulaire des cellules épidermiques de la feuille, au moment où le pathogène tente de pénétrer (fig. 6). Le laps de temps écoulé entre l'inoculation et ces premiers symptômes s'appelle période d'incubation et peut durer entre un et dix jours.



Fig. 6. Symptôme typique de la fin de la période d'incubation dans le test sur feuille détachée. Le champignon (*Microdochium nivale*) est parvenu à pénétrer dans la feuille, comme l'expriment les lésions dans le tissu (flèche).



Fig. 7. Symptôme typique de la fin de la période de latence dans le test sur feuille détachée. Le champignon (*Microdochium nivale*) a envahi le tissu de l'hôte et commence à sporuler. Bien visibles les stomates gonflés et remplis par des sporanges, indiqués par les flèches. On aperçoit également le fort développement du mycélium à l'extérieur de la feuille.

Le champignon envahit ensuite le tissu végétal et commence à sporuler (fig. 7). Cette phase se traduit par des stomates foliaires gonflés et blancs et l'apparition de sporanges. La durée entre l'inoculation et la sporulation est appelée période de latence et peut durer entre trois et vingt jours après l'inoculation.

Les résultats indiquent qu'une longue période d'incubation est probablement le signe d'une forte incidence de la maladie (Browne *et al.*, 2005). Le champignon semble ne pas solliciter les mécanismes de résistance de la plante et colonise la surface avant de pénétrer dans la feuille (Browne *et al.*, 2004). Par contre, une longue période de latence est fortement corrélée avec une résistance de type 2, car cette dernière est connue pour ralentir le développement du champignon dans le tissu, empêchant la propagation de l'infection dans les tissus adjacents. En matière de sélection, nous recommandons de préférer des lignées qui combinent une courte période d'incubation avec une longue période de latence. Nos résultats montrent que les variétés Arina et Nadro s'approchent de cette situation idéale (résultats non publiés).

## Performance des variétés dans la pratique

Les travaux menés au champ et en laboratoire nous permettent d'obtenir des variétés ayant un niveau de résistance à la fusariose satisfaisant (Collaud *et al.*, 2004). Dans des essais techniques en France, notre variété Runal a été jugée la meilleure en termes de résistance à la fusariose (Arvalis Institut du végétal, 2004).

Dans un programme de sélection, la résistance à la fusariose ne constitue toutefois que l'un des trente caractères pris en considération (Fossati et Brabant, 2003). C'est ainsi que quelques variétés récentes de notre programme de sélection ne possèdent qu'une résistance moyenne à faible à cette maladie.

Il convient d'insister sur le fait que l'utilisation des seules variétés résistantes ne constitue pas une solution suffisante aux problèmes liés à la fusariose. La lutte contre cette maladie doit intégrer des techniques de culture adéquate, une rotation judicieuse et l'emploi de variétés réduisant le risque d'infection et de contamination des grains.

## Conclusions

- ❑ La lutte contre la fusariose sur épi des céréales doit combiner des mesures préventives, notamment éviter la culture du blé en répiage après maïs et blé, et l'utilisation de variétés résistantes.
- ❑ Les variétés résistantes ont la capacité de réduire le risque d'infection et de limiter les effets négatifs en cas d'infection.
- ❑ Les pools de sélection du blé et du triticale présentent une grande diversité de types de résistance. Le but de la sélection est de combiner au mieux les différents types de résistance dans un cultivar.
- ❑ Les méthodes de sélection de variétés résistantes à Agroscope RAC Changins sont basées sur l'infection artificielle des plantes au champ et le suivi des symptômes sur l'épi.
- ❑ Des méthodes modernes de sélection prennent également en compte la faculté des génotypes à réduire l'accumulation de mycotoxines dans les graines et cernent mieux la base physiologique de la réaction de résistance.

## Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à rédiger ce texte. En particulier M. Arnold Schori, Agroscope RAC Changins, pour ses commentaires sur le manuscrit. Merci également à M<sup>me</sup> Anne-Marie Frutschi pour les corrections du texte français, M<sup>me</sup> Dafne Giannettoni pour la correction du résumé en italien et M. Daniel Mascher pour celui en allemand. Les résultats présentés ont été obtenus avec l'aide précieuse de M. Stefan Kellenberger et de M<sup>me</sup> Eveline Martin. La visite du docteur Roy Browne à Changins a été rendue possible par une contribution du programme STSM dans le cadre de l'action COST860 SUSVAR ainsi que par une bourse de la British Society for Plant Pathology (BSPP).

