

Rhubarbe, bourdaine et tannins contre les fusarioses et les mycotoxines du blé

Hans-Rudolf Forrer¹, Tomke Musa¹, Fabienne Schwab², Eveline Jenny¹, Thomas D. Bucheli¹, Felix E. Wettstein¹, Keqiang Cao³ et Susanne Vogelgsang¹

¹Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU, 8046 Zurich, Suisse

²Duke University, Center for the Environmental Implications of Nanotechnology, Durham, NC 27708, USA

³Agricultural University of Hebei, College of Plant Protection, Baoding 071001, Chine

Renseignements: Hans-Rudolf Forrer, e-mail: hans-rudolf.forrer@agroscope.admin.ch



Les plantes médicinales agissent aussi contre les fusaries: écorce de bourdaine (*Frangula alnus*), racines de rhubarbe (*Rheum palmatum*) et farine de galle chinoise (*Galla chinensis*) avec galle du chêne (*G. legnosa*). (Photo: Hans-Rudolf Forrer, Agroscope)

Introduction

Importance et présence des espèces de *Fusarium*

Les champignons *Fusarium* font partie des principaux agents pathogènes dans les cultures de céréales. Les fusaries sont redoutées non seulement pour les pertes de récolte et de qualité qu'elles causent, mais aussi et surtout pour les substances toxiques qu'elles produisent, appelées mycotoxines. L'espèce de *Fusarium* dominante dans le blé est *Fusarium graminearum* (FG). Elle forme les mycotoxines déoxynivalénol (DON), nivalénol (NIV) et zéaralénone (ZEA), qui entraînent une faiblesse du système immunitaire, une réduction de l'alimentation ou des troubles de la fécondité.

Jusqu'en 1974, *Fusarium nivale* (aujourd'hui dans le genre *Microdochium*), l'agent pathogène de la pourriture des neiges qui ne forme aucune mycotoxine, était l'espèce de loin la plus répandue (Häni 1977). Dans 86 % des échantillons de blé, on observait une infestation par *Microdochium* de 1 % ou plus. En moyenne, 13 % des grains étaient infestés (tabl. 1). Les fusaries pures ne jouaient qu'un rôle secondaire et FG n'était identifié que dans 6 % des échantillons. En moyenne, seuls 0,1 % des grains étaient infestés par FG. C'est pourquoi on n'accordait alors qu'une faible importance aux fusaries, mais aussi parce qu'on ne parlait presque pas des mycotoxines à l'époque. À l'exception de *F. poae*, les chiffres des infestations n'ont pratiquement pas varié dans un autre monitoring réalisé de 1991–1999.

2007–2010: 60 fois plus de *F. graminearum*

Avec l'importance croissante de la sécurité des denrées alimentaires et des aliments pour animaux, la surveillance des mycotoxines ainsi que des rapports mentionnant leur augmentation dans le monde, les fusarioses dans les céréales occupent désormais le devant de la scène. Le dernier monitoring suisse du blé de 2007–2010 montre que ceci était justifié: 76 % des échantillons étaient infestés par FG et en moyenne 6 % des grains de blé étaient infestés (résultats non publiés).

La teneur moyenne en DON de ces échantillons s'élevait à 0,65 ppm (mg/kg) et 17 % des échantillons dépassaient la valeur limite de 1,250 ppm pour les céréales non transformées. Comment expliquer l'augmentation en flèche de l'infestation par FG et donc la charge en DON? Les monitorings du blé ont montré que les problèmes de FG et de DON survenaient généralement là où le blé faisait suite à des cultures de maïs mises en place par semis direct ou avec un travail du sol minimal. Avec ces techniques, les restes des plantes de maïs, souvent atteintes de FG, demeurent à la surface du sol. Le champignon FG hiverne dans les restes de maïs et forme des fructifications au début du printemps avec des ascospores qui infectent le blé à la floraison. La forte augmentation des problèmes causés par FG peut s'expliquer par le fait que de 1960 à aujourd'hui, les cultures de maïs en Suisse sont passées de moins de 5000 ha à plus de 60000 ha, et que ces vingt dernières années, la tendance a été de ménager le sol et de renoncer au labour.

Facteurs de risques: maïs et protection du sol

Le développement très important des infestations par FG entre 1991–1999 et 2007–2010 est sans doute dû à l'extension des cultures sans labour, à la mise en place croissante de variétés de blé sensibles à FG, ainsi qu'au fort recul de la variété de blé Arina, qui possède des résistances uniques à FG. Tandis qu'Arina représentait plus de 80 % de la surface cultivée en blé dans les années 1980 et en représentait encore plus de 60 % dans la période 1991–1999, ce pourcentage a chuté à moins de 10 % aujourd'hui.

