



Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne

II. La méthode Jubil® comme complément à celle des normes corrigées

D. PELLET¹, Station fédérale de recherches en production végétale de Changins, CH-1260 Nyon

@ E-mail: didier.pellet@rac.admin.ch
Tél. (+41) 22/36 34 444.

Résumé

La méthode Jubil® permet de moduler la fumure azotée du blé lors du 3^e apport au cours de la montaison. Le but du travail présenté ici consistait à tester la validité de Jubil® comme complément à la méthode prévisionnelle dite «des normes corrigées», sur la base d'essais à doses croissantes avec les variétés Arina et Runal. La dose totale d'azote était estimée par la méthode des normes corrigées et épandue en trois apports systématiques dans la variante «normes corrigées». Pour la variante «Jubil®», le 3^e apport (0-60 kg N/ha) était déclenché selon l'état d'approvisionnement du blé en azote. Les doses totales d'azote, parfois différentes selon les variantes, ont permis d'atteindre plus de 95% du potentiel de rendement des variétés sans cependant entraîner de différences significatives de rendement et rarement (25% des cas) des teneurs en protéines distinctes. La méthode Jubil® proposa parfois des doses d'azote différenciées selon les variétés. En modulant la fumure N par le 3^e apport, Jubil® a permis d'atteindre la dose d'azote optimale, en termes de rendement, dans 60% des cas, contre 30% avec la méthode des normes corrigées utilisée seule. En conclusion, Jubil® permet de préciser les besoins effectifs des différentes variétés de même que le stade du blé et la dose d'azote pour un éventuel 3^e apport. Cet outil constitue un complément intéressant à la méthode des normes corrigées.

Introduction

Une gestion moderne de la fumure azotée en grandes cultures doit prendre en compte les besoins effectifs des plantes tout en évitant les apports d'engrais superflus. La méthode prévisionnelle par estimation dite «des normes corrigées» est une des références utilisées en Suisse pour atteindre cet objectif (RYSER *et al.*, 1994). Comme son nom l'indique, elle est basée sur une norme de fumure azotée par culture, corrigée selon le précédent cultural, les arrière-effets des apports d'engrais de ferme, les teneurs en argile et en matière organique du sol, la pluviométrie et le potentiel de minéralisation du sol. Tout comme dans la méthode du bilan (RÉMY, 1981), on recherche l'équilibre entre les besoins en azote de la culture et les fournitures par



Le kit de mesure permet de connaître rapidement la teneur en nitrate du jus de la base des tiges.

¹ Avec la collaboration technique de V. Bovet.

le sol et les engrais. Par contre, à la différence de celle-ci, la méthode par estimation simplifiée la démarche, puisque le reliquat d'azote minéral (N_{\min}) à la sortie de l'hiver ne doit pas être nécessairement mesuré. De plus, seul un rendement de référence (60 dt/ha pour le blé d'automne) est mentionné et la norme d'engrais (140 kg N/ha pour le blé d'automne) n'est pas majorée pour des rendements supérieurs. La justification de cette démarche repose sur l'absence de relation entre les besoins en engrais azotés et le rendement. Par contre, elle considère que le niveau de rendement des cultures serait déterminé en premier lieu par le potentiel lié aux conditions pédoclimatiques caractéristiques du site (RYSER *et al.*, 1994). Dans la méthode des normes corrigées, la correction basée sur le potentiel de minéralisation du sol reflète d'ailleurs cette même nécessité d'intégrer les facteurs, propres aux conditions de chaque parcelle, pouvant influencer sur les fournitures d'azote par le sol durant la phase printanière. La marge de manœuvre rendue possible par cette correction, donc la souplesse de la méthode, est assez importante. En effet, les ajustements de la fumure N peuvent atteindre 60 kg N/ha (de -40 kg N/ha à +20 kg N/ha), soit 43% de la norme de base pour le blé d'automne (140 kg N/ha). Cependant, les critères pour décider de la correction de la fumure azotée sont difficiles à préciser, assez vagues et de nature subjective, puisqu'ils font appel à des notions comme «un printemps chaud» ou «froid» ou s'en remettent à l'appréciation et à l'expérience de l'agriculteur. La méthode du bilan bute d'ailleurs sur des difficultés du même ordre pour estimer de façon précise les fournitures d'azote par le sol. C'est pourquoi le kit Jubil®, un outil de diagnostic sur l'état d'approvisionnement en azote du blé d'automne, a été développé en complément à la méthode du bilan. Il permet d'ajuster la dose d'azote aux besoins effectifs de la culture durant la montaison (GATE, 1995). En d'autres termes, les plantes et leur état d'approvisionnement en azote servent d'indicateur sur les conditions de minéralisation du sol. Le principe de la méthode et sa mise en œuvre (JUSTES *et al.*, 1997; LAURENT *et al.*, 1996) ont été présentés précédemment (PELLET, 2000); ils consistent à moduler la fumure N du blé d'automne en pratiquant un troisième apport d'azote dès l'éventuelle apparition d'une déficience diagnostiquée par la teneur en nitrate du jus de la base des tiges. Cette mesure reflète, en temps réel, l'état de la nutrition azotée des plantes et prend en

Tableau 1. Principaux paramètres permettant d'estimer la fumure azotée selon la méthode des normes corrigées, avec indication du reliquat azoté minéral à la sortie de l'hiver pour chaque essai.

