

Etat d'avancement de la recherche en conseil de fumure azotée en froment d'hiver

N. Maes¹, J. Franc², J.-L. Herman¹, B. Bodson², A. Falisse², J.-P. Destain¹ et K. Meeus¹

Introduction

Depuis plusieurs années déjà, apparaissent en culture de froment d'hiver des contraintes en matière de qualité de production, de prix de vente des céréales, d'environnement et d'image de marque de l'agriculture. Ces différents éléments impliquent une évolution constante de la phytotechnie des céréales et notamment du conseil de fumure azotée. D'autres facteurs jouent aussi un rôle important et on peut citer: le progrès de la génétique, la protection phytosanitaire et de **l'ajustement des intrants azotés pour l'ensemble des têtes de rotation**.

Dans ce contexte, il y a lieu **d'améliorer et d'affiner** les conseils existant. Aujourd'hui, notamment dans les pays limitrophes, différentes méthodes de pilotage de la fertilisation azotée en céréales sont proposées. Notre objectif est d'évaluer leur approche dans nos conditions de culture.

Diverses voies sont étudiées au Département de Production végétale du Centre de Recherches agronomiques de Gembloux et à l'Unité de Phytotechnie des régions tempérées de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux:

- meilleure prévision de la production d'azote minéral par le sol et du besoin des cultures (méthode du bilan prévisionnel),
- étude du statut azoté des plantes (nitrate de jus de base de tige, teneur en chlorophylle, mesure de l'activité chlorophyllienne, dosage de l'azote, des fructosanes, etc.)
- réorientation du fractionnement (fractions regroupées, importance de la troisième fraction, etc.)
- utilisation de l'azote par les variétés hybrides.

Dans cet article, nous discuterons surtout de l'utilisation de bilans prévisionnels en azote (à l'aide du logiciel AZOBIL) pour déterminer le **niveau optimum de la fumure totale**, ainsi que des perspectives dans l'évolution du **fractionnement de la fumure**.

1. Recherche du niveau optimum de fumure totale

1.1 Principe et base du raisonnement

Le logiciel AZOBIL est développé par l'INRA de Laon (France), dans des conditions pédoclimatiques assez proches des nôtres. Il permet d'objectiver les différents composants du bilan de l'azote pour une parcelle et une culture donnée. Basé sur un objectif de rendement

¹ C.R.A.Gx – Dépt Production Végétale

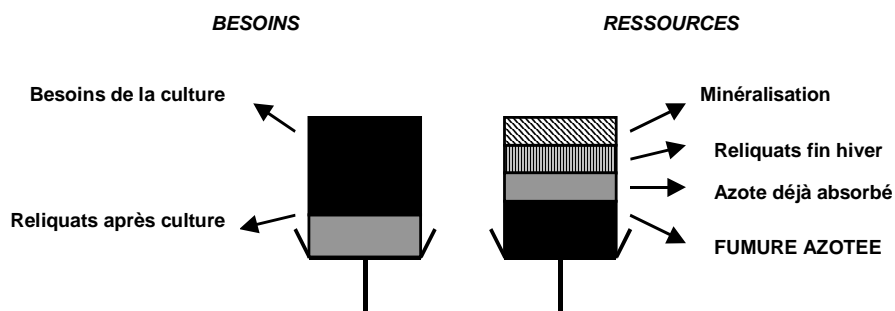
² F.U.S.A.Gx – Unité de Phytotechnie des régions tempérées

pour estimer les besoins de la culture, ce logiciel propose de déduire la fumure azotée en considérant à la fois le profil en azote minéral à la sortie de l'hiver et les possibilités de fourniture par le sol, estimées sur base de renseignements précis relatifs à la parcelle.

La fin de l'hiver (15 février - 15 mars) est une période de relative stabilité en ce qui concerne l'azote minéral du sol:

- les possibilités de lessivage se réduisent suite à la remontée des températures;
- les sols se réchauffent lentement à cause de leur humidité; dès lors, la minéralisation est encore faible;
- les besoins des plantes sont faibles.

C'est donc logiquement à cette période que la confrontation des besoins et ressources peut être réalisée.



• besoins

- globalement, les **besoins directs** se situent aux alentours de 300 kg N/ha (100 qx/ha d'objectif de rendement et 3 kg N/quintal)
- un coefficient de sécurité pour l'azote qui ne sera pas absorbé en fin de culture est appliqué. Il se traduit par le **reliquat** qui se situe généralement entre 10 et 30 unités d'azote par hectare, mais peut augmenter suite à un mauvais enracinement ou à un climat défavorable.

