

# Performance et efficacité de l'azote des variétés de blé suisses du 20<sup>e</sup> siècle

Anastase Hategekimana, David Schneider, Dario Fossati et Fabio Mascher

Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon 1

Renseignements: Fabio Mascher, e-mail: fabio.mascher@acw.admin.ch, tél. +41 22 363 47 33



Dernières notations dans les essais avant la récolte. (Photo: ACW)

## Introduction

En Suisse, la sélection du blé, initiée à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, poursuit trois objectifs: rendement élevé et stable, bonne résistance aux maladies et excellente qualité boulangère (Fossati et Brabant 2003). Le rendement moyen national de blé panifiable a sensiblement augmenté, passant d'environ 13 dt/ha en 1850 à plus de 60 dt/ha aujourd'hui (Fossati et Brabant 2003; SWISSGRANUM 2011). Cette énorme augmentation est due à l'amélioration des méthodes de culture, à l'utilisation d'engrais, en particulier de l'azote minéral, et au progrès génétique réalisé

par la sélection. Il est difficile de quantifier précisément la contribution de chaque facteur dans le progrès global. En ce qui concerne l'évolution des variétés, on constate que la part du grain dans la masse aérienne totale de la plante (indice de récolte) est passée de 35 % en 1930 à 50 % en 1980 (Fossati et Paccaud 1986). Ce changement des proportions s'est accompagné d'une réduction de la longueur de la tige, ce qui a permis d'accroître l'apport d'azote tout en évitant la verse (Fossati et Paccaud 1986). La forte contribution de l'emploi de l'azote dans l'augmentation des rendements du blé est un fait connu (Ladha et al. 2005). L'évolution de l'efficacité de l'utilisa-

tion de l'azote par les variétés de blé d'automne suisse est en revanche peu connue, malgré son rôle de polluant (Spiess et Richner 2005). Considérant que les variétés les plus anciennes ont été sélectionnées dans des conditions de faible disponibilité d'azote, il est concevable qu'elles absorbent et utilisent l'azote plus efficacement. L'efficacité d'utilisation de l'azote par la plante est un indicateur agronomique pour évaluer l'efficacité avec laquelle l'azote apporté à la culture est absorbé, avant d'être métabolisé puis remobilisé vers les grains.

L'efficacité est définie comme étant la masse de grains produits par unité d'azote disponible dans le sol, ce qui permet de caractériser et de comparer des variétés (Foulkes *et al.* 2009). L'efficacité d'utilisation de l'azote peut être déclinée en: (1) l'efficacité de la plante à prélever l'azote du sol et (2) l'efficacité d'utilisation de l'azote pour produire des grains (Moll *et al.* 1982).

Cette étude compare le rendement, les composantes du rendement et l'efficacité d'utilisation de l'azote de sept variétés de blé suisse mises sur le marché entre 1926 et 2003 ainsi que de la variété française récente Caphorn. Il est ainsi possible de mieux comprendre les améliorations apportées par la sélection au niveau de la plante, lesquelles ont contribué à l'augmentation globale du rendement. Les expériences sont menées avec deux niveaux de fumure azotée (niveau usuel et niveau très faible), pour pouvoir mieux comparer les variétés anciennes et modernes, issues de contextes de disponibilité d'azote contrastés. Ces informations sont utiles pour l'orientation future de la sélection de variétés compétitives et moins exigeantes en azote.

## Matériel et méthodes

### Variétés utilisées et caractéristiques

L'essai inclut les variétés de blé d'automne suisses les plus cultivées à leur époque, ainsi que, à titre de comparaison, deux variétés récentes: Piotta (Agroscope/DSP) et la variété française Caphorn (Florimont-Desprez; tabl. 1). Toutes les variétés sont de qualité boulangère 1 ou 2 et peuvent donc être comparées dans ce contexte.

