

LES APPORTS D'AZOTE TARDIFS EN CEREALES, UN MOYEN D'AMELIORER LE BILAN DE LA FUMURE AZOTEE

J. P. Destain^{*}, B. Bodson^{}, J. Franc^{**}, A. Falisse^{**}**

^{*} Centre de Recherches Agronomiques de l'Etat, B-5800 Gembloux, Belgique

^{**} Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, B-5800 Gembloux, Belgique

Résumé

Une expérience phytotechnique combinée à une étude avec ¹⁵N en microparcelles a permis d'analyser l'effet du renforcement de la fumure azotée de dernière feuille sur le rendement, la qualité de la récolte et l'utilisation de l'azote par le froment d'hiver.

Les résultats de cette étude tendent à démontrer que le renforcement de la fraction de dernière feuille augmente à la fois le rendement, la qualité de la récolte et diminue l'impact environnemental éventuel (réduction des reliquats et pertes).

Le report des applications azotées de dernière feuille à un stade ultérieur (épiaison et floraison) augmente la teneur en protéines mais est préjudiciable au rendement. Ce report n'est donc pas recommandable dans un schéma de fertilisation classique mais pourrait être envisagé comme solution de rattrapage, de même que dans l'optique d'obtention d'une récolte à haute teneur en protéines.

Matériel et méthode

Introduction

Le rôle de l'azote sur le rendement et sur la qualité de la récolte a déjà été l'objet de nombreuses recherches et expérimentations. Cependant, l'évolution des contraintes économiques et environnementales, le progrès génétique, l'amélioration des produits phytosanitaires et le perfectionnement du matériel d'épandage justifient continuellement de nouvelles vérifications et recherches. Depuis plus de 10 ans, les chercheurs de la Faculté des Sciences Agronomiques et du Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux insistent sur l'utilité de la fraction de dernière feuille. C'est dans la continuité de ces recherches que s'inscrivent les expérimentations qui vont suivre.

Dispositif expérimental

Trois essais ont été implantés au cours de la saison 1994-1995 et un essai pendant la saison 1995-1996.

Le premier a pour objectif de déterminer la fumure azotée optimale pour des variables telles que le rendement et la qualité de la récolte. Un dispositif en blocs aléatoires comprenant 39 objets et 5 répétitions a été adopté, les parcelles ayant une surface de 16 m². Les fumures azotées sont apportées en 1, 2 ou 3 fractions (respectivement au stade tallage (GS25 de ZADOCKS), redressement (GS30) et dernière feuille (GS 37)), la dose totale appliquée variant, outre le témoin nul, entre 100 et 300 unités d'azote par hectare.

Les deuxième et troisième essais ont pour objectif d'estimer le coefficient réel d'utilisation (C.R.U.) et les mouvements de l'azote au sein de la plante au cours de deux saisons consécutives : 1994-1995 et 1995-1996 (dispositif expérimental disponible en figure 1). Pour atteindre ces objectifs, l'engrais utilisé (NaNO_3) est marqué au moyen de l'isotope ^{15}N à raison de 5,337 % et est épandu sur microparcelles (tubes en acier inoxydable de 30 cm de diamètre et de 50 cm de hauteur). L'expérimentation de première année comporte 84 microparcelles, 60 étudient particulièrement la fraction de dernière feuille pour des doses variant de 50-50-20 à 50-50-60 et 50-50-100 (unités d'N par ha). Sur les 24 tubes restant, on a étudié les fumures de tallage et redressement suivantes : 30 N + 30 N ; 50 + 50 N et 100 + 100 N. La fraction de dernière feuille étant de 60 ou 100 unités d'azote par hectare. L'expérimentation de seconde année étudie les fumures 50-50-65 et 50-50-115 au moyen d'applications d'engrais contenant de l'azote marqué sur les fractions de tallage-redressement associées et de dernière feuille. Le dispositif utilisé est le bloc aléatoire complet, avec 4 répétitions, en microparcelles.

