

4. La fumure azotée

J-P. Destain¹, C.Roisin², C.Vandenbergh³, J-M. Marcoen³, B. Monfort⁴, B. Bodson⁵, B. Seutin⁶ et
F. Vancutsem⁵

1	La fumure en froment	2
1.1	<i>Bilan de l'année écoulée</i>	2
1.2	<i>Expérimentation, résultats, perspectives</i>	2
1.2.1	<i>Réponse à la fumure minérale en 2009</i>	3
1.2.2	<i>Les reliquats azotés</i>	7
1.2.3	<i>Le raisonnement est-il identique dans des situations avec des apports importants d'azote organique ?</i>	8
1.3	Recommandations pratiques	11
1.3.1	<i>Azote minéral du sol sous froment d'hiver, situation au 7 février 2010</i>	11
1.3.2	<i>Les objectifs</i>	13
1.3.3	<i>Les principes de base de la fixation de la fumure azotée</i>	13
1.3.4	<i>Le rythme d'absorption de l'azote par la culture</i>	14
1.3.5	<i>La détermination pratique de la fumure</i>	16
1.3.6	<i>Les modalités d'application des fumures</i>	17
1.3.7	<i>Calcul de la fumure azotée pour 2010</i>	21
2	La fumure en escourgeon	37
2.1	Introduction	37
2.2	Résultats des expérimentations sur le site de Lonzée	37
2.2.1	<i>La fumure optimale en 2009 à Lonzée</i>	37
2.2.2	<i>Evolution de la fumure azotée économiquement optimale quand les prix de vente de la récolte ou d'achat de l'engrais azoté varient</i>	39
2.2.3	<i>Adaptation de la fumure azotée en fonction des variétés</i>	41
2.2.4	<i>Adaptation de la fumure azotée en fonction du type de variété et de l'utilisation ou non d'un antiverse</i>	43
2.2.5	<i>L'apport d'une fumure phospho-potassique en escourgeon</i>	44
2.3	Les recommandations pratiques	45
2.3.1	<i>Conditions particulières de 2010, profil en azote minéral du sol en escourgeon</i>	45
2.3.2	<i>Les principes de base de la détermination de la fumure azotée</i>	45
2.3.3	<i>La détermination pratique de la fumure</i>	46
2.3.4	<i>Les modalités d'application de la fumure azotée</i>	46
2.3.5	<i>Calcul de la fumure azotée pour 2010</i>	48

¹ Directeur Général ff du CRA-W

² CRA-W – Département Agriculture et milieu naturel – Unité Fertilité des sols et protection des eaux

³ Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Science du sol - Grenera

⁴ Projet APE 2242 (FOREM) et projet CePiCOP (DGARNE – Ministère de l'Agriculture et de la Ruralité de la RW)

⁵ Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Phytotechnie des régions tempérées

⁶ Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Phytotechnie des régions tempérées – Production intégrée des céréales en Région Wallonne, subsidié par la DGARNE du Ministère de la Région Wallonne

1 La fumure en froment

1.1 Bilan de l'année écoulée

La saison culturelle a été principalement marquée par de hauts niveaux de rendement. Les froments ont dans la majorité des cas pu exprimer leur potentiel de rendement suite notamment à des conditions climatiques favorables et des pressions de maladies peu élevées.

Les cultures de froment d'hiver ont connu un automne durant lequel des phases pluvieuses ont alterné avec des périodes sèches. La majorité des froments a donc pu être implantée dans des conditions relativement correctes avant la fin de l'année. Le mois de janvier a été particulièrement froid, avec une température moyenne de -0.5°C pour une normale de 1.7°C . Ce froid intense et prolongé a été bénéfique pour la structure des sols.

Au début du printemps, la majorité des froments présentait des stades de développement peu avancés. Le profil moyen début février 2009 apparaissait légèrement plus pauvre par rapport aux 10 années précédentes ; il s'élevait à 70kg N minéral sur 150 cm de profondeur. Une application d'azote en trois apports était dès lors recommandée afin de favoriser la reprise de végétation. Les mois de mars et avril ont été caractérisés par des précipitations suffisantes. Au niveau des températures, quelques gelées nocturnes ont été enregistrées.

Malgré les quelques orages rencontrés, quasiment aucun dégât de verse n'a été observé. La pluviométrie régulière (quoique variable en fonction des régions), l'absence de stress de température, de bonnes conditions de remplissage du grain : tous ces éléments favorables se sont succédés pour permettre à la culture d'exprimer un très bon potentiel de rendement.

1.2 Expérimentation, résultats, perspectives

Deux essais « fumure » ayant pour but de situer l'optimum de fumure par rapport à la fumure azotée calculée selon la méthode du « Livre blanc » ont été menés sur le site de Lonzée. En ce qui concerne l'essai sur la variété Julius, les niveaux de rendement étaient plus élevés par rapport à l'essai Istabraq ; une différence de 12 qx en moyenne a été observée.

Tableau 4.1 – Caractéristiques des deux essais de réponse à la fumure azotée – Lonzée 2009 - Gx-ABT.

Variété	Julius	Istabraq
Caractéristique variété	panifiable	fourrager
N° de l'essai	FH09-06	FH09-31
Date de semis	6 nov	30 oct
Densité de semis (grains/m ²)	300	275
Précédent	Betterave	Maïs ensil.
Teneurs en N total en sortie hiver sur 90cm (sous culture de froment)	37 uN	23 uN
Apport de la fumure	Tallage	17-mars
	tallage-redressement	2-avr
	Redressement	15-avr
	dernière feuille	27-mai
Désherbage	6-avr	6-avr
Raccourcisseur (CCC 1L)	22-avr	22-avr
Fongicide	7-mai	7-mai
	12 juin	12 juin
Insecticide	12 juin	12 juin

1.2.1 Réponse à la fumure minérale en 2009

1.2.1.1 Approche phytotechnique et économique

Le tableau 4.2 reprend pour les 30 fumures testées :

- le rendement phytotechnique : rendement brut obtenu sur la parcelle ;
- le rendement économique : rendement phytotechnique duquel est soustrait, en équivalent kg froment, la valeur de l'azote apporté (1 uN = 6.5 kg de froment). L'ensemble des rendements économiques repris dans ce chapitre sont exprimés selon le rapport 6.5 équivalent à un froment à un prix de vente de 100 €/t et de l'azote (ammonitrat 27 %) à 175 €/tonne.