Résumé Ces dernières années, l'importance des fusarioses et de leurs toxines a fortement augmenté dans le blé. Les plantes médicinales pourraient être un moyen de lutte écologique. Des suspensions de *Galla chinensis* (galle chinoise) et d'acide tannique ont inhibé la germination des spores et la croissance du mycélium de *Fusarium graminearum* *in vitro* de 75 à 100 %. En chambres climatisées avec du blé «Apogee» infecté de manière artificielle, des traitements à l'acide tannique, à base de *G. chinensis* et de *Rheum palmatum* (rhubarbe chinoise) ont réduit la teneur des grains en déoxynivalénol (DON) de 67 à 81 %. Bien qu'elle n'ait donné aucun résultat ni *in vitro* ni en chambre climatique, l'écorce de bourdaine (*Frangula alnus*) a réduit la teneur en DON de 60 % lors d'essais sur le terrain avec deux variétés de blé d'automne. L'effet également élevé de l'acide tannique et de *G. chinensis* peut s'expliquer par la toxicité fongique. Nous expliquons l'effet de *F. alnus* par une induction de résistance. Nous avons pu montrer pour la première fois que des substances végétales pouvaient offrir une vraie alternative à l'utilisation de fongicides de synthèse dans la lutte contre les fusarioses du blé.

Tableau 1 | Infestation par *Fusarium* des grains de blé d'automne en 1971–1974, 1991–1999 et 2007–2010 (moyennes de tous les grains avec infestation en %, entre parenthèses % des échantillons de blé avec au moins 1 % d'infestation; –: pas d'indication)

Période	Nombre d'échantillons	<i>Microdochium</i> spp.	<i>F. graminearum</i> (FG)	<i>F. poae</i> (FP)	<i>F. avenaceum</i> (FA)	<i>F. culmorum</i> (FC)	<i>F. crookwellense</i> (FCr)
1971–1974 ^a	101	12,8 (86)	0,1 (6)	0,2 (15)	0,4 (30)	0,2 (13)	–
1991–1999 ^b	550	10,1 (–)	0,3 (–)	1,1 (–)	0,2 (–)	0,1 (–)	–
2007–2010 ^c	527	12,7 (90)	6,0 (76)	1,9 (60)	0,9 (38)	0,1 (7)	0,1 (9)

a) Häni 1977, b) Schachermayr et Fried 2000, c) Vogelgsang et al., en production.

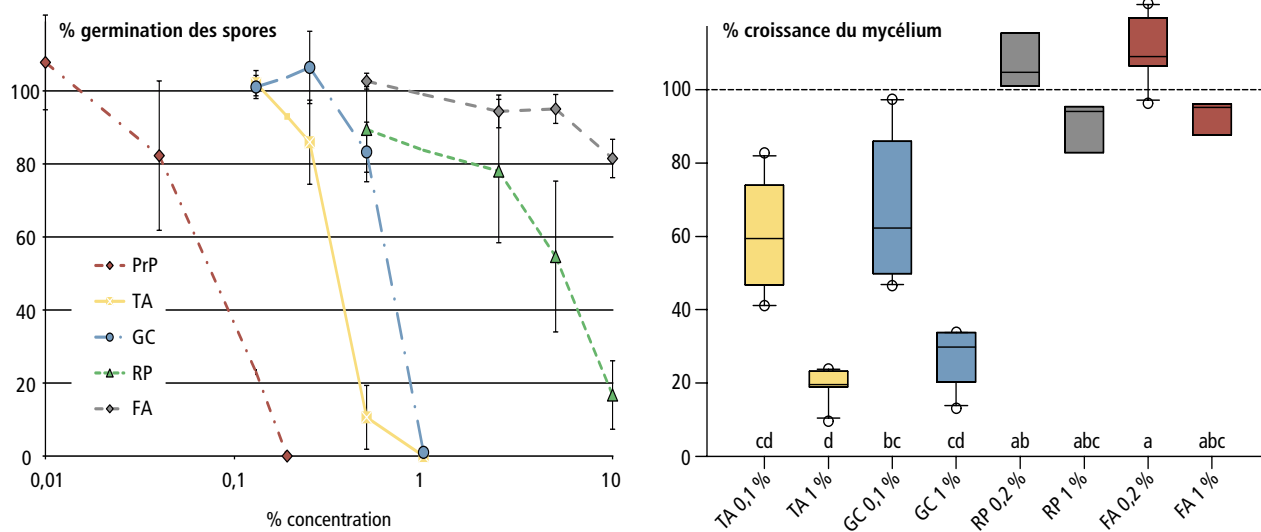


Figure 1 | Influence des suspensions d'acide tannique (TA), *Galla chinensis* (GC), *Rheum palmatum* (RP), *Frangula alnus* (FA) et Pronto Plus® (PrP) sur la germination des spores (à gauche) et la croissance du mycélium (à droite) de *Fusarium graminearum* (FG0407); PrP non représenté pour la croissance du mycélium car complètement inhibé avec 0,1 %. Moyennes avec erreurs standards (germination des spores) ainsi que box-plots avec valeurs médianes, max. et min. (croissance du mycélium, les traitements avec des lettres semblables ne se distinguent pas statistiquement, rang ANOVA avec test de Dunn, $p < 0,05$). Les données sont représentées par comparaison (%) aux valeurs des procédés témoins.

Connaissant la problématique, la vulgarisation a conseillé soit de ne pas planter de blé à la suite du maïs, soit de broyer les restes de maïs et de les enfouir dans le sol (Blum *et al.* 2011).

