



# Amélioration génétique du triticales à Agroscope Changins-Wädenswil

A. SCHORI, D. FOSSATI, F. MASCHER et A. FOSSATI<sup>1</sup>,  
Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW,  
CP 1012, 1260 Nyon 1

@ E-mail: [arnold.schori@acw.admin.ch](mailto:arnold.schori@acw.admin.ch)  
Tél. (+41) 22 36 34 723.

<sup>1</sup>Adresse actuelle: 1268 Begnins.

## Résumé

Le programme suisse de sélection du triticales hexaploïde a fêté en 2006 ses trente ans d'existence. Cet article, basé sur l'observation des pépinières de sélection de 1988 à 2006, analyse les principaux progrès réalisés. Les performances agronomiques des 2281 lignées testées enregistrent les progrès les plus rapides dans:

- la productivité par unité de hauteur de la plante, améliorée de 1,4% par année
- le rendement protéique par hectare, augmenté globalement de 1,4 dt/ha au rythme de 1,1 à 1,3% par année
- l'amélioration de deux points de la teneur en protéine du grain, parallèlement à un gain de sept points (kg/hl) du poids spécifique.

La corrélation négative entre le poids à l'hectolitre et la teneur en protéines, ainsi qu'entre teneur en protéine et rendement, explique en quoi ce programme, améliorant conjointement ces facteurs, a contribué à la bonne acceptation de cette culture dans l'agriculture suisse. Le triticales est ainsi devenu une culture facile et économiquement intéressante. La perte de résistance récemment enregistrée envers certaines maladies comme l'oïdium lance de nouveaux défis à la sélection. La recherche de nouvelles sources de résistance s'avère nécessaire.

## Introduction

Cultivé en Suisse depuis le début des années quatre-vingts, le triticales couvre en 2006 un peu plus de 11 000 ha, soit près de 15% des emblavures de céréales fourragères. Son rendement en Suisse est comparable à celui de l'orge et, comme pour l'orge, environ le tiers de la récolte des triticales est affouragé directement à la ferme (données swissgranum). Dans le monde, principalement en Europe, il couvre plus de trois millions d'hectares. Les principaux producteurs européens sont la Pologne, l'Allemagne et la France.

L'objectif des pionniers du triticales était de créer une nouvelle céréale alliant la frugalité et la rusticité du seigle à la qualité du blé. Les travaux sur cette espèce ont débuté en Suisse dans



les années 1950 par le croisement du blé tendre et du seigle, résultant en des triticales octoploïdes (Ingold *et al.*, 1968) (fig.1). Ce n'est qu'en 1976 que la sélection s'est concentrée sur les formes hexaploïdes (Fossati *et al.*, 1996), en utilisant le blé dur comme parent femelle. Cette étape décisive allait permettre de s'affranchir des problèmes persistants de fertilité réduite et de manque de stabilité du triticales octoploïde. Les efforts de sélection aboutiront à l'inscription de Brio en 1992 (Fossati *et al.*, 1992.), bientôt suivie d'autres variétés (Fossati et Fossati, 1992). Cet article présente les progrès réalisés en Suisse sur ces formes hexaploïdes. Ces trois décennies de progrès depuis 1976 se basent sur les résultats obtenus dès 1989 par les premières lignées extraites des pépinières d'Agroscope Changins-Wädenswil ACW et expérimentées en première année d'essai de valeur agronomique.

## Matériel et méthodes

Les performances de 2281 lignées extraites des pépinières d'Agroscope ACW de 1988 à 2006 ont été comparées sur leurs valeurs moyennes plurilocales, obtenues lors de leur première année d'essais de rendement. Le progrès annuel de sélection est calculé sur la base de la différence entre la valeur calculée pour la première (1988) et la dernière année (2006), les valeurs de ces années étant calculées à partir de l'équation de la droite de régression pour le caractère considéré. La différence obtenue est divisée par le nombre

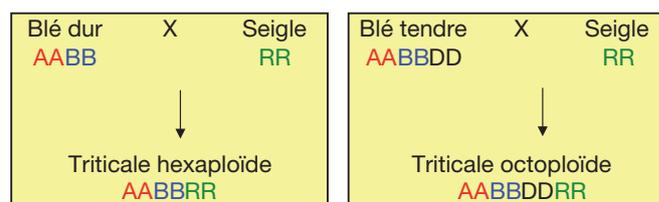


Fig. 1. Croisements impliqués dans la création de triticales primaires hexaploïdes (blé dur comme parent femelle) et octoploïdes (froment comme parent femelle). Chaque lettre de couleur différente représente un jeu de 7 chromosomes des différents génomes. Ainsi, le blé dur possède 4 jeux de chromosomes, issus du génome A et B. Il est dit tétraploïde. En acquérant les 2 jeux de chromosomes R du seigle, il devient donc hexaploïde.

d'années, soit dix-neuf, 1988 étant comptabilisée comme première étape de sélection. Ces valeurs calculées permettent de s'affranchir de l'effet de l'année et de gommer celui d'années extrêmes comme 1989 (très faibles rendements) ou 1998 (rendements très élevés) (fig. 2). Pour confronter ces estimations aux données effectives, la performance pluriannuelle moyenne des lignées a également été calculée pour quatre phases distinctes, excluant ces deux années extrêmes. Pour ces données effectives, les phases ne sont pas équidistantes, la première phase étant de cinq ans (1988, 1990, 1991, 1992, 1993) et les trois autres de quatre ans. Pour les données impliquant la teneur en protéine, analysée seulement depuis 1990 par spectroscopie de rayonnement proche de l'infrarouge (NIRs), les phases sont équidistantes, la première étant de quatre ans également (1990-1993). Sur les graphiques, la performance des jeunes lignées de sélection est comparée à la valeur moyenne obtenue dans ces essais par des variétés plus avancées, utilisées comme témoins. Il s'agit pour la plupart de variétés étrangères. Les notations de 1 à 9 concernant la résistance à la verse, la densité des plantes à la sortie de l'hiver; la notation du grain et la résistance aux maladies ne sont pas exploitées dans ce bilan, les échelles de notation et les personnes notant les essais ayant varié dans le temps. Les observations présentées sur le développement récent de la rouille jaune (*Puccinia striiformis*) et de l'oïdium (*Blumeria graminis*) sont quant à elles exploitables.

La comparaison des hybrides F1 repose sur un effectif beaucoup plus réduit que celui des lignées sortant de pépinière et uniquement sur une période de cinq ans, soit de 1995 à 1999. Les performances moyennes plurilocales de 260 hybrides F1, créés auprès de Delley Semences et Plants par traitement gamétocide en utilisant comme parent femelle des lignées courtes issues de notre programme combinées avec des lignées étrangères usuellement plus longues, ont été comparées avec celles d'un même nombre de lignées aléatoirement retenues afin de composer le même effectif. L'hybride le plus performant de l'année donnée a été également comparé à la lignée correspondante la plus performante.