4. La fumure azotée

Tableau 4.2 – Rendements phytotechniques (qx/ha) et rendements économiques (qx/ha) pour un rapport de 6,5 (1uN=6.5kg de froment) ; poids de mille grains exprimés en g et nombre d'épis par m² obtenus dans les essais fumures azotées – Lonzée 2009. Gx-ABT.

Obj.	Fumure					FH09-06 Julius				FH09-31 Istabraq			
	T	T-R	R	DF	tot	rdt brut (qx/ha)	rdt éco (qx/ha)	pmg (g)	nbre épis (épis/m ²)	rdt brut (qx/ha)	rdt éco (qx/ha)	pmg (g)	nbre épis (épis/m ²)
1	-	-	-	-	0	74	74	52	325	63	63	53	220
2	-	50	-	-	50	93	90	52	402	84	80	53	283
3	-	50	-	50	100	110	103	55	391	91	85	54	305
4	-	50	-	75	125	115	107	55	431	95	87	55	300
5	-	50	-	100	150	116	106	55	406	96	87	56	343
6	-	50	-	125	175	123	112	57	437	101	90	56	310
7	-	50	-	150	200	124	111	58	423	101	88	56	327
8	-	75	-	-	75	104	99	52	461	92	87	51	331
9	-	75	-	50	125	115	107	52	460	105	96	52	332
10	-	75	-	75	150	120	110	55	474	107	97	55	360
11	-	75	-	100	175	123	112	54	497	109	97	55	331
12	-	75	-	125	200	127	114	56	459	108	95	55	336
13	-	75	-	150	225	128	113	57	462	110	95	55	370
14	-	100	-	-	100	106	100	50	546	97	91	52	366
15	-	100	-	50	150	116	106	51	530	108	98	52	340
16	-	100	-	75	175	121	110	53	485	111	100	54	371
17	-	100	-	100	200	124	111	53	499	112	99	54	357
18	-	100	-	125	225	127	112	55	524	110	95	55	354
19	-	100	-	150	250	130	114	56	514	115	98	55	399
20	-	125	-	-	125	111	103	50	507	105	96	51	429
21	-	125	-	50	175	119	108	51	557	113	102	52	429
22	-	125	-	75	200	124	111	52	592	115	102	52	416
23	-	125	-	100	225	125	111	52	582	114	100	51	426
24	-	125	-	125	250	128	112	52	552	117	101	52	422
25	-	125	-	150	275	131**	113	53	536	117	100	52	408
26	50	-	50	50	150	119	110	51	551	109	99	54	373
27	75	-	75	75	225	124	110	51	585	118	103	52	468
28	100	-	100	100	300	122	102	50	604	116	96	48	495
LB*	50	-	60	75	185	124	112	53	579				
LB*	-	80	-	105	185	125	113	55	493				
LB*	60	-	70	75	205					116	104	52	399
LB*	-	100	-	105	205					114	102	55	354

* Les quatre dernières fumures reprises dans le tableau sont les fumures calculées et ajustées selon la méthode du Livre blanc pour chaque essai.

** Les valeurs en gras représentent les valeurs maximales de rendement pour chaque variété et les cases grisées sont les valeurs statistiquement équivalentes à leur valeur maximale respective.

Les maxima de rendement phytotechnique étaient de :

- 131 qx/ha pour Julius semé après betterave avec des fumures variant de 200 à 275 uN (rendements statistiquement équivalents). Les fumures « Livre blanc » en 2 ou 3 apports n'ont pas permis d'atteindre ce rendement maximum ;
- 118 qx/ha pour Istabraq avec des fumures variant de 185 à 300 uN. Bien qu'inférieures à la fumure qui permet le rendement maximal, les fumures Livre blanc en 2 et 3 apports (respectivement 114 et 116 qx/ha) ne présentent pas de rendements significativement différents du maximum phytotechnique.

Pour l'agriculteur, c'est le **rendement économique** qui doit primer. Dans ce cas, les niveaux de fumures sont inférieurs à ceux produisant le rendement phytotechnique maximum :

- pour Julius l'optimum économique est atteint avec des fumures totales de 200 et 250 uN, dont l'apport de dernière feuille est dans les deux cas équivalent à 125 uN. Les rendements phytotechniques s'élèvent respectivement à 127 et 130 qx/ha. Bien qu'inférieures à la fumure optimale, les fumures Livre blanc en 2 et 3 apports (respectivement 113 et 112 qx/ha) ne sont significativement pas différentes de l'optimum économique ;
- pour Istabraq l'optimum économique est atteint avec une fumure totale de 185 uN qui est la fumure «Livre blanc» donnant un rendement phytotechnique de 116 qx/ha.

L'année 2009 a été une année record du point de vue des rendements. Il n'est dès lors pas étonnant que les résultats phytotechniques les plus élevés soient atteints avec des fumures plus élevées. Il est cependant important de souligner que, malgré des conditions exceptionnelles, les fumures « Livre Blanc » permettent d'approcher ou d'atteindre l'optimum économique

En effet les dernières unités d'azote apportent de moins en moins de gain de rendement. L'efficience agronomique qui représente le rendement engendré par l'apport d'engrais traduit bien ce phénomène. Le tableau 4.2 et la figure 4.1 représentent l'efficience agronomique de l'apport de dernière feuille dans des schémas où l'azote est apporté en deux fractions avec un apport de 75 kg N/ha lors du premier apport.

Tableau 4.3 – Calcul de l'efficience agronomique de la fraction de dernière feuille pour les objets de 9 à 13 dans les essais FH09-06 et FH09-31 – Lonzée – Gx-ABT

Objets	Fumure		Gain de rendement (kg/ha) par rapport à la fumure 75-0		Efficience agronomique de la fumure de dernière feuille*	
	Tallage	DF	Julius	Istabraq	Julius	Istabraq
9	75	50	1173	1263	23	25
10	75	75	1586	1506	21	20
11	75	100	1912	1667	19	17
12	75	125	2345	1654	19	13
13	75	150	2381	1818	16	12

* Exemple de calcul pour l'objet 9 - Julius: $1173/50 = 23$ soit le gain de rendement (par rapport à 75-0, objet 8) divisé par le nombre d'unités appliquées à la dernière feuille

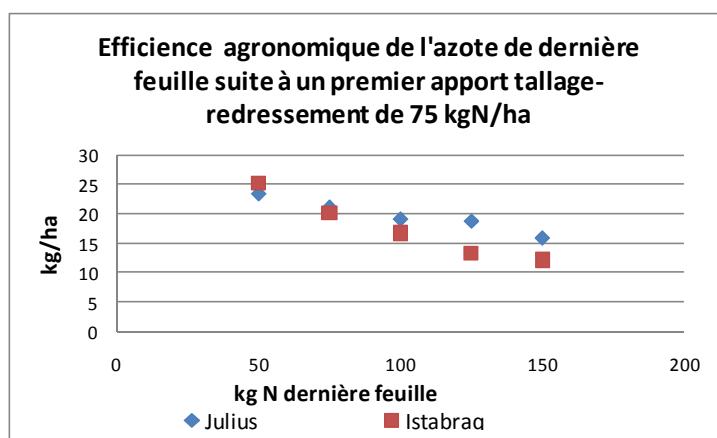


Figure 4.1 – Efficience agronomique de différentes modalités de fumure des essais Istabraq et Julius pour des fumures en deux apports dont la première application est de 75 kgN/ha – Lonzée 2009 – Gx-

4. La fumure azotée

ABT.

