

Limitation des reliquats azotés après céréales d'hiver par un raisonnement approprié de la fumure azotée

B. BODSON*, A. FALISSE*, J. GUIOT**

* *Faculté des Sciences Agronomiques - B-5800 Gembloux, Belgique*

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

Résumé

L'azote minéral présent dans le sol et son utilisation par le froment d'hiver ont été régulièrement suivis dans trente-cinq essais installés au cours de six années. Il en ressort que la fumure azotée optimale (dose totale et fractionnement) est propre à chaque situation culturale. Au moment de son application, chacun des apports doit être calculé en fonction des facteurs pédoclimatiques, du passé cultural de la parcelle et de l'état de la culture. La fumure ainsi déterminée permet d'atteindre un rendement proche de l'optimum économique tout en limitant au maximum les reliquats en azote minéral après culture.

Mots-clés: Froment d'hiver, fumure azotée, fractionnement, reliquat

Summary

LIMITATION OF MINERAL NITROGEN RESIDUES AFTER HARVEST BY A SUITABLE REASONING OF NITROGEN DRESSING IN WINTER CEREALS

Mineral nitrogen in the soil its utilization by winter wheat have been regularly recorded in 35 trials during six years. It appears that the optimal nitrogen dressing (total amount and splitting) is proper of each cultural situation. At the time of its application, each dressing must be computed taking into account the soil and climate factors, the cultural past of the field and the crop condition. Dressings so determined allow to obtain high yields with the highest profitability and to limit at a low level the mineral nitrogen residues after harvest.

Key-words: winter wheat, nitrogen dressing, nitrogen splitting, nitrogen residues.

1. INTRODUCTION

La recherche et la vulgarisation en matière de fumure azotée des céréales d'hiver préoccupent de nombreux chercheurs. Des méthodes de détermination des fumures azotées sont proposées, basées soit sur des raisonnements soit sur des analyses d'azote minéral du sol (Falisse et Bodson, 1983). L'objectif principal a longtemps été la recherche de la productivité maximale. De plus en plus, la qualité de la production et la réduction des reliquats de fumure après récolte sont également prises en compte.

2. MATERIEL ET METHODES

Au cours de six années, trente cinq essais de fumure azotée ont été réalisés sur froment d'hiver (cv. Campremy et Odéon) dans les différentes régions céréalières de Belgique. La plupart des essais ont été implantés après betteraves sucrières feuilles enfouies. Les cultures semées entre la mi-octobre et la mi-novembre ont

reçu une protection phytosanitaire complète. Les essais comprenaient 16 traitements (fumures) répétés trois ou quatre fois. Les fumures azotées totales comprises entre 0 et 330 kg/ha ont été apportées en trois fractions aux stades tallage, redressement et dernière feuille, la dose de chaque fraction variant entre 0 et 140 kg/ha.

Le protocole utilisé était de type "composite" (Oger, 1985). L'interprétation des résultats de rendement, de composantes du rendement et de paramètre de qualité était réalisée par le calcul de surfaces de réponse où la variable dépendante Y (rendement ou autre) est exprimée en fonction des doses d'azote à chacune des fractions (X1, X2, X3) dans l'équation: $Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{33} X_3^2 + B_{12} X_1 X_2 + B_{13} X_1 X_3 + B_{23} X_2 X_3 + e$.

Outre les mesures du rendement et des composantes du rendement, l'expérimentation comprenait un suivi régulier des teneurs en azote du sol, tant sous sol nu que sous sol cultivé avec ou sans fumure azotée. Les profils du sol étaient explorés par horizons de 0,15 m jusqu'à 1,50 m de profondeur. Chaque échantillon de terre était analysé quant à cette teneur en eau, en azote nitrique et en azote ammoniacal.

Les prélèvements par la culture étaient suivis par analyse des plantes. En observant et comparant les quantités d'azote minéral présent dans chaque horizon du profil, il était possible de connaître tout au long de la culture l'évolution de la minéralisation, du lessivage des nitrates et de la récupération de l'azote par la culture.

3. RESULTATS

3.1. *Fumure optimale*

Le tableau 1 reprend pour chaque essai la fumure optimale sur le plan économique (F opt.). Les résultats montrent que celle-ci varie fortement, tant du point de vue de sa dose totale que de son fractionnement, en fonction des sites et des saisons.

