

4. La fumure azotée

F. Vancutsem¹, B. Seutin², J-P. Destain³, C. Roisin⁴, B. Monfort⁵, C. Vandenberghe⁶, J-M. Marcoen⁶,
E. Escarnot⁷, R. Lambert⁸, M. De Toffoli⁸, B. Bodson¹

1	La fumure en froment	2
1.1	Bilan de l'année écoulée	2
1.2	Expérimentation, résultats, perspectives.....	2
1.2.1	<i>Résultats obtenus dans les deux essais sur froment d'hiver à Loncée et Les Isnes</i>	3
1.2.2	<i>Résultats obtenus sur froment d'hiver à Michamps en terre « froide »</i>	10
1.2.3	<i>Résultats obtenus sur froment de printemps à Loncée</i>	13
1.2.4	<i>Exemple de calcul d'optimum économique</i>	16
1.2.5	<i>Conclusion des expérimentations 2010.....</i>	19
1.3	Recommandations pratiques	19
1.3.1	<i>Azote minéral du sol sous froment d'hiver, situation au 10 février 2011</i>	19
1.3.2	<i>Les objectifs.....</i>	21
1.3.3	<i>Les principes de base de la fixation de la fumure azotée</i>	22
1.3.4	<i>Le rythme d'absorption de l'azote par la culture.....</i>	22
1.3.5	<i>La détermination pratique de la fumure.....</i>	24
1.3.6	<i>Les modalités d'application des fumures.....</i>	25
2	La fumure en escourgeon	45
2.1	Aperçu de l'année	45
2.2	Résultats des expérimentations sur le site de Loncée	45
2.2.1	<i>La fumure optimale à Loncée en 2010</i>	45
2.3	Evolution de la fumure azotée économiquement optimale quand les prix de vente de la récolte ou d'achat de l'engrais azoté varient	47
2.4	Les recommandations pratiques.....	50
2.4.1	<i>Conditions particulières de 2011, profil en azote minéral du sol en escourgeon.....</i>	50
2.4.2	<i>Les principes de base de la détermination de la fumure azotée.....</i>	51
2.4.3	<i>La détermination pratique de la fumure</i>	51
2.4.4	<i>Les modalités d'application de la fumure azotée</i>	51

¹ Gx-ABT – Unité de Phytotechnie des régions tempérées

² Gx-ABT – Unité de Phytotechnie des régions tempérées – Production intégrée des céréales en Région Wallonne, subsidié par la DGRNE du Ministère de la Région Wallonne

³ Directeur Général ff du CRA-W

⁴ CRA-W – Dpt Agriculture et milieu naturel – Unité Fertilité des sols et protection des eaux

⁵ Projet APE 2242 (FOREM) et projet CePicOP (DGRNE – Ministère de l'Agriculture et de la Ruralité de la RW)

⁶ Gx-ABT – Unité de Science du sol - Grenera

⁷ CRA-W – Dpt Sciences du Vivant – Unité Amélioration des Espèces et Biodiversité

⁸ UCL – Eart of Life Institute – Pôle Agronomie

1 La fumure en froment

1.1 Bilan de l'année écoulée

Dans le Livre blanc de février 2010, l'apport de la fumure azotée en trois fractions avait été recommandé dans la plupart des situations suite à deux constats :

- Les profils sortie hiver étaient considérés comme très pauvres après la plupart des précédents (< 50 kg N/ha) hormis pour les précédents pois et légumes ;
- Le faible développement des cultures de froment en sortie hiver.

Au vu des conditions météo du printemps et de l'été, ces recommandations se sont pleinement justifiées. Un premier déficit hydrique durant les deux dernières décades d'avril a imposé un frein de la croissance des froments implantés tardivement ou sur des sols très séchants ainsi que des froments dont le système racinaire était déficient. Dans ce cas, la culture présentait une biomasse trop faible, un nombre d'épis/m² insuffisant et des épis de petite taille. Les fractions de tallage et redressement n'ont pas toujours pu compenser ce manque de croissance. Dans les bonnes terres, les froments correctement implantés n'ont pas ou peu subi ce stress.