Le dernier essai étudie l'incidence d'applications tardives (épiaison et floraison) sur le rendement, le poids spécifique et la qualité de la récolte. Un dispositif en blocs aléatoires complets (20 objets et 5 répétitions) a été adopté. Afin de répondre aux objectifs, l'expérimentation comprend 3 niveaux de tallage-redressement (30, 50 et 70) et 3 niveaux de fumures de dernière feuille (20, 60 et 100). Les applications d'épiaison et de floraison sont nulles ou fixées à 40 unités d'azote par hectare.

Le sol et le climat

Les essais ont été implantés sur le site expérimental de Loncée (Gembloux), sur

un sol limoneux à horizon b textural et de classe de drainage a (très bon sol limoneux). Les conditions climatiques de la saison culturale 1994-1995 furent caractérisées par des mois d'octobre et décembre chauds et secs, des températures élevées en hiver ainsi que par une pluviosité exceptionnellement abondante (record du siècle en précipitation). Plusieurs « coup de chaleur » importants ont marqués le début de l'été. Au total de l'année, l'insolation a été particulièrement élevée. Ces conditions particulières ont induit une avance phénologique significative de la culture par rapport à une année normale et ont gêné le remplissage et la maturation des grains. Au contraire, la saison 1995-1996 fut extrêmement sèche. Cependant, les conditions climatiques couvertes et les températures modérées de fin de saison ont permis un remplissage du grain idéal.

Préparation des échantillons et méthode d'analyse

Tout au long de la culture, des plantes ont été récoltées dans les parcelles phytotechniques et dans les microparcelles. Après séparation de la paille et des épis, les échantillons ont été séchés, pesés et finement broyés. Ces échantillons ont été analysés pour leur teneur en azote total (méthode Kjeldahl avec catalyseur au sélénium (DESTAIN et *al.*, 1989) et leur composition isotopique (déterminée au spectromètre de masse : Sira 12-VG Isogas). A la récolte des parcelles phytotechniques, le rendement et la qualité de la récolte ont été mesurés.

Traitement des données

Les traitements statistiques ont été réalisés au moyen du logiciel S.A.S. et le test de Newman et Keuls a été utilisé afin de comparer les moyennes ($\alpha = 0,05$).

Rappels théoriques

La technique isotopique permet de quantifier précisément l'absorption d'ions par les plantes et de suivre précisément leurs déplacements au sein des êtres vivants. Avant d'exploiter les résultats, il est nécessaire de préciser certaines notions.

L'abondance isotopique (A %) est définie par la relation suivante (DIAZ NAVARRO, 1989) :

$$A\% = \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N} + ^{15}\text{N}} \cdot 100$$

Elle permet de calculer l'Excès isotopique de l'engrais (E) ou de la plante (E_{pl}) par la simple conversion $E = A\% - 0,3663$.

Grâce à ces deux grandeurs, il est permis de calculer le Coefficient réel d'utilisation (C.R.U.). Ce coefficient réel d'utilisation est défini comme le pourcentage d'azote de la plante provenant de l'engrais par rapport à la quantité de ^{15}N apportée par l'engrais. Il est obtenu au moyen de la relation :

$$C.R.U.\% = \frac{Q_N \cdot E_{pl}}{F \cdot E} \cdot 100$$

où Q_N est la quantité totale d'azote dans les parties aériennes des plantes de la microparcelle et F la quantité totale d'azote de l'engrais apporté à cette même microparcelle.

Résultats et discussion

Influences de la fraction de dernière feuille sur le rendement et la qualité de la récolte

Lors de cette expérience, la fumure azotée optimale au niveau du rendement était de 150 - 0 - 150 (tableau 1) pour respectivement les fumures de tallage, redressement et de dernière feuille. La fraction de dernière feuille se distingue par

une influence particulièrement positive sur le rendement en grain. Cette amélioration des rendements s'explique par une augmentation significative du nombre de grains par épi, consécutive à une amélioration de leur fertilité (PEARMAN *et al.*, 1978). La fraction de dernière feuille améliore, en outre, la qualité de la récolte. Les teneurs en protéines et les indices de Zélény sont systématiquement améliorées par des apports plus importants au stade dernière feuille.