**Tableau 1. Progrès (%) réalisés par le programme suisse de sélection de 1988 à 2006. Valeurs de la régression du caractère sur ces dix-neuf années, et pour comparaison valeurs moyenne réalisées selon la phase de sélection.**

	Rendement dt/ha	Hauteur (cm)	Poids spécifique (kg/hl)	PMG	Teneur en protéine <sup>1</sup>	Rendement en protéine	Grains/m <sup>2</sup>	dt/ha.cm
1988 (régression)	69,3	123,6	66,7	37,9	10,9	8,2	18 243	0,65
2006 (régression)	78,6	104,9	73,7	39	12,9	9,8	20 285	0,82
<b>Progrès par an (total 19 ans)</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,80</b>	<b>0,55</b>	<b>0,15</b>	<b>0,96</b>	<b>1,07</b>	<b>0,59</b>	<b>1,38</b>
1988-1993 (réalisé)	73	121	67,9	38	10,9	8,2	19 211	0,6
2003-2006 (réalisé)	77,4	107,2	73,5	38,2	12,7	9,7	20 262	0,72
<b>Progrès par an</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,81</b>	<b>0,59</b>	<b>0,04</b>	<b>1,27</b>	<b>1,31</b>	<b>0,39</b>	<b>1,41</b>

<sup>1</sup>Dès 1990.

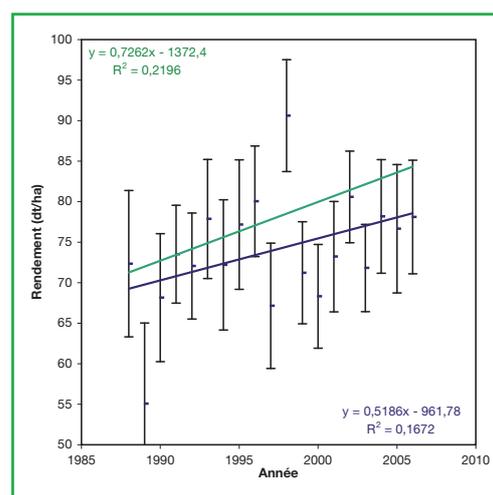
Le raccourcissement des pailles de triticale a été obtenu par incorporation progressive de gènes de nanisme, provenant parfois du seigle et surtout du blé, dans le matériel de sélection. Une partie de ces gènes de nanisme provenaient de lignées du CIMMYT, en particulier celles issues des croisements «Maya 2 × Armadillo» (Varughese *et al.*, 1987).

## Résultats et discussion

### Rendement

De 1988 à 2006, le rendement moyen calculé (régression) du matériel suisse est passé de 69,3 à 78,6 dt/ha (tabl.1). Cette augmentation de 9,3 dt/ha représente un progrès de sélection de 0,43 à 0,71% par année, selon la méthode d'évaluation retenue. L'écart-type du rendement moyen des lignées passe quant à lui progressivement de 8,1 à 6,3 dt/ha, indiquant une plus faible variance de ce caractère (fig. 2).

La figure 2 montre également que la productivité des variétés élites utilisées dans ces mêmes essais comme référence progresse de manière quasi-parallèle à celle des lignées suisses. Le meilleur rendement des variétés de comparaison est attendu puisque ces témoins sont justement choisis pour leur performance. La pente analogue de ces deux droites montre que le progrès génétique du matériel suisse pour le rendement équivaut à celui obtenu dans d'autres programmes européens. Ce progrès de sélection n'est pas directement comparable au chiffre de 1,5%/an cité par Hede (2001), qui se basait sur la performance de variétés élites et non sur la valeur moyenne de lignées pas encore sélectionnées pour le rendement. Le gain génétique annuel du matériel expérimental correspond assez exactement à l'augmentation des rendements de la culture du triticale enregistrée dans la pratique par swiss granum, soit entre



**Fig. 2. Rendement moyen** par année de l'ensemble des jeunes lignées de sélection (bleu) et écart-type selon l'année de sélection. Les années 1989 et 1998, extrêmes, sont exclues du calcul du progrès présenté dans le tableau 1. Comparaison avec la progression des variétés de référence utilisées dans ces mêmes essais (vert).

0,46 et 0,67% par année. Ce gain de productivité n'est pas attribuable à l'augmentation du poids de mille grains, resté étonnamment constant durant toute la période considérée, mais à une plus forte production de grains par m<sup>2</sup>, qui s'améliore d'environ 8% sur la période considérée. Cette observation confirme pleinement la thèse de Fossati (1997) selon laquelle il serait préférable d'augmenter le nombre de grains au mètre carré plutôt que le poids de mille grains, pour accroître simultanément le rendement et le poids spécifique de cette espèce.

### Hauteur

La hauteur moyenne a été diminuée de 124 à 105 cm en 19 ans, correspondant à une perte de 1 cm par année (tabl.1 et fig. 3). Cette diminution de la hauteur n'a pas affecté le rendement. La figure 3 indique que la taille moyenne du matériel suisse est régulièrement inférieure à celles des variétés de comparaison. Fossati *et al.* constataient en 1996 qu'il était possible de conserver le niveau de rendement de la variété polonaise Lasko tout en abaissant la taille du matériel de 10 à 15%. La figure 4 montre néanmoins que ce raccourcissement important du triticale a eu un coût. Cet objectif prioritaire a ralenti la progression du rendement dans les trois premières phases de sélection jusqu'à ce que l'équilibre physiologique de la plante se rétablisse et permette un gain de rendement plus net dans la phase actuelle. Cette figure montre aussi que la variance de la hauteur était très forte dans la première phase;

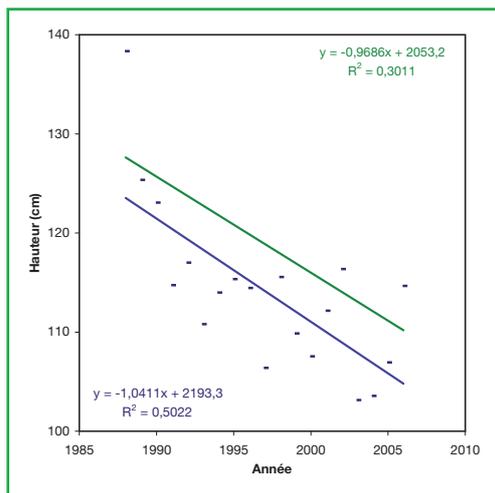


Fig. 3. Diminution de la hauteur moyenne par année de l'ensemble des jeunes lignées de sélection (bleu), comparée à celle des variétés étrangères et suisses utilisées dans ces mêmes essais (vert).