Lieu d'essai	Année de récolte	Teneur en argile (%)	Teneur en matière organique (%)	Somme des précipitations (nov.-déc.) (mm)	Précédent cultural	N_{\min} sortie hiver* (kg N/ha)
Changins	1997	55	4,6	311	Pois protéagineux	15
Changins	1998	25	1,8	201	Pois protéagineux	33
Changins	1999	29	2,5	151	Maïs ensilage	42
Goumoens	1998	18	2,6	168	Pois protéagineux	73
Goumoens	1999	29	3,3	118	Pommes de terre	62

*A titre indicatif, car le reliquat azoté minéral n'est pas pris en compte directement par la méthode des normes corrigées.

compte les besoins particuliers à chaque variété. Ce suivi est proposé durant la montaison du blé et la teneur en nitrate est mesurée à l'aide d'un kit. Cette méthode de mesure du nitrate dans les tiges est rapide, précise et utilisable avec les variétés cultivées en Suisse comme Arina et Runal (PELLET, 2000). Par analogie avec l'utilisation de Jubil® comme complément à la méthode du bilan, on a testé ici la possibilité de l'appliquer comme complément à la méthode des normes corrigées utilisée en Suisse. Il s'agissait en particulier de proposer une solution plus précise à l'estimation problématique du potentiel de minéralisation du sol et, à cette fin, de tester Jubil® pour juger si la fumure apportée répondait aux besoins effectifs de la culture. Concrètement, on a estimé avec la méthode des normes corrigées une dose d'azote X (kg N/ha) à apporter, avant d'en soustraire 40 kg N/ha considérés comme une réserve à épandre lors d'un troisième apport éventuel déclenché, le cas échéant, par Jubil®. Selon la méthode des normes corrigées, cette diminution de 40 kg N/ha correspond d'ailleurs à des conditions de minéralisation jugées initialement comme excellentes.

Les objectifs de ce travail consistaient à tester la méthode Jubil® comme complément à la méthode par estimation pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé et établir si cet outil permettait de mieux répondre aux besoins effectifs des plantes que la méthode des normes corrigées utilisée seule.

Matériel et méthodes

Essais de fumure azotée à doses croissantes

De 1997 à 1999, cinq essais de fumure N appliqués sur les variétés Arina et Runal ont été conduits sur le site de Changins (VD; 450 m) et Goumoens-la-Ville (VD; 600 m). Le dispositif expérimental était factoriel à

quatre répétitions. Les indications concernant les dates et densité de semis, la surface des parcelles, la protection phytosanitaire et l'utilisation de régulateurs de croissance, de même que l'entretien de la culture, l'épannage de l'engrais azoté (nitrate d'ammoniac 27,5% N) et la récolte étaient identiques à celles qui ont été déjà présentées (PELLET, 2000).

Variante «normes corrigées»

Pour chaque essai, la dose d'azote prévisionnelle de X kg N/ha a été estimée par la méthode des normes corrigées (RYSER *et al.*, 1994), en prenant en compte le précédent cultural, les teneurs en argile et en matière organique du sol ainsi que la somme des précipitations des mois de novembre et décembre (tabl. 1). **Pour les besoins de l'expérimentation, les conditions de minéralisation ont été considérées comme moyennes, sans modification de la norme.** Les parcelles d'essai n'ayant pas reçu d'engrais de ferme dans un passé proche, aucune correction n'a été effectuée à ce titre. Selon les essais, la dose de fumure azotée du procédé de référence était comprise entre 120 et 140 kg N/ha, répartis en trois apports (tabl. 2).

Variante «Jubil®»

Dans cette variante, la dose d'azote du procédé «normes corrigées» était réduite de 40 unités d'azote (dose X-40) et répartie en deux apports, au tallage et au stade «épi 1 cm». Le suivi des teneurs en nitrate dans les tiges était réalisé comme proposé dans la méthode Jubil®, aux stades «1 nœud», «2 nœuds» et «dernière feuille ligulée». Les teneurs en nitrate à la base des tiges étaient enregistrées à l'aide du kit de mesure approprié (LAURENT *et al.*, 1996). On a pris la variété Rialto comme référence pour l'interprétation des teneurs en nitrate des variétés suisses Arina et Runal (PELLET, 2000). Selon les préconisations de Jubil®, parfois différentes pour chacune des variétés, un 3^e apport d'azote était épandu. **Dans cette variante, la dose totale d'azote estimée à l'aide des normes corrigées a été modulée selon les préconisations de Jubil®.**

Tableau 2. Dose d'azote estimée par la méthode des normes corrigées ou préconisées par Jubil® pour les variétés Arina et Runal. La quantité d'azote et le stade de développement lors du 3^e apport sont indiqués.

Essai	1 ^{er} + 2 ^e apport d'azote ¹ (kg N/ha)	Stade du blé et quantité d'azote à épandre lors du 3 ^e apport d'azote (kg N/ha), dose totale préconisée, selon la méthode testée								
		Normes corrigées			Jubil® sur Arina			Jubil® sur Runal		
		Stade de développement		Dose X total (kg N/ha)	Stade de développement		Total (kg N/ha)	Stade de développement		Total (kg N/ha)
		2 nœuds	d. feuille ²		2 nœuds	d. feuille ²		2 nœuds	d. feuille ²	
Ch. 97	40 + 60	40	–	140	40	–	140	60	–	160
Ch. 98	40 + 60	–	40	140	–	40	140	–	40	140
Ch. 99	40 + 60	40	–	140	40	–	140	60	–	160
Go 98	40 + 40	–	40	120	–	–	80	–	40	120
Go 99	40 + 40	–	40	120	–	–	80	60	–	140
Moyenne				132			116			144

¹Effectué au tallage et au stade «épi 1 cm».