En termes de surfaces, le blé et le maïs sont les principales grandes cultures. C'est pourquoi il n'est pas si simple de les séparer dans les rotations. D'un point de vue économique et compte tenu de la protection du sol, le retour au labour serait lui aussi problématique. La question FG/DON reste donc un problème d'actualité. Les cultures conventionnelles quant à elles ont souvent recours aux fongicides de synthèse.

Dans les cultures bio, le risque d'une infestation par FG est moindre que dans les autres formes culturales du fait de l'emploi plus fréquent de la charrue. Avec l'augmentation des cultures de maïs et la tendance à un travail plus respectueux du sol, le risque de voir les charges en toxines augmentées s'accroît ici aussi. C'est pourquoi de 2003 à 2005, nous avons testé l'adéquation d'antagonistes, de plantes médicinales et de stimulateurs des défenses naturelles dans la lutte contre le *Fusarium*, tout comme nous l'avons fait pour remplacer le cuivre dans la lutte contre le mildiou de la pomme de terre (Dorn *et al.* 2007). Des résultats prometteurs ayant été obtenus avec les plantes médicinales, nous nous limiterons à ces dernières dans cet article.

Matériel et méthodes

Sélection de pathogènes et de plantes médicinales

Dans nos essais, nous avons utilisé trois isolats de *F. graminearum* (FG) et un isolat de *F. crookwellense* (FCr), obtenus à partir de grains de blé provenant de différentes régions du Plateau. Les conditions de culture et de multiplication des fusaries sont décrites dans Forrer *et al.* (2014).

Les effets du matériel végétal suivant ont été étudiés: farine de galle chinoise (*Galla chinensis*: GC), de racines de rhubarbe chinoise (*Rheum palmatum*: RP) et d'écorce de bourdaine (*Frangula alnus*: FA). La farine GC a donné de bons résultats contre *M. majus*, l'agent pathogène de la pourriture des neiges des céréales, et la farine de FA, de GC et de RP contre *Phytophthora infestans* dans les pommes de terre (Vogelgsang *et al.* 2013; Hu *et al.* 2009; Krebs *et al.* 2007). Ces produits végétaux contiennent tous des tannins et d'autres substances phénoliques ayant des effets antibiotiques et antioxydants, qui ont trouvé leur application dans la médecine ou la diététique. Comme GC contient près de 70 % d'acide tannique (*tannic acid*: TA), nous étudions également dans nos essais ce polyphénol végétal à masse moléculaire élevée. Le fongicide de synthèse Pronto Plus® (principes actifs tébuconazole et spiroxa-

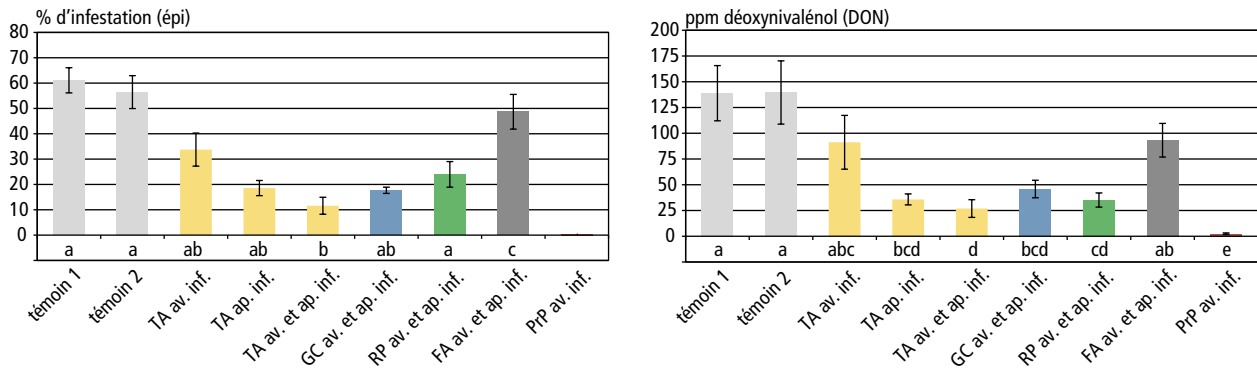


Figure 2 | Essais en chambre climatisée: influence des suspensions à base d'acide tannique (TA), de *Galla chinensis* (GC), *Rheum palmatum* (RP), *Frangula alnus* (FA) et Pronto Plus® (PrP) avec infection artificielle par *Fusarium graminearum* du blé de printemps «Apogee» sur l'infestation des épis (surface en %) et sur la teneur des grains de blé en déoxynivalénol (DON). Abréviations: tém. 1 et 2: témoins avec application d'eau du robinet normale et acidifiée à pH 4,0; av. inf., ap. inf. et av. & ap. inf.: Application avant (av), après (ap) et avant et après (av. & ap.) l'infection (inf.). Moyennes avec erreurs standards de deux répétitions d'essais. Les procédés marqués des mêmes lettres ne présentaient pas de différences statistiquement significatives (test de Tukey, $p < 0,05$).

mine) a également fait partie des tests à titre de référence pour l'efficacité des produits végétaux (Forrer *et al.* 2014).