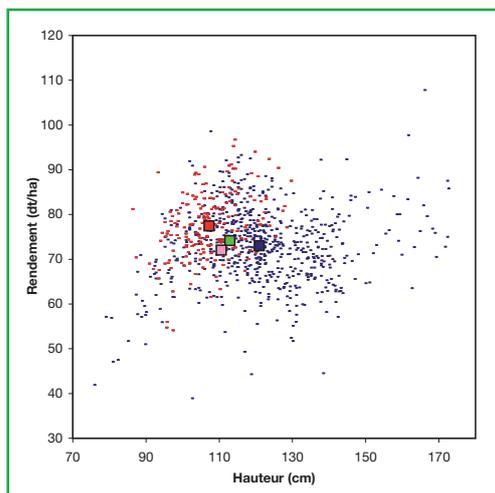


Fig. 4. Distribution des valeurs annuelles individuelles des lignées pour la hauteur et le rendement, selon la phase de sélection. Bleu: 1988-1993 (sans 1989), rouge: 2003-2006. Pour la lisibilité, les phases intermédiaires ne sont représentées que par leur moyenne: vert: 1994-1997, rose: 1999-2002.



Fig. 5. Lignées sorties de pépinière en été 1990. On voit que seules les lignées les plus courtes ne sont pas versées.



Fig. 6. Aldo Fossati, sélectionneur, revient visiter son matériel en 2004: derrière lui, une lignée particulièrement courte.

Tableau 2. Variétés et hybrides inscrits dans le programme de sélection ACW de 1989 à 2007.

Nom	Années	Inscription	Type
GAETAN	1989	France	hiver
BRIO	1991,1994	Suisse, France	hiver
MERIDAL	1992	Suisse	hiver
SANDRO	1992,1994,1998	Suisse, Autriche, Canada	printemps
FORMULIN	1993	France	hiver
TRIDEL	1994,1997	Suisse, France	hiver
ZOLDER	1995,1998	Belgique, France (B)	hiver
SIRIUS	1995	Suisse	hiver
INDIANA	1996	France	hiver
ABACO	1996,1998	Espagne, Suisse (B)	printemps
ACTIVO	1996,1998	Espagne, Suisse (B)	printemps
PRADER	1997	Suisse	hiver
IMOLA	1998	France	hiver
KADOR (F1)	1998	France	hiver
DELRACT (F1)	1998	Suisse	hiver
HYBRIDEL (F1)	1998	Suisse	hiver
TRADO	1998	Suisse	hiver/printemps
TIMBO	1998,2001,2001	Suisse, France, Italie	hiver
CLINT (F1)	1999	France	hiver
TRILI-UNO	1999	France (B)	hiver
BEDRETTO	2002,2003	France, Suisse	hiver
BLENIO	2002,2003	France, Suisse	hiver
FANGIO	2002,2005	Italie, Suisse (B)	hiver
GRANADOR	2002,2005	Italie, Suisse (B)	hiver
LUCENDRO	2003	Italie	hiver
DORENA	2007	Suisse	hiver

(B) = liste B.

L'amélioration de la hauteur moyenne du matériel suisse s'explique en bonne partie par la diminution de cette variabilité et on constate que des types courts et performants existaient déjà dans la phase initiale. Cette évolution correspond à celle de la sélection du blé, où la réduction de la hauteur s'était également accompagnée au début d'une diminution du rendement.

C'est dans la combinaison hauteur/rendement ou dans le rendement par unité de longueur que le plus grand progrès génétique a été réalisé à Changins, avec un progrès annuel moyen de 1,4% et des plantes physiologiquement plus performantes de 23%.

La diminution de la hauteur est l'une des voies privilégiées pour diminuer la tendance à la verse. Malheureusement, la verse n'a pas été notée sur une échelle constante durant les dix-neuf années, ce qui empêche de chiffrer l'amélioration de ce caractère. Cependant, le souvenir des premières pépinières, souvent fortement versées, demeure pour affirmer que le progrès a été considérable (fig. 5 et fig. 6). La réduction de la taille de la plante a pour autre avantage de faciliter le battage, en diminuant à tallage égal la quantité de paille. Une moindre production de paille peut toutefois représenter un inconvénient dans les exploitations mixtes.



Fig. 7. Grains de triticales moderne (à gauche) et tels qu'il en existait encore dans nos pépinières en 1990 (à droite).

## Poids spécifique ou poids à l'hectolitre

Par la sélection visuelle très intense des semences récoltées en pépinières, ce caractère a été amélioré de sept points (kg/hl) sur les dix-neuf années (tabl.1). En 1988, 13% du matériel avait encore un poids à l'hectolitre (PHL) inférieur à 60 kg et aucune lignée n'excédait 70 kg. Dix-neuf ans plus tard, il n'y a plus de lignées avec un PHL aussi bas et 55% d'entre-elles ont même un PHL supérieur à 75 kg.

Ainsi, le grain ridé et mal formé des anciens triticales (fig. 7) n'est plus qu'un mauvais souvenir. Rappelons toutefois que le standard pour le «Grade 1» du tritiale canadien reste encore fixé à 65 kg/hl (Salmon *et al.*, 2007). La figure 8 montre que le caractère est moins sujet aux variations annuelles que le rendement, à l'exception notoire de 1998. Le poids spécifique est en effet, comme la hauteur, un caractère fortement dépendant du génotype. Barnett *et al.*, (2006) constatent une héritabilité réalisée ( $h^2$ ) de

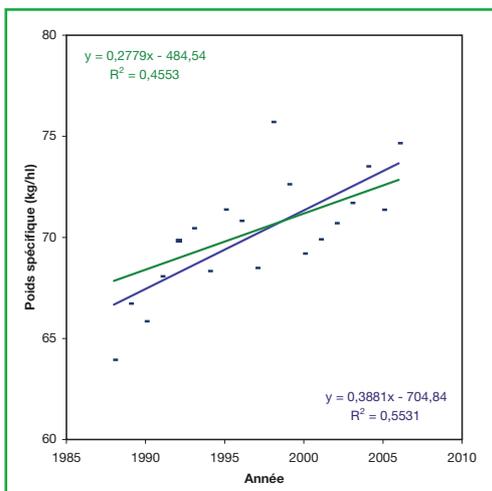


Fig. 8. Augmentation du **poids spécifique moyen** de l'ensemble des jeunes lignées de sélection (bleu) comparée à celle des variétés étrangères et suisses utilisées dans ces mêmes essais (vert).