²Dernière feuille ligulée.

Pour évaluer la courbe de réponse à la fumure azotée dans chaque essai, le dispositif était complété par les procédés de fumure 0 kg N/ha et X + 40 kg N/ha, fractionné en trois apports.

N_{min}

Le reliquat azoté minéral du sol N_{min} (formes NO₃⁻ et NH₄⁺ selon WALTHER, 1983) de l'horizon 0-90 cm a été mesuré en fin de période hivernale sur tous les sites (prélèvements effectués entre le 20 février et le 12 mars selon les années). Le reliquat N_{min} après récolte a été mesuré sur le site de Changins uniquement, entre le 14 et le 17 août, soit deux à trois semaines après la récolte.

Résultats et discussion

Doses d'azote

Le tableau 2 présente la fumure azotée épandue dans chacune des variantes, le stade de la culture et la dose d'azote préconisée pour un troisième apport. La dose totale à apporter sur Arina ou Runal, selon Jubil®, était respectivement de 116 et 144 kg N/ha, en moyenne des essais; celle établie par les normes corrigées correspondait à 132 kg N/ha. Sur les dix situations (2 variétés et 5 essais), les préconisations de Jubil® étaient inférieures à celles des normes corrigées dans deux cas (concernant Arina) et supérieures à celles-ci dans trois cas (concernant Runal); elles étaient égales dans cinq cas. Selon les essais et la variété considérée, la recommandation de fumure d'après le diagnostic de Jubil® pouvait donc être assez différente de celle des normes corrigées. Cela était particulièrement marqué dans les essais de Goumoens-la-Ville, pour lesquels

les valeurs N_{min} à la sortie de l'hiver étaient d'ailleurs élevées (tabl. 1). Dans ces conditions, Jubil® ne préconisa pas de troisième apport sur la variété Arina, en se basant sur les teneurs en nitrate dans les tiges. La dose de fumure modérée (X-40) paraissait suffisante. Dans les mêmes conditions, les faibles valeurs de nitrate mesurées sur Runal impliquaient un troisième apport. Ces contrastes dans les teneurs en nitrate entre les variétés peuvent s'expliquer soit par une cinétique d'absorption de l'azote, par un rythme d'assimilation des nitrates spécifique (réduction des nitrates en acides aminés) soit par une vitesse d'élongation des entre-nœuds différente entre variétés (LAURENT *et al.*, 1996). Runal étant un peu plus précoce qu'Arina, c'est probablement le rythme de réduction de l'azote qui a été à l'origine des différences observées.

Au stade «1 nœud» de la culture, les teneurs en nitrate étaient toujours supérieures au seuil critique. Par contre, c'est entre les stades «2 nœuds» et «dernière feuille ligulée» que la nutrition azotée pouvait devenir limitante d'après Jubil®. Les préconisations de Jubil® pour le 3^e apport d'azote étaient comprises entre 0 et 60 kg N/ha. Les doses requises correspondaient exactement aux possibilités de correction offertes dans la méthode des normes corrigées au titre des conditions de minéralisation du sol (- 40 à + 20 kg N/ha). En plus de critères objectifs pour la modulation de la fumure azotée, le suivi selon Jubil® offre également une indication pour le positionnement du troisième apport. La méthode des normes corrigées n'offrant pas cette information, le 3^e apport N de cette variante a été effectué généralement en même temps que celui de la variante Jubil®.

Rendement physique

L'influence de la fumure azotée sur le rendement des variétés Arina et Runal est illustrée par les figures 1 et 2. Les rendements obtenus avec les doses d'azote estimées par l'une ou l'autre des méthodes sont reportés dans les figures 1A et 2A. Les doses d'azote appliquées dans chacune des variantes testées ne causèrent aucune différence significative de rendement. En jugeant sa performance sur l'ensemble des essais, le procédé Jubil® permettait d'atteindre un rendement relatif compris entre 94 et 97% du maximum (fig. 1B et 2B). L'indice de nutrition azotée à la base du diagnostic proposé par Jubil® ayant pour objectif de réaliser 95% du potentiel de grains/m² (JUSTES *et al.*, 1997; LAURENT *et al.*, 1996), on peut considérer que le suivi de l'état de la nutrition azotée opéré par cette méthode a permis de réaliser cet objectif en termes de rendement. D'autre part, le calibrage de Jubil® pour les variétés Arina et Runal, établi dans le cadre d'essais différents (PELLET, 2000), s'est révélé opérationnel. La fumure azotée pilotée par la méthode des normes corrigées a également permis de réaliser des rendements très proches du potentiel de rendement (fig. 1B et 2B) avec des doses d'azote bien inférieures à celles permettant d'atteindre le maximum (ici, environ 190 kg N/ha). Elle autorise donc une gestion de la fumure azotée qui tient bien compte des besoins de la culture. Selon les essais et les années, la variabilité des rendements était très importante. La superposition plus ou moins parallèle de ces courbes de rendement (fig. 1A et 2A) est une indication que la fumure azotée n'est qu'un des nombreux facteurs qui déterminent le rendement. Sur l'ensemble des essais, la