De plus, une même fumure totale peut présenter des valeurs d'efficiencies plus ou moins élevées en fonction du fractionnement.

1.2.1.2 *L'importance du fractionnement*

Précédent betterave sur la variété Julius

Dans le fractionnement en 2 apports de la fumure azotée Livre blanc en précédent betterave feuilles enfouies, le niveau de la première fraction est fixé à 80 uN. Les résultats obtenus en 2009 confirment l'adéquation de cette dose et des besoins de la plante pour obtenir une végétation optimale. Le tableau 4.4 montre les différences de rendement qui ont été observées quand, pour une même fumure totale comprise entre 125 et 225 uN, 25 uN sont retirées ou ajoutées à la première fraction :

- lors du passage de 75 uN à 50 uN pour la première fraction, une perte moyenne de 163 kg/ha a été observée ;
- lors du passage de 75 uN à 100 uN, le niveau de rendement diminué de 238 kg/ha.

Ces deux constats mettent en évidence l'adéquation de la dose de 80 uN en première application avec les besoins de la culture (un nombre d'épi compris en 400 et 500 par m²). Une fois ce niveau atteint, une diminution de la fraction dernière feuille au profit de la première fraction pénalise systématiquement le rendement.

Tableau 4.4 – Différences de rendement (kg/ha) observées lors de l'augmentation de la première fraction pour une fumure totale constante au niveau de l'essai Julius (précédent betterave feuilles enfouies) - Lonzée 2009 – GxABT.

TR	Fumure totale								Moyenne Gain Rdt
	125		150		175		200		
	rdt	gain	rdt	gain	rdt	gain	rdt	gain	
50	11508		11611		12330		12416		
	40		350		-44		304		163
75	11548		11961		12286		12720		12756
			-359		-200		-304		-89
100			11602		12086		12416		12667
									-238

Précédent maïs ensilage sur la variété Istabraq

Dans le fractionnement en 2 apports de la fumure azotée Livre blanc en précédent maïs, le niveau de la première fraction est fixé à 100 uN. Les résultats obtenus en 2009 ont confirmé que cette dose permet d'obtenir une végétation optimale. Le tableau 4.5 montre les différences de rendement qui ont été observées quand, pour une même fumure totale comprise entre 125 et 250 uN, 25 uN sont retirées ou ajoutées à la première fraction :

- lors du passage de 75 uN à 100 uN pour la première fraction, un gain moyen de 110 kg/ha a été observé ;
- lors du passage de 100 uN à 125 uN, le rendement augmente à nouveau de 307 kg/ha.

Ces gains de rendement laissent à penser que la dose 100 uN en première application était inférieure aux besoins de la culture, une fumure de 125 uN permettait d'atteindre un nombre

d'épis compris entre 400 et 500 par m². La fumure de référence, comme décrit dans le point précédent, permettait cependant d'atteindre un rendement phytotechnique et économique statistiquement équivalent aux rendements maxima.

Tableau 4.5 – Différences de rendement (kg/ha) observées lors de l'augmentation de la première fraction pour une fumure totale constante au niveau de l'essai Istabraq (précédent maïs ensilage - Lonzée 2009 – Gx-ABT.

TR	fraction totale												Moyenne Gain Rdt	
	125		150		175		200		225		250			
	rdt	gain	rdt	gain	rdt	gain	rdt	gain	rdt	gain	rdt	gain		
50	9524		9650		10093		10122							
		929		1046		764		722					844	
75	10453		10696		10857		10844		11008					
				116		-45		372		-5			110	
100			10812		10812		11216		11003		11458			
						285		259		438		245		
125	10453				11097		11475		11441		11703		307	

1.2.1.3 Taux de protéines : impact de la fumure

Les **teneurs en protéines** (tableau 4.6) des deux essais présentent des valeurs faibles. Les rendements ayant été très élevés, on assiste à un effet de dilution des protéines. Pour la variété Julius, froment panifiable, ces teneurs sont problématiques car la teneur en protéines est un des éléments déterminants dans le déclassement des lots en blé fourrager. La norme de 12%, n'a été atteinte que pour des fractions de dernière feuille de 150 uN (objet 19 et 25). La teneur maximale (12,3%) a été observée dans une modalité en 3 apports de 100 uN.

Tableau 4.6 – Teneurs en protéines (% M.S.) observées dans les essais fumures azotées - Lonzée 2009.- GXABT.

	Fumure azotée					Julius	Istabraq		Fumure azotée					Julius	Istabraq	
	T	T-R	R	DF	Tot				T	T-R	R	DF	tot			
1	-	0	-	0	0	8.2	8.8		16	-	100	-	75	175	10.6	9.8
2	-	50	-	0	50	8.3	8.1		17	-	100	-	100	200	10.7	10.2
3	-	50	-	50	100	9.3	9.1		18	-	100	-	125	225	11.5	10.5
4	-	50	-	75	125	10.0	9.7		19	-	100	-	150	250	12.0	10.8
5	-	50	-	100	150	10.4	10.3		20	-	125	-	0	125	9.4	8.8
6	-	50	-	125	175	11.0	10.5		21	-	125	-	50	175	10.4	9.8
7	-	50	-	150	200	11.3	10.9		22	-	125	-	75	200	10.8	10.0
8	-	75	-	0	75	8.7	8.2		23	-	125	-	100	225	11.5	10.3
9	-	75	-	50	125	9.4	9.2		24	-	125	-	125	250	11.9	10.5
10	-	75	-	75	150	10.1	9.8		25	-	125	-	150	275	12.0	10.7
11	-	75	-	100	175	10.8	10.1		26	50	50	50	150	10.1	9.4	
12	-	75	-	125	200	10.9	10.7		27	75	75	75	225	11.2	10.3	
13	-	75	-	150	225	11.8	10.9		28	100	100	100	300	12.3	10.8	
14	-	100	-	0	100	8.9	8.7		29	50	60	75	185	10.6	10.1	
15	-	100	-	50	150	9.7	9.5		30	-	80	-	105	185	10.9	10.2

1.2.2 Les reliquats azotés

Cette année, la plupart des froments ont prélevé l'entièreté de l'azote apporté. Les tableaux 4.6 et 4.7 reprennent pour 5 modalités de fumure, les valeurs des reliquats azotés post-récolte

4. La fumure azotée

des essais fumure menés sur les variétés Istabraq et Julius. Ces mesures ont été réalisées par le Département Production Végétale du CRA-W.