0,93 pour le PHL et de 0,57 pour le rendement. Un grain bien formé et rebondi signale une semence dense, peu cassante, lisse en surface, et donc potentiellement moins contaminée par des poussières ou pathogènes. Un grain mal formé indique aussi une plus forte fréquence (jusqu'à 13%) d'aneuploïdes (plantes à 40 ou 41 chromosomes au lieu des 42) qu'avec des plantes issues de grains francs (Tosun *et al.*, 2003). Ces plantes aneuploïdes, de constitution chromosomique déséquilibrée, mettent en péril l'homogénéité et la stabilité des variétés présentant ce défaut.

Une des voies d'amélioration du PHL a été l'utilisation de triticales issus du matériel du CIMMYT, en particulier les triticales substitués (dont le chromosome 2R du seigle a été remplacé par le chromosome 2D du blé panifiable) et dont l'origine remonte à «Armadillo», variété issue d'un croisement spontané entre un triticales et un blé court (Varughese *et al.*, 1987).

## Teneur en protéine

Le taux de protéine n'a cessé d'augmenter depuis 1990, date du début de l'utilisation en routine des analyses de ces teneurs par NIRs (tabl.1 et fig. 9). Le taux moyen de protéine est passé de 10,9 à 12,9, avec des grains de mieux en mieux formés. En 1990, moins de deux lignées sur cent atteignaient la teneur de 13%, alors que 32% d'entre elles atteignaient ou dépassaient cette valeur en 2006. La teneur en protéine est, après le rapport hauteur/rendement, le facteur qui a le plus nettement progressé dans notre programme (1 à 1,3% par année). La littérature indique régulièrement que l'amélioration de la formation du grain du triticales s'est faite aux dépens de la teneur en protéines (Bombik *et al.*, 2001; Oettler, 2005), par simple phénomène de dilution. Le grain mieux rempli (par des hydrates de carbone) du triticales moderne aurait ainsi été appauvri en protéine. Sur le matériel suisse, cette teneur n'a pas baissé, bien au contraire, et les lignées modernes ont été améliorées de manière conjointe sur les deux plans (fig.10). Le progrès de sélection important et constant pour ces deux critères se traduit graphiquement par des nuages de points distincts pour la première et la dernière phase de sélection. Ceci indique que la plante a été réellement transformée par la sélection et que les types actuels n'existaient tout simplement pas aux débuts de la sélection. Là aussi, le taux de protéine est un facteur fortement contrôlé génétiquement. La corrélation négative entre protéine et rendement sur nos lignées récentes, même si elle est plus faible que

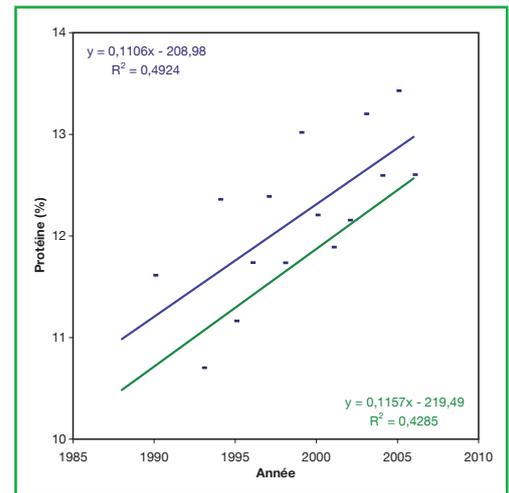


Fig. 9. Augmentation de la **teneur en protéine** moyenne de l'ensemble des jeunes lignées de sélection (bleu), comparée à celle des variétés étrangères et suisses utilisées dans ces mêmes essais (vert).

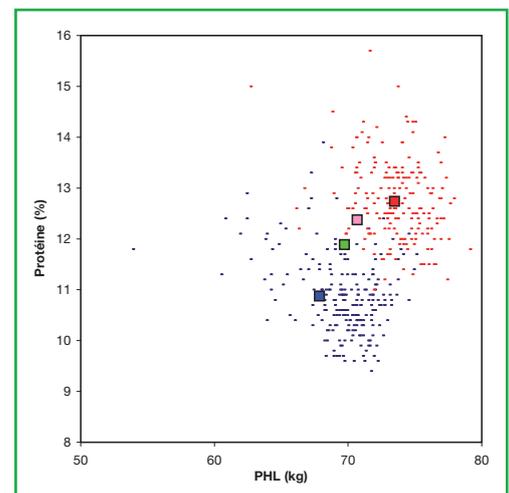


Fig. 10. Distribution des valeurs annuelles individuelles des lignées pour le **poids spécifique et la teneur en protéine**, selon la phase de sélection. Bleu: 1990-1993, rouge: 2003-2006. Pour la lisibilité, les phases intermédiaires ne sont représentées que par leur moyenne: vert: 1994-1997, rose: 1999-2002.

celle que rapportent Alaru *et al.*, (2003) ( $r = 0,46^{**}$ ), indique que la sélection pour la teneur en protéine a un coût en matière de rendement, tandis que l'amélioration du PHL contribue encore à améliorer ce caractère.

## Rendement en protéine

Le rendement en protéine par ha, de par l'augmentation conjointe du rendement physique et du taux de protéine, est passé de 8,2 à 9,8 dt/ha (tabl.1 et fig.11) en s'élevant de 1,1 à 1,3% par année. La figure 12 montre, comme la figure 10, des nuages de répartition distincts entre ces deux périodes, permettant de conclure que les types courts à rendement

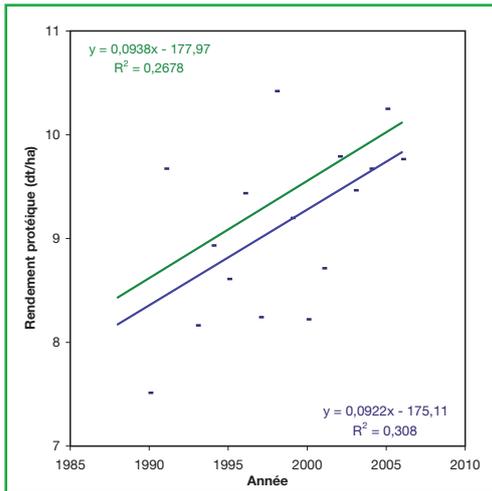


Fig. 11. Augmentation du **rendement en protéine par ha** de l'ensemble des jeunes lignées de sélection (bleu), comparée à celle des variétés étrangères et suisses utilisées dans ces mêmes essais (vert).