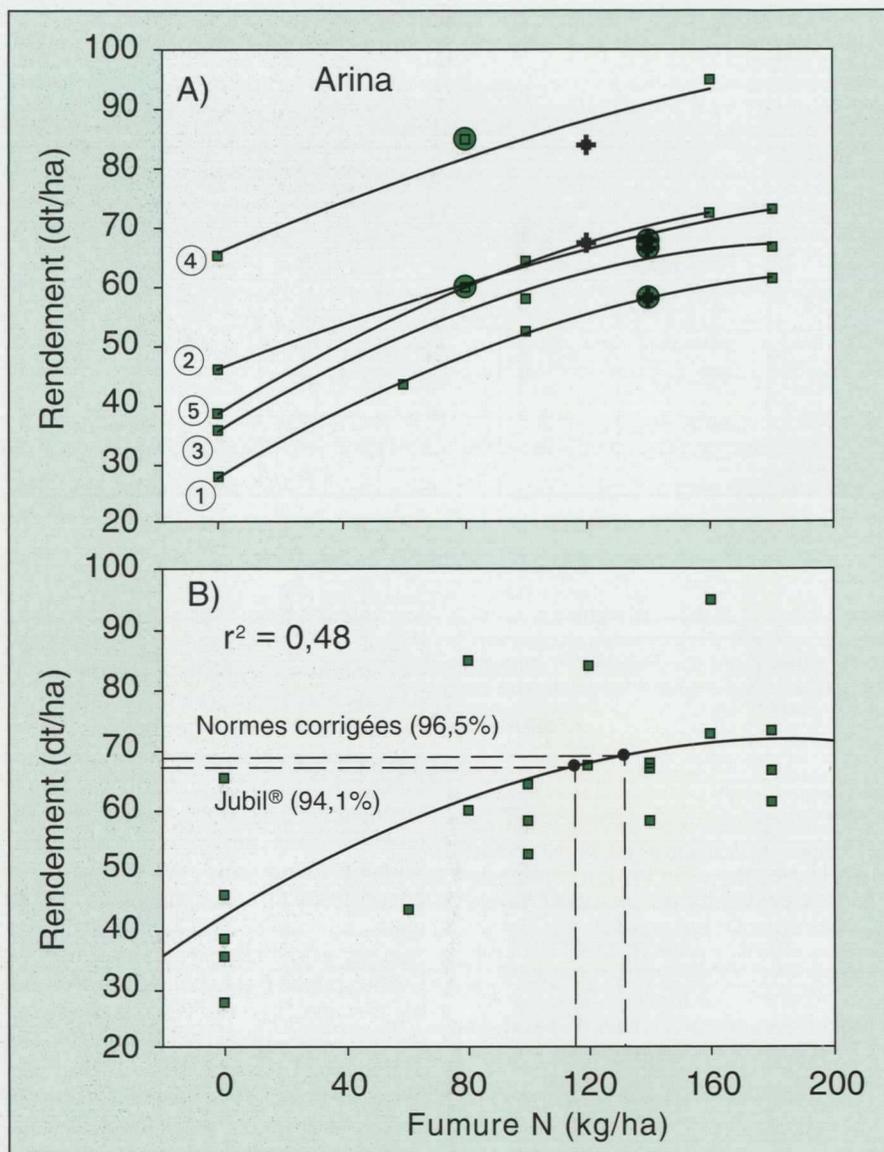
Fig. 1A. Influence de la fumure azotée \triangleright sur le rendement en grain (15% d'humidité) de la variété Arina. ① Changins 1997; ② Changins 1998; ③ Changins 1999; ④ Goumoens-la-Ville 1998; ⑤ Goumoens-la-Ville, 1999. Les croix (+) indiquent les rendements obtenus dans la variante «normes corrigées»; les cercles (○), ceux de la variante «Jubil®».

Fig. 1B. Régression linéaire du deuxième degré exprimant le rendement en grain de la variété Arina en fonction de la dose d'azote épandue. Représentation des essais 1 à 5 de la figure A. La dose moyenne préconisée, le rendement physique et le rendement relatif sont indiqués pour chaque variante. 100% équivalent au maximum atteint par la ligne de régression.

fumure azotée n'explique que 50% de la variabilité du rendement pour Arina et 60% pour Runal (fig. 1B et 2B). En considérant l'offre d'azote minéral dans le sol (N_{\min} sortie hiver + fumure azotée), ce sont alors 66% (pour Arina) et 75% (pour Runal) de la variabilité du rendement qui sont ainsi déterminés (données non présentées). Le reliquat N_{\min} à la sortie de l'hiver étant influencé par certains facteurs qui jouent également un rôle important pour la dynamique de l'azote dans le sol (WALTHER, 1998), l'intérêt de cette mesure pour le pilotage de la fumure n'est plus à démontrer. Jubil®, dans son évaluation de l'état d'approvisionnement des plantes en azote, prend également en compte l'offre d'azote dans le sol. Ainsi, dans les essais où le reliquat N_{\min} était le plus élevé (Goumoens 1998 et 1999, voir tabl. 1), la préconisation de fumure par Jubil® était parmi les plus faibles (tabl. 2).

Teneur en protéines du grain

La fumure azotée croissante a provoqué une augmentation significative de la teneur en protéines du grain (tabl. 3). Les doses d'azote différenciées déterminées pour chacune des variantes testées (normes corrigées ou Jubil®) ont engendré des teneurs en protéines différentes et statistiquement significatives dans deux cas, à Changins en 1997 sur la variété Runal et à Goumoens en 1998 sur Arina. La différence était dans un cas en faveur de la variante «Jubil®» et dans l'autre en faveur de la variante «normes corrigées». Les teneurs en protéines obtenues dans le cadre de cette expérimentation correspondent à celles observées dans d'autres essais de fumure azotée à doses croissantes (WALTHER, 1983). Dans les essais présentés



ici, l'azote n'a pas été épandu après le stade «dernière feuille ligulée», puisque c'est surtout avant celui-ci que la fumure azotée influe conjointement sur l'élaboration du nombre de grains/m²

(donc le rendement) et sur la teneur en protéines. Après ce stade, l'apport d'azote influe peu sur la croissance mais enrichit surtout la teneur en protéines du grain (GATE, 1995).