## Bibliographie

- Anderson J. A., Stack R. W., Liu S., Waldron B. L., Fjeld A. D., Coyne C., Moreno-Sevilla B., Fetch J. M., Song Q. J., Cregan P. B. & Froberg R. C., 2001. DNA markers for Fusarium head blight resistance QTLs in two wheat populations. *Theor. Appl. Genet.* **102**, 1164-1168.
- Anonyme, 2004. Arvalis Institut du végétal. Fusariose des épis: une année sans histoire! *Choisir* 2004, 25-28. Adresse: [http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/com\\_detail.asp?id=177](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/com_detail.asp?id=177) [2. juin 2005].
- Bai G., 1995. Scab of wheat: Epidemiology, inheritance of resistance and molecular markers to cultivar resistance. Thèse, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
- Browne R. A., Murphy J. P., Cooke B. M., Devaney D., Walsh E. J., Griffey C. A., Hancock J. A., Harrison S. A., Hart P., Kolb F. L., McKendry A. L., Milus E. A., Sneller C. & Van Sanford D. A., 2005. Evaluation of components of Fusarium Head Blight resistance in soft red winter wheat germ plasm using a detached leaf assay. *Plant Disease* **89**, 404-411.
- Browne R. A. & Cooke B. M., 2004. Development and evaluation of an *in vitro* detached leaf assay for prescreening resistance to Fusarium head blight in wheat. *Eur. J. Plant Pathol.* **110**, 91-102.
- Cahagnier B., 2001. Céréales et mycotoxines. Généralités, présences, dosage. *Industries des céréales* **122**, 22-29.
- Champeil A., Doré T. & Fourbet J. F., 2004. Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Science* **166**, 1389-1415.
- Collaud J., Schwärzel R., Bertossa M., Menzi M., Anders M., Stoll P. & Peter D., 2004. Variétés de céréales recommandées par l'interprofession pour la récolte 2005. *Revue suisse Agric.* **36** (1), 1-8 (encart).
- Doohan F. M., Brennan J. & Cooke B. M., 2003. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *Eur. J. Plant Pathol.* **109**, 755-768.
- Fernandez M. R. & Chen Y., 2005. Pathogenicity of *Fusarium* species on different plant parts of spring wheat under controlled conditions. *Plant Disease* **89**, 164-169.
- Forrer H. R., Hecker A., Külling C., Kessler P., Jenny E. & Krebs H., 2000. Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? *Agrarforschung* **7** (6), 258-263.

- Fossati D. & Brabant C., 2003. La sélection du blé en Suisse. Le programme des stations fédérales. *Revue suisse Agric.* **35**, 169-180.
- Gutzwiller A., Czeplédi L. & Stoll P., 2005. Efficacité d'adsorbants contre les mycotoxines de *Fusarium* chez le porc. *Revue suisse Agric.* **37** (3), 121-129.
- Hecker A., Bänziger I., Jenny E., Forrer H. R. & Vogelgsang S., 2004. Weniger Fusarien-Toxin durch geeignete Sortenwahl? *AgrarForschung* **11**, 384-389.
- Hilton A. J., Jenkinson P., Parry D. W. & Hollins T. W., 1996. Relationship between plant morphology and severity of fusarium ear blight in eight cultivars of winter wheat. *Brighton Crop Protection Conf. Pests and Diseases* **1**, 419-420.
- Jones R. K. & Mirocha C. J., 1999. Quality parameters in small grains from Minnesota affected by Fusarium head blight. *Plant Disease* **83**, 506-511.
- Kang Z. & Buchenauer H., 2000. Cytology and ultrastructure of the infection of wheat spikes by *Fusarium culmorum*. *Mycol. Res.* **104**, 1083-1093.
- Kleijer G. & Michel V., 2001. Observations sur la résistance du triticale et du blé à la fusariose sur épi. *Revue suisse Agric.* **33** (6), 271-274.
- Kolb F. L., Bai G. H., Muehlbauer G. J., Anderson J. A., Smith K. P. & Fedak G., 2001. Host plant resistance genes for Fusarium Head Blight: mapping and manipulations with molecular markers. *Crop Sci.* **41**, 611-619.
- Krebs H., Dubois D., Külling C., Forrer H. R., Streit B., Rieger S. & Richner W., 2000. Fusarien- und Toxinbelastung des Weizens bei Direktsaat. *AgrarForschung* **7**, 264-268.
- Lutz M. P., Feichtinger G., Défago G. & Duffy B., 2003. Mycotoxigenic Fusarium and deoxynivalenol production repress chitinase gene expression in the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* P1. *Appl. Environ. Microbiol.* **69**, 3077-3084.
- Mauler-Machnik A. & Suty A., 1997. New findings on the epidemiology, importance and control of Fusarium ear blight on wheat. *Cereal Research Communication* **25**, 705-711.
- McCormick S., 2003. The role of DON in pathogenicity. In: Fusarium Head Blight of Wheat and Barley. (K. J. Leonard et W. R. Bushnell eds.). The American Phytopathological Society, St. Paul, USA, 000 p.
- McMullen M. P., Enz J., Lukach J. & Stover R., 1997. Environmental conditions associated with Fusarium head blight epidemics of wheat and barley in the Northern Great Plains, USA. In: Proceedings 1997 National Fusarium Head Blight Forum, 10-12. November 1997, St Paul, USA, 46-47.
- Mesterházy A., 1995. Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. *Plant Breeding* **114**, 377-386.
- Michel V., 2001. La sélection de variétés de blé et de triticale résistantes aux maladies. *Revue suisse Agric.* **33** (4), 133-140.
- Miller J. D., Culley J., Fraser K., Hubbard S., Meloche F., Ouellet T., Seaman W. L., Seifert K. A., Turkington K. & Voldeng H., 1998. Effect of tillage practice on fusarium head blight of wheat. *Revue canadienne de Phytopathologie* **20**, 95-103.
- Miller J. D., Young J. C. & Sampson D. R., 1985. Deoxynivalenol and Fusarium Head Blight resistance in spring wheat cereal. *Phytopathologische Zeitschrift* **113**, 359-367.
- Milus E. A. & Parsons C. E., 1994. Evaluation of foliar fungicides for controlling Fusarium head blight of wheat. *Plant Disease* **78**, 697-699.
- Paillard S., Schnurbusch T., Tiwari R., Messmer M., Winzeler M., Keller B. & Schachermayr G., 2004. QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in Swiss winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* **109**, 323-332.
- Parry D. W., Jenkinson P. et McLeod L., 1995. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals – a review. *Plant Pathology* **44**, 207-238.
- Saur L. & Benacef N., 1993. Relation entre les symptômes de fusariose de l'épi et la perte de rendement chez le blé tendre. *Agronomie* **13**, 829-833.
- Schachermayr G. & Fried P. M., 2000. Fusarioses et mycotoxines: le tour du problème. *Revue suisse Agric.* **32**, 241-246.
- Schroeder H. W. & Christensen J. J., 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* **53**, 831-838.
- Strange R. N. & Smith H., 1971. A fungal growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. *Physiological Plant Pathology* **1**, 141-150.
- Yi C. L., Kaul H. P., Kubler E. & Aufhammer W., 2002. Populations of *Fusarium graminearum* on crop residues as affected by incorporation depth, nitrogen and fungicide application. *Journal of Plant Disease and Plant Protection* **109**, 252-263.