• ressources

- la **minéralisation** nette de l'humus et des résidus de récolte au cours de l'année culturale avec comme point de départ la date d'analyse de sol et comme point d'arrivée la date à laquelle la culture cesse de prélever (\pm 15 juillet pour le froment d'hiver). La minéralisation est calculée par le logiciel à l'aide des renseignements parcellaires;
- l'**azote du sol en sortie d'hiver** peut être estimé d'après les valeurs annuelles de l'enquête faite en fin d'hiver mais plus précisément par une analyse du profil, surtout dans les situations moins courantes (précédents légumes, accidents culturaux du précédent, etc.);
- l'**azote déjà absorbé** par la plante à la sortie de l'hiver, donc déjà soustrait au sol;
- la **fumure azotée** complète les ressources naturelles pour porter le total au niveau requis des besoins.

En prenant comme exemple la situation de référence du Livre Blanc (précédent betteraves feuilles enfouies arrachées en octobre, conditions moyennes de structure, de densité, de teneur en matières organiques), on peut schématiser les termes de l'équation de la manière suivante:

- **besoins:** 315 kg N

• **ressources:**

- reliquat sortie hiver: 60 kg N
- azote déjà absorbé par la culture: 15 kg N
- minéralisation printanière et estivale jusqu'au 15 juillet: 75 kg N
- fumure: 165 kg N.

1.2 Logiciel

Avant tout, il est nécessaire de rappeler que le conseil de fertilisation donné par AZOBIL repose sur un prélèvement de sol réalisé convenablement et une collecte précise et complète des renseignements cultureux.

Si le reliquat sortie hiver peut se mesurer, on doit encore estimer la minéralisation ultérieure. Toute imprécision à ce niveau peut entraîner une mauvaise adaptation de la fumure. Pour arriver à cerner au mieux le potentiel de minéralisation, une vingtaine de questions simples sont posées. On peut citer en exemple ce qui a trait à l'historique des amendements organiques et à la caractérisation du sol (voir ci-dessous).

Exemple du questionnaire AZOBIL

CARACTÉRISTIQUES DU SOL		TEXTURE	
EN L'ABSENCE DE CES 4 CRITÈRES, L'INTERPRÉTATION EST IMPOSSIBLE !			
Teneur en argile %	Teneur en sable %	Teneur en calcaire %	Teneur en matière organique %
1 - Non argileux (inférieur à 120) 2 - Peu argileux (120 à 180) 3 - Moyen (180 à 230) 4 - Argileux (230 à 280) 5 - Très argileux (280 à 450) 6 - Très très argileux (supérieur à 450)	1 - Non sableux (inférieur à 150) 2 - Peu sableux (150 à 350) 3 - Sableux (350 à 550) 4 - Très sableux (550 à 850) 5 - Sable (supérieur à 850)	1 - 0 à 20 2 - 20 à 100 3 - 100 à 200 4 - 200 à 400 5 - supérieur à 400	1 - inférieur à 12.5 2 - 12.5 à 17.5 3 - 17.5 à 22.5 4 - 22.5 à 30.0 5 - 30.0 à 40.0 6 - supérieur à 40.0
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Profondeur probable d'enracinement	Nature du sous-sol	Profondeur d'apparition	Pourcentage de cailloux
1 - 30 à 50 cm 2 - 50 à 70 cm 3 - 70 à 90 cm 4 - Plus de 90 cm	1 - Craie 4 - Limon 2 - Sable 5 - Cailloux 3 - Argile 6 - Autres	1 - 30 à 50 cm 2 - 50 à 70 cm 3 - 70 à 90 cm 4 - Plus de 90 cm	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
HISTOIRE CULTURALE			
Effet prairie	Date de retournement	Devenir des résidus de récolte	Fréquence d'apport des amendements organiques (Ex : Vitrasses, fumier...)
Durée de la prairie 0 - pas de prairie 1 - 1 à 3 ans 2 - 3 à 6 ans 3 - 6 à 10 ans 4 - supérieur à 10 ans	1 - inférieur à 1 an 2 - 1 an 3 - 2 ans 4 - 3 à 5 ans 5 - 6 à 10 ans 6 - Supérieur à 10 ans/pas de prairie	1 - Enlevés ou brûlés 2 - Enfouis une fois sur deux 3 - Toujours enfouis	1 - Pas d'apport organique 2 - Apport tous les 5 à 10 ans 3 - Apport tous les 3 à 5 ans 4 - Apport tous les moins de 3 ans
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

SAA 001-12-94 - Novembre 1997

En comparaison avec les questions posées dans le Livre Blanc, la démarche est semblable: les mêmes facteurs sont envisagés dans le même ordre. Comme le détail des questions est plus important avec AZOBIL, les corrections apportées par chaque élément sont

plus nombreuses et donc plus précises alors que dans le questionnaire du Livre Blanc, une erreur d'appréciation d'un élément peut avoir des conséquences plus importantes.