Les faibles teneurs en N sur l'entièreté du profil sont le signe :

- d'un prélèvement par la culture de l'azote disponible sur l'entièreté du profil (teneur entre 45 et 150 cm de profondeur faible) ;
- d'une minéralisation peu importante entre la sénescence de la culture (arrêt du prélèvement par la plante et le prélèvement) et la réalisation du profil.

Tableau 4.7 – Reliquats en azote minéral (kg/ha) dans le profil (18 août 09) pour différentes modalités de fumure dans l'essai sur la variété Istabraq - Lonzée 2009.

Profondeur (cm)	0 - 0 - 0	100 - 125	100 - 150	60 - 70 - 75	100 - 105
0-15	5,2	9,1	13,3	5,2	5,0
15-30	4,7	6,3	6,8	3,2	2,9
30-45	0,9	1,2	1,1	1,1	0,9
45-60	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5
60-75	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6
75-90	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3
90-105	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3
105-120	1,0	1,2	0,7	0,5	0,9
120-135	0,3	2,5	1,3	0,6	1,2
135-150	0,5	3,6	2,4	1,5	1,9
Total	14,7	26,2	27,5	13,6	14,4

Tableau 4.8 – Reliquats en azote minéral (kg/ha) dans le profil (18 août 09) pour différentes modalités de fumure dans l'essai sur la variété Julius – Lonzée 2009.

Profondeur (cm)	0 - 0 - 0	75 - 150	100 - 125	50 - 60 - 75	80 - 105
0-15	7,7	5,1	4,6	4,8	5,2
15-30	4,8	4,6	3,9	3,6	4,0
30-45	0,9	0,8	1,0	0,8	0,9
45-60	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5
60-75	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4
75-90	0,2	0,6	0,4	0,4	0,3
90-105	0,3	0,6	0,5	0,7	0,6
105-120	0,7	1,5	0,8	1,7	1,2
120-135	1,3	2,2	1,5	2,3	2,1
135-150	1,6	2,6	2,0	2,5	2,5
Total	18,5	19,2	15,9	17,7	17,7

1.2.3 Le raisonnement est-il identique dans des situations avec des apports importants d'azote organique ?

Afin de poursuivre l'étude de l'influence d'un apport d'engrais organique, un essai a été implanté dans les environs de Gembloux avec la variété Contender. Cet essai a permis d'étudier l'effet de l'apport de fientes de poulets de chair pour des applications d'octobre ou de février.

Une première partie des parcelles n'a pas reçu de fientes, une seconde a reçu des fientes en octobre qui ont été incorporées avant le semis et une troisième partie des parcelles a reçu des

fientes en février sur végétation. Cet essai résulte d'une collaboration entre l'unité de Phytotechnie (ULG – GxABT) et le Département Production Végétale du CRAW.

En fin tallage (tableau 4.9), les teneurs en N du profil sur 150 cm étaient de :

- 57 kg/ha pour la modalité sans fiente ;
- 98 kg/ha pour un apport avant hiver ;
- 59 kg/ha pour la modalité fientes apportées au printemps.

Le froment avait déjà prélevé de l'azote dans la partie supérieure du profil, les quantités plus élevées dans les horizons inférieurs proviennent de la minéralisation. Ce phénomène est accentué dans le cas d'un apport avant l'hiver.

Tableau 4.9 – Contenu en azote minéral (kg/ha) du profil fin tallage pour différentes modalités d'apport de fientes de poulets de chair 2009.

Profondeur(cm)	0 fientes	Fientes oct	Fientes printps
0-15	3	3	3
15-30	3	4	2
30-45	2	6	1
45-60	5	14	5
60-75	9	18	11
75-90	10	17	11
90-105	8	13	9
105-120	7	10	7
120-135	6	8	6
135-150	5	5	5
Total	57	98	59

L'analyse des résultats de rendement (figure 4.2) montre une différence significative de rendement entre les différentes modalités de fumure minérale et également entre les trois modalités d'apport de fientes. Il n'y a cependant pas de différence significative entre l'apport avant ou après hiver, bien que l'apport avant semis présente des rendements en moyenne supérieurs de 2 qx/ha par rapport à un apport printanier. La perte par volatilisation plus importante par des apports non incorporés pourrait expliquer cette légère différence.

Suite aux conditions peu propices de minéralisation durant la période de remplissage du grain (faible pluviométrie), à fumure totale égale un report de la fraction tallage-redressement à la fraction dernière feuille permettait un gain de rendement supplémentaire.

Les maxima de **rendement phytotechnique** étaient de (figure 4.2) :

- **108 qx/ha** pour la modalité **sans apport** de fientes avec une fumure minérale de 35-140. La fumure 70-140 lui est statistiquement équivalente ;
- **110 qx/ha** pour la modalité avec **apport de fientes au printemps** avec les fumures totales de 140 uN. Les fumures totales de 175 uN et la fumure 0-105 uN ne sont pas significativement différentes du maximum phytotechnique ;
- **112 qx/ha** pour la modalité avec **apport au semis** (octobre) avec la fumure 175 uN (35-140). Bien qu'inférieur à la fumure maximale, l'ensemble des fumures, exceptés les

4. La fumure azotée

fumures 0-0, 0-70 et 70-105, n'est pas significativement différent du maximum phytotechnique.

Pour l'agriculteur, c'est le **rendement économique** qui prime (cfr. point 1.2.1.1). Dans le cas d'un froment à 100 €/tonne et d'un prix de l'azoté de 175 €/tonne (figure 4.2) :

- pour la modalité **sans apport** de fientes, l'optimum économique est atteint avec une fumure totale de 175 uN (35-140) ;
- pour la modalité avec **apport au printemps**, l'optimum économique est atteint avec une fumure totale de 140 uN lorsque cette quantité est apportée uniquement en dernière feuille ;
- pour la modalité avec **apport au semis**, l'optimum économique est atteint avec une fumure totale de 105 uN (0-105).