### Conditions de mise en place de l'essai

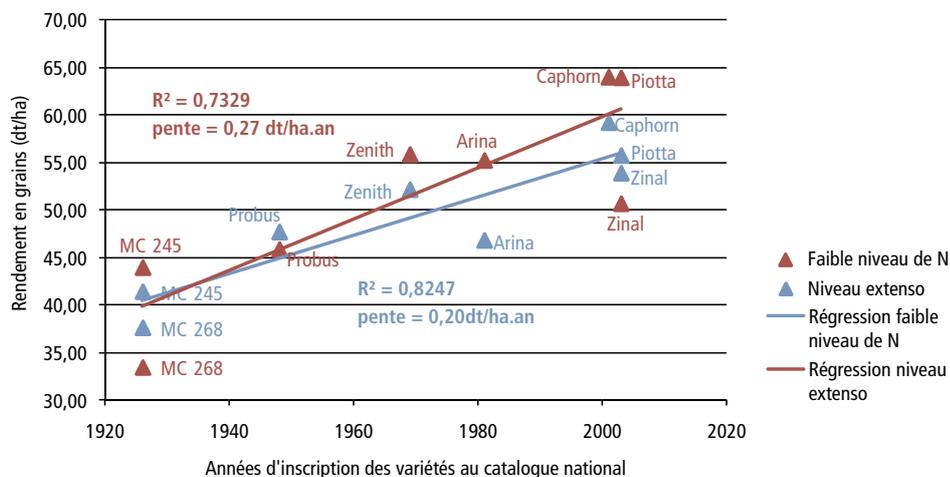
L'essai a été conduit pendant deux ans (2005 et 2006) sur le site de Changins, situé à 440 m d'altitude, avec une pluviométrie de 755 mm pendant la phase végétative de l'essai pour l'expérimentation 2004–2005 et de 707 mm pour l'expérimentation 2005–2006. En 2004, le sol de la parcelle était composé de 24,3 % d'argile, 47,4 % de limon et 28,3 % de sable, tandis que celui de la parcelle de 2005 contenait 26,6 % d'argile, 42,2 % de limon et 31,6 % de sable. Le précédent cultural était dans les deux

### Résumé

Le rendement moyen de blé en Suisse est passé de 13dt/ha en 1850 à 60dt/ha aujourd'hui. Cette étude a analysé le facteur variété dans cette spectaculaire progression de rendement. Le rendement, les composants du rendement ainsi que l'efficacité d'utilisation de l'azote de sept variétés de blé suisses homologuées entre 1926 et 2003 et de la variété française Caphorn (2001) ont été examinés dans des essais standardisés pendant 2 ans avec 2 régimes de fertilisation azotée (niveau faible et niveau Extensio). Les rendements en grain montrent un accroissement constant en fonction de l'année d'inscription au catalogue national et s'élèvent à environ 0,24dt/ha/an. Cet accroissement extraordinaire est certes dû à une augmentation du nombre de grains par m<sup>2</sup>. Toutefois, l'amélioration constante de l'utilisation de l'azote joue également un rôle primordial dans cette évolution. La compréhension de ce progrès, accompli au niveau morphologique et physiologique de la plante, permettra à l'avenir de sélectionner des variétés avec une haute efficacité d'utilisation de l'azote.

Tableau 1 | Année d'inscription et classe de qualité des variétés de blé étudiées

Nom	Obtenteur	Année d'inscription au catalogue national	Classe de qualité
MC 245	Agroscope	1926	II
MC 268	Agroscope	1926	II
Probus	Agroscope	1948	I
Zénith	Agroscope	1969	II
Arina	Agroscope/DSP	1981	I
Zinal	Agroscope/DSP	2003	I
Piotta	Agroscope/DSP	2003	II
Caphorn	Florimont-Desprez	2001	III



**Figure 1** | Rendement en grains en fonction de la date d'inscription au catalogue national des variétés de blé panifiable d'automne sélectionnées en Suisse au cours du 20<sup>e</sup> siècle, à faible niveau d'azote (ligne et triangle bleus) et à un niveau extenso (ligne et triangle rouges). Moyennes de deux ans d'expérimentation.

cas le pois protéagineux d'automne, sans fumure azotée. Pour éviter des interférences dues aux différences de hauteur des plantes, chaque variété a été semée sur trois parcelles adjacentes de 4,7 m de long et 1,5 m de large chacune. La parcelle centrale a été utilisée pour les analyses de rendement. Le semis a été réalisé avec une densité de 350 grains/m<sup>2</sup> semés sur 8 lignes.