Le tableau suivant donne la correspondance entre les questions posées du Livre blanc et du logiciel AZOBIL afin de mieux objectiver les adaptations de fumure.

Tableau 1: Comparaison des questionnaires du Livre blanc et du logiciel AZOBIL.

Objets	Livre Blanc	AZOBIL
Type de sol (N TER)	région (climat et type de sol dominant)	climat donné par la température annuelle, le type de sol renseigné par sa texture propre
	drainage, caractéristique de la parcelle, 3 classes proposées	type de sous-sol et sa profondeur d'apparition
	structure et argile, caractéristique de la parcelle, 3 classes proposées	type de sol à définir précisément. Une mauvaise structure n'est pas compensée par des fractions plus importantes
Matières organiques (N ORGA)	matières organiques en 5 classes de régime de restitution (restitution et taux de matières organiques associés)	tient compte du taux de matière organique du sol, de la nature et de l'importance des apports de matières organiques.
Précédent (N PREC)	le précédent a un effet sur les 3 fractions il est tenu compte des "anomalies" (dates de récolte, déséquilibre, rendement, fumure)	le précédent n'a d'effet que sur la deuxième fraction, il est tenu compte du rendement du précédent et de sa fertilisation azotée.
Etat de la culture (N ETAT)	apprécie l'état de la culture et la structure de végétation (densité, accidents culturels, ressuyage du sol) et adapte les apports	permet d'estimer le potentiel de rendement et l'azote déjà absorbé par la culture. Tient compte de la date de semis, du stade végétatif et de la densité.
Correction (N COR)	corrections envisagées	correction de la fumure envisagée en cas de précipitations printanières importantes.

Le logiciel AZOBIL présente certains avantages:

- la prise en compte du climat local par la température moyenne annuelle;
- la prise en compte du potentiel des variétés: on peut réactualiser l'assortiment variétal et les besoins qui y sont liés;
- le calcul de l'espérance de rendement sur base des données encodées (type de sol, date de semis, variété, etc.) et des fumures correspondant à cet objectif;
- les corrections à apporter à la fumure totale si un lessivage a lieu entre la détermination du reliquat sortie hiver et le début du printemps correspondant au premier apport d'engrais. On peut donc commencer les prélèvements en vue des analyses tôt dans l'année: dès le 15 janvier en escourgeon et dès le 1er février en froment d'hiver en commençant par les sites les plus pauvres (précédents betterave arrachée tard, maïs, terres pauvres en humus, etc.).

Vu le nombre important de questions posées, le logiciel AZOBIL est beaucoup plus contraignant. Il ne propose de correction de fumure en cours de végétation que sur base des seules précipitations printanières.

1.3 Résultats et tendances observées

Rappelons ici l'objectif de travail: se rapprocher de la fumure économiquement optimale; d'autres travaux ayant montré les objectifs environnementaux (faibles reliquats après cultures) et les critères de qualité (teneur en protéines des récoltes).

1.3.1 Précédent colza

Au cours des trois dernières années, le conseil proposé par AZOBIL a été appliqué dans des essais de fumure azotée. Les deux situations suivies représentaient la région limoneuse (Piéton) et le Condroz (Gesves en 1996 et Havelange 1997-1998). Le précédent était un colza et la variété Trémie. Le tableau ci-dessous donne les fumures totales appliquées ainsi que les rendements pour quatre modes de fertilisation: celui du Livre blanc, de AZOBIL ainsi que les fumures apportant le rendement maximum et le rendement économique. Notons que les valeurs de rendement sont estimées après calcul de la courbe de réponse du rendement à l'azote.

Au vu de ces résultats, le logiciel AZOBIL propose des niveaux de fumure plus dispersés en fonctions des différentes situations par rapport à la fumure de Livre blanc. AZOBIL prend donc plus en compte les différences de potentiel de minéralisation du sol.