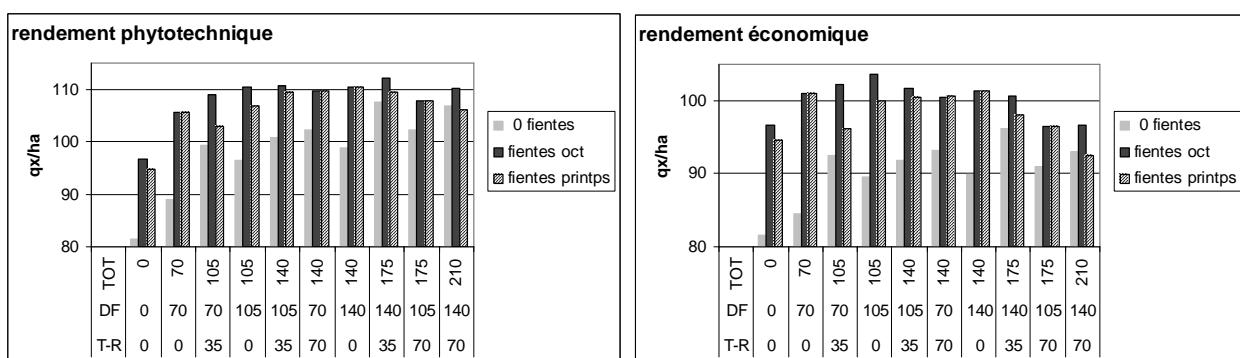


Figure 4.2 – Rendements phytotechnique et économique, exprimés en qx/ha, pour l'essai fientes de poulets de chair 2009.

Au niveau de la **teneur en protéines** (figure 4.3), l'apport de fientes a permis un gain de teneur en protéines de 0,6 % en moyenne par rapport à la situation sans apports. Les fumures minérales en dernière feuille présentent logiquement les meilleures teneurs en protéines.

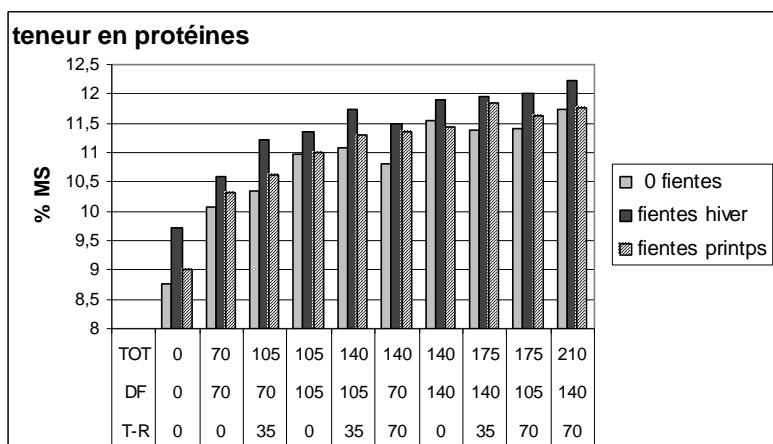


Figure 4.3 – Teneurs en protéines (% M.S.) obtenues dans l'essai fientes de poulets de chair 2009.

L'analyse des **profils azotés post-récolte** révèle (tableau 4.10) :

- des reliquats plus importants dans les situations avec apports de fientes. Dans cet essai, le moment d'application semble avoir peu d'effet sur la valeur des reliquats.
- un enrichissement des 45 premiers cm du profil du à la reminéralisation après récolte. Malgré les conditions peu propices à la minéralisation, celle-ci demeure importante dans ce type de sol où l'apport de matières organiques est très fréquent ;
- les froments ont prélevé l'entièreté de l'azote apporté dans les modalités sans apport de fientes. Dans les deux situations avec apports, les reliquats entre 45 et 150 cm de profondeur présentent des valeurs légèrement supérieures par rapport à la modalité sans fiente. Ce phénomène est moins marqué dans le cas où aucun apport supplémentaire d'azote minéral n'a été effectué.

Tableau 4.10 – Reliquats en azote minéral du sol pour différentes modalités d'apport de fientes en 2009.

Profondeur (cm)	0 fientes				Fientes octobre				Fientes printemps			
	0-0	70-70	70-105	70-140	0-0	70-70	70-105	70-140	0-0	70-70	70-105	70-140
0-15	13	11	12	16	13	14	31	21	14	14	21	21
15-30	6	5	6	6	6	5	6	7	5	5	7	8
30-45	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
Total 0-45	21	18	19	24	20	20	40	30	20	21	31	31
45-60	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	2	3
60-75	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	3	4
75-90	0	1	1	2	1	1	4	3	1	2	3	4
90-105	0	1	2	1	2	2	5	5	1	3	3	4
105-120	0	1	2	2	2	3	5	6	1	4	3	5
120-135	0	1	2	2	3	4	4	6	1	4	3	4
135-150	0	1	3	2	3	5	4	6	2	4	3	4
Total 45-150	4	6	13	11	12	17	29	30	8	20	21	28
Total 0-150	24	23	32	35	32	36	69	59	28	41	52	59

1.3 Recommandations pratiques

1.3.1 Azote minéral du sol sous froment d'hiver, situation au 7 février 2010

1.3.1.1 Climat en automne et hiver 2009-2010

Tableau 4.11 – Températures et précipitations moyennes.(Ernage – Gembloux)

	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Température moyenne (°C)
							Température moyenne (°C)
Observée	18,4	15,0	10,8	9,0	2,2	-1,0	
Normale	16,5	13,9	10,1	5,5	3,0	1,7	
Précipitation (mm)							
Observée	28	31,7	56,7	111,8	80	42,3	
Normale	75	63	66	75	72	65	

Les températures (tableau 4.11) ont été supérieures à la normale en août, septembre et novembre ; en décembre, elles ont baissé pour se trouver inférieures à la normale en janvier.

4. La fumure azotée

Par contre, la pluviosité a été très faible en août et septembre, alors que novembre a été particulièrement humide.

1.3.1.2 Situation moyenne du profil en azote minéral du sol au 7 février 2010

Un échantillonnage des profils en froment d'hiver a été réalisé **sur 90 cm** (tableau 4.12). La situation est assez comparable à celle observée en 2009, avec toutefois un enrichissement supérieur en azote minéral entre 60 et 90 cm.

Tableau 4.12 – Comparaison pour les 10 dernières années des réserves en azote minéral du profil du sol (kg N/ha) – CRA-W.