Une deuxième période de stress hydrique en juin a induit un manque de fertilité des épis ainsi qu'un mauvais remplissage des grains. Dans les situations où la culture avait déjà été pénalisée en avril et présentait un moins bon enracinement, la fraction de dernière feuille n'a pas été entièrement prélevée par la culture et n'a pas pu participer pleinement au remplissage du grain. Dans ces situations, des reliquats importants ont été mesurés.

Le retour des pluies de juillet a assuré, à tous les froments implantés dans les terres profondes, les conditions hydriques nécessaires pour un bon remplissage des grains et donc des rendements très corrects pour autant cependant que les parcelles n'aient pas trop souffert de verse suite aux violents orages du 14 juillet.

1.2 Expérimentation, résultats, perspectives

L'Unité de Phytotechnie de Gembloux Agro-Bio Tech en collaboration avec l'Unité Fertilité des sols et Protection des eaux du CRA-W a mis en place au cours de la saison dernière trois essais « fumure azotée » en froment. Ces essais ont été implantés à

- Lonzée, froment d'hiver sur précédent betterave
- Les Isnes, froment d'hiver sur précédent froment
- Lonzée, froment de printemps sur précédent betterave

Un quatrième essai, en froment d'hiver, a été implanté à Michamps en zone plus froide (province de Luxembourg). Pour ce dernier, l'Unité de Phytotechnie a bénéficié de l'aide de l'Unité d'Amélioration des espèces et biodiversité du CRA-W ainsi que du Centre de Michamps de l'UCL.

Le premier objectif est, dans chaque situation culturale, de déterminer les optima de fumure c'est-à-dire les modalités de dose totale et de fractionnement qui procurent les meilleurs rendements phytotechnique ou économique, selon que le coût de la fertilisation est pris ou non en compte. Le second est de comparer ces optima avec la fumure azotée recommandée, calculée selon la méthode du «Livre blanc» en fonction de la situation culturale. L'analyse des résultats permet d'améliorer les recommandations en particulier les tableaux de calcul de la fumure azotée.

1.2.1 Résultats obtenus dans les deux essais sur froment d'hiver à Lonzée et Les Isnes

La conduite culturale de chacun des deux essais est reprise dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 – Caractéristiques des deux essais de réponse à la fumure azotée – GxABT – Lonzée et les Isnes 2010.

Variété		Julius	Istabraq
Caractéristique variété		Panifiable	Fourrager
N° de l'essai		FH10-10	FH10-51
Date de semis		21-oct.	22-oct
Densité de semis		220 gr/m ²	220 gr/m ²
Précédent		Betterave	Froment
Teneurs en N total en sortie hiver sur 90cm (sous culture de froment)		64 uN	28 uN
Apport de la fumure	Tallage	24-mars	24-mars
	tallage-redressement	6-avr	6-avr
	Redressement	28-avr	28-avr
	dernière feuille	28-mai	28-mai
Désherbage		14-avr	14-avr
Raccourcisseur (CCC 1L)		22-avr	27-avr
Fongicide		2-juin	7-mai
			28-juin

1.2.1.1 Le rendement phytotechnique

Le tableau 4.2 reprend pour chacune des 30 modalités de fumure étudiées le rendement et ses composantes ainsi que l'indice de verse observé après l'orage du 14 juillet.

4. La fumure azotée

Tableau 4.2 – Rendements phytotechniques (qx/ha) ; poids de mille grains exprimés en g ; indice de verse (% , 100%=parcelle complètement versée) et nombre d'épi par m² observés dans les essais fumures azotées – GxABT – Lonzée (variété Julius sur précédent betterave) et Les Isnes (variété Istabraq sur précédent froment), 2010.