Tests: laboratoire, chambre climatisée et champ

L'effet des produits végétaux sur la germination des spores et la croissance du mycélium de FG a été étudié *in vitro* en laboratoire. Au cours d'essais en chambre climatisée avec des infections artificielles au *Fusarium* (spores de FG/FCr en suspensions au moment de la floraison) du blé de printemps «Apogee» (Bugbee et Koerner 1997), les chercheurs ont étudié l'effet sur l'infestation des épis et la contamination des grains par la mycotoxine DON. De 2006 à 2010, des essais sur le terrain ont été effectués avec les variétés de blé «Runal» et «Levis» infectées de manière artificielle par des suspensions de spores, comme en chambre climatique. Enfin, en 2010, un essai sur le terrain a été réalisé avec des infections semi-naturelles au *Fusarium*. Nous avons en effet répandu de la paille de maïs contaminée par FG/FCr sur la parcelle d'essai en novembre 2009. Dans les essais avec des infections artificielles, des suspensions de produits végétaux à 5 % ont été appliquées un jour avant et/ou après l'infection. Dans l'essai en plein champ, avec des infections semi-naturelles, les traitements ont eu lieu avant et/ou après une période d'infection FusaProg pendant la floraison (Musa *et al.* 2007; www.fusaprog.ch). Les procédés, les méthodes d'analyses et de statistique sont décrits dans Forrer *et al.* (2014).

Résultats et discussion

Effet *in vitro* des plantes médicinales

La germination des spores de l'isolat de *F. crookwellense* (FCr) et des trois isolats de *F. graminearum* (FG) a été inhibée de la même manière par l'acide tannique. C'est

pourquoi, seul un isolat FG a été utilisé dans les essais *in vitro*. Avec Pronto Plus® (PrP) et des suspensions d'acide tannique (TA) et de galle chinoise (GC), des concentrations de 0,2 % et de 1 % ont suffi à empêcher totalement la germination. Avec la rhubarbe chinoise (RP) et l'écorce de bourdaine (FA) par contre, même des suspensions à 10 % (fig. 1) n'y sont pas parvenues. La situation était similaire en ce qui concerne la croissance du mycélium: tandis que PrP inhibait totalement la croissance du mycélium dès une concentration de 0,2 %, des suspensions de

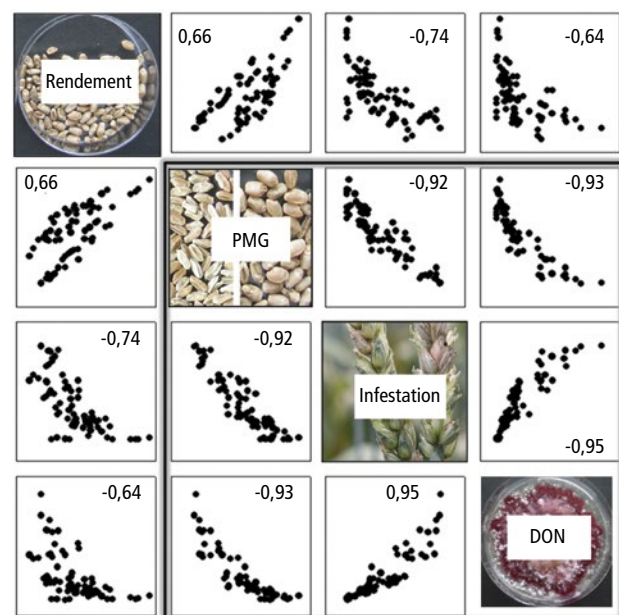


Figure 3 | Essai en chambre climatique: matrice du diagramme de dispersion qui illustre les rapports entre le rendement, le poids de mille grains (PMG), l'infestation des épis et la teneur en DON du blé Apogee lors des essais en chambres climatisées. Les chiffres dans les cases correspondent aux coefficients de corrélation de Spearman; le secteur avec des valeurs absolues supérieures à 0,9 est mis en évidence.