Année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moy
Nb de situations	15	19	7	10	12	12	11	33	25	30	
0-30 cm	12	12	16	9	12	23	15	15	13	12	14
30-60 cm	13	12	15	22	30	24	26	25	21	17	21
60-90 cm	13	14	16	26	22	16	21	31	19	25	20
90-120 cm	10	11	11	13	14	10	12	18	10	(12)*	12
120-150 cm	10	10	11	12	12	9	11	17	7	(12)*	11
Total 0-150	58	59	69	82	90	82	85	106	70	78	78

* Valeurs estimées sur base des observations des années antérieures. En raison des conditions climatiques, les prélèvements n'ont été possibles que sur un profil de 0-90 cm.

1.3.1.3 Comparaison entre les précédents

*Tableau 4.13 – Profil en azote minéral du sol **sur 90 cm** pour différents précédents (kg N/ha).*

	Précédents	Bette-rave	P. de Terre	Colza	Pois	Maïs	Lin	Chico-rée	Froment	Légume
	Nb de situations	5	3	3	1	5	5	2	5	1
Profil	0-30 cm	11	12	15	14	12	13	16	11	22
	30-60 cm	12	23	26	32	16	18	20	17	43
	60-90 cm	16	37	33	51	23	27	21	25	58
		39	72	74	97	51	58	57	53	123

Remarque : d'autres précédents ont été échantillonnés, mais les situations étaient très disparates, ils n'ont pas été repris dans ce tableau.

La quantité d'azote minérale disponible en surface (60 cm) est généralement faible et varie de 20 à 40 kg sauf après les précédents pois et légume (tableau 4.13).

Les profils peuvent être considérés comme très pauvres après la plupart des précédents (< 50 kg N/ha) hormis pour les précédents pois et légume.

1.3.1.4 *Conclusions*

Compte tenu de cette situation, et du faible développement actuel des froments d'hiver, il sera prudent de renforcer la dose d'N lors du premier apport. Dans les semis de la plateforme de Lonzée, les stades des froments observés dans les essais « dates de semis » sont en ce début février :

- semis du 15 octobre : début tallage
- semis du 15 novembre : 1 à 2 feuilles

En outre, un schéma de fumure en 3 apports est préconisé pour la plupart des précédents. En tout état de cause, le premier apport ne devrait toutefois pas être effectué avant le 15 mars.

Pour les précédents pois et légumes, une fumure en 2 apports peut être envisagée. Pour ce type de précédent, une analyse de l'azote minéral du sol est conseillée.

1.3.2 *Les objectifs*

Le raisonnement de la fumure selon la méthode du « Livre blanc » a pour objectif principal de s'approcher le plus près possible de **l'optimum économique** (rendement moins coûts de la fertilisation). Le raisonnement de la fumure est intégré dans un mode de conduite de la culture où la densité de végétation est modérée et où les interventions visant à protéger la culture de la verse et des maladies cryptogamiques sont elles-aussi raisonnées en fonction de leur rentabilité.

Le fractionnement et la répartition des doses entre fractions recommandées permettent :

- de réduire les risques de verse et de développement des maladies ;
- de satisfaire aux normes technologiques.

Les fumures azotées préconisées permettent de limiter au maximum les déperditions d'azote nuisible à l'environnement en :

- réduisant au minimum les reliquats d'azote après culture et en les limitant dans les horizons supérieurs du profil ;
- épousant les reliquats azotés de la culture précédente ;
- limitant les pertes par voie gazeuse.

1.3.3 *Les principes de base de la fixation de la fumure azotée*

La fumure minérale azotée du froment d'hiver est calculée en confrontant **les besoins de la culture** (de l'ordre d'un peu plus de 3 kg d'azote par quintal de grains produits) et **les sources naturelles d'azote minéral dans le sol** que sont le reliquat de la culture précédente et la minéralisation nette de l'humus et des résidus de récolte.

Il faut, pour réaliser un ajustement de la fumure, disposer d'une bonne estimation de l'azote fourni par ces sources naturelles qui varie en fonction du type de précédent, de la nature du sol, du climat et de la gestion organique.

Le rythme d'absorption de l'azote par le froment est faible en début de culture et s'intensifie à partir du stade redressement. Il devient très important à l'approche du stade dernière feuille. C'est quasi 50 % du prélèvement total d'azote qui se produira encore à partir de ce stade.

Le rythme de minéralisation est quasi parallèle à celui du prélèvement par la plante, mais il est nettement insuffisant pour couvrir les besoins de la plante, sauf dans le cas d'apports organiques très élevés et pour certains précédents légumineuses. Les quantités fournies par la minéralisation sont généralement inférieures à 100 kg N/ha.

Le fractionnement de la fumure permet une alimentation continue et adaptée de la plante à chaque situation. Il accroît le rendement, garantit la qualité technologique de la récolte et permet d'utiliser avec plus d'efficience chaque dose apportée.

On observe que l'utilisation réelle (emploi de l'azote lourd ^{15}N) de chaque fraction de la fumure est positivement influencée par le rythme d'absorption de l'azote par la culture. Par conséquent, pour l'apport hâtif de tallage, le coefficient d'utilisation (55 %) est sensiblement inférieur à celui de redressement (70 %) et de dernière feuille (75 % et plus).

1.3.4 Le rythme d'absorption de l'azote par la culture

La culture peut être scindée en trois phases :

1.3.4.1 Du semis à la fin tallage

La culture absorbe de 50 à 65 unités d'azote. Elle trouve principalement cet azote dans les reliquats de la culture précédente présents dans les couches supérieures du sol (0 à 50 - 60 cm) et les fournitures par la minéralisation automnale (surtout) et du début du printemps.

L'importance et les parts respectives de ces sources d'azote peuvent varier en fonction des situations pédoclimatiques et culturelles (figure 4.4).

Le complément qui doit être éventuellement apporté par la fraction de sortie d'hiver de la fumure en dépend largement. Ainsi, une culture semée début octobre dans de bonnes conditions pourra plus facilement mettre à profit les fournitures azotées du sol présentes avant l'hiver et explorer une plus grande partie du profil. En sortie d'hiver, elle aura déjà produit un nombre suffisant de talles et absorbé l'azote nécessaire. Une fumure azotée à cette époque sera donc inutile. A l'inverse, une culture implantée plus tardivement dans un sol dont la structure serait abîmée, présentera des difficultés à se procurer dans le sol les faibles réserves du fait notamment du développement racinaire peu important. Un apport d'engrais azoté en surface permettra à la culture de couvrir ses besoins indispensables pour produire un nombre suffisant de talles.