Afin de prévenir les problèmes de verse sur les parcelles à haut niveau d'azote en 2006, le régulateur de croissance Moddus (Syngenta, Bale, Suisse) a été appliqué au stade de «2 nœuds» (BBCH32) à raison de 0,4 l/ha.

#### Niveaux d'azote et fractionnement des apports

L'azote (N) a été apporté d'après la méthode de la norme corrigée (Sinaj *et al.* 2009). Pour 2005, le niveau extenso correspondait à 120 kg N/ha et pour l'année 2006 à 180 kg N/ha. Le faible niveau d'azote correspondait à la norme corrigée moins 50 unités N (soit 70 kg N/ha) pour l'année 2005, et à la norme corrigée moins 90 unités N (soit 20 kg N/ha) pour l'année 2006. L'azote a été apporté sous forme de nitrate d'ammonium (27,5 % d'azote) avant l'épiaison, en deux apports en 2005 et en quatre apports en 2006.

#### Paramètres observés

La densité des épis et le nombre de grains par épi ont été déterminés sur un échantillon représentatif dans chaque parcelle. Après récolte, le poids de mille grains (PMG) et le poids à l'hectolitre ont été mesurés.

Pour l'analyse de la biomasse et de la teneur en azote de la plante à floraison et à maturité, des plantes ont été prélevées sur une longueur de 25 cm au centre de la troisième ligne, dans les parcelles latérales de chaque variété.

La teneur en azote des grains et de la plante entière (à floraison et à maturité) a été déterminée par spectroscopie proche infrarouge (NIRS) appliquée sur des échantillons moulus (NIRS6500, FOSS NIRSystems, Inc., Laurel, MD, USA). Les analyses réalisées se basent sur des calibrages avec du matériel végétal analysé selon la méthode de référence Kjeldahl. Dans cette étude, la courbe de référence NIRS a été validée avec des échantillons additionnels (Fossati *et al.* 1993).

L'efficacité d'utilisation de l'azote apporté (NUE) et ses deux composantes, notamment l'efficacité d'absorption de l'azote apporté (NUpE) et l'efficacité d'utilisation de l'azote absorbé (NUE) ont été calculées avec la méthode proposée par Moll *et al.* (1982). Le calcul de l'efficacité de remobilisation de l'azote (ERemN) se base sur les méthodes de Barbottin *et al.* (2005).

#### Analyse statistique

Le dispositif expérimental utilisé était un split-plot à trois répétitions divisées, dont la fertilisation constituait le facteur principal et les variétés le facteur secondaire. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Sigma Plot 11 (Systat Software Inc., Chicago, USA). Les différents facteurs et leurs interactions ont été

**Tableau 2 | Rendement en grains et de ses composantes. Moyennes de données obtenues avec 2 niveaux d'azote et durant 2 ans observation**

Variétés	Rendement en grains (dt/ ha)	Nombre d'épis par m <sup>2</sup> (NE2)	Nombre de grains par épi (NGE)	Nombre de grains par m <sup>2</sup> (NG2)	Poids de mille grains (PMG)
MC 245	42,70 (±8,53)	369 (±51)	28 (±6)	10092 (±2042)	42,48 (±0,65)
MC 268	35,56 (±5,19)	311 (±44)	30 (±5)	9124 (±1060)	40,26 (±1,08)
Probus	46,78 (±11,59)	324 (±57)	36 (±6)	11586 (±2986)	40,33 (±1,21)
Zénith	53,99 (±10,40)	376 (±65)	39 (±6)	14503 (±3344)	37,74 (±1,44)
Arina	51,03 (±10,05)	409 (±93)	33 (±6)	13104 (±2500)	38,99 (±0,57)
Zinal	52,28 (±13,21)	392 (±80)	32 (±6)	12537 (±3082)	41,80 (±1,39)
Piotta	59,82 (±10,96)	461 (±67)	32 (±3)	14627 (±3229)	40,82 (±1,31)
Caphorn	61,58 (±16,22)	361 (±48)	42 (±9)	15092 (±3895)	40,76 (±0,94)

comparés statistiquement avec le module ANOVA, après s'être assuré avec le module «Normalité» que les résidus sont distribués normalement. Les analyses de régression et de corrélation ont été effectuées avec les modules correspondants.

