

Essais en plein champ avec du blé génétiquement modifié résistant à l'oïdium

Andrea Foetzki¹, Michael Winzeler¹, Thomas Boller², François Felber³, Wilhelm GUISSEM⁴, Christoph Keel⁵, Beat Keller⁶, Fabio Mascher⁷, Monika Maurhofer⁸, Wolfgang Nentwig⁹, Jörg Romeis¹, Christof Sautter⁴, Bernhard Schmid¹⁰ et Franz Bigler¹

¹Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

²Université de Bâle, Institut botanique, 4056 Bâle

³Université de Neuchâtel, Institut de biologie, 2000 Neuchâtel

⁴EPF Zurich, Biotechnologie végétale, 8092 Zurich

⁵Université de Lausanne, Département de microbiologie fondamentale, 1015 Lausanne

⁶Université de Zurich, Institut de biologie végétale, 8008 Zurich

⁷Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon

⁸EPF Zurich, Pathologie végétale, 8092 Zurich

⁹Université de Berne, Institut d'écologie et d'évolution, 3012 Berne

¹⁰Université de Zurich, Institut de biologie évolutive et des sciences de l'environnement, 8057 Zurich

Renseignements: Andrea Foetzki, e-mail: andrea.foetzki@art.admin.ch, tél. +41 44 377 76 64



Figure 1 | Parcelles d'essai en plein champ avec du blé génétiquement modifié sur le site de Reckenholz. (Photo: ART)

Introduction

PNR59 et Consortium-blé

Les premières cultures commerciales de plantes génétiquement modifiées (GM) remontent à 1996. En 2010, les plantes GM occupaient déjà 148 millions d'hectares dans 29 pays (10% des surfaces cultivées dans le monde, James 2010). En Suisse, un moratoire interdit l'utilisation

commerciale de plantes GM jusqu'en novembre 2013. La recherche sur les plantes GM a été explicitement exclue de cette interdiction et le Conseil fédéral a donné mandat d'étudier les avantages et les inconvénients potentiels de la culture de plantes GM. C'est dans ce but qu'en 2006, le Fonds national suisse (FNS) a lancé le programme national de recherche PNR 59 «Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées»

(www.pnr59.ch). Par la suite, le Consortium-blé a également été institué afin de traiter des projets scientifiques sur des blés GM résistants à l'oïdium dans des essais en plein champ dans le cadre d'une affiliation d'instituts de recherche. Y participaient l'Université de Zurich (direction), l'EPF de Zurich, les deux stations de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW et Agroscope Reckenholz-Tänikon ART ainsi que les Universités de Bâle, Berne, Lausanne et Neuchâtel. Durant l'été 2007, le FNS a financé huit projets pour le consortium-blé. Deux de ces projets ont étudié l'amélioration de la résistance du blé à l'oïdium (utilité), tandis que six projets portaient sur la biosécurité (risques environnementaux). Pour l'autorisation légale des essais en plein champ, trois demandes pour les lignées de blé GM et pour les hybrides de blé GM avec l'égilope cylindrique (*Aegilops cylindrica*) ont été déposées auprès de l'OFEV. Après consultation des offices fédéraux, des commissions et des can-

Tableau 1 | Projets du Consortium-blé dans les essais en plein champ sur du blé génétiquement modifié résistant à l'oïdium (2008 – 2010)

Recherche sur les résistances		
B. Keller	Université de Zurich	Analyse de la fonction du gène de résistance <i>Pm3</i> dans le blé transgénique
W. Gruissem	EPF Zurich	Analyse de la résistance à l'oïdium apportée par la chitinase/glucanase de l'orge
C. Sautter	EPF Zurich	
F. Mascher	ACW	
Recherche sur la biosécurité		
T. Boller	Université de Bâle	Interactions des champignons mycorhiziens arbusculaires avec le blé GM et non GM
W. Nentwig	Université de Berne	Effets de la culture du blé GM sur le taux de décomposition de la biomasse GM par les arthropodes du sol et les annélides
M. Maurhofer	EPF Zurich	Répercussions du blé GM sur la fertilité du sol due aux bactéries auxiliaires
C. Keel	Université de Lausanne	
J. Romeis	ART	Répercussions du blé GM sur les insectes herbivores et les réseaux alimentaires
B. Schmid	Université de Zurich	
B. Schmid	Université de Zurich	Influence de l'environnement biotique et abiotique sur les propriétés écologiques du blé GM et non GM
F. Felber R. Guadagnuolo	Université de Neuchâtel	Conséquences génétiques et écologiques de l'introgession de blé transgénique dans une mauvaise herbe apparentée, <i>Aegilops cylindrica</i>
A. Foetzki	ART	Croisement des lignées chitinase/glucanase avec le blé*
F. Mascher	ACW	
C. Sautter	EPF Zurich	

*Cofinancé par le FNS.