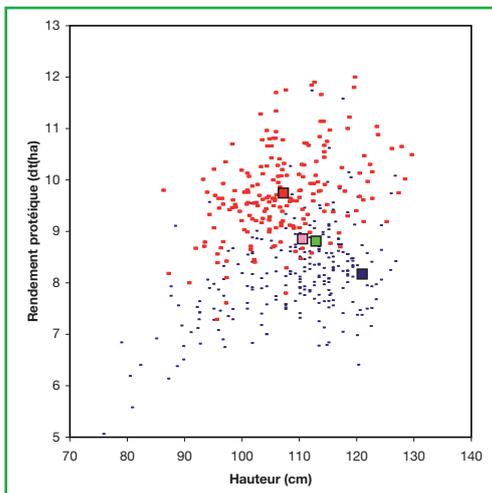


Fig. 12. Distribution des valeurs annuelles individuelles des lignées pour la **hauteur et le rendement en protéine**, selon la phase de sélection. Bleu: 1990-1993, rouge: 2003-2006. Pour la lisibilité, les phases intermédiaires ne sont représentées que par leur moyenne: vert: 1994-1997, rose: 1999-2002.

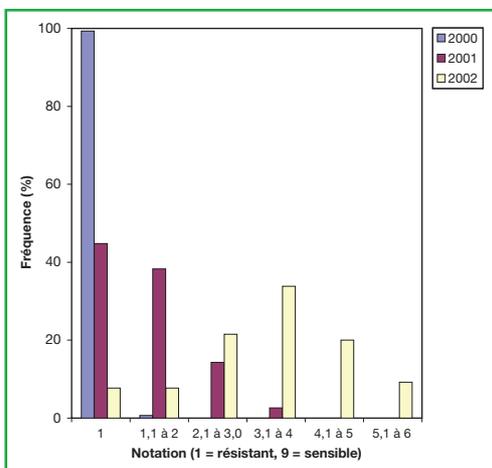


Fig. 13. Evolution de la fréquence des lignées infectées par la **rouille jaune** (2000-2002). Note 1 = résistant, 9 = sensible.

protéique élevé sont maintenant majoritaires dans notre matériel. Bien que ce critère ne soit pas pris en compte dans la liste recommandée, notre variété Bleinio arrive en tête (avec une de nos lignées en développement et la variété polonaise Baltico) pour le rendement en protéine par hectare.

## Résistance aux maladies

Avec le passage progressif à trois millions d'hectares de culture de tritcale dans le monde, les problèmes sanitaires se sont logiquement amplifiés sur cette espèce. Pour le producteur, le principal atout du tritcale reste toujours sa rusticité, malgré l'augmentation de la pression des maladies.

### Rouille jaune (fig.13)

Si, à partir de 1998, la rouille jaune (*Puccinia striiformis*) n'est plus observée dans nos pépinières malgré les infections artificielles, elle réapparaît en 2000, où une seule des lignées faisant partie de cette expérimentation présente de rares symptômes (note 1,5). En 2001, 54% des lignées présentent déjà de faibles sporulations. Cette date correspond aux premières observations de la maladie publiées en Allemagne, où de fortes infections se manifestent, touchant parfois les épis comme à Changins (Tian *et al.*, 2004). Dès 2002, 63% des lignées sont jugées moyennement à très touchées, recevant des notes entre 3,1 et 6. La répartition normale des fréquences en 2002 va au moins pour partie dans le sens d'une réaction polygénique de ce matériel pour la résistance. Une intense élimination de lignées sensibles a été réalisée dans nos pépinières, bien que cette maladie n'ait pas posé les années suivantes de problèmes importants dans la pratique.

### Oïdium

Un second problème sanitaire touche nos pépinières deux ans plus tard, en 2004: l'oïdium (*Blumeria graminis*) (fig.14),



Fig. 14. Symptômes d'oïdium sur tritcale.

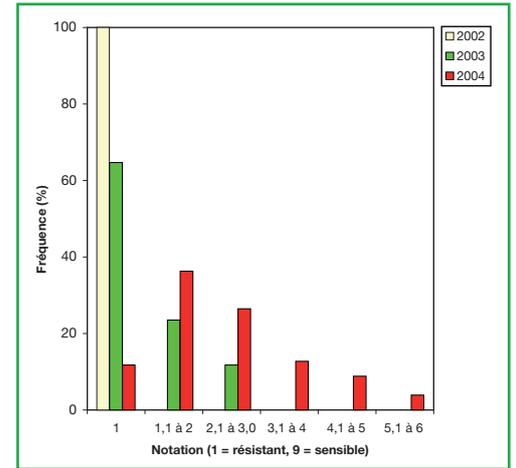


Fig. 15. Evolution de la fréquence des lignées infectées par l'oïdium (2002-2004). Note 1 = résistant, 9 = sensible.

contre lequel le tritcale était jusqu'ici considéré comme immun. Déjà bien présente en 2003, cette maladie touche dès 2004 de manière modérée à forte 26% du matériel retenu (fig.15). En Pologne, Strzembicka *et al.* (2006) constatent dans un essai variétal de post-inscription en 2004-2005 que seule une minorité des variétés conservent encore leur résistance. Sur un autre matériel, ils évaluent à seulement 20% les lignées de sélection encore résistantes. Cette maladie grave conduit à des pertes de ren-

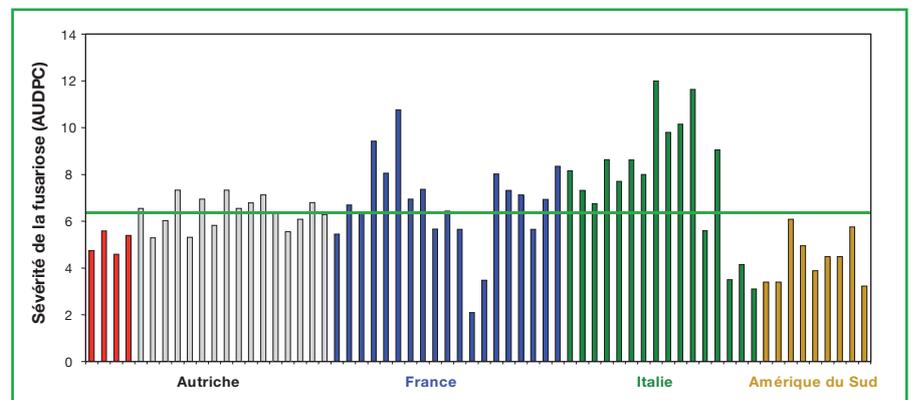


Fig. 16. Sévérité de l'infection par la **fusariose de variétés et lignées de blé dur** (*Triticum durum*) de diverses provenances.



Fig. 17. Hybrides F1 issus de croisements en 2006 entre blés durs résistants à la fusariose. Certains seront sélectionnés comme géniteurs pour la création de nouveaux triticales primaires.

dement de 20% pour les variétés sensibles (Mascher *et al.*, 2006). Les premières études de notre laboratoire de pathologie montrent que l'oïdium du triticales est une forme physiologique des souches affectant le blé tendre. Pour ces deux maladies, la variabilité génétique du matériel végétal suisse et le type de résistance exprimé nous incitent à adopter pour le triticales une sélection vers la tolérance du même type que pour le blé. La rusticité du triticales devra être maintenue afin de conserver à cette espèce l'un de ses principaux atouts.