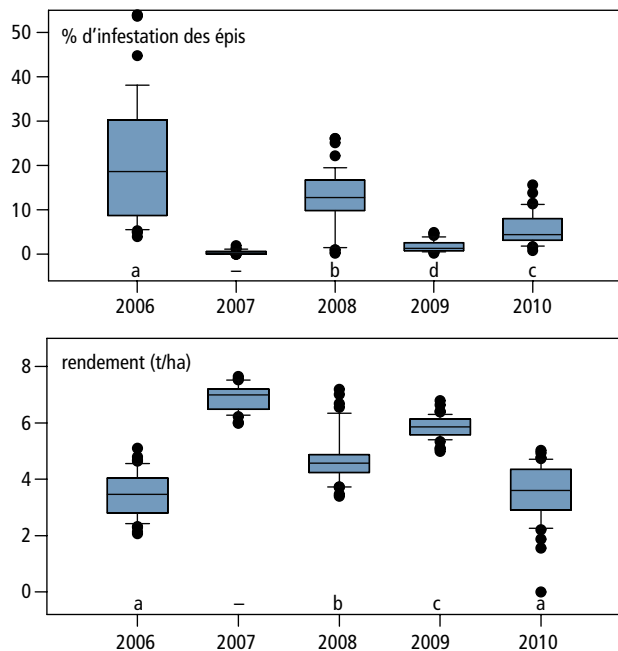


Figure 4 | Essais en plein champ: infestation de *Fusarium* et rendement de deux variétés de blé («Runal» et «Levis», six procédés, cf. fig. 5) et infections artificielles par *Fusarium graminearum* et *F. crookwellense* en 2006–2010. Les boxplots avec médiane comprennent les données des deux variétés et de tous les procédés. Les boxplots, qui se caractérisent par les mêmes lettres, ne présentaient pas de différences statistiquement significatives (test de Tukey, $p < 0,05$); 2007 n'a pas été prise en compte dans la comparaison des années, car seuls cinq procédés ont été testés.

1 % des produits végétaux GC et TA ont permis d'obtenir des réductions de croissance de 80–85 % (RP: 10 %). Avec FA, il n'a pas été possible de mesurer une inhibition statistiquement significative. Les essais ont montré que TA et GC avaient de bons effets inhibiteurs sur les champignons, néanmoins dix fois inférieurs à ceux du fongicide. RP avait également un faible potentiel inhibiteur, mais pas FA. Des résultats semblables ont été obtenus *in vitro* avec GC et *M. majus*, le champignon responsable de la pourriture des neiges (Vogelgsang *et al.* 2013).

Essai avec la variété de blé «Apogee»

Comme les suspensions de TA et de GC avaient un pH de près de 4,0, nous avons mis en place deux procédés témoins à l'eau du robinet – l'un d'entre eux avec de l'eau acidifiée jusqu'à atteindre un pH de 4,0. Les épis des deux procédés témoins affichaient environ 60 % de surface infestée en moyenne des deux séries d'essais et des procédés et la teneur en DON des grains Apogee s'élevait à plus de 125 ppm (mg/kg). Comme dans les tests *in vitro*, PrP a eu le plus fort effet inhibiteur sur l'infestation et a réduit la contamination en DON de 98 %. Pour les produits végétaux, le TA appliqué avant et

après l'infection a réduit l'infestation de manière statistiquement significative de 80 %. Tous les produits végétaux, à l'exception de FA et d'un procédé TA (traitement uniquement avant l'infection), ont réduit la teneur en DON de manière significative de 67–80 % (fig. 2).

Comme le montre la matrice du diagramme de dispersion des données de mesures des essais réalisés en chambres climatisées avec «Apogee», des relations très étroites ont été observées entre l'infestation des épis, les poids de mille grains et la teneur en DON des grains, avec des coefficients de corrélation absolues de plus de 0,90 (fig. 3).

Les résultats présentent une forte corrélation avec ceux des expériences *in vitro*: un excellent effet de PrP, suivi de TA, GC et RP, mais aucun effet de FA.

Essais sur le terrain avec des infections artificielles

De 2006 à 2010, les effets de TA, GC et FA ont été étudiés dans le cadre d'essais en plein champ avec des infections artificielles provoquées par des suspensions à base de spores de FG et FCr. Pour des raisons de ressources, RP n'a pas été testée. Le résultat de l'infection dans les essais en plein champ dépend de divers facteurs externes, comme le développement de la plante hôte et les conditions météorologiques au moment de l'infection. La figure 4 montre comment l'infestation et le rendement ont évolué au fil des ans.

En dépit de différences marquées entre les années, des corrélations étroites hautement significatives ($p < 0,001$) ont été observées entre les valeurs de mesures (Spearman, $n = 227$): $-0,806$ entre l'infestation et le rendement, $-0,840$ entre le rendement et la teneur en DON, et $0,899$ entre la teneur en DON et en NIV. Hormis FA, qui a donné des effets aussi bons sur le terrain que TA et GC, les résultats obtenus correspondaient à ceux des essais *in vitro* et en chambres climatisées. Il est également intéressant de constater que PrP à l'exception du rendement, n'a pas eu de meilleurs résultats, statistiquement parlant, que les produits végétaux (fig. 5).

Avec PrP, le rendement était en moyenne de 37 % et avec les produits végétaux de 13–23 % (TA) supérieur à celui du témoin. Le rendement plus élevé obtenu avec PrP peut en partie être expliqué par le large spectre d'efficacité de ce fongicide dans le cas de maladies des feuilles et des épis. Les bons résultats de FA non toxique pour les champignons ne peuvent s'expliquer que par l'induction de mécanismes de résistance, c'est-à-dire l'élicitation de défenses immunitaires propres à la plante. Une induction de résistance par FA a également été identifiée dans des essais contre le mildiou de la vigne (Gindro *et al.* 2007).