Résumé Les bénéfiques et les risques environnementaux du blé de printemps génétiquement modifié (GM), plus résistant à l'oïdium, ont été étudiés sur deux sites en plein champ de 2008 à 2010, dans le cadre d'un réseau de groupes de recherche suisses. Les lignées de blé GM, possédant une résistance spécifique à l'oïdium et aux maladies fongiques en général, ont été comparées à des variétés de blé commercialisées, à des lignées témoins ainsi qu'à de l'orge et du triticale. Outre la résistance à l'oïdium, l'étude a également porté sur les répercussions sur les insectes et les organismes du sol (bactéries, champignons mycorhiziens, faune du sol) ainsi que sur les croisements fortuits du blé. Plusieurs lignées de blé GM étaient nettement plus résistantes à l'oïdium que les témoins. Aucun impact significatif sur les organismes non-cibles n'a été constaté, sur leur biodiversité ou sur certaines fonctions sélectionnées des écosystèmes. Dans l'ensemble, les différences entre le blé GM et les lignées témoins étaient moindres qu'entre les variétés de blé commerciales ou les autres espèces de céréales. Les cas de croisement fortuits étaient rares et n'ont été trouvés qu'à faible distance des plantes GM de l'essai.

tons concernés, les demandes ont été approuvées avec des réserves. Un grand nombre de mesures concernaient la biosécurité (et visaient p. ex. à empêcher la dissémination de matériel GM) ou avaient pour but de garantir la sécurité du site expérimental (protection contre le vandalisme).

Le Consortium-blé s'était fixé pour objectif d'étudier la résistance aux pathogènes en plein champ dans les cultures de blé GM résistant à l'oïdium et de traiter les questions de biosécurité de manière interdisciplinaire. Le Consortium tenait particulièrement à former de jeunes scientifiques dans la recherche sur les résistances et la biosécurité. En outre, le Consortium-blé recherchait activement le dialogue avec la population afin d'amener sur un plan scientifique les discussions sur l'utilité et les risques du génie génétique.

Sites d'essai et projets impliqués

Les essais en plein champ sur du blé génétiquement modifié ont eu lieu de 2008 à 2010 à la station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART sur le site de Zurich-Reckenholz (fig. 1) et à la station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW sur le site de Pully/Lausanne (2009–2010). Les deux stations de recherche

ART et ACW étaient responsables de la réalisation technique et du suivi agronomique des essais en plein champ, de la coordination scientifique et technique ainsi que de la planification et de l'application des mesures de sécurité (biosécurité, sécurité des essais).

Les projets scientifiques (tabl. 1) sur le site de Reckenholz ont porté sur la résistance à l'oïdium, sur les propriétés agronomiques et les conséquences sur les insectes et les organismes du sol. Des essais ont également été réalisés pour étudier le comportement écologique des plantes, les fonctions des écosystèmes et les croisements fortuits. À Pully, en plus des propriétés agronomiques, les chercheurs se sont également intéressés à la résistance aux différentes maladies fongiques, aux conséquences sur les organismes du sol et au croisement fortuit. Nous présentons ici une sélection de méthodes et de résultats obtenus dans quelques projets du Consortium-blé.

Tableau 2 | Lignées de blé et variétés de céréales dans les essais en plein champ avec du blé génétiquement modifié 2008–2010 (S = lignée sœur témoin. Pm3 = lignées GM avec variété d'origine Bobwhite. Chi, Chi/Glu = lignées GM avec variété d'origine Frisal).

Variété testée	Transgène
Pm3a (2 lignées)	Pm3a
Sa (2 lignées)	–
Pm3b (4 lignées)	Pm3b
Sb (4 lignées)	–
Pm3c (2 lignées)	Pm3c
Sc (2 lignées)	–
Pm3d	Pm3d
Sd	–
Pm3f (2 lignées)	Pm3f
Sf (2 lignées)	–
Pm3g	Pm3g
Sg	–
Bobwhite SH 98 26	–
Chi	Chi
Chi/Glu	Chi, Glu
Frisal	–
Toronit, Fiorina, Casana, Rubli	–
Chul (Pm3b)*	–
Asosan (Pm3a)*	–
Estana (Gerste)	–
Trado (Triticale)	–

*Variétés asiatiques, avec des variantes naturelles des gènes Pm3.