Fumure azotée kg N/ha					JULIUS				ISTABRAQ			
T	T-R	R	DF	tot	Rdt	pmg	verse	nb épi/m ²	Rdt	pmg	verse	nb épi/m ²
					qx/ha	g	%		qx/ha	g	%	
-	-	-	-	0	66	47	0	271	49	43	0	229
-	50	-	-	50	80	46	0	397	70	42	8	331
-	50	-	50	100	89	47	0		70	42	20	
-	50	-	75	125	93	47	4		75	42	26	
-	50	-	100	150	92	46	3		76	43	40	
-	50	-	125	175	93	46	2		78	41	27	
-	50	-	150	200	93	48	7		74	41	41	
-	75	-	-	75	86	45	0	473	75	41	11	331
-	75	-	50	125	91	46	8		78	42	30	
-	75	-	75	150	93	47	2		77	41	25	
-	75	-	100	175	95	46	3		81	42	31	
-	75	-	125	200	98	46	6		81	41	43	
-	75	-	150	225	98	44	19		80	41	53	
-	100	-	-	100	91	44	1	493	79	42	36	325
-	100	-	50	150	96	45	1		82	40	47	
-	100	-	75	175	95	44	9		82	40	59	
-	100	-	100	200	98	45	32		83	40	59	
-	100	-	125	225	96	45	39		79	40	54	
-	100	-	150	250	96	44	25		79	41	53	
-	125	-	-	125	96	44	6	519	82	41	32	393
-	125	-	50	175	97	44	23		83	40	55	
-	125	-	75	200	98	44	37		82	41	61	
-	125	-	100	225	95	43	22		84	40	64	
-	125	-	125	250	99	44	32		82	40	60	
-	125	-	150	275	97	44	22		82	41	55	
50	-	50	50	150	95	44	8	492	88	43	18	343
75	-	75	75	225	97	43	13	540	92**	41	49	421
100	-	100	100	300	99**	41	50	552	90	40	61	441
50	-	60	75	185	96	46	6	508				
-	80	-	105	185	94	44	4	509				
60	-	70	75	205					88	41	44	374
-	100	-	105	205					78	40	51	336

* Les quatre dernières fumures reprises dans le tableau sont les fumures calculées et ajustées selon la méthode du «Livre blanc». Elles diffèrent entre les deux essais, en raison notamment du précédent cultural.

** Les valeurs en gras représentent, pour chaque variété, les rendements maxima observés et les cases grisées sont les rendements statistiquement équivalents à leur valeur maximale respective.

Entre les deux essais, une différence de rendement importante de l'ordre de 16 qx/ha en moyenne a été observée. Elle doit être imputée au fait que l'essai sur Istabraq est implanté après un précédent froment et que la culture a beaucoup plus souffert de la sécheresse de fin juin-début juillet.

Les maxima de **rendement phytotechnique** observés étaient de :

- 99 qx/ha pour Julius après betterave obtenus avec des fumures de 250 et 300 N/ha. Une série d'autres fumures comprises entre 150 et 275 N/ha ont permis d'atteindre des rendements statistiquement équivalents. Parmi celles-ci, se trouve aussi la fumure « Livre blanc » en 3 apports pour laquelle le rendement mesuré est de 96 qx/ha avec une fumure de 185 N.
- 92 qx/ha pour Istabraq après froment obtenus avec une fumure de 225 N/ha, fractionnée en trois apports de 75 N/ha. Seules les 4 modalités de fumures en 3 apports, y compris la fumure Livre blanc, présentent des rendements statistiquement équivalents, les fumures en deux apports procurent systématiquement des rendements nettement moins élevés (figure 4.1.b).