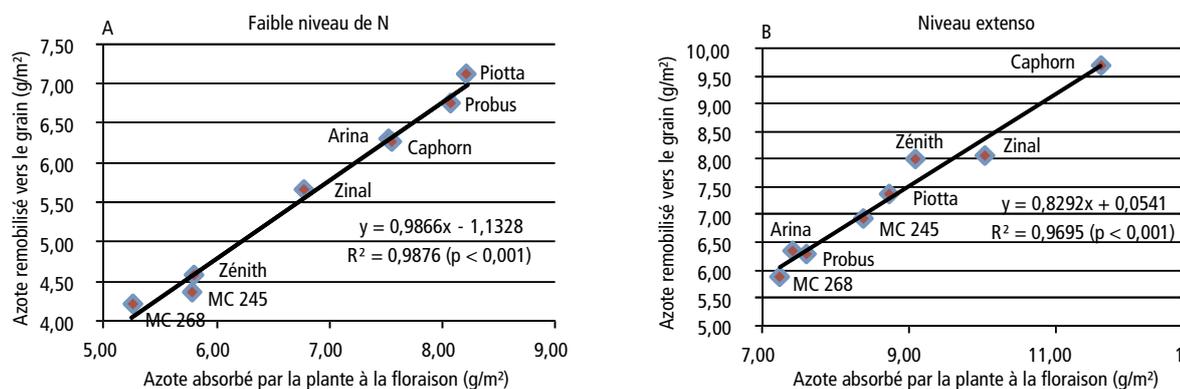
## Résultats

### Rendement en grains et composantes du rendement

Le rendement le plus élevé a été réalisé par la variété française Caphorn (61,58 dt/ha), suivi de près par la variété suisse Piotta (59,82 dt/ha), tandis que le plus faible rendement (35,56 dt/ha) a été observé avec la

variété MC 268 (tabl. 2). La régression du rendement selon l'année d'inscription des 8 variétés testées (fig. 1) montre une augmentation du rendement importante d'environ 0,24 dt/ha/an.

Pour mieux comprendre les aspects de rendement qui ont été modifiés par la sélection, les composantes principales du rendement (le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, le nombre de grains par épi, le nombre de grains par m<sup>2</sup> et le poids de mille grains) ont été examinées (tabl. 2). Les résultats montrent une nette augmentation du nombre de grains par épi, qui se répercute sur le nombre de grains par m<sup>2</sup>, qui atteint environ 10000 grains par m<sup>2</sup> (variétés Mont Calme) à 15000 grains par m<sup>2</sup> pour les



**Figure 2 | Relation entre la quantité d'azote absorbée et remobilisée vers les grains et la quantité d'azote absorbée par la plante avant la floraison, à faible niveau d'azote (A) et à un niveau extenso (B).**

**Tableau 3 | Analyse de variance du rendement en grains et de ses composantes**

Source de variation	Degrés de liberté	Rendement en grains (g/m <sup>2</sup> )	Nombre d'épis par m <sup>2</sup> (NE2)	Nombre de grains par épi (NGE)	Nombre de grains par m <sup>2</sup> (NG2)	Poids de mille grains (PMG)
Année (A)	1	*	ns	ns	**	***
Variété (V)	7	***	***	***	***	***
Azote (N)	1	ns	*	ns	ns	**
A × V	7	ns	ns	*	ns	**
A × N	1	ns	ns	ns	ns	ns
V × N	7	ns	ns	ns	ns	ns
A × V × N	7	ns	ns	ns	ns	ns

\*\*\*hautement significatif (P ≤ 0,1 %); \*\*très significatif (P ≤ 1 %); \*significatif (P ≤ 5 %); ns: non significatif.

variétés les plus récentes. Le poids de mille grains dépend bien de la variété, mais ce facteur de rendement ne semble pas avoir évolué en fonction de l'année d'inscription. L'analyse de variance (tabl. 3) montre que le facteur variété a fortement influencé les différences des rendements et de toutes les composantes du rendement. Les facteurs année d'expérimentation et fertilisation ont également influencé certaines composantes du rendement, mais dans une moindre mesure.