3.2. *Rendement du témoin sans fumure azotée et niveau des disponibilités en azote*

Les quantités d'azote en provenance du sol et qui sont considérées comme disponibles pour la culture sont celles mesurées sur des parcelles nues, au moment où, sous culture, les quantités d'azote minéral atteignent leur valeur minimale. Ceci s'observe dans la période de 1 à 3 semaines qui précèdent la récolte. Le tableau 1 montre que ces disponibilités fluctuent fortement en fonction des conditions pédo-climatiques. Le rapport entre celles-ci et le rendement des cultures sans engrais varie de 1,6 à 3,6 kg d'azote par 100 kg de grain produit.

3.3. *Récupération de l'azote du sol par la plante*

L'azote fourni par la minéralisation de la matière organique du sol est récupérée par le système racinaire des plantes selon un rythme propre à chaque culture. La figure 1 reprend les évolutions de la profondeur d'activité racinaire observées au cours de six campagnes en un même lieu. Les variations sont dues aux conditions climatiques, à la vitesse de développement de la culture et au ressuyage plus ou moins rapide du profil de sol.

Tableau 1: Rendements, fumures azotées, disponibilités en azote minéral et quantités d'azote disponible par 100 kg de grains. *Yields, nitrogen dressings, available mineral nitrogen and amount of mineral nitrogen available per 100 kg grain.*

LIEU ET ANNEE	Y ₀ (1)	NS (3)	N/ Y ₀ (4)	Y _N (1)	NF (2)	N _T (3)	N _T / Y _N (4)
BASSENGE 1984	7895	212	2,7	9119	0-0-100=100	312	3,4
1985	7159	172	2,4	8804	40-0-100=100	312	3,4
1986	7263	172	2,4	8804	40-20-60=120	349	3,8
1986	7263	229	3,2	9224	40-20-60=120	349	3,8
1987	6376	160	2,5	7899	20-20-80=120	280	3,5
1988	6540	123	1,9	9761	40-100-80=220	343	3,5
1989	6370	121	1,9	10703	140-0-140=280	401	3,7
MARCO 1984	7805	192	2,5	9521	60-0-80=140	332	3,5
1985	5449	142	2,6	8933	60-80-20=160	302	3,4
1986	7931	214	2,7	8822	40-40-40=120	324	3,7
1987	5991	123	2,1	7626	80-0-40=120	243	3,2
1988	5496	120	2,2	9700	80-60-100=240	360	3,7
1989	5945	139	2,3	9882	100-40-80=220	359	3,6
LONZEE 1984	6014	171	2,8	9586	100-40-60=200	371	3,9
1985	5235	138	2,6	8084	100-0-60=160	298	3,7
1986	6132	175	2,9	8398	80-20-40=140	315	3,8
1987	5934	117	2,0	8163	100-20-40=160	277	3,4
1988	6080	137	2,3	9394	80-60-60=200	337	3,6
1989	5199	90	1,7	10358	140-40-80=260	350	3,4
HAM/HEURE 1984	4774	114	2,4	8218	100-100-0=200	314	3,8
1985	4831	110	2,3	7923	80-60-40=180	290	3,7
1987	5119	97	1,9	8173	100-80-0=180	277	3,4
1988	4231	88	2,1	8987	100-80-80=260	348	3,9
1989	4320	70	1,6	10308	70-70-140=280	350	3,4
AVERNAS 1985	7165	183	2,6	9587	40-60-60=160	343	3,6
1986	7637	196	2,6	9250	80-60-40=180	376	4,1
1987	6546	166	2,5	8210	60-60-60=180	346	4,2
OHEY 1988	4855	109	2,2	8261	80-80-60=220	329	4,0
1989	4116	105	2,6	8948	80-100-80=260	365	4,1
OPHAIN 1988	4355	85	2,0	9054	60-80-100=240	325	3,6
1989	4593	93	2,0	10224	80-60-100=240	333	3,3
GISTEL 1988	4782	80	1,7	10131	100-60-80=240	320	3,2
1989	5691	-	-	11264	80-80-80=240	-	-
BOSSUIT 1986	7144	224	3,1	8604	60-40-40=140	364	4,2
OUTRIJVE 1987	5372	196	3,6	8018	60-40-60=160	356	4,4
WASSEIGES 1984	6484	180	2,8	9576	0-80-100=180	360	3,8