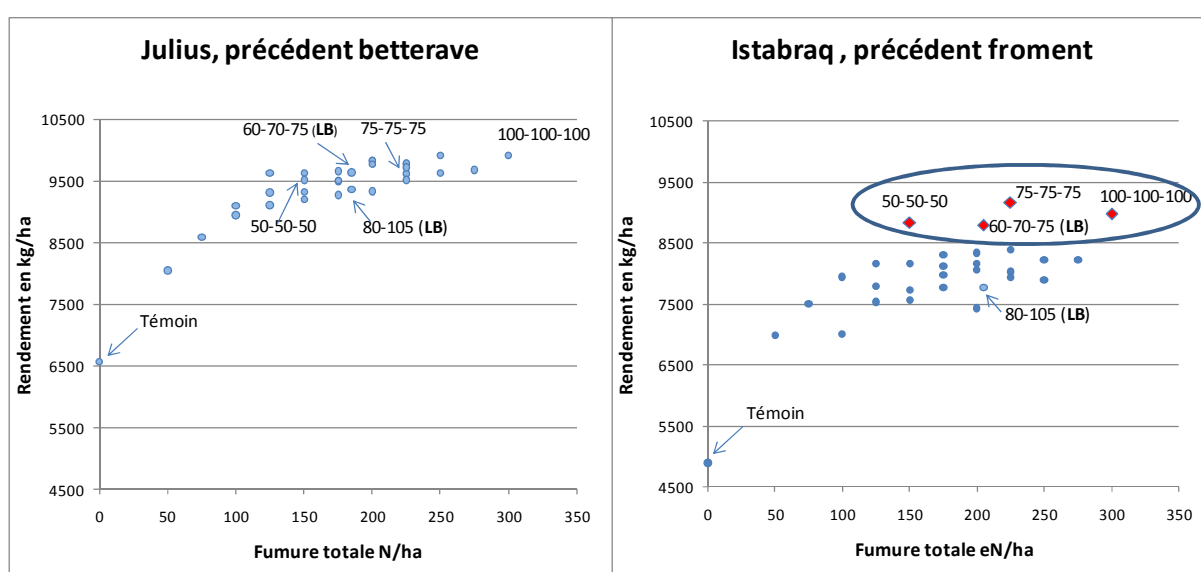


Figure 4.1 a et b – Rendements (kg/ha) obtenus pour les trente modalités de fumure azotée – GxABT 2010.

La réponse de la culture à la fumure azotée est différente dans les deux essais.

- Julius (figure 4.1. a) montre une réponse plus marquée vis-à-vis de la dose totale d'azote apportée que vis-à-vis du fractionnement ; ce comportement est le reflet d'un bon développement de la végétation tout au long de la saison sans impact marqué de stress hydrique.
- Istabraq présente une réponse à la fumure azotée qui est prioritairement liée au fractionnement. Cet essai était implanté après un froment sur une terre plus sèche. Couplés à un moins bon enracinement de la culture dû au précédent froment, les différents stress hydriques rencontrés en avril et en juin ont fortement influencé le développement de la culture ; cela s'est traduit par un nombre d'épis/m² limitant (manque d'eau en avril) et de faibles poids de mille grains de l'ordre de seulement 40g (tableau 4.2.).

4. La fumure azotée

1.2.1.2 Détermination de l'optimum de la fraction de tallage-redressement

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 recommandé est fixé à 80 N.

Le tableau 4.3. présente les différences de rendement observées lorsque, pour une même fumure totale comprise entre 125 et 225 N, 25 N sont retirées à la fraction de dernière feuille et ajoutées à la dose de première fraction (fraction de tallage-redressement) :

- Lors du passage de 50 à 75 N, un gain moyen de 159 kg/ha a été observé. Ce gain est d'autant plus important que la dose totale est élevée ;
- Lors du passage de 75 à 100 N, le rendement moyen n'augmente plus que de 37 kg/ha ;
- Lors du passage de 100 à 125 N, le rendement moyen n'augmente plus.

Tableau 4.3 – Différences de rendement (kg/ha) observées lors de l'augmentation de la dose de la première fraction pour une fumure totale constante au niveau de l'essai Julius (précédent betterave feuilles enfouies) – Lonzée 2010.