Fumures (Kg/ha)			Rendement Kg/ha	Protéines %
Tall.	Redr.	D.F.		
0	0	0	5280	9.11
0	0	120	8842	11.55
0	0	300	9674	14.04
40	40	40	9010	10.39
40	40	80	9547	11.19
40	40	120	9840	11.90
60	60	40	9432	10.88
60	60	80	9797	11.68
60	60	120	9976	12.39
80	80	80	9881	12.29
120	120	120	9749	14.46
120	0	120	10228	12.23
150	0	150	10507	13.26

Tableau 1 : extraits des résultats des parcelles phytotechniques

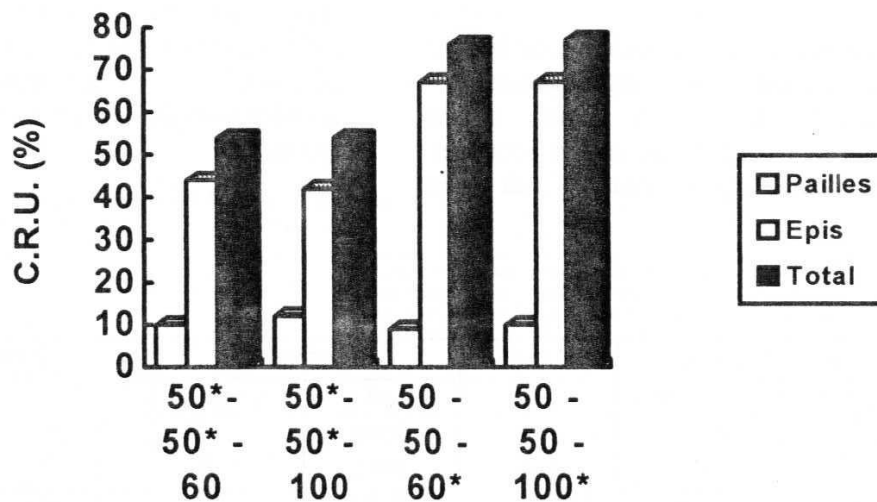
C.R.U. et mouvements de l'azote au sein de la plante

Les C.R.U. observés au cours de la saison 94-95 (graphique 1) confirment les travaux de MACHET *et al.* (1987), de DESTAIN *et al.* (1993 et 1996) ainsi que ceux de RIGA *et al.* (1988), à savoir que les coefficients réels d'utilisation de l'azote sont systématiquement plus élevés pour la fraction de dernière feuille (plus de 75 %) que pour les fractions de tallage et redressement (50-55 %). Selon GATE (1996), ce coefficient amélioré de fin de culture s'explique par le fait que l'azote

absorbé est, à ce moment, stocké vers des organes proximaux des futurs grains (effet puits). La remobilisation ultérieure de l'azote contenu dans ces organes étant meilleure, il en résulte un transfert accru. L'élévation de ces coefficients réels d'utilisation indique également une réduction du reliquat total ($N_{\text{organique}}$ et $N_{\text{minéral}}$), qui se situe à moins de 15 % de l'azote appliqué à la dernière feuille (DESTAIN *et al.*, 1991). En outre, les pertes gazeuses (dénitrification et volatilisation) sont limitées à moins de 10 % pour l'ensemble de la fumure et sont parfois nulles pour l'apport de dernière feuille (DESTAIN *et al.*, 1989; DESTAIN *et al.*, 1991). En plus d'un effet agronomique positif, les atteintes à l'environnement apparaissent strictement limitées lors de