Matériel végétal et technique d'essai

Dans les essais en plein champ, différentes lignées de blé de printemps GM et leurs lignées témoins ont été comparées à des variétés de blé de printemps disponibles dans le commerce et à d'autres espèces de céréales. Au total, douze lignées de blé avec une résistance à l'oïdium spécifique aux allèles (avec les allèles Pm3 : Pm3a-d et Pm3f-g) et leurs lignées sœurs non modifiées basées sur la variété mexicaine Bobwhite S26 ont été fournies par l'université de Zurich (Brunner *et al.* 2011). Deux lignées de blé avec une résistance fongique quantitative (comportant des gènes de chitinase et de glucanase) sur la base de la variété suisse de blé de printemps Frisal provenaient de l'EPF Zurich (Bieri *et al.* 2003). Ces lignées de blé constituent des plantes modèles utiles pour les besoins de la recherche sur les résistances contre les champignons pathogènes. Ce ne sont donc pas des lignées développées pour la sélection variétale destinée à une éventuelle commercialisation. Tous les transgènes sont des gènes provenant du blé (allèles Pm3) ou de l'orge (chitinase, glucanase), mais dont l'activité a été renforcée dans les plantes transgéniques. Ce matériel végétal, ainsi que les variétés d'origine utilisées pour la transformation (Bobwhite S26, Frisal), quatre nouvelles variétés suisses de blé de printemps, ainsi que de l'orge et du triticale de printemps ont été mis en culture dans l'essai en plein champ (tabl. 2).

Deux tailles de parcelles ont été employées: des petites parcelles d'une surface de 1,3 m² et de grandes parcelles d'une surface qui pouvait varier entre 3,9 et 9,1 m² selon l'année et le site d'essai. Les phases d'essai ont été répétées quatre à cinq fois sur des surfaces réparties au hasard, afin de permettre une évaluation statistique. L'ensemble de l'essai était entouré d'un semis manteau de triticale de printemps d'une largeur de 2,6 m. La surface d'essai à Pully était d'environ 0,1 ha. À Reckenholz, elle variait entre 0,5 et 0,9 ha selon l'année.

Procédé

Les analyses de résistance (petites parcelles) ont étudié différents procédés d'infection par l'oïdium: l'infection artificielle, l'infection naturelle ainsi que l'empêchement de l'infection par les fongicides. Pour l'infection artificielle, des variétés de blé sensibles à l'oïdium ont été cultivées en pots, infectées avec des isolats d'oïdium définis et plantés dans des rangées facilitant la propagation de l'infection. Ces rangées étaient constituées de variétés de blé extrêmement sensibles, semées entre les parcelles d'essai. Partant des plantes en pots, une pression d'infection élevée se propageait de ces rangées vers les parcelles testées.

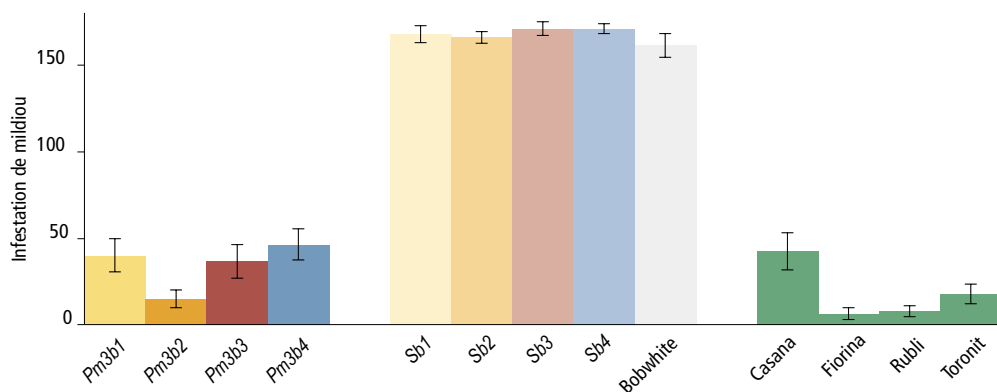


Figure 2 | Surface sous la courbe d'évolution de la maladie (AUDPC = *area under disease progress curve*) calculée à partir de l'infestation naturelle de l'oïdium en 2008 sur le site de Reckenholz. *Pm3b1–4*: lignées GM, *Sb1–4*: lignées sœur non modifiées, Bobwhite: variété initiale des lignées GM et des lignées sœur. Casana, Fiorina, Rubli, Toronit: variétés commerciales.