Fraction T-R	Fumure totale										Gain moyen de rdt
	125 N		150 N		175 N		200 N		225 N		
	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	
50 N	9309		9195		9271		9330				
		-201		127		225		487			159
75 N	9108		9322		9496		9817		9781		
			303		3		8		-166		37
100 N			9624		9499		9825		9615		
					156		-53		-99		1
125 N	9630				9655		9772		9516		

Cette année, comme en 2009, la dose de 80 N lors du premier passage est en adéquation avec les besoins de la culture. Cette dose permet d'atteindre un nombre d'épis suffisant pour assurer le rendement (un nombre d'épi par m² compris en 400 et 500 (tableau 4.2.)). Une fois ce niveau atteint, une diminution de la fraction dernière feuille au profit de la fraction de tallage-redressement pénalise bien souvent le rendement et augmente le risque de verse.

Précédent froment sur la variété Istabraq

Dans le fractionnement en 2 apports de la fumure azotée Livre blanc en précédent froment, le niveau de la première fraction est fixé à 100 N.

Les différences de rendement observées lorsque, pour une même fumure totale comprise entre 125 et 225 N, 25 N sont transférées à la dose de première fraction (tableau 4.4) :

- Lors du passage de 75 à 100 N pour la première fraction, un gain moyen de 183 kg/ha a été observé ;
- Lors du passage de 100 à 125 N, le rendement augmente encore de 119 kg/ha.

Tableau 4.4 – Différences de rendement (kg/ha) observées lors de l'augmentation de la dose de la première fraction pour une fumure totale constante au niveau de l'essai Istabraq (précédent froment) – Les Isnes 2010.

Fraction T-R	Fumure totale										Gain moyen de rdt	
	125 N		150 N		175 N		200 N		225 N			
	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt		
50 N	7535		7561		7766		7433					
	250		165		353		624				348	
75 N	7786		7726		8120		8057		8031			
			441		105		280		-94		183	
100 N			8167		8225		8336		7937			
					78		-175		455		119	
125 N	8163				8303		8161		8392			

Dans ce cas, la dose 100 N lors du premier passage était inférieure aux besoins de la culture, une fumure de 125 N permettait certes d'atteindre un nombre d'épis supérieur à savoir 393 épis/m², considéré comme limite pour atteindre de bons rendements ; mais cette forte fraction de tallage- redressement ne permettait pas d'exprimer pleinement le potentiel de rendement de la culture.

Dans cette situation de froment après froment, malgré le bon état de la culture en sortie d'hiver, l'option du fractionnement en deux apports n'était pas judicieuse. Les modalités fumures avec des apports à la fois en sortie d'hiver et au stade redressement ont été mieux valorisées par cette culture (figure 4.1.b). Les résultats de cet essai confirment les recommandations reprises dans le Livre Blanc, qui signalent qu'une fumure de tallage et un fractionnement en trois apports est plus prudent lorsque le précédent est un froment.

1.2.1.3 L'importance du fractionnement sur la verse

Les indices de verse pour chacune des fumures étudiées sont repris dans le tableau 4.2. Ils ont été calculés en fonction de la surface versée et de l'angle d'inclinaison des plantes. Les observations ont été réalisées juste après les orages du 14 juillet. L'intensité de la verse était supérieure dans l'essai sur la variété Istabraq à Les Isnes.

4. La fumure azotée

Tableau 4.5. – Indices de verse mesurés pour les fumures totales de 175 et 200 N/ha dans les essais fumures azotées – GxABT 2010.

Fumure azotée N/ha			Indice de verse %	
T-R	DF	tot	Julius	Istabraq
50	125	175	2	27
75	100	175	3	31
100	75	175	9	59
125	50	175	23	55
Moyenne 175 N			9	43
50	150	200	7	41
75	125	200	6	43
100	100	200	32	59
125	75	200	37	61
Moyenne 200 N			20	51

Les observations réalisées (tableau 4.2 et tableau 4.5) confirment les deux relations existantes entre la verse et la fumure azotée, à savoir :

- L'indice de verse est proportionnel à la dose totale ;
- Pour une même dose d'azote totale, l'indice de verse est d'autant plus élevé que la fraction de tallage-redressement est élevée.