Tableau 2: Fumures et rendements estimés au cours des trois dernières années pour la région limoneuse et le Condroz avec un précédent colza.

Localisation	Année	Livre blanc	AZOBIL	Rendement maximum	Rendement économique
Région limoneuse	Piéton 1996	155 (40-50-65) 11.004	150 (50-60-40) 11.037	220 (50-100-70) 11.233	110 (0-100-10) 11.043
	Piéton 1997	165 (40-40-85) 10.515	180 (50-90-40) 10.513	170 (97-0-73) 11.088	130 (71-0-59) 11.016
	Piéton 1998	165 (30-50-85) 8.260	125 (35-50-40) 8.325	110 (33-41-36) 8.501	50 (14-20-16) 8.270
Condroz	Gesves 1996	190 (50-60-80) 10.490	230 (50-140-40) 11.282	250 (50-100-100) 11.305	250 (50-100-100) 11.305
	Havelange 1997	165 (40-50-75) 10.644	220 (50-130-40) 10.976	230 (100-67-63) 11.127	200 (100-50-50) 11.072
	Havelange 1998	175 (70-80-25) 8.365	225 (50-135-40) 9.022	300 (100-100-100) 9.196	260 (100-100-60) 9.084

1.3.2 Précédent betteraves et différents régimes d'apport de matières organiques

En 1998, le logiciel a été utilisé dans deux essais de fumure azotée dont un avec quatre régimes d'apport de matières organiques et un autre sur une ancienne prairie retournée depuis 1989. Les fumures totales conseillées par le Livre blanc et AZOBIL ainsi que les fumures donnant les rendements maximum et économique sont données dans le tableau 3 avec les rendements correspondants. Dans les deux cas, le précédent est une culture de betteraves.

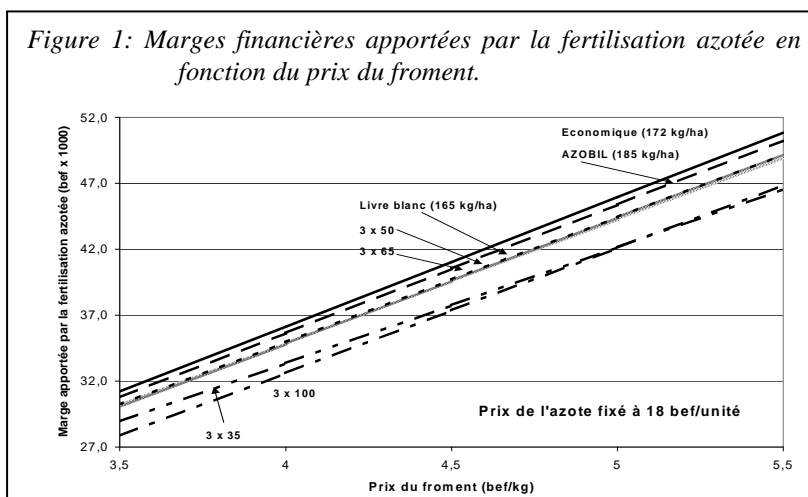
Les résultats montrent que les conseils du Livre blanc et de AZOBIL sont inférieurs à la fumure donnant le rendement maximum à travers les cinq essais. Par contre, la fumure totale moyenne et le rendement moyen donnés par AZOBIL sont équivalents à la fumure économique calculée a posteriori. Quant au conseil du Livre blanc, il est en moyenne de 19 unités inférieur à cette même fumure économique et le rendement est inférieur de 190 kg/ha.

Il faut toutefois préciser que dans l'ensemble, les différences de rendement observées sont extrêmement faibles. C'est dans les situations les plus pauvres (en apport de matières organiques notamment) que les différences entre les fumures sont contrastées.

AZOBIL propose un fractionnement qui n'a pas été appliqué tel quel dans nos programmes de recherche. Le fractionnement utilisé était celui proposé par la méthode française JUBIL, avec une première fraction limitée à 50 unités et une dernière fraction équivalente à minimum 40 unités d'azote, la deuxième fraction étant la plus importante.

1.3.3 Influence des paramètres économiques

Les figures 1 et 2 sont la synthèse des 11 essais présentés ci-dessus et menés sur trois années culturales, après précédent colza et betteraves sucrières. Elles donnent le résultat des différentes stratégies de fumure pour s'adapter au mieux à chaque champ en fonction des conditions économiques (prix du froment, prix de l'azote).