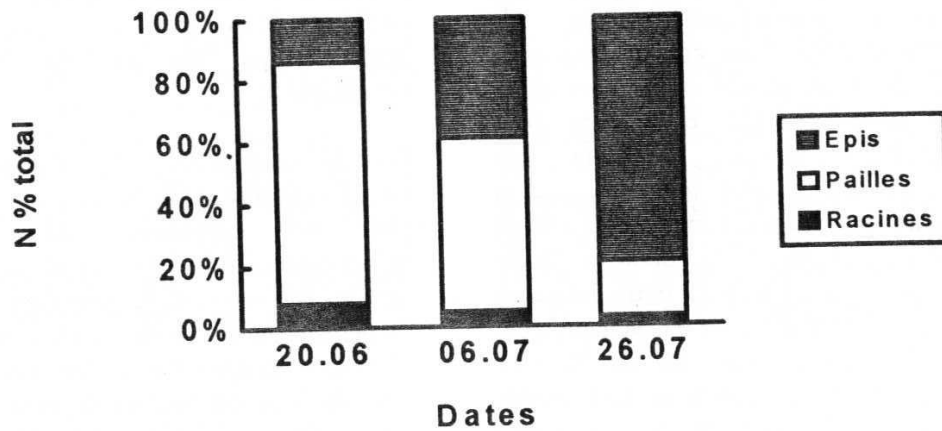
tout apport d'azote à la dernière feuille. Par ailleurs, le processus de remobilisation de l'azote des pailles et racines vers l'épi a largement pu être mis en évidence (graphique 2).

Pour la saison 1995-1996, les coefficients réels d'utilisation de l'engrais sont de 62 % pour les applications de tallage-redressement (14 % dans les pailles et 86 % dans les épis) et de 73 % pour l'application de dernière feuille (5 % dans les pailles et 95 % dans les épis). Ces chiffres confirment ceux de la saison précédente, ceci malgré des conditions climatiques très différentes. En outre, ils montrent que quand l'azote est apporté au stade dernière feuille (GS37), la proportion de cet azote se retrouvant dans l'épi est accrue.



L'(*) indique la ou les fractions ayant été marquées au moyen de l'isotope ^{15}N .
Les fumures sont exprimées en kg d'N / ha.

Graphique 1. Coefficients réels d'utilisation observés pour les fractions de tallage (GS25), de redressement (GS30) et de dernière feuille (GS37).



Graphique 2. Répartition de l'azote total dans la plante, illustration du phénomène de remobilisation

Influences d'applications d'épiaison et de floraison sur le rendement et la qualité de la récolte

En général, toute augmentation de la dose totale induit une augmentation du rendement en grains ainsi qu'une augmentation de la teneur en protéines. Dans cette expérimentation, où sont

comparée des applications azotées au stade dernière feuille, épiaison et floraison, on constate que le report de l'entièreté ou d'une partie de la dose de dernière feuille aux stades épiaison ou floraison s'avère défavorable en terme de rendement (tableau 2). Par contre, ce même report permet un accroissement des teneurs en protéines des grains.

Fumures (kg N/ha) Tall.-Redr.-D.F.-Ep.-Flo.	Total	Rendement		Protéines	
		Kg/ha	groupes	%	groupes
50 - 50 - 20 - 0 - 0	120	9049	H	10.09	H
50 - 50 - 20 - 40 - 0	160	9742	F	11.17	EFG
50 - 50 - 20 - 0 - 40	160	9780	EF	11.58	CDE
50 - 50 - 60 - 0 - 0	160	9922	DEF	10.94	FG
50 - 50 - 60 - 40 - 0	200	10226	BCDE	11.82	CD
50 - 50 - 60 - 0 - 40	200	10079	CDEF	11.99	ABC
50 - 50 - 100 - 0 - 0	200	10455	ABC	11.88	BCD

Les groupes présentant une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de NEWMAN et KEULS

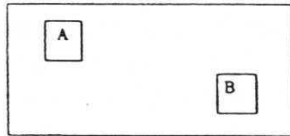
Tableau 2 : Résultats de l'essai phytotechnique concernant les fumures d'épiaison et de floraison.