### Fusariose

Pour cette maladie de l'épi contaminant la récolte avec des vomitoxines, la sélection utilise la même approche que pour toutes les autres maladies étudiées à Changins, en pratiquant des infections artificielles au champ pour évaluer la réponse des lignées testées (Mascher *et al.*, 2005), complétée par des analyses de la toxine déoxynivalénone (DON). Certains blés durs italiens et sud-américains

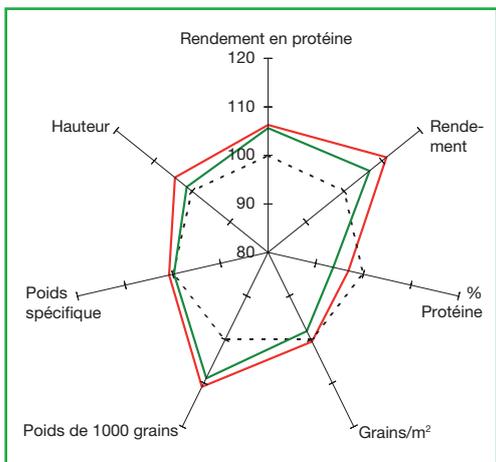


Fig. 18. Performances relative des hybrides par rapport à la moyenne des lignées (rouge) et par rapport aux meilleures lignées (vert). En pointillé, la référence 100 correspondante.

## Qualité fourragère et alimentaire du triticales

Le choix de la matière première est un enjeu majeur pour les fabricants d'aliments pour le bétail, où le prix, la disponibilité et les qualités sanitaires et nutritionnelles des composants sont déterminants (Anonyme, 2004). La qualité fourragère du triticales est jugée intermédiaire entre celle du blé et du seigle (fig.19). Selon McLeod et Knaack (2000), de nombreuses publications relatives aux aspects nutritionnels et fourragers sont désuètes, car basées sur des anciennes variétés. Selon les données d'Arvalis et de l'INRA (Anonyme, 2004), voici les principaux **avantages du triticales**:

- il apporte 20% de plus de lysine que le blé. La lysine, acide aminé essentiel, est particulièrement nécessaire aux monogastriques comme les porcs et les volailles, incapables de la synthétiser
- le triticales contient autant de phosphore que le blé, mais plus disponible pour les monogastriques, grâce à une plus grande activité (1330 UI/kg de MS contre 780 UI) de l'enzyme permettant d'hydrolyser le phosphore phytique. Cette meilleure disponibilité du phosphore constitue le second atout du triticales, qui permet aussi de diminuer les rejets dans les lisiers et fumiers
- les données françaises sur les collectes 1998 et 2000 montrent des rendements de transformation de l'énergie digestible du triticales aussi élevés que ceux du blé pour le porc et une énergie métabolisable supérieure pour le poulet. Les données d'énergie nette pour la viande, NEV (MJ) d'Agroscope ALP sont de 8,0 pour le porc et de 8,2 pour le poulet
- les teneurs en acides gras polyinsaturés (PUFA) et mono-insaturés (MUFA) du triticales sont dans nos analyses similaires à celles du blé et inférieures à celles de l'orge. Arvalis ne tient d'ailleurs pas compte de ce caractère et considère que, comme le blé ou le maïs, le triticales peut représenter la seule céréale de la ration des porcelets de deuxième âge et des porcs charcutiers.

Les **inconvénients du triticales** peuvent être résumés ainsi:

- dans l'alimentation des volailles, certaines fibres solubles responsables d'un effet viscosant dans les intestins diminuent l'utilisation de l'énergie et la digestibilité des acides gras. Dans une enquête basée sur la collecte 2006, Villariño (2006) enregistre une viscosité plus élevée chez le triticales que dans la moyenne des blés, sans comparaison toutefois avec celle du seigle. Les analyses suisses montrent également que la viscosité du triticales est très inférieure à celle de l'orge. Certaines triticales, comme Tridel ou Timbo, ont une viscosité basse, contrairement aux variétés anciennes comme Brio ou Lasko.
- le handicap majeur du triticales en Suisse pour son adoption par les fabricants d'aliments est son faible niveau de collecte qui représente, avec 47 228 tonnes livrées en 2005, seulement 14% des céréales fourragères (données de swissgranum).

En alimentation humaine, le triticales peut trouver un petit marché dans la fabrication de crackers, grâce à son goût plaisant rappelant la noix (Small, 1999). Le laboratoire de qualité boulangère d'ACW a distingué de fortes différences génétiques concernant la texture de la pâte, peu collante pour certains triticales. Ces types sont actuellement à l'étude pour ce marché potentiel de niche. Au sujet de la qualité boulangère du triticales, non étudiée à Changins, Makarska (2000) considère que les différentes sous-unités des gluténines sont de moins bons indicateurs de qualité que pour le blé, étant pour certaines peu fréquentes dans le blé et que les conclusions tirées des électrophorèses sont rendues difficiles par la présence des sécilines du seigle.

Points forts et points faibles d'espèces fourragères										
	Utilisation	Viscosité	Appétence	Prot. / AA	Germes	Toxines	Acides aminés	Acides gras Porcs	Acides gras Ruminants & volailles	Ergot
Orge	0	-	+	0	0	0	0	0	0	0
Avoine	-	0	+	0	-	+	0	-	+	0
Maïs	++	+	+	-	+	-	-	-	++	0
Blé	++	-	-	0	0	-	-	+	0	0
Triticales	+	-	-	0	0	-	-	++	0	-
Seigle	+	-	-	0	0	0	-	++	0	-
Pois	0	+	0	0	0	0	+	++	0	0
Féverole	-	0	-	0	0	0	0	++	0	0

Fig. 19. Appréciation de la qualité de différentes espèces fourragères (source UFA, modifié).

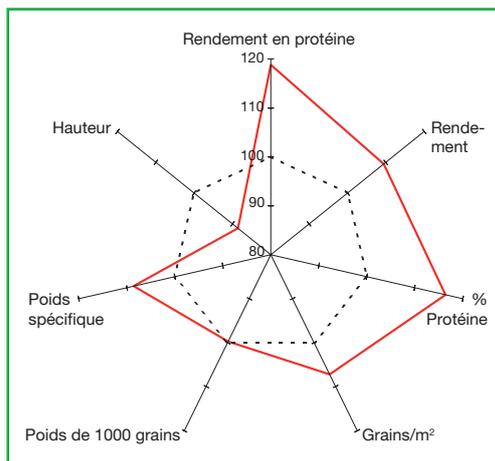


Fig. 20. Performances relatives des triticales récentes (2003-2006) (rouge) et anciens (1988-1993) (pointillé).