#### Absorption et remobilisation de l'azote

Les variétés ont absorbé en moyenne 7,82 g N/m<sup>2</sup> avant floraison et remobilisé 6,48 g N/m<sup>2</sup> après floraison, tous procédés confondus (tabl. 4). La figure 2 montre la relation entre la masse d'azote absorbée avant floraison et

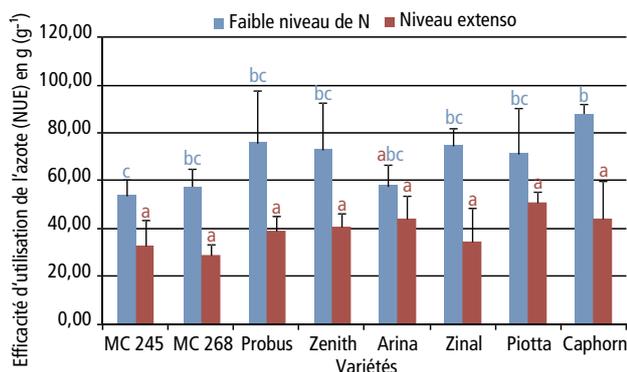
la masse remobilisée vers les grains après floraison pour les 8 variétés. L'absorption et la remobilisation sont fortement corrélées et la proportion d'azote remobilisé (ERemN) est en moyenne de 82 % pour toutes les variétés. La quantité d'azote absorbée et remobilisée dépend de la disponibilité d'azote pour la plante dans le sol (tabl. 5). La figure 2 suggère que les variétés plus récentes absorbent une plus grande quantité d'azote par rapport aux variétés plus anciennes.

Cette tendance n'est toutefois pas cautionnée par l'analyse de variance (tabl. 5). Par ailleurs, on remarque que les variétés qui ont réalisé le meilleur rendement, tous procédés confondus, sont celles qui ont stocké le plus d'azote avant la floraison et qui sont capables de remobiliser l'azote rapidement vers les grains.

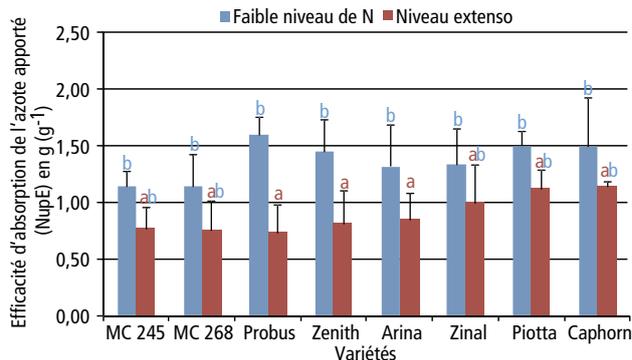
**Tableau 4 | Absorption et remobilisation de l'azote**

Variété	Azote absorbé avant floraison (g/m <sup>2</sup> ) Nf	Azote absorbé après floraison (g/m <sup>2</sup> ) Napf	Azote présent dans la paille à maturité (g/m <sup>2</sup> ) Npm	Azote remobilisé vers les grains après floraison (g/m <sup>2</sup> ) NRem*	Efficacité de remobilisation post-floraison de l'azote (Index) ERemN*	Teneur en protéines dans le grain (%)
MC 245	7,08 (±2,09)	1,69 (±1,76)	1,44 (±0,66)	5,64 (±1,97)	0,78(±0,10)	12,25 (±1,42)
MC 268	6,25 (±0,83)	2,39 (±1,74)	1,21 (±0,35)	5,04 (±0,57)	0,81 (±0,05)	12,26 (±1,67)
Probus	7,84 (±1,56)	2,16 (±1,48)	1,33 (±0,37)	6,51 (±1,41)	0,83 (±0,04)	12,14 (±0,76)
Zénith	7,44 (±1,11)	2,83 (2,31)±	1,16 (±0,34)	6,29 (±1,20)	0,83 (±0,05)	10,42 (±0,92)
Arina	7,47 (±3,06)	2,26 (±0,87)	1,16 (±0,52)	6,32 (±2,57)	0,85 (±0,02)	11,49 (±0,76)
Zinal	8,41 (±0,99)	2,55 (±2,30)	1,55 (±0,39)	6,86 (±0,99)	0,82 (±0,05)	11,09 (±0,52)
Piotta	8,48 (±1,21)	3,54 (±0,93)	1,24 (±0,12)	7,24 (±1,11)	0,86 (±0,01)	10,60 (±0,36)
Caphorn	9,59 (±2,26)	2,43 (±1,64)	1,61(±0,19)	7,98 (±2,21)	0,83 (±0,05)	10,27 (±0,42)
Moyenne	7,82 (±1,64)	2,48 (±1,63)	1,33 (±0,37)	6,48 (±1,50)	0,82 (±0,05)	11,32 (±0,85)