Figure 1 : Dispositif expérimental de l'essai utilisant l'isotope ^{15}N .

Essai phytotechnique en parcelles					Essai utilisant l' ^{15}N en microparcelles
17	11	3	9	1	1 à 6
17	12	4	10	2	7 à 12
15	14	6	13	5	13 à 18
7	16	8	6	14	19 à 24
2	10	1	9	3	25 à 30
13	5	16	8	11	31 à 36
17	17	4	15	7	37 à 42
17	17	12	1	9	43 à 48
14	17	17	12	4	49 à 54
6	2	10	8	16	55 à 60
11	3	7	17	5	61 à 66
9	1	15	17	13	67 à 72
16	8	2	10	7	73 à 78
4	12	13	5	15	79 à 84
14	6	11	3	17	

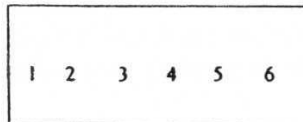
A chaque objet correspond une fumure que nous ne détaillerons pas ici

Détails d'une parcelle phytotechnique



La superficie totale d'une parcelle est de 16 m²; après élimination des bordures, la surface effective est de 11,2 m². Les parcelles correspondantes aux 8 premiers objets servent à la récolte de plantes et au comptage de la population, grâce à 2 placeaux (A et B) de 43,8 x 50 cm. Les parcelles associées aux 8 derniers objets sont récoltées à maturité complète et servent à déterminer le rendement, ses composantes et la qualité de la récolte.

Détails d'une parcelle de l'expérience isotopique



Dans cette partie de l'essai, chaque parcelle comprend 6 microparcelles. Ces microparcelles sont délimitées par des tubes en acier inoxydable de 30 cm de diamètre et de 50 cm de hauteur. C'est dans ces microparcelles qu'est appliqué l'engrais enrichi à ^{15}N .

Bibliographie

1. DESTAIN J.P., FRANCOIS E., GUIOT J., GOFFART J.P., VANDERGETEN J.P. ET BODSON B. [1993]. Fate of nitrogen fertilizer applied on two main arable crops, winter wheat (*Triticum aestivum*) and sugar beet (*Beta vulgaris*) in the loam region of Belgium. *Plant and Soil*, 155/156, 367-370.
2. DESTAIN J.P., MEEUS-VERDINNE K., GUIOT J., GOFFART J.P., LIMBOURG P., LECOMTE P., FRANCOIS E. et BERBEH G. [1996]. Mieux comprendre le cycle de l'azote pour adapter la fumure : évolution et complémentarité des méthodologies employées. In : *La maîtrise de l'azote, défi permanent en agriculture*, édité par le Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture avec le Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux, 7-22.
3. DIAZ NAVARRO J.E. [1989]. Etude de l'influence de la paille de blé sur les fractions azotées organiques et minérales d'un sol cultivé et estimation de son importance dans l'alimentation azotée du blé par l'emploi de l'isotope lourd N-15. *Thèse de Doc., Fac. Sci. Agro. Gembloux, Belgique*, 221 p.
4. MACHET J.M., PIERRE P., RECOUS S. et REMY J.C. [1987]. Signification du coefficient réel d'utilisation et conséquences pour la fertilisation azotée des cultures. *C.R. Acad. Agric. France*, 73, n° 3, 39-55.
5. PEARMAN I., THOMAS S.M. and THORNE G.N. [1978]. Effect of nitrogen fertilizer on growth and yield of semi-dwarf and tall varieties of winter wheat. *J. Agric. Sci. Camb.*, 91, 31-45.
6. RIGA A., FRANCOIS E., DESTAIN J.P., GUIOT J. et OGER R. [1988]. Fertilizer nitrogen budgets of $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$ and $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ split-applied to winter wheat in microplots on a loam soil.