Tableau 3. Teneur en protéines (5,7 x N; %) du grain en fonction des doses d'azote pour les variétés Arinal et Runal. Le pourcentage de protéines obtenu dans la variante «normes corrigées» (dose X) est indiqué en gras, celui de la variante «Jubil®» est souligné. Essais réalisés entre 1997 et 1999 à Changins (VD) et Goumoens-la-Ville (VD).

Fumure N	Changins 1997		Changins 1998		Changins 1999		Goumoens 1998	
	Arina	Runal	Arina	Runal	Arina	Runal	Arina	Runal
	Teneur en protéines (%)							
0 N	10,8	10,2	9,4	10,2	13,0	13,2	11,7	13,1
X - 40	11,8	11,4	12,2	12,8	13,5	13,7	13,7	14,6
X ¹	13,8	13,2	14,5	14,8	15,1	14,6	15,2	16,8
X + 20	—	<u>14,0</u>	—	—	—	<u>15,1</u>	—	—
X + 40	15,1	14,8	16,2	16,6	15,3	15,5	16,1	17,1
Ppds (5%)	0,7		0,4		1,7		0,7	

¹La dose X (kg N/ha) correspondait (tabl. 2) à 140 kg N/ha (essai Changins, 1997, 1998 et 1999), 120 kg N/ha (Goumoens, 1998). La teneur en protéines n'a pas été déterminée dans l'essai réalisé à Goumoens en 1999. Ppds: plus petite différence significative.

Prévision de la dose d'azote optimale

Quand Jubil® a recommandé un 3^e apport d'azote, celui-ci a permis de réaliser un gain moyen significatif de près de 10 dt/ha (tabl. 4); en revanche, si l'état d'approvisionnement azoté était suffisant, l'outil de pilotage proposait de ne pas appliquer les 40 kg N/ha de réserve, la dose X-40 étant suffisante. La perte de rendement subie dans ces cas n'étant pas significative statistiquement, la préconisation est également considérée comme correcte (tabl. 4). En modulant la fumure N à l'aide d'un 3^e apport, Jubil® a donc permis d'atteindre la dose d'azote optimale dans 60% des cas contre 30% avec la méthode des normes corrigées utilisée seule (tabl. 4); les 3^{es} apports systématiques qui caractérisent cette variante se sont révélés inutiles, en termes de rendement, dans 70% des cas. Le taux de réussite des normes corrigées présenté ici était équivalent à celui de la méthode prévisionnelle du bilan non ajustée en cours de campagne par un autre outil de pilotage (HÉBRARD, 1999). Même modeste, ce résultat indique que la précision de l'estimation de la fumure N par la méthode des normes corrigées équivaut à celle du bilan, qui nécessite pourtant une mesure du reliquat azoté à la sortie de l'hiver (N_{\min}) pour sa mise en œuvre.

Avec 60% de réussite, la méthode Jubil® a permis d'estimer la dose d'azote optimale à épandre avec une bonne fiabilité (tabl. 4), plus faible pourtant que les 80% cités par HÉBRARD (1999) sur 21 essais réalisés en 1998. Sur les dix cas présentés ici, Jubil® a été mis en défaut quatre fois. Une analyse détaillée de ces cas a révélé l'influence de printemps secs avant l'épandage du 3^e apport. Les plantes qui n'avaient pu absorber l'azote présent sur le sol étaient en état de carence apparente. Dans ces conditions, un épandage d'azote supplémentaire n'avait donc pas l'effet escompté. Par contre, dans l'ensemble des cas étudiés, les précipitations intervenues après le 3^e apport n'ont pas été limitantes, puisqu'on considère qu'un cumul de pluie de 20 mm dans les vingt jours après l'épandage d'azote est suffisant pour permettre à la plante de le valoriser correctement (BOUTHIER, 1997).

Employé en complément des normes corrigées, Jubil® permet de pratiquer une fumure azotée différenciée selon les variétés et adaptée à leurs besoins effectifs. Cet outil de pilotage, en tenant compte des spécificités de chaque parcelle, permet d'éviter la sous- ou sur-fumure et de mieux préciser le moment