1.2.1.4 Impact de la fumure sur le taux de protéines

Les deux variétés présentent des **teneurs en protéines** différentes. Dans variété Julius, froment panifiable, ces teneurs dépassent les 13% pour des fumures élevées. Le taux de protéines est bien corrélé avec la dose totale d'N. Pour les fumures supérieures à 150N/ha, les taux de protéines ne sont pas significativement différents pour les différentes modalités de fractionnement d'une même dose totale.

Pour la variété Istabraq, les teneurs en protéines atteignent un maximum de 11,5% même pour des fumures supérieures à 200 N/ha. Le remplissage des grains limité par le déficit hydrique plus marqué dans cette situation culturale explique en grande partie ce plafonnement du taux de protéines du grain en réponse à l'accroissement des disponibilités en azote.

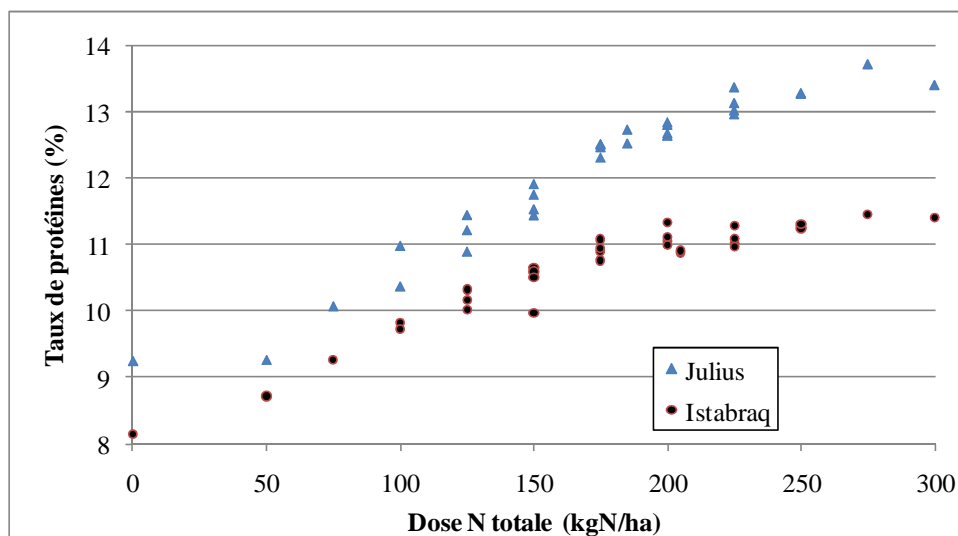


Figure 4.2 – Taux de protéines (%) mesurés dans les essais fumures – GxABT.

1.2.1.5 Les reliquats azotés

Les tableaux 4.6 et 4.7 reprennent pour 5 modalités de fumure, les valeurs des reliquats azotés post-récolte des essais fumures menés sur les variétés Istabraq et Julius.

Sous Julius, précédent betteraves, les faibles teneurs sous les 60 cm sont le signe que la culture a prélevé l'azote disponible dans l'entièreté du profil (jusque 150 cm). Les valeurs plus élevées au niveau des 45 premiers cm sont dues :

- d'une part à la minéralisation entre la sénescence de la culture (arrêt du prélèvement par la plante) et la réalisation des mesures ;
- et d'autre part, du non prélèvement de l'entièreté de l'azote apporté à la culture (horizon 30 à 60 cm) et cela d'autant plus si l'apport de dernière feuille est supérieur à 100 N/ha.