Méthodes et résultats

Résistance à l'oïdium

La résistance à l'oïdium de toutes les lignées et de toutes les variétés de blé a été analysée. Pour la plupart des variétés testées, trois procédés ont été appliqués: infections artificielle et naturelle d'oïdium et traitement fongicide. Dès le début de propagation de l'infection, la progression de l'infection d'oïdium a été relevée chaque semaine dans les parcelles.

Dans les essais de résistance à Reckenholz, les lignées de blé GM *Pm3a1* et *Pm3a2* ainsi que *Pm3b1* jusqu'à *Pm3b4* se sont montrées nettement plus résistantes que leurs lignées sœurs (fig. 2; Zeller *et al.* 2010; Brunner *et al.* 2011) et que les variétés asiatiques Asosan et Chul, à partir desquelles les gènes *Pm3a* ou *Pm3b* ont été isolés (tabl. 2). Les autres lignées de blé avec des allèles *Pm3* et les variétés commerciales suisses affichaient également une résistance accrue envers l'oïdium. Elles étaient moins touchées par la maladie que la variété mexicaine Bobwhite. Ce point a pu être observé aussi bien en cas d'infection naturelle qu'en cas d'infection artificielle. Dans l'essai en plein champ, les lignées de blé GM *Chi* et *Chi/Glu* n'étaient pas plus résistantes que leur variété d'origine Frisal.

Répercussions sur les insectes et les animaux du sol

Une modification génétique peut avoir des répercussions sur le métabolisme des plantes et par conséquent sur les insectes herbivores. Les pucerons ont une relation très étroite avec leur plante hôte et sont donc de très bons indicateurs de possibles modifications de leur plante hôte. En outre, les pucerons et leurs prédateurs naturels, les guêpes ichneumonides (*Ichneumonidae*) conviennent bien à l'étude de l'ensemble des réseaux alimentaires permettant d'identifier les effets à des

niveaux plus élevés de la chaîne alimentaire (von Burg *et al.* 2011). Les études des insectes et de leurs réseaux alimentaires ont été réalisées dans une serre semi-ouverte (Romeis *et al.* 2007) et en plein champ.

Les pucerons et les larves de criocère des céréales (*Oulema melanopus*) ont été comptés toutes les deux semaines de mai à juillet sur des surfaces de référence à l'intérieur des parcelles. De plus, des momies de pucerons parasités ont été ramassées et envoyées au laboratoire pour identification des ichneumonides. Les dégâts causés par les larves de criocère des céréales et par la mouche jaune des chaumes (*Chlorops pumilionis*) ont été relevés début juillet en pourcentage de surface foliaire touchée ainsi qu'en nombres de tiges attaquées. Le nombre de pucerons dans la serre semi-ouverte variait en fonction de l'année et de la variété ou de la lignée de blé (Álvarez-Alfageme *et al.* 2011). La lignée GM *Pm3b1* résistante à l'oïdium avait nettement plus de pucerons que sa lignée sœur *Sb1* (fig. 3). Des essais supplémen-

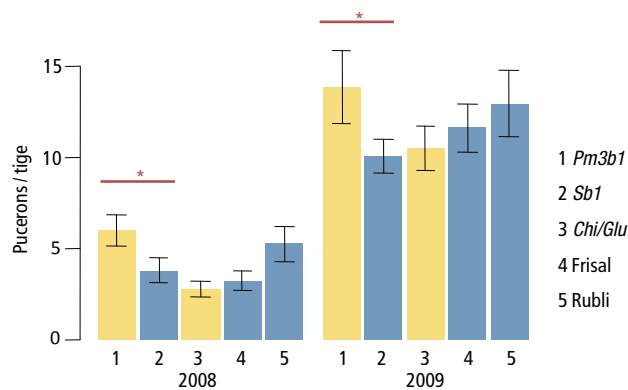


Figure 3 | Nombre de pucerons par tige dans une serre semi-ouverte en 2008 et en 2009. Lignées GM: *Pm3b1*, *Chi/Glu*, lignée sœur non modifiée: *Sb1*, Frisal, variété commerciale: Rubli. Les différences significatives ($P < 0,05$) sont indiquées par *.