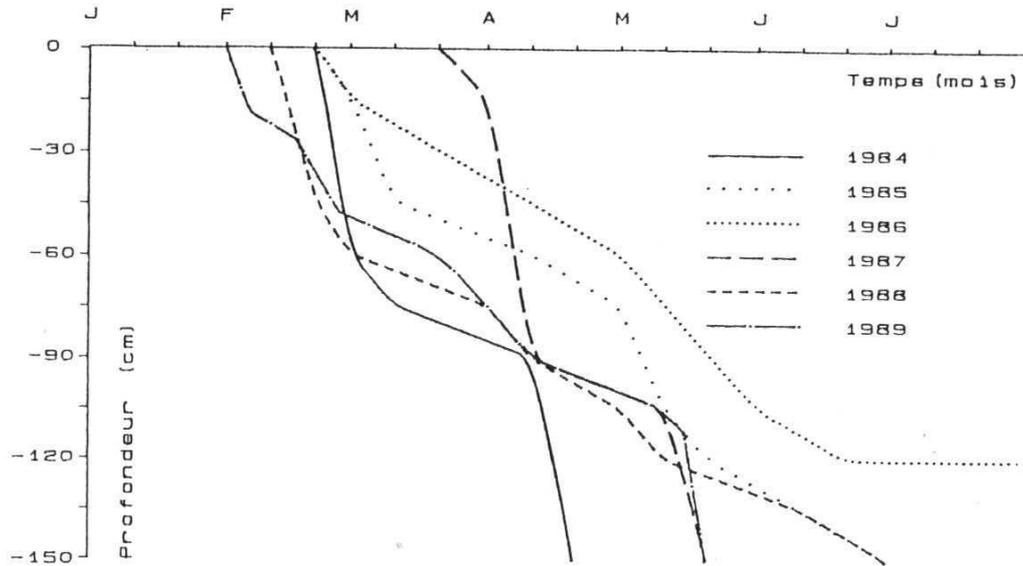
(1) Rendements ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) sans engrais azoté (Y_0) et avec la fumure optimale (Y_N). *Yields ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) without nitrogen dressing (Y_0) and with optimal dressing (Y_N).*

(2) Fumure optimale ($\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$). *Optimal dressings ($\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$).*

(3) Azote minéral ($\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$) disponible sans fumure azotée (N_S) et avec fumure optimale ($N_T = N_S + N_F$). *Mineral nitrogen ($\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$) available without dressing (N_S) and with optimal dressing ($N_T = N_S + N_F$).*

(4) Azote minéral disponible par 100 kg de grains ($\text{kgN}/100 \text{ kg}$) sans fumure azotée (N_S/Y_0) et avec fumure optimale (N_T/Y_N). *Mineral nitrogen available per 100 kg grain ($\text{kgN}/100 \text{ kg}$) without nitrogen dressing (N_S/Y_0) and with optimal dressing (N_T/Y_N).*

Figure 1: Evolutions des profondeurs d'activité racinaire du froment à Marcq.
Evolutions of the depths of wheat root activity at Marcq.



3.4. **Les besoins en azote (N engrais plus N minéral du sol) pour l'obtention du rendement économiquement optimal** ne sont pas constants. Selon les années et les situations, ils sont compris entre 3,2 et 4,2 kg d'azote par 100 kg de grain produit et ce, pour une gamme de rendement allant de 7,4 à 11,3 tonnes par hectare.

3.5. **Les reliquats en azote minéral** mesurés après récolte (tableau 2) ne sont liés au niveau de la fumure azotée que lorsque celle-ci dépasse la fumure optimale.

Tableau 2: Reliquats d'azote minéral sur 1,5 m de profondeur après récolte du froment (en kg N.ha⁻¹). *Residual quantities of mineral nitrogen in 1,5 m deep profiles after wheat harvest (kg N.ha⁻¹).*

FUMURE TOTALE		0	90	140	210	280	280	330
FRACTIONNEMENT		0	30-30-30	70-70-0	70-70-70	70-140-70	70-70-140	110-110-110
BASSENGE	1988	27	30	28	36	47	47	72
	1989		19	22	31	40	39	80
MARCQ	1988	17	17	16	23	49	49	74
	1989	10	11	9	14	22	26	53
HAM/HEURE	1988	24	29	27	23	36	54	52
OPHAIN	1988	31	27	26	23	28	51	39
	1989	21	17	19	45	50	56	106

En gras: les reliquats observés pour des fumures supérieures à la fumure optimale.
 In bold: residues for dressings higher than the optimal dressing.

4. DISCUSSION

Sur base de ces constatations, d'observations et de résultats d'autres essais, un nouveau mode de raisonnement de la fumure azotée a pu être proposé. Il repose sur le principe suivant: la fumure azotée doit être raisonnée et déterminée pour chaque parcelle individuellement. L'importance de chacune des trois fractions ne peut être définie qu'au moment de son application par l'addition à une dose de référence, de quantités d'azote reflétant l'influence des facteurs du milieu et des pratiques culturales sur l'économie en azote et sur le potentiel de productivité de la culture. Les doses de référence (REF_i) sont déterminées sur base des expérimentations et correspondent à la fumure optimale moyenne au cours des dernières années dans une situation de référence; par exemple, elle est actuellement de 150 N (50 + 50 + 50) pour une situation "standard".