\*NRem = Nf-Npm et ERemN = (NRem/Nf)\*100.



**Figure 3** | Efficacité d'utilisation de l'azote apporté (NUE) de sept variétés de blé panifiable d'automne sélectionnées en Suisse au cours du 20<sup>e</sup> siècle et de la variété française Caphorn, testées avec deux niveaux d'azote pendant deux ans. L'erreur standard est représentée par les barres. Les lettres différentes indiquent les différences statistiquement significatives entre variétés.



**Figure 4** | Efficacité d'absorption de l'azote apporté (NupE) de sept variétés de blé panifiable d'automne sélectionnées en Suisse au cours du 20<sup>e</sup> siècle et de la variété française Caphorn, testées avec deux niveaux d'azote pendant deux ans. L'erreur standard est représentée par les barres. Les différentes lettres indiquent les différences statistiquement significatives entre variétés.

### Efficacité d'absorption et d'utilisation de l'azote

L'efficacité d'utilisation de l'azote par les variétés de blé testées est présentée à la figure 3. Toutes les variétés, à l'exception d'Arina, montrent une efficacité plus importante à faible niveau d'azote qu'au niveau extenso. Les différences entre les variétés sont plus évidentes à faible niveau d'azote où, par exemple, Caphorn montre une efficacité significativement supérieure à MC 245. En général, à faible niveau d'azote, les variétés récentes ont tendance à mieux valoriser l'azote que les variétés Mont Calme 245 et 268 ou Arina. L'efficacité d'absorption de l'azote des 8 variétés (fig. 4) montre une tendance similaire à l'efficacité d'utilisation de l'azote.

## Discussion

Les variétés de blé suisses développées au cours du 20<sup>e</sup> siècle et utilisées dans la présente étude ont montré une augmentation constante du rendement, qui s'élève à environ 0,24 dt/ha/an. Bien que chaque variété possède

une structure de rendement particulière, ce sont principalement les changements morphologiques de la plante qui ont rendu l'augmentation du rendement possible. En particulier, il s'agit de l'augmentation du nombre de grains par épi et du nombre d'épis par m<sup>2</sup>, tandis que le poids de mille grains, critère important pour l'amélioration du triticale (Schori *et al.* 2011), n'a guère évolué. Les résultats obtenus ici avec quelques-unes des variétés commercialement les plus importantes entre 1926 et 2003 confirment donc les observations réalisées sur un assortiment de variétés plus restreint par Fossati et Paccaud (1986). Différentes études sur les variétés de blé françaises inscrites entre 1946 et 1992 ont rapporté une évolution analogue du rendement et des modifications morphologiques des plantes (Le Buanec 1999; Trottet et Doussinault 2002).

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, la fertilisation azotée a été fortement augmentée pour améliorer les rendements. La sélection a mis à disposition des variétés résistantes à la verse, capables de supporter des apports d'azote

**Tableau 5** | Analyse de variance des paramètres d'absorption et de remobilisation de l'azote

Source de variation	Degrés de liberté	Azote absorbé avant floraison (g/m <sup>2</sup> ) (Nf)	Azote absorbé après floraison (en g/m <sup>2</sup> ) (Napf)	Azote remobilisé vers les grains après floraison (g/m <sup>2</sup> ) NRem	Efficacité de remobilisation de l'azote (en %) (ERemN)	Teneur en protéines dans le grain (%)
Variété (V)	7	ns	ns	ns	ns	***
Azote (N)	1	***	ns	***	ns	***
V × N	7	ns	ns	ns	ns	ns

\*\*\*hautement significatif (P ≤ 0,1 %); \*\*très significatif (P ≤ 1 %); \*significatif (P ≤ 5 %); ns: non significatif.