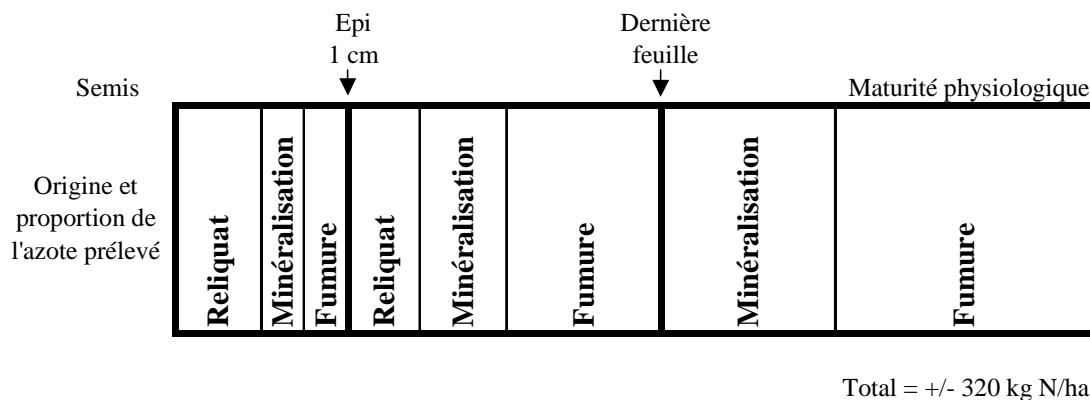


Figure 4.4 – Absorption d’azote par le froment d’hiver et son origine.

1.3.4.2 Du stade redressement (épi à 1 cm) au stade dernière feuille

Durant la mise en place de l’appareil photosynthétique (le feuillage) et le développement de l’épi, les besoins deviennent importants. La culture absorbe pendant cette phase une bonne centaine de kg N/ha. Cet azote sera fourni par :

- la minéralisation, qui avec le retour des bonnes températures au niveau du sol (entre la mi-avril et la mi-mai), peut selon les situations déjà fournir de 20 à 60 kg N/ha ;
- la descente du système racinaire dans le profil qui permettra d’exploiter les reliquats plus ou moins importants présents dans les couches profondes ;
- l’apport d’engrais azoté qui devra être bien adapté en tenant compte des fournitures du sol (minéralisation et reliquats) et de l’état de la culture. Cette fraction de la fumure permet en effet de réguler la densité de tiges qui montent en épi de manière à optimiser le rendement photosynthétique de la culture (400 à 500 épis/m²) et à limiter les risques de verse.

1.3.4.3 Du stade dernière feuille à la maturité

Plus de deux tiers de la matière sèche est produite durant cette période, le rendement en grains sera directement fonction de la qualité et de la durée de l’activité photosynthétique des surfaces vertes de la culture. L’alimentation azotée ne peut, pas pendant cette phase, être limitante sous peine de réduction du potentiel de rendement et de la teneur en protéines du grain.

La minéralisation est à ce moment très active. Selon la teneur et surtout la qualité de la matière organique du sol, elle peut fournir de 30 à 80 unités d’azote à la culture.

En général, au stade dernière feuille, le système racinaire a atteint sa profondeur maximale (1,5 mètre dans les bons sols) et a épuisé les réserves du sol. Cependant, dans les situations plus difficiles où la culture a rencontré des difficultés de développement racinaire, le stock encore présent en profondeur peut être exploité tardivement par les racines.

L’apport d’une quantité élevée d’engrais au stade dernière feuille permet d’alimenter en suffisance la culture pour assurer une fertilité maximale des épis, un bon remplissage et une qualité maximale des grains. L’importance de la dose d’azote à fournir dépend du niveau des

4. La fumure azotée

deux autres sources (stock éventuel encore présent dans le sol et minéralisation) et du potentiel de rendement pouvant raisonnablement être atteint par la culture compte tenu de son état et des conditions culturales.

Lorsque l'ajustement de chaque fraction d'azote a été correctement réalisé, le reliquat en N minéral du sol à la récolte est minime (+/- 20 kg N/ha) et localisé en surface (0-30 cm).

1.3.5 La détermination pratique de la fumure

1.3.5.1 *Les principes*

Le mode de raisonnement de la fumure est basé sur les principes suivants :

- **chaque parcelle doit être considérée individuellement.** Dans une même exploitation, les conditions culturales varient souvent entre parcelles (passé cultural, évolution de la culture) ;
- **la dose de chacune des fractions est déterminée juste avant l'application.** La fumure totale d'azote n'est pas définie à la sortie de l'hiver mais résulte, au moment du dernier apport, de l'addition des fractions définies les unes après les autres.

Ces deux principes permettent de prendre en compte les variabilités de fourniture d'azote par le sol et l'évolution en cours de saison de la culture (potentiel de rendement, enracinement, maladies, stress ou accident éventuel).

Le calcul de la dose à apporter à chacune des 2 ou 3 fractions est basé sur une dose de référence à laquelle on ajoute ou soustrait des quantités d'azote qui reflètent l'influence des conditions particulières de la parcelle et de la culture qui y pousse.

Deux fumures de référence

En deux fractions :

Fraction intermédiaire (tallage-redressement) :	80 N
Fraction de la dernière feuille :	105 N

En trois fractions

Fraction du tallage :	50 N
Fraction du redressement :	60 N
Fraction de la dernière feuille :	75 N

Ces conditions particulières ont été regroupées sous 5 termes correctifs :

- le contexte pédoclimatique de la parcelle (N. TER) ;
- le régime d'apport de matières organiques dans la parcelle (N. ORGA) ;
- les caractéristiques de la culture qui précédait la céréale (N. PREC) ;
- l'état de la culture au moment de l'application (N. ETAT) ;
- des facteurs de correction (N. CORR).

Pour chaque fraction

$$\text{Dose à appliquer} = \text{Dose de référence} + \text{N.TER} + \text{N.ORG} + \text{N.PREC} + \text{N.ETAT} + \text{N.CORR}$$

La dose de référence est déterminée chaque année en sortie d'hiver en fonction de l'état de culture, de la richesse moyenne observée dans les profils azotés effectués dans des parcelles bien connues.

Les termes correctifs sont déterminés sur base d'une série de propositions simples qui permettent à l'agriculteur d'identifier la situation propre de chaque culture.

Les termes correctifs ne prennent pas seulement en compte les possibilités d'utilisation d'azote présent dans le sol, mais aussi le potentiel de rendement que les conditions culturales rencontrées permettent.