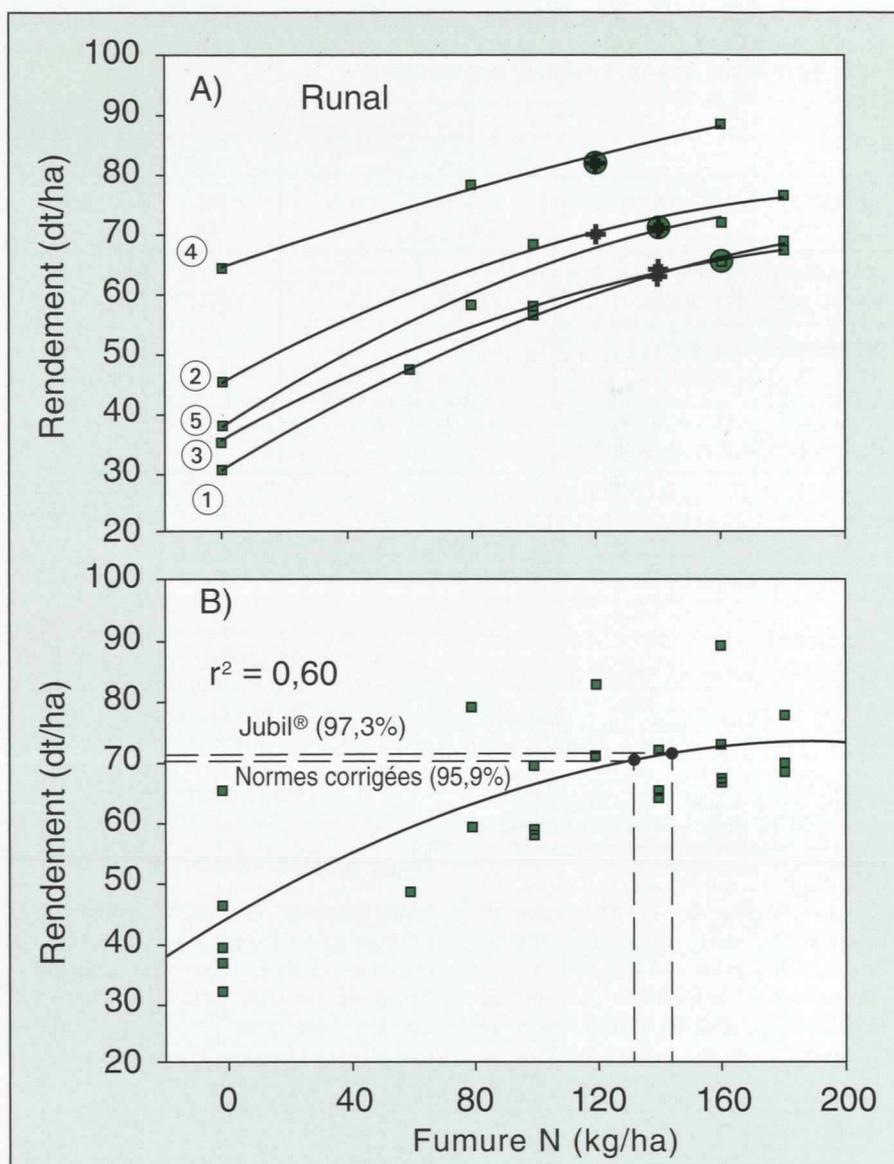


Fig. 2A et 2B. Influence de la fumure azotée sur le rendement en grain (15% d'humidité) de la variété Runal. Indications générales, voir figures 1A et 1B.

Tableau 4. Influence de la méthode de prévision de la fumure N sur la préconisation d'un troisième apport, les accroissements de rendement observés et le taux de réussite de la prévision (dix cas étudiés).

	Méthode de prévision de la fumure N			
	Jubil®		Normes corrigées	
Préconisation d'un 3 ^e apport N (% de cas)	OUI 80	NON 20	OUI 100	NON 0
Préconisation correcte¹ (% de cas)	40	20	30	-
Gain (+) ou perte (-) moyens de rendement	+ 9,6 dt/ha (*)	-3,2 dt/ha (ns)	+ 8,9 dt/ha (*)	-
Préconisation erronée² (% de cas)	40	0	70	-
Gain (+) moyen de rendement	+ 3,9 dt/ha (ns)	-	+ 3,2 dt/ha (ns)	-
Taux de réussite de la prévision (%)	60		30	

¹Une préconisation est considérée comme correcte, lorsque qu'un 3^e apport de fumure N occasionne un accroissement de rendement statistiquement significatif (*) (Ppds, P < 0,05) ou lorsque la recommandation de s'abstenir d'un 3^e apport d'azote cause des pertes de rendement non significatives (ns) (Ppds, P < 0,05).

²Une préconisation est erronée lorsqu'un 3^e apport de fumure N occasionne un accroissement de rendement statistiquement non significatif (ns) (Ppds, P < 0,05) ou lorsque la recommandation de s'abstenir d'un 3^e apport d'azote cause des pertes de rendement significatives (*) (Ppds, P < 0,05).

Tableau 5. Influence de la méthode de prévision de la fumure N sur la préconisation d'un troisième apport, les accroissements de teneur en protéines du grain et le taux de réussite de la prévision (8 cas étudiés).

	Méthode de prévision de la fumure N			
	Jubil®		Normes corrigées	
Préconisation d'un 3 ^e apport N (% de cas)	OUI 88	NON 12	OUI 100	NON 0
Préconisation correcte ¹ (% de cas)	63	–	75	–
Gain (+) moyen de protéines (%)	+ 2,2 (*)	–	+ 2,0 (*)	–
Préconisation erronée ² (% de cas)	25	12	25	–
Gain (+) ou perte (–) moyens de protéines (%)	+ 1,5 (ns)	– 1,5 (*)	+ 1,3 (ns)	–
Taux de réussite de la prévision (%)	63		75	

¹Une préconisation est considérée comme correcte, lorsque qu'un 3^e apport de fumure N occasionne une augmentation de teneur en protéines statistiquement significative (*) (Ppds, P < 0,05) ou lorsque la recommandation de s'abstenir d'un 3^e apport d'azote cause une perte de protéines non significative (ns) (Ppds, P < 0,05).

²Une préconisation est erronée lorsqu'un 3^e apport de fumure N occasionne une augmentation de teneur en protéines non significative (ns) (Ppds, P < 0,05) ou lorsque la recommandation de s'abstenir d'un 3^e apport d'azote cause une perte de protéines significative (*) (PPDS, P < 0,05).

et la dose du 3^e apport. Dans des situations où la dynamique de l'azote est difficile à prévoir (apports d'engrais de ferme, retournements de prairie), cet outil devrait permettre de consolider la mesure de la dose optimale d'engrais azoté.