**Tableau 6 |** Analyse de variance de l'efficacité d'utilisation de l'azote apporté (NUE) et de ses composantes (NUpE et NUtE) avec deux niveaux d'azote

Source de variation	Degrés de liberté	Efficacité d'utilisation de l'azote apporté (NUE)	Efficacité d'absorption de l'azote apporté (NUpE)	Efficacité d'utilisation de l'azote absorbé (NUtE)
Variété (V)	7	*	ns	ns
Azote (N)	1	***	***	ns
V × N	7	ns	ns	ns

\*\*\*hautement significatif ( $P \leq 0,1\%$ ) ; \*\*très significatif ( $P \leq 1\%$ ) ; \*significatif ( $P \leq 5\%$ ) ; ns: non significatif.

considérables. Les résultats élaborés dans cette étude montrent également qu'en termes de rendement, les variétés les plus récentes utilisent toujours mieux l'azote. En effet, l'effet variétal sur l'efficacité d'utilisation de l'azote apporté est statistiquement significatif. L'amélioration des deux critères, soit l'absorption et l'utilisation de l'azote, permet une meilleure performance des variétés également dans des conditions de disponibilité d'azote restreinte. L'amélioration de l'absorption de l'azote peut être obtenue par l'accroissement du système racinaire (Le Gouis *et al.* 2000; Foulkes *et al.* 2009) et par l'amélioration de l'absorption de l'azote par la racine (Slimane 2010). L'étude de l'architecture et de la fonctionnalité de la racine des variétés de blé n'a pas pu être réalisée dans le contexte de ce travail.

Entre 60 et 95 % de l'azote assimilé par la plante est remobilisé vers les grains à maturité (Barbottin *et al.* 2005). Les valeurs recueillies ici montrent que toutes les variétés se trouvent dans la région supérieure de cette fourchette. Pour ce trait, il n'y a pas de différences entre les variétés. La proportion d'azote remobilisé est déjà assez élevée dans les variétés Mont Calme, suggérant que ce trait n'a pas été davantage amélioré au cours de la sélection.

## Conclusions

- La sélection de géotypes de blé produisant un plus grand nombre de grains par m<sup>2</sup> a permis d'augmenter sensiblement les rendements des variétés de blé sélectionnées en Suisse au cours du 20<sup>e</sup> siècle.
- En parallèle, l'efficacité d'utilisation de l'azote a été améliorée au cours des années, principalement par une meilleure absorption de l'azote.
- Des études supplémentaires seraient nécessaires pour clarifier la contribution de chacun des deux facteurs clés de l'absorption à cette évolution: l'architecture de la racine et la capacité de celle-ci à absorber l'azote.
- Les variétés modernes examinées dans cette étude ont mieux utilisé l'azote que les variétés anciennes, dans des conditions de faibles disponibilités en azote.
- Mieux comprendre les progrès accomplis par les variétés modernes permettra de sélectionner des géotypes présentant davantage une capacité élevée d'utilisation de l'azote. ■

### Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'action COST 860 SUSVAR (*Sustainable low-input cereal production: required varietal characteristics and crop diversity*). Les auteurs tiennent à remercier le Secrétariat d'Etat à la formation et la recherche SER, groupe pour le soutien financier (contrat no. C04.0203).

## Riassunto

### Evoluzione della resa e dell'efficacia d'utilizzazione di varietà di frumento selezionate in Svizzera durante il novecento

La resa media di frumento in Svizzera è passata da 13q/ha nel 1850 all'attuale 60q/ha. Questo studio ha analizzato il fattore varietale in questa impressionante progressione della resa. Attraverso delle prove standardizzate sull'arco di due anni e con due regimi di fertilizzazione d'azoto (livello basso e livello Estenso), si è esaminato le rese, i componenti di essa e l'efficacia dell'impiego dell'azoto di sette varietà di frumento svizzere omologate tra il 1926 ed il 2003 e della varietà francese Caphorn (2001). La resa in grani mostra un aumento costante in funzione dell'anno d'iscrizione al catalogo nazionale delle varietà e ammonta a ca. 0,24q/ha/anno. Questo incremento straordinario è sicuramente dovuto ad un aumento del numero di grani per m<sup>2</sup>. Tuttavia, anche il miglioramento costante nell'uso dell'azoto ricopre un ruolo primordiale in quest'evoluzione. La comprensione di questo progresso, realizzato a livello morfologico e fisiologico della pianta, permetterà, in futuro, di selezionare le varietà con un'elevata efficacia nell'uso dell'azoto.