(fig.16) ont montré un bon niveau de résistance à la fusariose et ces géotypes ont été pris dans les croisements pour créer des populations de blé dur améliorées. Ce matériel permettra à terme de créer des triticales primaires plus résistantes à la fusariose. La même stratégie est utilisée pour la résistance à l'oïdium (fig.17).

La crainte de la présence de l'ergot du seigle (*Claviceps purpurea*) limite l'utilisation du triticales dans l'alimentation des porcelets ou des truies. Le problème de l'ergot a pourtant fortement diminué en améliorant la fertilité des épis. Les efforts de sélection se poursuivent dans ce sens également, même si le triticales est déjà nettement moins sensible que le seigle à cette maladie.

## Hybrides F1

De 1995 à 1999, la valeur moyenne du rendement des hybrides F1 a excédé celle des lignées de 11,2% (fig.18), avec des variances comparables pour le rendement. Cette supériorité (hétérosis) s'explique entièrement par l'augmentation de la taille du grain de 11% (PMG), et non par celle du nombre de grains. Cette observation rejoint celle faite par Oury *et al.* (1993) sur le blé. Une comparaison antérieure, portant cette fois-ci sur les résultats de l'hybride par rapport à la performance moyenne des deux lignées parentales, donnait une hétérosis de 7,5% et l'expliquait de la même manière (Fossati *et al.*, 1998). Si l'on compare par année la performance du meilleur hybride F1 à celle de la meilleure lignée autogame (on parle d'hétérosis «utile»), l'avantage moyen de l'hybride est ici encore de 7% pour le rendement et de 6% pour le rendement en protéine, en dépit de teneurs protéiques plus basses chez l'hybride.

## Conclusions

- ❑ Le sélectionneur est souvent confronté à des objectifs contradictoires. Dans le cas du triticales, la hauteur a cependant pu être considérablement diminuée sans provoquer d'impact négatif sur le rendement.
- ❑ Le progrès le plus important du programme de sélection du triticales est sans aucun doute d'avoir amélioré simultanément le poids spécifique et la teneur en protéine, créant ainsi des triticales entièrement nouveaux pour ces caractères. Même s'ils sont moins valorisés actuellement, le sélectionneur se doit de poursuivre dans cette voie.
- ❑ Pour les critères qualitatifs du grain, notamment l'obtention d'une faible viscosité, la sélection dispose à la fois d'une variabilité génétique suffisante et d'un débouché économique assez important pour être pris en compte actuellement.
- ❑ La voie d'amélioration du rendement par la création d'hybrides F1, en dépit de l'effet d'hétérosis beaucoup moins marqué qu'avec une espèce allogame comme le seigle (Oettler *et al.*, 2003), sera réévaluée dans le cadre du nouveau programme d'activité, sur la base des stérilités mâles cytoplasmiques disponibles. Toutefois, les avantages agronomiques des hybrides ne compenseront peut-être pas le surcoût de la semence, car la sélection par autogamie, telle qu'elle est pratiquée à Changins, restera comparativement compétitive.
- ❑ Le nouveau problème posé à la sélection est le maintien de la rusticité des triticales. Les travaux sur la fusariose et l'oïdium notamment sont intensifiés et seront soutenus à l'avenir par un laboratoire de marquage moléculaire.
- ❑ L'image obsolète des premiers triticales longs, partiellement stériles et aux grains racornis, peut enfin faire place au type moderne obtenu par les efforts de la sélection suisse et internationale: de cette comparaison sur dix-neuf ans, il ressort que la plasticité morphologique et physiologique de la plante a été fortement sollicitée par le sélectionneur, qui l'a transformée en une culture performante (fig. 20). Les progrès futurs resteront importants, car le triticales peut compter sur la diversité génétique de ses trois espèces parentales.

## Remerciements

Un remerciement chaleureux est adressé aux collaborateurs techniques qui, durant cette période, ont fortement contribué aux avancées de ce programme. Il s'agit de Jean-Claude Pradervand, Charles Berger et Edith Gindroz, retraités, ainsi que des actuels et indispensables Pierre Pignon, Christian Sterchi et Marc Pittet. Nos remerciements sont également adressés à Nelly Rossel pour la relecture du manuscrit.

## Bibliographie

- Alaru M., Laur U. & Jaama E., 2003. Influence of nitrogen and weather conditions on the grain quality of winter triticales. *Agronomy Research* **1** (1), 3-10.
- Anonyme, 2004. Utilisation du triticales pour l'alimentation des porcs et des volailles. Septembre 2004. ARVALIS Institut du végétal. Paris, France, 7 p.
- Barnett R. D., Blount A. R., Pfahler P. L., Bruckner P. L., Wesenberg D. M. & Johnson J. W., 2006. Environmental stability and heritability estimates for grain yield and test weight in triticales. *Journal of applied Genetics* **47** (3), 207-213.
- Bombik A., Stankiewicz C. & Starzewski J., 2001. Correlation between some quantitative traits determining yield of selected triticales varieties. *Biuletyn-Institutu-Hodowli-i-Aklimatyzacji-Roslin* **216** (1), 131-136.
- Fossati A., 1996. Les triticales à paille courte: bilan et perspectives. *Revue suisse Agric.* **28** (4), 189-192.
- Fossati A. & Fossati D., 1992. Le triticales: du laboratoire au champ. *Revue suisse Agric.* **24** (1), p. 31-37.
- Fossati A., Fossati D., Weilenmann F., Saurer W., Winzeler M., Winzeler H. & Jaquière R., 1992. Brio, une variété suisse de triticales d'automne. *Revue suisse Agric.* **24** (1), 13-15.
- Fossati A., Fossati D. & Kleijer G., 1996. Triticales breeding in Switzerland. In: H Guedes-Pinto, N Darvey, and VP Carnide (eds), Developments in plant breeding, Vol. 5. Triticales: Today and Tomorrow. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers, 649-653.
- Fossati D., 1997. Définition d'idéotypes pour le triticales. *Revue suisse Agric.* **29** (6), 291-296.
- Fossati D., Jaquière R. & Fossati A., 1998. Agronomical performance of triticales F1 hybrids. In: P. Juskiw and C. Dyson (eds), Proceedings of the 4th International Triticales Symposium, Vol. 2: Poster presentations, July 26-31, 1998, Red Deer, Alberta, Canada: Red Deer, Alberta, International Triticales Association, 124-126.
- Hede A. R., 2001 A New Approach to Triticales Improvement. In: Research Highlights of the CIMMYT Wheat Program, 1999-2000, 21-26.
- Ingold M., Oehler E. & Nogler G. A., 1968. Untersuchungen über Entstehung, Fertilität, Morphologie und agronomische Wertesigenschaften neuer oktoploider Triticales-Stämme. *Z. Pflanzenzücht.* **60**, 41-88
- McLeod J. G. & Knaack J. B., 2000. N'oubliez pas le triticales. Centre de recherches sur l'agriculture des prairies semi-arides. Bulletin de recherche n° 4.
- Makarska E., 2000. The attempt to connect the glutenin composition with evaluation of the baking quality of winter triticales grains. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **9** (3), 21-24
- Mascher F., Reichmann P. & Schori A., 2006. Impact de l'oïdium sur la culture du triticales. *Revue suisse Agric.* **38** (4), 193-196.