Concernant la teneur en protéines, le taux de réussite de la préconisation était du même ordre que pour le rendement dans le cas de Jubil® (tabl. 5). La performance de la méthode des normes corrigées était meilleure que pour le rendement; dans les nombreux cas où

un 3^e apport était inutile en termes de rendement, la fumure azotée a tout de même permis d'accroître la teneur en protéines du grain.

N_{min} après récolte

L'influence de la fumure azotée sur le reliquat azoté minéral après récolte est présentée dans la figure 3. La superposition de courbes parallèles démontre que les conditions de l'année et de la parcelle sont prépondérantes pour ce pa-

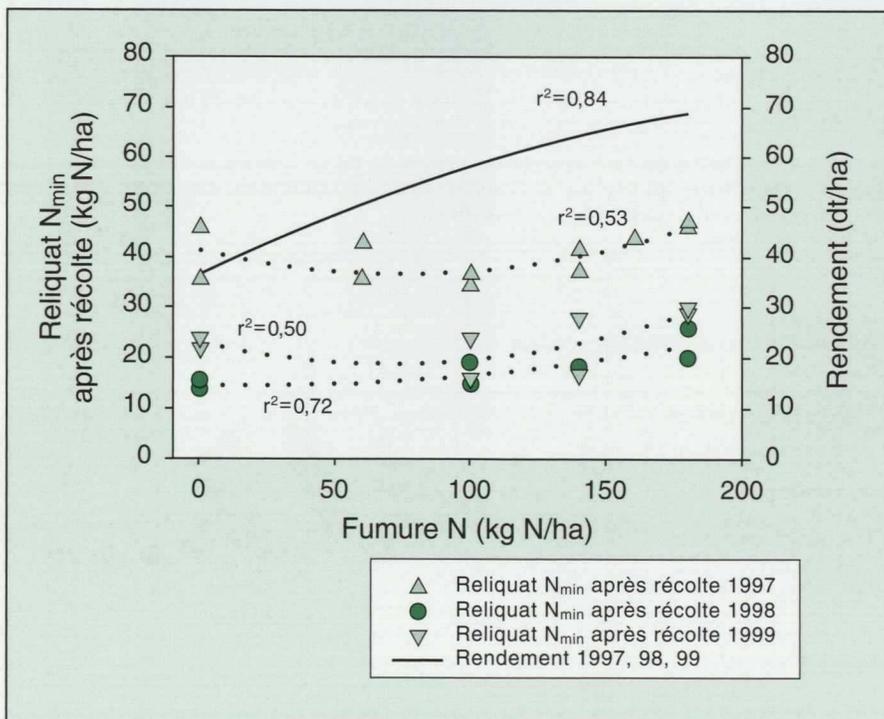


Fig. 3. Influence de la fumure azotée sur le rendement en grain de 1997 à 1999 à Changins et sur le reliquat azoté minéral (N_{min}) après récolte en 1997, 1998 et 1999; variétés Arina et Runal. Le coefficient de détermination (r²) de chaque régression est indiqué.

ramètre. Les valeurs observées dans les témoins sans fumure azotée n'étaient pas plus faibles que dans les autres procédés. La courbe de rendement croissante indique que l'on n'était pas en présence de surfumure, même aux doses d'azote les plus élevées (fig. 3). En accord avec LAURENT (1999), l'absence de surfumure permet d'expliquer les courbes de reliquat assez plates observées à Changins. Les doses d'azote totales préconisées par l'une ou l'autre des variantes étaient proches et aucun effet sur le reliquat n'a pu être observé. Pourtant, selon LAURENT (1999) et JUSTES *et al.* (1997), lorsqu'un suivi est pratiqué par la méthode Jubil® et qu'une économie d'azote de 40 kg N/ha peut être réalisée (3^e apport non préconisé), la diminution moyenne du reliquat après récolte varie de 7 à 10 kg N/ha.

Conclusions

- La méthode des normes corrigées a permis d'estimer correctement les besoins en engrais azoté du blé, puisque les doses calculées ont permis de dépasser 95% du potentiel de rendement, en moyenne des différents essais.
- L'outil de diagnostic Jubil® offre la possibilité de pratiquer une fumure azotée qui répond aux besoins effectifs des différentes variétés, tout en tenant compte des spécificités de chaque parcelle, et en évitant la sous- ou surfumure. De plus, par le suivi de l'état d'approvisionnement en azote des plantes, il est possible de préciser le stade du blé et la dose pour un éventuel 3^e apport.
- Le pilotage de la fumure N grâce à Jubil® est tout à fait compatible avec la méthode des normes corrigées pour remplacer l'estimation du potentiel de minéralisation du sol. Utilisé en complément des normes corrigées, cet outil permet d'améliorer d'un facteur 2 la fiabilité de celle-ci dans l'estimation de la dose optimale d'azote.

Remerciements

Que les collègues de la RAC qui ont collaboré de près ou de loin à ce travail trouvent ici l'expression de ma gratitude. Suzanne Bossy, Félix Pradier, Benoît Villot et Fabien Menuet, ont fait preuve de la persévérance indispensable pour réaliser ce travail.