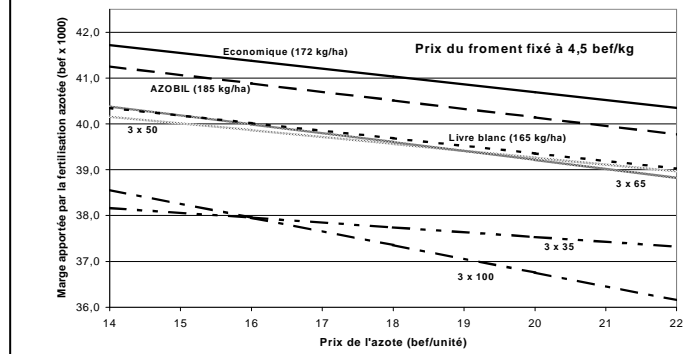


La première figure exprime la marge apportée par la fertilisation (revenu brut de la culture duquel on a enlevé le coût de l'engrais) en fonction du prix du froment, le prix de l'azote étant fixé à 18 bef l'unité. Au contraire, dans la deuxième figure, on bloque le prix du froment à 4,5-BEF/kg et on fait varier le prix de l'azote. Plusieurs stratégies sont envisagées:

- 3 apports systématiques de 35 unités d'azote,
- 3 apports systématiques de 50 unités d'azote,
- 3 apports systématiques de 65 unités d'azote,
- 3 apports systématiques de 100 unités d'azote,

- fumure du Livre blanc, raisonnée au cas par cas, d'un total moyen de 165 unités,
- fumure AZOBIL, raisonnée au cas par cas, d'un total moyen de 185 unités,
- fumure optimale économique, calculée après récolte, incluant tous les aléas de culture (verse et grêle) et donc constituant un objectif théorique difficilement prévisible; d'un total moyen de 172 unités

Figure 2: Marges financières apportées par la fertilisation azotée en fonction du prix de l'azote.



Au vu des deux graphiques, on constate que l'efficacité d'une stratégie de fertilisation azotée n'est pas influencée par les conditions économiques. En comparant les différentes stratégies par rapport à l'optimum économique, on constate que c'est la fumure AZOBIL qui s'en rapproche le plus et que les plus mauvaises stratégies sont la fumure 3×35 unités d'azote par hectare, parce qu'elle a un rendement trop faible, et la 3×100 parce qu'elle consomme trop d'engrais et a des effets négatifs sur le rendement (verse et maladies cryptogamiques).

Les résultats économiques de la fumure proposée par le Livre blanc sont comparables à la fumure 3×65 kg N/ha tout en consommant 30 unité d'azote en moins. Quant à la fumure 3×50, elle n'apporte pas assez d'azote et reste inférieure d'un point de vue économique.

Le raisonnement de la fumure azotée par le logiciel AZOBIL donne les meilleurs résultats tout en restant perfectible au vu de l'écart qu'il subsiste par rapport à l'optimum économique. En fait, c'est l'azote supplémentaire, appliqué à bon escient aux situations reconnues pauvres qui dégage les meilleurs marges bénéficiaires, tout en relevant de ce fait, la fumure moyenne.

1.4 Conclusions

Un logiciel comme AZOBIL est contraignant en ce qui concerne la collecte d'informations (**profil en azote minéral** et **renseignements parcellaires**). Ce passage obligé rend cependant un énorme service: outre qu'il impose une rigueur dans la collecte des informations pertinentes, il rend un avis de fumure optimisé qui laisse une meilleure marge. L'avis de fumure est très proche de l'optimum économique, ce qui rencontre les obligations de qualité en apportant suffisamment d'engrais aux sites pauvres et les obligations environnementales en évitant les fumures excessives.

Son utilisation a aussi comme avantage de situer dès la fin de l'hiver le niveau total de fumure. AZOBIL apparaît donc comme un outil qui peut être intégré à la démarche que nous avons toujours suivie dans le Livre blanc.

2. Perspectives de l'évolution dans le fractionnement de la fumure azotée

Lorsqu'on examine les résultats des nombreux essais fumures réalisés depuis quelques années avec des protocoles très larges, permettant, sur base d'un nombre d'objets limités, d'aller recalculer non seulement la fumure totale optimale mais aussi les doses optimales pour chaque fraction, on est frappé par la diversité des fumures optimales ainsi que par la fréquence des situations où il aurait été possible de réduire le nombre de passage au printemps (1^{ère} ou 2^{ème} fraction) (voir tableau 4).