## Zusammenfassung

### Die Züchtung resistenter Weizen- und Triticale Sorten gegen die Ährenfusariose

Die Ährenfusariose auf Weizen und Triticale verursacht sowohl eine Ertragsminderung als auch eine Verunreinigung des Ernteguts mit Mykotoxinen. Die Bekämpfung umfasst vorbeugende Massnahmen bei den Anbautechniken und die Nutzung von resistenten Sorten. Die Züchtung von resistenten Sorten setzt eine gute Kenntnis der Resistenzarten in den Genpools voraus sowie die Entwicklung von schnellen, sicheren und wiederholbaren Selektionsmethoden. In Changins werden die Sorten und Zuchtlinien vor allem mittels optischer Bonitierung der Symptome nach künstlicher Infektion bewertet. Die Anwendung von moderneren Methoden im Züchtungsprogramm, als Beispiel sei hier der Blatttest genannt, wird in diesem Artikel diskutiert.

## Summary

### Breeding of resistant wheat and triticale varieties against fusarium head blight

Fusarium head blight on wheat and triticale affects the yield and contaminates the kernels with mycotoxins. The control of the disease includes prevention by adapted culture techniques and the use of resistant varieties. Breeding for resistant varieties requires a good knowledge of available resistant types in the gene pools but also the development of quick, reliable and repeatable selection methods. In Changins, varieties and breeding lines are evaluated according to the severity of their symptoms on the ear after artificial inoculation. Novel methods, such as the detached leaf assay are discussed for their implementation as methods to improve the efficiency of Fusarium head blight resistance breeding.

**Key words:** wheat, triticale, fusarium head blight, breeding for resistance, selection criteria.

## Riassunto

### Selezione di frumento tenero e di triticale resistenti alla fusariosi sulla spiga dei cereali

La fusariosi sulla spiga del frumento e del triticale non riduce solo la resa, ma contamina anche il prodotto con micotossine. La lotta contro la malattia include la prevenzione attraverso metodi adatti di coltivazione e l'uso di varietà resistenti. La selezione di varietà resistenti richiede una buona conoscenza dei tipi di resistenza disponibili nel pool genetico e lo sviluppo di metodi rapidi, affidabili e ripetibili. A Changins, la selezione di varietà e linee si basa sulla stima della severità dei sintomi sulla spiga dopo infezione artificiale. L'applicazione di metodi di selezione moderni come il test su foglie staccate, è discussa in questo testo.