## Bibliographie

- Barbottin A., Lecomte C., Bouchard C. & Jeuffroy M.-H., 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science* **45**, 1141–1150.
- Spiess E. & Richner W., 2005. L'azote dans l'agriculture. *Cahiers de la FAL* **57**, 24–25.
- Fossati A. & Paccaud F.-X., 1986. La sélection du blé en Suisse: passé, présent, futur. *Revue suisse d'agriculture* **18** (2), 73–80.
- Fossati D., Fossati A. & Feil B., 1993. Relationship between grain yield and grain nitrogen concentration in winter triticale. *Euphytica* **71**, 115–123.
- Fossati D. & Brabant C., 2003. La sélection du blé en Suisse: Le programme des stations fédérales. *Revue suisse d'Agriculture* **35**(4), 169–180.
- Foulkes M. J., Hawkesford M. J., Barraclough P. B., Holdsworth M. J., Kerr S., Kightley S. & Shewry P. R., 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: recent advances and future prospects. *Field Crops Research* **114**, 329–342.
- Ladha J. K., Pathak H., Krupnik T. J., Six J. & van Kessel C., 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Advances in Agronomy* **87**, 85–156.
- Le Buanec B., 1999. La diversité génétique des variétés de blé tendre cultivées en France au cours du vingtième siècle: Evolution variétale, données techniques et économiques. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France* **85** (8), 37–59.

## Summary

### Performance and nitrogen efficiency of Swiss wheat varieties of the 20<sup>th</sup> century

The average wheat yield in Switzerland has increased from 13dt/ha in 1850 to 60dt/ha today. The present study investigates the factor variety in this spectacular yield improvement. Yield, yield components and nitrogen efficiency efficacy of seven Swiss wheat varieties released between 1926 and 2003 and the French variety Caphorn (released in 2001) have been studied in standardized plot trials for 2 years and at 2 nitrogen fertilization levels (low nitrogen level and medium extenso level). Grain yield shows a constant increase of about 0.24dt/ha/year, in direct correlation with the year of release of the varieties. This impressive increase is due to the net increase of the number of grains produced per square meter. However, constant improvement of nitrogen utilization by the plants has strongly contributed to this evolution. Understanding of the evolution at both the morphological and the physiological level will contribute, in future, to breed varieties displaying an even more elevated efficacy of nitrogen utilization.

**Key words:** wheat, breeding, low input agriculture, breeding for undemanding varieties.

- Le Gouis, J. Béghin D., Heumez E., & Pluchard P., 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *European Journal Agronomy* **12**, 163–173.
- Moll R.-H., Kamprath J. & Jackson W.-A., 1982. Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization. *Agronomy Journal* **74**, 562–564.
- Schori A., Mascher F. & Fossati D., 2011. Verbesserung des Ertrags, der Standfestigkeit und des spezifischen Gewichts bei Triticale. 61. Tagung der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 69–72.
- Slimane R.-B., 2010. Effets de la septoriose foliaire sur la sénescence et les flux d'azote pendant le remplissage des grains chez le blé tendre. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech)-Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité Environnement et Grandes cultures.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH 2009). *Revue suisse d'Agriculture* **41** (1), 98 p.
- swissgranum, 2011. Rendements moyens utilisables. Accès : [http://swissgranum.ch/pdf/5df1\\_F\\_Marche\\_rendements.pdf](http://swissgranum.ch/pdf/5df1_F_Marche_rendements.pdf) (Accès: 30 juillet 2011).
- Trottet M. & Doussinault G., 2002. Analyse du progrès génétique chez le blé tendre au cours du XX<sup>e</sup> siècle. *Le Sélectionneur français* **53**, 2–18.