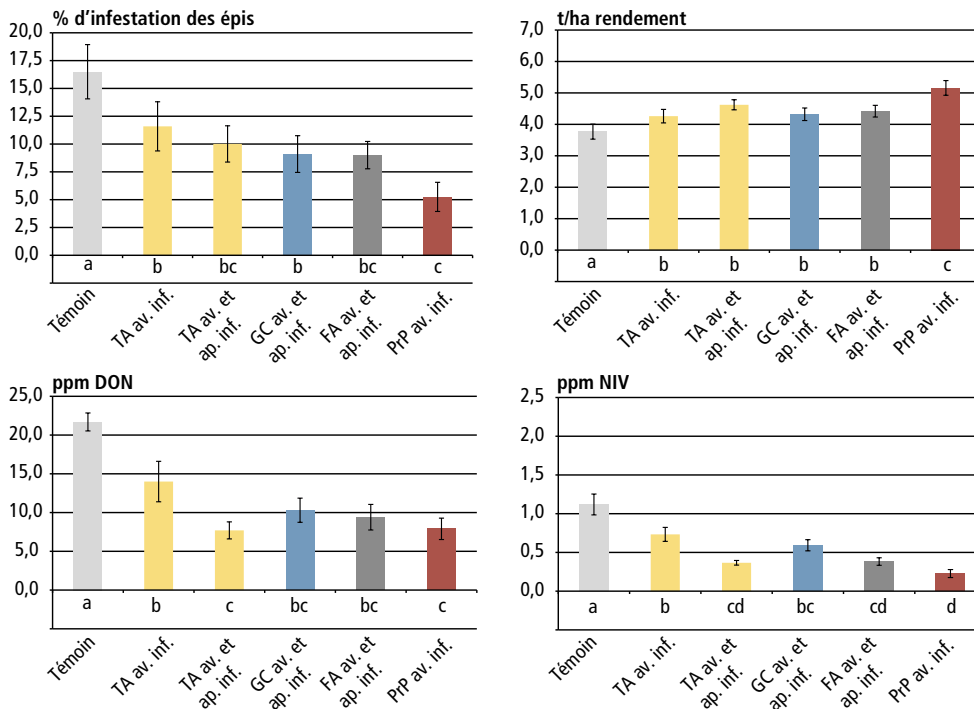


Figure 5 | Essais en plein champ avec les variétés de blé d'automne «Runal» et «Levis» avec infections artificielles par *Fusarium graminearum* et *F. crookwellense* en 2006 et 2008–2010: influence des suspensions à base d'acide tannique (TA), de *Galla chinensis* (GC), *Frangula alnus* (FA) et Pronto Plus® (PrP) sur l'infestation des épis par *Fusarium*, le rendement du blé, la teneur des grains de blé en déoxynivalénol (DON) et en nivalénol (NIV). Moyennes avec erreurs standards de 4 essais avec 2 variétés et 4 répétitions. Abréviations et statistiques comme dans fig. 2.

Essai sur le terrain avec des infections semi-naturelles

Dans cet essai réalisé en 2010, le système de prévision FusaProg (*Fusarium* et DON) a été utilisé pour déterminer la période d'application des produits (Musa et al. 2007). FusaProg indiquait des périodes d'infection pour

les 6–7 juin. Conformément au classement dans la liste des variétés de céréales recommandées par Agroscope (www.swissgranum.ch), nous avons mesuré un rendement plus élevé de 25 % pour «Levis» (catégorie I) par rapport à «Runal» (catégorie supérieure). La résistance

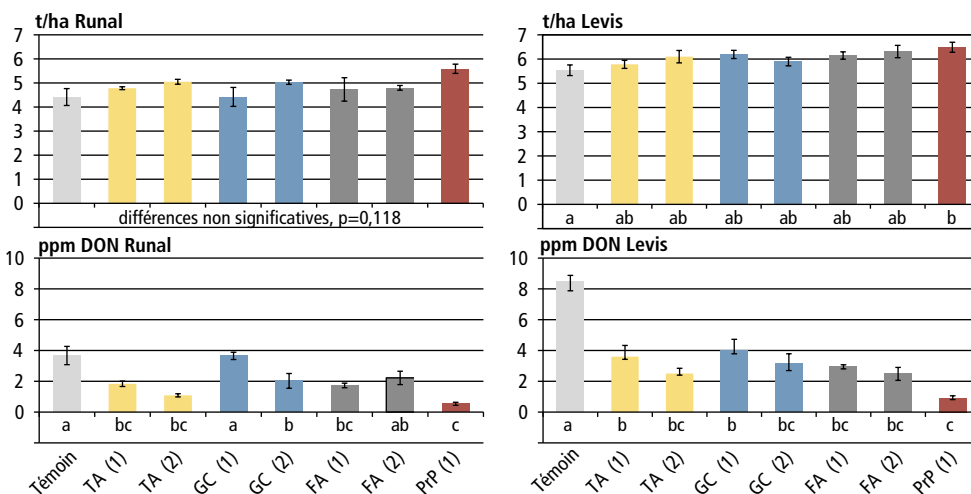


Figure 6 | Essai en plein champ avec les variétés de blé d'automne «Runal» et «Levis» et infections semi-naturelles par *Fusarium* causées par les chaumes de maïs: influence des suspensions à base d'acide tannique (TA), de *Galla chinensis* (GC), *Frangula alnus* (FA) et Pronto Plus® (PrP) sur le rendement du blé et la teneur des grains de blé en déoxynivalénol (DON). Moyennes avec erreurs standards de 4 répétitions. Abréviations: (1) Applications le 7.6.2010, (2) le 7.6.2010 et le 8.6.2010; lettre sous les colonnes comme dans fig. 2.