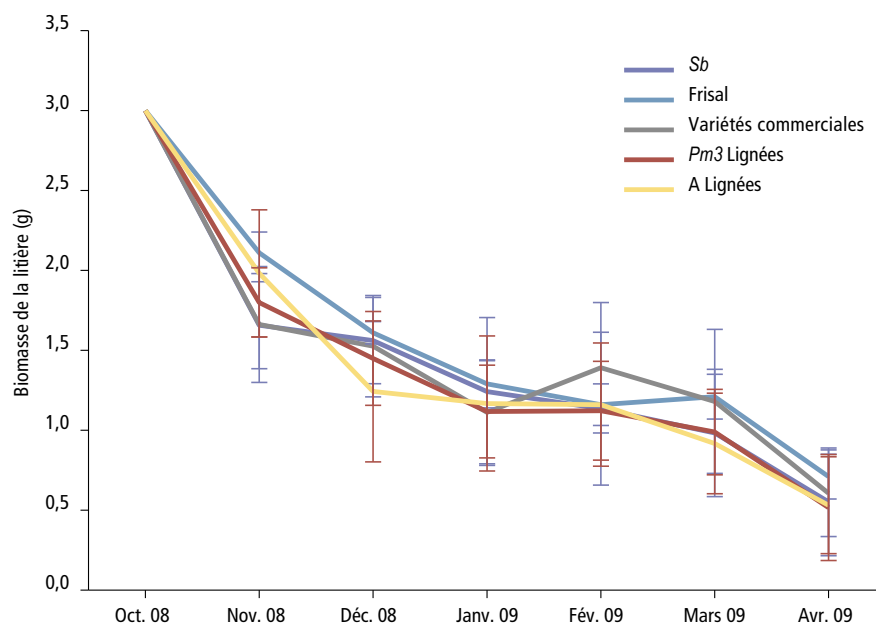


Figure 4 | Taux de décomposition de litière à base de feuilles de blé, dans le sol, sur le site de Reckenholz en hiver 2008/2009, huit répétitions. Lignées GM: *Pm3b* et *Chi/Glu*. Lignées témoins non modifiées: *Sb*, *Frisal*. Variétés commerciales: *Rubli*, *Toronit*.

taires en laboratoire ont montré que les pucerons préféraient les blés moins touchés par l'oïdium. Par contre, les lignées de blé GM n'avaient pas de répercussions cohérentes sur les réseaux alimentaires entre pucerons et ichneumonides (von Burg *et al.* 2011). Pour les insectes herbivores en plein champ, on a constaté d'importantes différences entre les années mais aucune attribuable au transgène introduit (Álvarez-Alfageme *et al.* 2011).

Une modification des éléments nutritifs qui composent la matière organique peut influencer le taux de décomposition de litière et par conséquent une fonction importante de l'écosystème (Lindfeld 2011).

Des carottes de sol ont été prélevées à une profondeur de 0–20 cm dans 72 grandes parcelles durant l'été 2008 et dans 60 parcelles en 2009. La décomposition de litière a été suivie sur les mêmes parcelles l'hiver suivant.

En octobre 2008 et 2009, on a enterré à 5 cm de profondeur dans chaque parcelle douze sacs en filet de PVC contenant chacun 3 g de feuilles de blé séchées de la variété correspondant à la parcelle. De novembre à avril, deux de ces sacs ont été prélevés chaque mois dans chaque parcelle. Les organismes présents ont été isolés en laboratoire, comptés et identifiés taxonomiquement. La quantité de litière restante a été déterminée.

Ni les taux de décomposition de litière des dix-huit (en 2008) ou des douze (en 2009) variétés utilisées (fig. 4), ni le nombre des organismes du sol trouvés dans les sacs ne se différençaient de manière significative (Lindfeld 2011).

Des essais en laboratoire ont permis de tester de manière plus approfondie certains organismes clé, qui peuvent avoir une fonction importante dans les sols

agricoles. Pour les larves de deux espèces de mouches (*Drosophila melanogaster*, *Megaselia scalaris*), les cloportes (*Porcellio scaber*), les enchytrées (*Enchytraeus albidus*) et les vers de terre (*Lumbricus terrestris*), les analyses ont porté, suivant l'espèce animale, sur l'indice de consommation, la variation du poids des animaux, la mortalité, le taux de reproduction, la durée de développement et la proportion des sexes. Par rapport à des blés non GM et à d'autres espèces de céréales, aucune influence négative de la biomasse GM sur les organismes étudiés n'a été constatée (Peter *et al.* 2010; Lindfeld *et al.* 2011; Bigler *et al.* 2011).