Tableau 4: *Gammes de fumures économiquement optimales et moyennes des doses optimales observées dans des essais de fumures azotées sur froment d'hiver au cours des six dernières années (en kg N par hectare).*

Années	1 ^{ère} fraction Tallage		2 ^{ème} fraction redressement		3 ^{ème} fraction dernière feuille		Dose totale		Nombre d'essais	
	gamme	moy.	gamme	moy.	gamme	moy.	gamme	moy.	total	N1 ou N2 = 0
1993	0 – 100	27	0 – 100	90	0 – 80	57	100 – 220	174	6	4
1994	0 – 100	47	0 – 100	70	40 – 100	70	140 – 240	187	6	4
1995	0 – 100	56	0 – 100	36	60 – 100	83	100 – 220	177	6	4
1996	0 – 100	30	0 – 100	75	0 – 100	67	100 – 300	172	8	5
1997	0 – 100	68	0 – 100	38	57 – 100	72	140 – 220	178	8	5
1998	0 – 100	11	0 – 100	76	40 – 100	80	100 – 200	167	9	8
Moyennes		40		64		72		176	43	30

Bien sûr aussi, les constatations sont faites à posteriori, et ces essais ne sont que partiellement représentatifs de l'ensemble des conditions culturales rencontrées mais ils permettent de mettre en évidence une tendance assez nette.

Dans les situations où la culture peut développer au cours du printemps son système racinaire en profondeur et trouver un minimum d'azote dans le profil, on peut souvent se passer d'au moins une fraction et les quantités d'engrais azotés nécessaires durant cette phase de développement de la culture ne sont pas trop élevés.

Par contre, dans les situations où le développement racinaire est moins rapide, où le profil est moins riche en azote, les besoins en fumure sont beaucoup plus élevés: c'est souvent le cas en Condroz et après des précédents du type froment ou chicorée.

Hormis dans deux essais, la fraction de dernière feuille est toujours nécessaire et, très fréquemment, elle doit être assez forte.

L'accroissement important des niveaux de rendement observé au cours des dernières années est lié à l'amélioration sensible de la fertilité des épis, le nombre de tiges (d'épis) par mètre carré est par contre resté fort semblable.

Le nombre plus élevé des grains accroît la demande de la plante (effet puits) en fin de végétation. Une alimentation hydrique et minérale suffisante et une bonne préservation des surfaces vertes supérieures grâce à une protection fongicide efficace et à longue persistance

induisent le maintien d'une activité photosynthétique intense durant la période de remplissage du grain et permettent un stockage plus important des matières sèches en fin de végétation.

Des mesures de surfaces foliaires des deux dernières feuilles (LAI) et de rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) absorbé par le feuillage de la culture dans des essais de densités de semis et de fumure azotée sur la variété Rialto à Lonzée en 1997 ont montré qu'il n'était pas nécessaire d'avoir un nombre d'épis très élevé pour être proche de l'optimum pour ces deux indicateurs de l'activité photosynthétique (surface foliaire et interception de la lumière).

Toutes ces constatations contribuent à alimenter l'hypothèse d'un scénario où dans un premier temps, il conviendrait d'assurer la mise en place d'une structure de végétation minimale et, où à partir de l'épiaison, la "machine à photosynthétiser" devrait fonctionner à plein rendement.

Un rythme d'apport de la fumure assez progressif, réservant une alimentation en azote soutenue pour la fin de végétation correspond assez bien à l'évolution de la production de biomasse aérienne par la culture (tableau 5).

Tableau 5: *Quantité de biomasse aérienne (en kg de m.s./ha) produite au stade dernière feuille (GS39) et à la récolte.*

Lieu et année	Variété	Quantité de matière sèche produite			Rendement en grains en kg/ha (à 85 % de m.s.)
		Au stade 39	A la récolte	Entre le stade 39 et la récolte	
Lonzée 1995	Torfrida	6109	18806	12697	9878
Lonzée 1997	Rialto	6248	17130	10882	10884

Dans le cas de culture à haut potentiel de rendement, la part de la matière sèche produite après le stade dernière feuille et donc après le dernier apport azoté est largement prépondérant.

En 1995, un suivi de la translocation de l'azote vers l'épi a permis de mettre en évidence que l'azote apporté au stade dernière feuille était rapidement absorbé par la plante et transféré vers l'épi. Environ 50 % de l'azote apporté s'y retrouvait un mois après l'application et 90 % à la récolte.