Il n'y a donc pas nécessité de calculer la fumure sur base d'un objectif de rendement, celui-ci est adapté en fonction des choix de situation réalisés à partir des observations faites en culture.

Les modalités de calcul des doses à apporter à chaque parcelle sont exposées en détail dans le chapitre « conseils de fumures » (cfr §1.3.7).

1.3.6 Les modalités d'application des fumures

1.3.6.1 *Les moments d'application*

Deux modalités de fractionnement de la fumure azotée sont envisageables :

- **Appart en 3 fractions :**

- Tallage
- Redressement
- Dernière feuille

- **Appart en 2 fractions :**

- Intermédiaire tallage-redressement
- Dernière feuille

1.3.6.1.1 Fumure azotée en trois apports

Fraction tallage

En cas de nécessité d'apporter de l'engrais azoté en sortie d'hiver, la première application ne doit être réalisée que lorsque les conditions climatiques sont redevenues favorables et que la culture a repris vigueur. Selon les années, la date d'application pourra donc se situer entre le début et la fin mars, voire au début avril lorsque l'hiver est particulièrement long.

4. La fumure azotée

Contrairement aux apparences et croyances de certains, des applications trop hâtives d'engrais (en février par exemple) n'apportent jamais de supplément de rendement; au contraire, ces applications sont moins profitables à la culture. Elles sont réalisées à un moment où les prélevements par la culture sont quasi inexistant et où l'engrais apporté est exposé aux aléas climatiques : lessivage si pluviosité très importante et entraînement par ruissellement en cas d'application sur sol gelé suivi de dégel en surface accompagné de précipitations.

Au début du printemps, les besoins de la culture sont encore peu importants et un retard dans l'application de fumure n'a pas de conséquence néfaste sur le rendement.

Fraction redressement

L'épandage de cette fraction doit être fait au stade fin tallage-redressement, soit dans nos régions entre le 15 et le 30 avril, en moyenne autour de 20 - 25 avril, suivant l'état de développement de la culture. Un retard important dans l'application de cette fraction peut être préjudiciable au potentiel de rendement de la culture.

Fraction dernière feuille

Cette fraction doit être idéalement appliquée entre les stades dernière feuille pointante et dernière feuille complètement déployée. A ce moment, elle n'a plus d'influence sur le peuplement en épis mais peut encore augmenter le nombre de grains par épis. Appliquée plus tôt, elle favorisera la montée de tardillons qui nuiront au rendement; postposée, elle risque fort de perdre en efficacité.

1.3.6.1.2 Fumure azotée en deux apports

Fraction intermédiaire

Dans toutes les situations culturales où la culture a accès en suffisance aux réserves présentes dans le sol en sortie d'hiver, la date d'application du premier apport se fera au début avril en fin tallage, 10 à 15 jours avant le redressement. Cette fraction permettra de couvrir les besoins jusqu'au stade dernière feuille. Remplaçant les applications de tallage et de redressement, elle permet de limiter le nombre d'interventions dans la culture.

Fraction dernière feuille

Les modalités d'application sont identiques dans le rythme d'apport de l'azote en deux ou trois fractions (voir ci-dessus).

1.3.6.1.3 Une fraction complémentaire à l'épiaison ?

Lorsque la fumure a été correctement calculée, un apport d'azote supplémentaire à l'épiaison ne se justifie pas : les accroissements de rendement étant quasi nuls; cela aboutit à surfumer la culture et donc à augmenter le reliquat laissé par la culture.

Un autre danger des fumures tardives (après le stade dernière feuille) trop importantes est en effet de retarder la maturation de la culture, ce qui, certaines années, peut s'avérer préjudiciable (difficulté de récolte, perte de qualité, indice de chute de Hagberg insuffisant).

Cependant, dans des circonstances exceptionnelles (faible minéralisation, absence de maladies et de verse, potentiel de rendement très élevé) ou lorsque la culture marque des signes évidents de faim d'azote (fumure mal adaptée), une application modérée (20-30 unités) peut être envisagée au stade épiaison.

Ce complément de fumure permet dans ces cas précis, mais uniquement dans ces cas-là, d'augmenter quelque peu le rendement et d'améliorer la qualité de la récolte (pour les variétés de bonne valeur technologique).

Un apport complémentaire d'azote autour du stade épiaison ne peut donc être appliqué qu'exceptionnellement et doit toujours être de faible importance.

1.3.6.2 Deux ou trois fractions ?

L'analyse des conditions culturales qui prévalaient dans les essais où le fractionnement en deux apports s'avère pénalisant permet déjà d'exclure le recours à cette modalité d'application de la fumure dans un certain nombre de situations culturales.

Une fumure de tallage et donc un fractionnement en **trois apports est indispensable** dans les circonstances suivantes :

- structure de sol abîmée par des récoltes tardives ou en mauvaises conditions ;
- terre à mauvais drainage naturel ;
- sol complètement glacé ou refermé, dégâts d'hiver, de traitements herbicides, de parasites, déchaussements, ... plus généralement dans les situations culturales où on soupçonne que le système racinaire du froment se développera difficilement et ne permettra pas à la culture de trouver dans le sol les quantités minimales d'azote dont elle a besoin pour assurer le développement d'un nombre suffisant de tiges ;
- sol avec de faibles disponibilités en azote en sortie hiver.

Une fumure de tallage et donc un fractionnement en **trois apports est plus prudent** dans les situations culturales suivantes :

- les parcelles où l'indice TER est égal ou inférieur à 3 ;
- les parcelles à très faibles restitutions de matières organiques ;
- les parcelles semées tardivement (à partir de la dernière décade de novembre) ;
- les exploitations où les besoins en pailles sont importants ;
- les exploitations où l'on ne dispose pas de l'équipement pour épandre de manière suffisamment homogène une dernière fraction très importante ;
- les précédents culturaux : froment, autres céréales et maïs grain.

4. La fumure azotée

L'impasse sur la fumure de tallage et donc un fractionnement en **deux apports est particulièrement indiqué** dans le cas de :

- semis précoces puisqu'en sortie d'hiver ils ont déjà produit un nombre suffisant de talles ;
- précédents culturaux laissant des reliquats élevés ; légumineuses, pomme de terre, colza, légumes, ... ;
- parcelles où les restitutions de matières organiques sont importantes et/ou fréquentes ;
- parcelles où en sortie d'hiver la densité de plantes est trop élevée ;
- productions de froment destinées à une valorisation en meunerie.