Bien évidemment, la dose d'azote à appliquer sera adaptée, pour chaque apport en prenant en compte différents termes d'adaptation. Ces termes d'adaptation, qui peuvent prendre des valeurs positives ou négatives, ont été regroupés de la manière suivante:

- **le contexte pédoclimatique de la parcelle (N.TER):** il s'agit essentiellement des caractéristiques pédologiques (texture, sous-sol, drainage, ...), climatiques et éventuellement de structure du sol (régions, saisons,...). Ces caractéristiques traduisent principalement les effets du milieu (terroir) sur l'aptitude des plantes à croître plus ou moins précocement et à produire et sur la précocité et l'intensité du processus de minéralisation de la matière organique contenue dans la parcelle.

- **La classe de fertilité organique des sols (N.ORG):** elle tient compte de la quantité et de la qualité de la matière organique du sol, c'est-à-dire des quantités d'azote organique susceptibles d'être minéralisées mais dont la minéralisation dépend des conditions définies par le complexe pédoclimatique. Il s'agit surtout de tenir compte de la nature des amendements humifères et de la fréquence de leurs rapports. A chaque classe définie, correspondent des termes d'adaptation N.ORG à retenir lors de chacune des fractions.

- **Le précédent (N.PREC):** il intervient non seulement par sa nature mais aussi par les conditions de sa culture et de sa récolte (nature des résidus enfouis, date de récolte, état du sol, reliquats éventuels de fumure azote ...).

- **L'état de la culture (N.ETAT):** il s'agit plus particulièrement de la densité de végétation, de la vigueur de croissance, de la précocité des stades de développement, de l'état sanitaire, des risques d'accidents physiologiques (verse, carences, ...).

- **Un correctif éventuel (N. CORR):** il tient compte de l'importance des fractions déjà appliquées en relation avec le contexte pédoclimatique de la parcelle (TER).

Ainsi, pour chaque fraction i (1, 2 ou 3) de fumure azotée:
DOSE A APPLIQUER = (DOSE DE REFERENCE)_i + (N.TER)_i + (N.ORG)_i + (N.PREC)_i + (N.ETAT)_i + éventuel (N.CORR)_i

La fumure totale appliquée à la culture n'est dans ce mode de raisonnement définie que lors du troisième apport.

5. CONCLUSIONS

Ce mode de raisonnement de la fumure azotée est présenté depuis 3 ans aux agriculteurs belges par la Faculté des Sciences Agronomiques et le Centre de Recherches Agronomiques de l'Etat de Gembloux. Il est détaillé dans le Livre Blanc

"Fumure et protection phytosanitaire des céréales" édité annuellement à plus de 3.500 exemplaires.

Un programme informatique utilisable sur ordinateur personnel facilite le calcul de chacune des doses d'engrais. Le mode de calcul est amélioré et précisé chaque année à la lumière des nouveaux résultats acquis par les équipes de recherche. Ainsi, des précisions devraient encore être apportées dans la prise en compte de certains facteurs (notamment en ce qui concerne les fumures organiques et la définition de certains paramètres du contexte pédoclimatique). Néanmoins, de très nombreux agriculteurs adaptent la fumure azotée de leurs céréales en fonction des caractéristiques de leurs parcelles en suivant ces conseils.

Cette démarche garantit la définition d'un schéma de fumure azotée efficace capable d'assurer à la fois des rendements très proches de l'optimum économique et la production de céréales de qualité tout en respectant l'environnement. Une estimation précise de la fumure économiquement optimale permet d'éviter une surfumure et donc de maintenir les reliquats après récolte à un niveau très faible du même ordre de grandeur que celui observé dans les parcelles ne recevant aucune fumure minérale azotée.

REMERCIEMENTS: Ces essais ont pu être menés grâce au soutien financier de l'I.R.S.I.A.

BIBLIOGRAPHIE

FALISSE A., BODSON B. (1984). Development of high input systems of cereal production in Europe. In "Cereal Production", E.J. GALLAGHER, Butterworth pp 273-284.

OGER R. (1985). Les surface de réponses à 3 dimensions: quel dispositif expérimental choisir? Biométrie, Praximétrie. 25, pp 91-112.