- Mascher F., Michel V. & Browne R. A., 2005. Sélection de variétés de blé et de triticale résistantes à la fusariose sur épi. *Revue suisse Agric.* **37** (5), 189-194.
- Oettler G., 2005. The fortune of a botanical curiosity. Triticale: past, present and future. *J. Agric. Sci.* **143** (5), 329-346.
- Oettler G., Burger-H. & Melchinger A. E., 2003. Heterosis and combining ability for grain yield and other agronomic traits in winter triticale. *Plant-Breeding* **122** (4), 318-321.
- Oury F.-X., Brabant P., Pluchard P., Berard P. & Rousset M., 1993. Une étude sur la supériorité des blés hybrides au niveau des capacités de remplissage du grain: résultats d'une expérimentation multilocale. *Agronomie* **13**, 381-393.
- Salmon D. F., McLelland M., Schoff M. & Juskiw P. E., 2007. Agri-facts Practical information for Alberta's Agriculture industry. *Triticale: Agri-Facts* **118/20-1**, 1-4.
- Small E. 1999. New crops for Canadian agriculture. In: J. Janick (ed.), Perspectives on new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA, 15-52.
- Strzembicka A., Arseniuk E. & Poznan W., 2006. *Blumeria graminis* sp. – an emerging problem of triticale breeding in Poland. In: H. Roux (ed), 6th International Triticale Symposium. Programme and Abstracts of oral and poster presentations, 3-7 September 2006, Stellenbosch, South Africa, 51/85.
- Tian S., Weinert J. & Wolf G. A., 2004. Infection of triticale cultivars by *Puccinia striiformis*: first report on disease severity and yield loss. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz-Journal of Plant Diseases and Protection* **111** (5), 461-464.
- Tosun M., Halloğlu K., Taspnar M. S. & Sagsoz S., 2003. Test weight, kernel shrivelling, and aneuploidy frequency in triticale. *New-Zealand-Journal-of-Agricultural-Research* **46** (1), 27-30.
- Varughese G., Barker T. & Saari E., 1987. Triticale. Mexico, D.F., CIMMYT, 1-32.
- Villariño M., 2006. La récolte de triticale 2006: une production stable et de qualité satisfaisante pour l'alimentation animale. *News@lim La lettre d'information du Pôle Valeurs Nutritionnelles d'ARVALIS – Institut du végétal numéro spécial oct. 2006*, 1-2.



## Summary

### Breeding progress on triticale obtained in Switzerland by Agroscope Changins-Wädenswil Research Station

Triticale is bred in Switzerland since 30 years. Based on observations on breeding lines between 1988 and 2006, this article analyzes the main breeding progresses achieved. Agronomic performances of the 2281 lines show that:

- productivity per cm height was improved with a rate of 1.4% per year
- protein yield was increased by 1,4 dt/ha, thus progressing by 1,1 to 1,3% per year
- protein content of the grain was improved by 2 points; at the same time the test weight gained 7 points (kg/hl).

Considering the negative correlation between test-weight and protein content, as well as between protein and yield, these simultaneous outcomes greatly contributed to the good acceptance of this crop in Switzerland. Triticale became thus an easy and economically interesting crop. Recently, the losses of resistance towards diseases like powdery mildew launched new challenges to the breeder. The search for new sources of resistance proves to be necessary.

## Zusammenfassung

### Fortschritte im Triticalezuchtprogramm bei Agroscope Changins-Wädenswil

Seit 30 Jahren wird in der Schweiz hexaploider Triticale gezüchtet. Basierend auf Daten aus den Zuchtgärten zwischen 1988 und 2006, werden in diesem Artikel die wichtigsten Zuchtfortschritte dokumentiert. Die agronomischen Leistungen von 2281 Zuchtstämmen zeigen dass der Zuchtfortschritt in erster Linie folgende agronomischen Merkmale betraf:

- Die Erhöhung des Ertrags pro cm Pflanzenlänge um jährlich 1,4%
- Der Proteinertrag pro Hektar, mit einem globalen Anstieg um 1,4 dt/ha, erhöhte sich um durchschnittlich 1,1 bis 1,3% pro Jahr.
- Der Proteingehalt des Korns wurde um insgesamt zwei Prozentpunkte verbessert. Gleichzeitig wurde das spezifische Gewicht um sieben kg/Hektoliter erhöht.

Das ist ein guter Erfolg, denn Proteingehalt des Korns und Hektolitergewicht, wie auch Proteingehalt und Hektarertrag sind negativ korreliert. Dank der Züchtung wurde die Akzeptanz dieses Getreides in der schweizerischen Landwirtschaft vergrössert. Triticale ist somit eine einfache und wirtschaftlich interessante Kultur geworden. Die jüngst auftretenden Resistenzdurchbrüche bei bestimmten Krankheiten, wie z.B. dem Mehltau, stellen die Züchtung vor neue Herausforderungen. Die Suche nach neuen Resistenzquellen wird immer wichtiger.

## Riassunto

### Progressi genetici sul triticale realizzati da Agroscope Changins-Wädenswil

Il programma svizzero di selezione del triticale esaploide ha festeggiato nel 2006 i suoi trenta anni di esistenza. Il presente articolo, basato sulle osservazioni nei vivai di selezione dal 1988 al 2006, analizza i principali progressi realizzati. I risultati agronomici di 2281 linee genetiche dimostrano che i progressi più rapidi sono stati i seguenti:

- la produttività per unità di altezza della pianta, migliorata del 1,4% annuo.
- la resa proteica per ettaro, aumentata globalmente di 1,4 dt/ha su un ritmo di 1,1 a 1,3% annuo
- il miglioramento di due punti del tenore in proteine dei grani, associato a un guadagno di sette punti (kg/hl) sul peso specifico.

La correlazione negativa tra il peso all'ettolitro e il tenore in proteine, così come quella tra il tenore in proteine e la resa, ottenute grazie al programma di selezione svizzero sono le ragioni che hanno contribuito alla buona accettazione di questa coltura nell'agricoltura svizzera. Il triticale è così diventato una coltura facile e economicamente interessante. Recentemente, la perdita di resistenza di fronte a certe malattie, come l'oidio, lancia nuove sfide per la selezione. La ricerca di nuove fonti di resistenza si avvera necessaria.