Figure 5 | Prélèvement de plantes de blé au moment du tallage pour l'étude des bactéries du sol qui colonisent les racines (pseudomonades) et des champignons mycorhiziens. (Photo: ART)

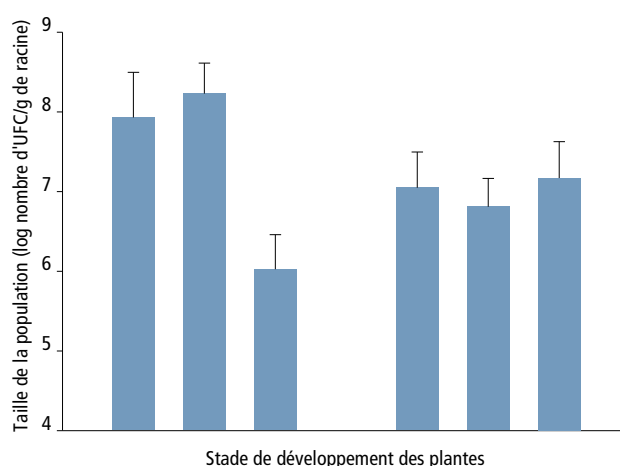


Figure 6 | Population des bactéries auxiliaires *Pseudomonas* sur les racines du blé sur le site de Reckenholz (2008–2010) à deux stades de développement des plantes (tallage, maturité laiteuse). UFC = unité formant colonie.

Répercussions sur les bactéries auxiliaires du sol et sur les champignons mycorhiziens

Deux des projets de recherche portaient sur les bactéries et les champignons auxiliaires du sol, en relation étroite avec les racines des plantes céréalières. Les bactéries du sol qui colonisent les racines (*Pseudomonas* sp.) permettent d'éliminer les agents pathogènes et assurent une meilleure disponibilité des phosphates. Les champignons mycorhiziens sont des partenaires symbiotiques de plus de 80 % des plantes terrestres. Ils jouent un rôle décisif dans l'approvisionnement en éléments nutritifs. Dans les systèmes agricoles également, les plantes mycorhizées peuvent mieux exploiter les éléments nutritifs disponibles dans le sol.

Au stade de tallage (fig. 5) et de la maturité laiteuse, des plantes de blé entières ont été prélevées des parcelles pendant les trois années de l'étude. Leurs racines ont ensuite été lavées en laboratoire. Les échantillons de racines ont été répartis entre les deux projets. Les bactéries *Pseudomonas* ont été placées en milieu de culture afin de déterminer la taille de leur population. Une électrophorèse sur gel a permis d'analyser la diversité génétique des bactéries.

Le stade de développement des plantes (fig. 6), la variété de blé, le site et l'année d'essai avaient une influence nettement plus importante sur la taille des populations des bactéries *Pseudomonas* étudiées que la présence de la modification génétique dans la plante. Les échantillons de racines du premier prélèvement (fin du tallage 2008) sont les seuls pour lesquels on ait relevé des différences de diversité des groupes de bactéries du sol entre les lignées de blé GM et leurs lignées sœurs d'une part et les variétés commerciales d'autre part. Ces différences n'apparaissent plus dans les échantillons

ultérieurs. Cela pourrait provenir des conditions de production différentes de la semence pour la première année d'essai (laboratoire/serre ou plein air).

Pour étudier le taux de mycorhization, des sections de racines ont été colorées et les structures fongiques comptées au microscope.

Dans la plupart des cas, aucune différence significative de colonisation des racines de blé par les champignons mycorhiziens n'a été constatée entre les lignées de blé GM et les lignées témoins sur les deux sites. Seule une des quatre lignées *Pm3b* présentait une mycorhization légèrement inférieure à celle de la lignée sœur, et ce, seulement durant la première des deux années d'essai. Les différences ont été observées entre les variétés de blé et surtout entre les espèces de céréales: le triticale avait nettement plus de mycorhizes que l'orge (fig. 7). Un traitement des plantes avec un fongicide a eu des répercussions négatives sur les mycorhizes.

En résumé, on constate que les projets sur la biosécurité n'ont pas permis d'identifier de différences systématiques entre les plantes GM et les plantes non GM. Les différences minimales entre les plantes GM et leurs lignées témoin étaient moins importantes que les différences dues à la variété de blé ou à l'espèce de céréale, à l'année et au site d'essai. Les plantes GM n'avaient notamment aucune influence négative sur les autres organismes, la biodiversité ou les fonctions des écosystèmes.