aux fusarioses des épis est classée comme moyenne pour «Runal» et comme «moyenne à faible» pour «Levis». Dans les échantillons du procédé témoin «Runal», nous avons mesuré 3,7 mg/kg (ppm) resp. 8,5 mg/kg DON avec «Levis». Ces contaminations en DON correspondent bien aux valeurs relevées dans la pratique pour du blé semé directement après du maïs (Vogelgsang *et al.* 2011).

Comme dans les essais en plein champ avec infections artificielles, l'effet des produits végétaux sur les infections semi-naturelles était bon à très bon. Sur la moyenne des deux variétés et dans le cas d'un et de deux traitements, la teneur en DON a été réduite de 54 % resp. 70 % avec TA, de 27 % resp. 54 % avec GC et de 59 % resp. 55 % avec FA (fig. 6). Les fongicides à base de Triazoles ont également permis d'obtenir des réductions de DON de 50 % (Forrer *et al.* 2000) resp. 60 % (Edwards *et al.* 2010) en Suisse et en Grande-Bretagne. Dans cet essai, PrP a réduit la teneur en DON du blé de 87 %, ce qui devrait venir du choix de la période de traitement optimale grâce à FusaProg.

Comme dans les essais en plein champ avec infection artificielle, l'efficacité de FA était très bonne ici aussi. Notre supposition selon laquelle FA induit des résistances sur «Runal» et «Levis» en a été renforcée. Le fait qu'une deuxième application de FA n'apporte pas d'amélioration, comme c'est le cas avec les produits végétaux toxiques pour les champignons comme TA et GC, est un indice supplémentaire qui confirme cette hypothèse. L'écorce de bourdaine a également donné de bons résultats en ce qui concerne le rendement, qu'elle a amélioré en moyenne de 10 % par rapport au témoin (PrP: 22 %). Le fait que FA ne soit pas passé derrière TA (9 %) pour le rendement montre que l'induction des résistances et la production des agents inhibitrices ne se font pas au détriment du rendement. Une question demeurerait néanmoins encore en suspens: pourquoi FA n'avait-elle aucune influence sur l'infestation par le

Fusarium et la teneur en DON dans les essais avec «Apogee»? La réponse est peut-être qu'«Apogee» ne dispose pas de locus de caractères quantitatifs (quantitative trait locus = région d'un chromosome qui a une influence sur le développement d'un critère phénotypique quantitatif) du chromosome 3BS, important pour la résistance au *Fusarium*. Ce manque de résistance n'a pas d'importance pour «Apogee», car la variété était destinée à la production de blé dans les stations spatiales (Bugbee et Koerner 1997).

Conclusions

Ces essais montrent que l'induction de résistance à l'aide d'écorce de bourdaine (FA) constitue un bon moyen de réguler les fusaries et de réduire le risque des mycotoxines dans les cultures de blé bio. Cela pourrait également être une alternative à l'utilisation des fongicides appliqués sur les épis dans la production intégrée. Pour ces deux systèmes culturaux, l'acide tannique agissant directement de manière toxique sur les champignons (TA) ainsi que la galle chinoise (GC), qui a donné des résultats semblables à ceux de FA, pourraient également convenir. Quel que soit le produit, il est décisif de l'appliquer de manière ciblée en fonction du stade de croissance du blé et du risque d'infection. On peut supposer qu'en appliquant l'inducteur de résistance FA au début de la floraison, suivi d'une application de TA ou de GC peu avant ou juste après la période d'infection, les résultats seront encore meilleurs qu'avec les fongicides traditionnels. Pour que FA puisse être employé de manière optimale, il est important de tester la réaction des principales variétés à FA et d'en savoir plus sur le spectre et la dynamique de production des substances induites. Ceci permettrait également de savoir si des substances utiles à la diététique sont également formées en cas d'utilisation de FA (Forrer *et al.* 2014) ■

Riassunto

Rabarbaro, frangola e tannine contro le infezioni da *Fusarium* e le micotossine nel frumento

Negli ultimi anni la presenza nel frumento dei funghi del genere *Fusarium* e delle loro tossine è aumentata notevolmente. I *Fusarium* possono essere contrastati in modo naturale con piante medicinali, come dimostra questo studio: sospensioni ricavate dalla *Galla chinensis* e dall'acido tannico hanno inibito del 75–100 per cento la germinazione delle spore e la crescita del micelio del *Fusarium graminearum in vitro*. In esperimenti condotti in camera climatica con la varietà «Apogee» infettato artificialmente, i trattamenti con acido tannico, *G. chinensis* e *Rheum palmatum* (rabarbaro cinese) hanno ridotto del 67–81 per cento il contenuto di deossinivalenolo (DON) nei chicchi. La corteccia della frangola (*Frangula alnus*) non ha dato alcun effetto né *in vitro* né nella camera climatica, mentre nelle prove sul campo con due varietà di frumento il contenuto di DON è stato ridotto del 60 per cento. L'effetto positivo sia dell'acido tannico che della *G. chinensis* si spiega con la tossicità del fungo, mentre quello della *F. alnus* lo imputiamo all'induzione di resistenza. Per la prima volta siamo riusciti a dimostrare che le sostanze vegetali costituiscono una reale alternativa all'uso di fungicidi nella lotta contro i *Fusarium* nel frumento.