Bibliographie

- BOUTHIER A., 1997. Efficacité d'un apport d'azote sur blé tendre. La pluie est rarement limitante courant montaison. *Perspectives Agricoles* 223, 56-59.
- HÉBRARD J. P., 1999. Outils de pilotage: La méthode Jubil®. *Perspectives Agricoles* 244, 88.
- GATE P., 1995. Ecophysiologie du blé, de la plante à la culture. Lavoisier, Paris, 429 p.
- JUSTES E., MARY B., MEYNARD J. M., 1997. Evaluation of a nitrate test indicator to improve the nitrogen fertilisation of winter wheat crops. In: Diagnostic procedures for crop N management. Proceedings of a workshop, Poitiers, France, 22-23 novembre 1995. Eds Lemaire G., Burns I. G.; publisher INRA, Paris, France, 93-110.
- LAURENT F., 1999. Fertilisation azotée. Points de repères en matière d'environnement. *Perspectives Agricoles* 244, 85-87.
- LAURENT F., JUSTES E., GATE P., 1996. La méthode Jubil® fait ses preuves. *Perspectives Agricoles* 214, 63-74.
- PELLET D., 2000. Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne. I. La méthode Jubil® est-elle adaptée aux variétés cultivées en Suisse? *Revue suisse Agric.* 32 (3), 103-108.
- RÉMY J. C., 1981. Etat actuel et perspectives de la mise en œuvre des techniques de prévision de la fumure azotée. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 67, 859-874.
- RYSER J.-P., WALTHER U., MENZI H., 1994. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse Agric.* 26 (4), 193-242.
- WALTHER U., 1983. Einfluss des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens und der N-Düngung auf den Ertrag und die Ertragsstruktur von Winterweizen. *Mitteilung für die schweizerische Landwirtschaft* 31 (4), 102-112.
- WALTHER U., WEISSKOPF P., JÄGGLI F., 1998. Schätzung der optimalen N-Düngung zu Wintergetreide? *Agrarforschung* 5 (4), 185-188.

Summary

Fine tuning of wheat nitrogen fertilization based on nitrate concentration in shoots. II. Jubil® method as complement to the estimation of fertilizer level with a norm

The Jubil® method gives the opportunity to modulate N-wheat fertilization at the time of a third N dressing, during stem elongation. The objective of the present study consisted in testing Jubil® as a complementary tool to the method based on a norm to estimate N-fertilizer requirements. Field experiments with cultivars Arina and Runal were conducted. Total N-dosis was estimated with the norm method and broadcast in three systematic dressings in the «norm» treatment. In the «Jubil®» treatment, a third dressing (0-60 kg N/ha) was applied, only when wheat nitrogen status required it. Total N-dosis was not always similar among treatments, but never caused significant yield differences, and rarely (25% of cases) significant grain protein differences. In both treatments, over 95% of yield potential was reached. Jubil® sometimes proposed different N-dosis among cultivars. By fine tuning of N-fertilization at the time of the third dressing, Jubil® made it possible to estimate the optimal total N-dosis, in terms of yield, in 60% of the evaluated cases. The estimation method used alone predicted optimal N-dosis with a frequency of 30%. It is concluded that Jubil® helps to estimate N-requirements for different cultivars; when needed, it also determines precisely the wheat growth stadium and the amount of fertilizer requirement for a third dressing. This tool is a useful complement to the method of N-level estimation with a norm.

Key words: winter wheat, N-fertilization, nitrate test, yield, proteins.

Zusammenfassung

Messung des Weizenhalm-Nitratgehaltes zur Feinsteuerung der Stickstoffdüngung. II. Jubil® als Ergänzung zur Schätzmethode

Die Jubil®-Methode bietet eine Möglichkeit, die Weizenstickstoffdüngung während des Schossens mit Hilfe der dritten Gabe zu steuern. Ziel der vorliegenden Untersuchung war, Jubil® als Ergänzung zur Schätzmethode im Rahmen der N-Düngungsversuche mit Arina und Runal zu überprüfen. Die totale N-Gabe wurde mit der Normmethode geschätzt und in drei Gaben im «Schätzmethode-Verfahren» aufgeteilt. Im «Jubil®-Verfahren» wurde die dritte Gabe je nach N-Versorgungszustand gemessen. Die totalen N-Gaben waren in einigen Fällen unterschiedlich und verursachten keine statistisch signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Verfahren. Die Unterschiede in den Körnerproteingehalten waren in 25% der Fälle statistisch signifikant. Mit beiden Verfahren wurde über 95% des Ertragspotentials erzielt. Je nach Sorte war die von Jubil® empfohlene N-Dosis manchmal verschieden. Durch die N-Feinsteuerung mittels der dritten Gabe konnte Jubil® die optimale N-Dosis in 60% der Fälle bestimmen. Mit der Schätzmethode trifft dies nur in 30% der Fälle zu. Jubil® ermöglichte eine N-Düngung nach effektivem Bedarf der einzelnen Sorten und die Bestimmung des Entwicklungsstadiums für eine eventuelle dritte Gabe. Jubil® ist eine gute Ergänzung zur Schätzmethode.

DOSEUR D'HUMIDITÉ PORTABLE

Modèle MGT



- Lecture directe à poids constant pour 12 graines.
- Etalonnages ajustables sur les humidimètres des organismes stockeurs.
- Grande fiabilité.

DICKEY-John
en Suisse

AgriTechno
L'agriculture de précision

Case postale 24
CH-1066 ÉPALINGES
Tél. + Fax 021/784 19 60

Voilà...

Vous avez lu ce petit mot, c'est bien la preuve que la publicité est remarquée dans notre revue, même sur un petit format !

Renseignements: **PRAGMATIC SA**
Avenue Saint-Paul 9 – CH-1208 GENÈVE
Tél. (022) 736 68 06 – Fax (022) 786 04 23