Croisement

Le respect de distances d'isolement suffisantes entre les parcelles GM et les parcelles non GM peuvent minimiser la probabilité de croisement. La distance dépend largement de l'espèce cultivée. Le blé est essentiellement une plante autogame pour laquelle les taux de croisement sont inférieurs à 1 % (Gustafson *et al.* 2005) à une distance de quelques mètres déjà. Les essais en plein champ faisaient partie des règles de biosécurité émises par l'OFEV.

Pour intercepter le pollen, des petites parcelles semées avec la variété de blé Frisal ont été mises en place jusqu'à 200 m de la bordure de la parcelle expérimentale. La variété Frisal fleurissait en même temps que les lignées Frisal GM *Chi* et *Chi/Glu* dans la parcelle d'essai (Foetzki *et al.*, soumis à publication). Une partie des semences de ces petites parcelles a été semée en serre. Les lignées *Chi* et *Chi/Glu* sont également tolérantes au glufosinate, la substance active de l'herbicide Basta®. Les hybrides issus des croisements devraient donc également être tolérants aux herbicides et peuvent être identifiés aisément en pulvérisant les plantules avec Basta. Les plantes survivantes aux pulvérisations avec cet herbicide ont été testées par PCR pour déterminer la présence du gène de résistance à Basta.

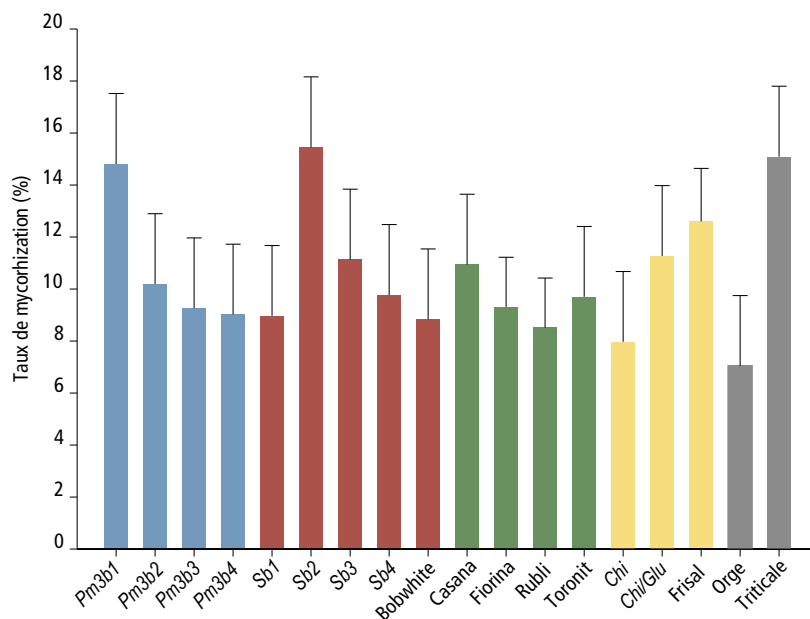


Figure 7 | Taux de mycorrhization de différentes lignées et variétés de blé, ainsi que d'orge et de triticale en 2008 sur le site de Reckenholz. *Pm3b1–4*: lignées GM de la variété Bobwhite. *Sb1–4*: lignées sœur de *Pm3b1–4*. Casana, Fiorina, Rubli, Toronit: variétés de blé commerciales. *Chi*, *Chi/Glu*: lignées GM de la variété Frisal.

Durant les trois années d'essai à Reckenholz, plus de 130 000 plantules ont été analysées, plus environ 60 000 autres testées à Pully. Aucun croisement n'a été détecté à Reckenholz, tandis qu'à Pully, deux plantes ont été trouvées en 2009 et une en 2010 dans le semis manteau, c'est-à-dire à une distance maximale de 2,6 m du champ.

Discussion et conclusions

Les conditions qui règnent en laboratoire et en serre permettent d'optimiser les approches d'essai afin de tester le potentiel d'efficacité des propriétés transgéniques. L'étude a toutefois montré que les essais en plein champ sont indispensables, car les plantes peuvent réagir différemment dans les conditions d'un environnement naturel par rapport à ce que l'on pourrait attendre d'après les essais en laboratoire et en serre. Une évaluation définitive du comportement des plantes GM dans l'environnement ne peut avoir lieu qu'après une étude en plein champ.