Bibliographie

- Blum A., Chervet A., Forrer H.-R., Vogelgsang S. & Schmid F., 2011. Fusarien im Getreide. Datenblatt Ackerbau 2.5.23, AGRIDEA, 4 p.
- Bugbee B. & Koerner G., 1997. Yield comparisons and unique characteristics of the dwarf wheat cultivar 'USU-Apogee'. *Adv. Space Res.* **20**, 1891–1894.
- Dorn B., Musa T., Krebs H., Fried P. M. & Forrer H.-R., 2007. Control of late blight in organic potato production: Evaluation of copper-free preparations under field, growth chamber and laboratory conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* **119**, 217–240.
- Edwards S. G. & Godley N. P., 2010. Reduction of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in wheat with early fungicide applications of prothioconazole. *Food Addit. Contam. A.* **27**, 629–635.
- Forrer H.-R., Hecker A., Külling C., Kessler P., Jenny E. & Krebs H., 2000. Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? *Agrarforschung* **7**, 258–263.
- Forrer H.-R., Musa T., Schwab F., Jenny E., Bucheli T. D., Wettstein F. E. & Vogelgsang S., 2014. *Fusarium* head blight control and prevention of mycotoxin contamination in wheat with botanicals and tannic acid. *Toxins* **6**, 830–849.
- Gindro K.G., Godard S., De Groot I., Viret O., Forrer H.-R. & Dorn B., 2007. Is it possible to induce grapevine defence mechanisms? A new method to evaluate the potential of elicitors. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **39**, 377–383.
- Hu T., Wang S., Cao K., Forrer H.-R., 2009. Inhibitory effects of several Chinese medicinal herbs against *Phytophthora infestans*. *ISHS Acta Hortic.* **834**, 205–210.

Summary

Control of *Fusarium* fungi and mycotoxins in wheat with rhubarb, alder buckthorn and tannins

During the past few years, the importance of *Fusarium* fungi and their toxins in wheat has increased significantly. This study demonstrated that fusaria can be controlled organically with medicinal plants: Suspensions of *Galla chinensis* and tannic acid inhibited spore germination and mycelial growth of *Fusarium graminearum in vitro* by 75 to 100 %. In climate chamber experiments with artificially infected «Apogee» wheat, treatments with tannic acid, *G. chinensis* (Chinese galls) and *Rheum palmatum* (Chinese rhubarb) reduced the deoxynivalenol (DON) content in grains by 67 to 81 %. Although the bark of alder buckthorn (*Frangula alnus*) showed no effect either *in vitro* or in the climate chamber, it reduced the DON content of two winter-wheat varieties by 60 % under field conditions. The good efficacy of tannic acid and *G. chinensis* can be explained by fungal toxicity, whereas that of *F. alnus* can be explained by resistance induction. This is the first time, that plant compounds proved to be a true alternative to synthetic fungicides for controlling *Fusarium* fungi in wheat.

Key words: botanical, *Fusarium graminearum*, induced resistance, mycotoxin, wheat.

- Häni F. J., 1977. Über Getreidefusariosen – insbesondere *Fusarium nivale* (Fr.) Ces. Bei Weizen und Roggen. Thèse de doctorat, ETH-Zurich, ETH-No 6092.
- Krebs H., Musa T., Forrer H.-R., 2007. Control of potato late blight with extracts and suspensions of buckthorn bark. In: Proceedings Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany, 20–23, March 2007 (in German).
- Musa T., Hecker A., Vogelgsang S. & Forrer H.-R., 2007. Forecasting of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in winter wheat with FusaProg. *EPPO Bull.* **37**, 283–289.
- Reddy M.V.B., Arul J., Angers P. & Couture L., 1999. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *J. Agric. Food Chem.* **47**, 1208–1216.
- Schachermayr G., & Fried P. M., 2000. Problemkreis Fusarien und ihre Mykotoxine. *Agrarforschung* **7** (6), 252–257.
- Vogelgsang S., Hecker A., Musa T., Dorn B. & Forrer H.-R., 2011. On-farm experiments over 5 years in a grain maize/winter wheat rotation: Effect of maize residue treatments on *Fusarium graminearum* infection and deoxynivalenol contamination in wheat. *Mycotoxin Res.* **27**, 81–96.
- Vogelgsang S., Bänziger I., Krebs H., Legro R.J., Sanchez-Sava V. & Forrer H.-R., 2013. Control of *Microdochium majus* in winter wheat with botanicals – From laboratory to the field. *Plant Pathol.* **62**, 1020–1029.