Cet excellent transfert des apports tardifs peut s'expliquer par le fait que l'azote absorbé à ce stade de la culture sert essentiellement à l'élaboration des organes supérieurs de la plante, et que la remobilisation de l'azote contenu dans ces organes en fin de végétation est meilleure.

Le tableau 6 reprend les résultats d'un essai réalisé à Lonzée en 1998 sur la variété Charger dans un potentiel de minéralisation normal (apport modéré de matières organiques et sol à réchauffement lent au printemps). Il illustre le potentiel énorme de récupération de la culture de froment. En effet, une culture, n'ayant reçu aucun apport d'engrais azotés ou une dose relativement faible au tallage ou au redressement, présente lors de l'application de dernière feuille, autour de la fin mai, un aspect malingre qui permet difficilement d'imaginer qu'une telle culture puisse encore atteindre un rendement de plus de 100 quintaux/ha. Ces résultats, à première vue exceptionnels ne sont pas isolés; à maintes reprises le même phénomène a été

constaté dans les essais de fumure azotée où on dispose d'objets avec des modalités de fumures extrêmes du genre 0 au tallage, 0 au redressement et une très grosse dose au stade dernière feuille.

Tableau 6: Influence du fractionnement de la fumure azotée sur le rendement et la qualité du grain. Lonzée 1998, précédent betteraves, variété Charger.

T	Fumure			Rendement en kg/ha	Teneur en protéines en %	Incidence Zélény en ml	Poids spécifique en kg/hl
	R	D.F.	Total				
50	120	0	170	10715	11,57	39	75,6
50	50	70	170	11072	11,55	41	76,8
100	0	70	170	11176	11,73	42	76,6
0	100	70	170	11221	11,47	40	75,4
0	75	95	170	11221	11,67	43	76,8
50	0	120	170	11156	12,08	44	77,7
0	50	120	170	11175	11,66	43	77,1
0	0	170	170	10814	12,71	45	78,0

Bien sûr la récupération intégrale du potentiel de rendement n'est pas possible dans toutes les situations. Si la culture n'a pas accès durant le printemps à une quantité minimale d'azote (reliquat, minéralisation, apport éventuel), elle ne peut pas mettre en place une structure de végétation suffisante c'est-à-dire installer un minimum de 350 à 400 tiges/m²; dans ce cas, le rendement est limité par un nombre insuffisant de grains par m².

Les recherches visent à:

- déterminer les limites d'un tel type de fractionnement;
- évaluer selon les situations culturales les besoins (doses) et les modalités d'apport (regroupement des deux premières fractions, stade de la culture le plus approprié) nécessaires à l'obtention de la structure de végétation optimale.

Les avantages de ce mode de fractionnement sont:

- la suppression éventuelle d'un passage (deux fractions au lieu de trois);
- une moindre sensibilité à la verse;
- un développement moins précoce des maladies foliaires (oïdium, septoriose) (voir article protection fongicide pages 8 et 9) et donc la possibilité, lorsque la pression des maladies n'est pas trop forte, de devoir moins fréquemment effectuer un traitement fongicide sur le feuillage;
- un accroissement de la qualité du grain (tableaux 6 et 8)

Tableau 7: Coefficients réels d'utilisation (CRU) de l'engrais observé à la récolte pour chacune des fractions de la fumure au cours des dernières années à Loncée.

Année	Fumure en kg/ha			C.R.U. en %		
	T	R	D.F.	T	R	D.F.
1993	60	40	60	57,0	73,3	74,7
1994	60	40	60	51,1	70,2	74,6
1995	50	50	60	54,2 ⁽¹⁾		76,1
1996	50	50	65	58	72,4	73,9
1998	60	60	60	61,3	72,5	79,3

⁽¹⁾ CRU de la somme des 2 premières fractions

Cette manière d'apporter la fumure azotée à la culture permet aussi une meilleure efficacité de l'engrais azoté. Le coefficient réel d'utilisation (CRU) de l'engrais de la fraction de dernière feuille est en effet sensiblement plus élevé que celui de la fraction de tallage et légèrement supérieur à celui de la fraction de redressement (tableau 7).

Les risques d'une non-récupération de l'azote sont faibles comme le montrent les résultats d'essais d'apports très tardifs d'engrais azotés (tableau 8).

Tableau 8: Influence d'apports tardifs de fumure azotée sur le rendement et la teneur en protéines du grain. Moyenne de quatre années d'essais (Lonzée 95, 96, 97 et 98).