Analyse des résistances

L'introduction de gènes de résistance peut permettre d'accroître la résistance à l'oïdium comme on a pu le montrer avec les lignées à allèles spécifiques *Pm3* de la variété Bobwhite. Dès les essais préalables en serres, les lignées *Pm3* génétiquement modifiées étaient plus résistantes que leurs témoins (Brunner *et al.* 2011). Par contre,

sur le terrain, les variétés Frisal, *Chi* et *Chi/Glu* ne présentaient pas de meilleure résistance à l'oïdium que leur variété initiale, bien qu'une meilleure résistance ait pu être observée en serre. Sachant que la variété Frisal présente d'emblée une très bonne résistance, les gènes supplémentaires issus de l'orge ne parviennent pas dans ce cas à apporter une amélioration. D'après les expériences avec de nombreuses plantes GM, on sait que des gènes supplémentaires chitinase et glucanase peuvent contribuer à une meilleure résistance aux champignons (p. ex. Shin *et al.* 2008).

Répercussions sur les organismes non-cibles

Les principaux effets sur les macro- et micro-organismes sont dus aux conditions du site et de l'environnement ainsi qu'aux procédés culturaux. Les différences entre les effets du blé GM et du blé non GM sur les macro- et micro-organismes sont moindres et ne sont pas cohérentes au fil des années, ou sont carrément inexistantes. Elles se situent généralement dans l'intervalle de variation naturelle entre les variétés de blé et les autres espèces de céréales.

Les paramètres mesurés pour les blés GM étudiés n'indiquent pas d'impacts environnementaux indésirables qui iraient au-delà de la variation des variétés conventionnelles. Les effets observés isolément dans nos essais en plein champ sur les organismes étudiés ne semblent donc pas avoir de conséquences significatives sur le plan écologique.

Croisement

Les résultats confirment les données disponibles dans la littérature. Le blé affiche des taux de croisements spontanés très faibles, même à courte distance. Aucun cas de croisement n'a été identifié en dehors du champ d'essai. Les distances d'isolement entre les parcelles de blé peuvent empêcher efficacement tout croisement. ■

Remerciements

Nous tenons à remercier le Fonds National Suisse (FNS) d'avoir financé les projets.

Riassunto

Prove in campo aperto con frumento geneticamente modificato resistente all'oïdium

Dal 2008 al 2010, un'associazione di gruppi di ricerca svizzera hanno condotto in due siti delle prove di pieno campo per valutare benefici e rischi ambientali di linee di frumento primaverile geneticamente modificato (GM) che presentano una migliore resistenza all'oïdium. Le linee di frumento GM con resistenza specifica all'oïdium e una resistenza generale contro funghi patogeni sono state confrontate con varietà di frumento commerciali, linee testimone, nonché con orzo e triticale. Oltre alla resistenza all'oïdium sono stati esaminati gli effetti su insetti e altri organismi del suolo (batteri, funghi micorrizici, fauna del suolo) come pure gli incroci spontanei del frumento. Diverse linee di frumento GM si sono rivelate decisamente più resistenti all'oïdium rispetto a quelle di controllo. Non sono stati invece riscontrati effetti rilevanti su organismi non bersaglio, sulla loro biodiversità e sulle funzioni ecosistemiche studiate. Nel complesso, le differenze tra linee GM e linee di controllo sono risultate inferiori a quelle tra varietà di frumento commerciali e altre specie di cereali. Casi d'incroci spontanei sono rari e si sono riscontrati soltanto in un breve raggio di distanza dalle piante GM.

Summary

Field trials with genetically modified powdery mildew-resistant wheat

The benefits and environmental risks of genetically modified (GM) spring wheat with improved powdery mildew resistance were investigated on two field sites by a consortium of Swiss research groups from 2008 to 2010. GM wheat lines with specific powdery mildew resistance and general fungal resistance were compared with control lines, commercial wheat varieties, and with barley and triticale. The impact on insects and soil organisms (bacteria, mycorrhizal fungi, soil fauna) as well as outcrossing to wheat were investigated in addition to powdery mildew resistance. Several GM wheat lines were significantly more resistant to powdery mildew than their controls. No relevant impact was found on non-target organisms, their biodiversity or selected ecosystem services. On the whole, the differences between GM and control lines were smaller than between commercial wheat varieties or other cereal crops. Outcrossing events were rare and found only at a short distance from GM test plants.

Key words: genetically modified wheat, powdery mildew, disease resistance, non-target organisms, outcrossing.

Bibliographie

La liste des publications est disponible auprès de la première autrice.