Dose en kg/ha et stade d'application						Grains	
Tallage	Redressement	Dernière feuille	Epiaison ⁽¹⁾	Post floraison ⁽²⁾	Total	Rendement en kg/ha	Teneur en protéines en %
50	50	20	0	0	120	9226	11,61
50	50	60	0	0	160	9504	12,48
50	50	20	40	0	160	9424	12,73
50	50	20	0	40	160	9514	12,73
30	30	100	0	0	160	9660	12,95
70	70	20	0	0	160	9388	12,26
50	50	100	0	0	200	9832	13,23
50	50	60	40	0	200	9654	13,23
50	50	60	0	40	200	9769	13,34
70	70	60	0	0	200	9771	13,10

(1) Date d'application dernière feuille + 11 à 19 jours

(2) Date d'application dernière feuille + 22 à 37 jours

Les apports réalisés jusqu'à environ un mois après le stade dernière feuille permettent encore d'accroître le rendement et la qualité de la récolte, ils sont donc bien utilisés par la culture.

Conclusions

Il y a lieu cependant de se montrer très prudent; avant de pouvoir être utilisé par les agriculteurs, ce mode d'application de la fumure demande à être étudié, validé dans des situations culturales très diverses et surtout à être affiné. Mais dans le même temps, certaines avancées technologiques pourraient favoriser cette évolution.

Les blés hybrides actuellement en cours d'évaluation présentent souvent une vigueur accrue en début de végétation qui pourrait leur permettre de bien profiter de modalités de fumure où la part des apports tardifs est élevée (voir article "Blés hybrides").

D'autre part, les traitements avec les nouveaux fongicides de la famille des strobilurines en permettant de maintenir un meilleur état sanitaire en particulier au niveau des organes supérieurs de la culture induisent un fonctionnement plus intense et une plus longue persistance d'action de l'appareil photosynthétique.

3. Conclusions générales

Bien que déjà largement étudiée par de nombreuses équipes, la fumure azotée du froment d'hiver n'a pas encore livré tous ses secrets, sans aucun doute à cause de l'évolution rapide de paramètres avec lesquels elle interagit: la plante elle-même qui, sous les effets de l'amélioration, a considérablement changé et la protection de la culture vis-à-vis des maladies et des parasites dont l'efficacité croissante se prolonge jusqu'en fin de végétation.

La prise en compte des problèmes environnementaux et les modifications du contexte économique imposent cependant que l'on persévère dans la recherche d'une meilleure efficacité de l'engrais azoté: l'utilisation de modèles tel qu'Azobil permettant de mieux évaluer les besoins, la mise au point d'indicateurs performants et pratiques de l'état de nutrition azotée de la culture, la réévaluation du rythme des apports d'engrais constituent des voies intéressantes à étudier et surtout à combiner pour rendre le raisonnement de la fumure plus pertinent.

Tableau 3: Fumures et rendements estimés pour 1998 à Gembloux avec précédent betteraves et différentes situations organiques.

Localisation	Variété	Régime d'apport de matières organiques (depuis 1959)	Application systématique de 165 unités	Livre blanc	AZOBIL	Rendement maximum	Rendement économique
Gembloux (Longs Tours)	Tilburi	Enlèvement de tous les sous-produits de culture	165 8.075	195 8.405	225 8.630	275 8.772	238 8.695
		Restitution de tous les sous-produits de culture + écumes et lisier en tête de rotation	165 8.984	155 8.918	185 9.079	214 9.130	175 9.037
		Enlèvement de tous les sous-produits de culture + fumier en tête de rotation	165 8.749	155 8.644	205 9.042	244 9.138	209 9.016
		Restitution de tous les sous produits de culture + culture d'engrais vert en tête de rotation	165 8.868	155 8.789	195 9.041	232 9.118	191 9.024
Gembloux (Wiame)	Vivant	Ancienne prairie retournée en 1989	165 10.169	145 10.260	95 10.225	125 10.291	88 10.191
Moyenne			165 UN 8969 kg/ha	161 UN 9.003 kg/ha	181 UN 9.203 kg/ha	218 UN 9.290 kg/ha	180 UN 9.193 kg/ha
Différence par rapport à la fumure donnant le rendement maximum			-53 UN -321 kg/ha	-57 UN -287 kg/ha	-37 UN -87 kg/ha		
Différence par rapport à la fumure économique			-15 UN -224 kg/ha	-19 UN -190 kg/ha	1 UN 10 kg/ha		