Tableau 4.6 – Reliquats en azote minéral (kg/ha) dans le profil (24 août 2010) pour différentes modalités de fumures dans l'essai sur la variété Julius – 2010.

profondeur	0-0-0	80-105	50-60-75	75-150	100-125
0-15	6	6	5	6	6
15-30	7	11	8	10	8
30-45	4	12	10	18	10
45-60	2	7	6	12	6
60-75	1	1	1	1	1
75-90	0	1	1	2	1
90-105	0	1	1	2	1
105-120	1	2	2	3	2
120-135	1	3	3	3	3
135-150	2	3	3	3	3
Total	24	47	41	61	39

Sous Istabraq, précédent froment, les teneurs en N dans le profil sont toujours supérieures à celles observées pour le Julius. Le système racinaire n'a pas prélevé convenablement l'azote

4. La fumure azotée

disponible en cours de saison puisque de l'azote minéral est retrouvé en quantités non négligeables dans l'entièreté des profils. Les horizons compris entre 15 à 60 cm sont les plus riches et cela d'autant plus que le niveau de fumure est élevé et que la fraction de dernière feuille est élevée. Il faut noter qu'en raison des conditions climatiques difficiles de cet été, le délai entre la sénescence de la culture et la réalisation des reliquats a été important (près de 5 semaines) et que, de plus, durant cette période, la minéralisation a été très active puisque les sols étaient chauds et humides.

Ces moins bons prélèvements sont à mettre en relation avec le développement restreint de la végétation, le niveau limité des rendements et donc par des exportations moindres en azote par la culture.

Tableau 4.7 – Reliquats en azote minéral (kg/ha) dans le profil (24 août 10) pour différentes modalités de fumures dans l'essai sur la variété Istabraq 2010.

profondeur	0-0-0	60-70-75	100-105	100-125	100-150
0-15	6	7	7	8	6
15-30	8	18	25	30	30
30-45	7	21	27	38	40
45-60	5	12	14	21	24
60-75	3	4	4	7	12
75-90	2	2	3	3	4
90-105	2	2	4	3	4
105-120	3	2	5	4	4
120-135	3	3	5	3	3
135-150	3	3	4	3	3
Total	41	75	98	120	129

1.2.2 Résultats obtenus sur froment d'hiver à Michamps en terre « froide »

18 objets ont été implantés avec des fumures totales de 0 à 225 N/ha. Toutes les fumures ont été apportées en deux fractions.

Tableau 4.8 – Itinéraire cultural de l'essai de Michamps.

Variété	Homeros	
Localisation de l'essai	Michamps	
N° de l'essai	FH10-Mich	
Date de semis	28-oct	
Densité de semis	250 gr/m ²	
Précédent	Maïs	
Teneurs en N total en sortie hiver sur 90cm (sous culture de froment)	126 uN	
Apport de la fumure	22-avr	22-avr
	1-juin	1-juin
Désherbage	21 mai	
Raccourcisseur (CCC 1L)	25-mai	
Fongicide	25-juin	

1.2.2.1 Le rendement phytotechnique

Tableau 4.9 – Rendement (qx/ha), taux de protéines (%), Indice de Zélény (ml), poids de mille grains (g) et nombre d'épis/m²- Michamps 2010.

Fumure azotée kg N/ha			Rdt	Taux de protéines	Indice de Zélény	Nb épis/m ²
T-R	DF	tot	qx/ha	%MS	ml	
0	0	0	43	9,9	19	253
50	0	50	62	9,5	16	346
50	100	150	73	12,1	23	343
50	125	175	78	12,3	23	352
75	0	75	71	10,2	17	383
75	75	150	76	11,1	21	401
75	50	125	80	11,0	20	361
75	125	200	80	12,3	23	373
75	100	175	80	12,0	22	394
100	0	100	76	10,3	17	435
100	50	150	81	11,4	21	393
100	75	175	82	11,6	22	391
100	100	200	77	12,1	23	386
100	125	225	80	12,5	25	395
125	0	125	80	10,8	20	455
125	50	175	84	11,6	22	400
125	75	200	82	11,7	23	427
125	100	225	85**	12,3	24	378

** La valeur en gras représente le rendement maximum observé et les cases grisées sont les valeurs statistiquement équivalentes à cette valeur maximale.

Le maximum de **rendement phytotechnique** était de 85 qx/ha avec une fumure de 225 N/ha répartie en deux fractions 125 N au tallage-redressement et 100 N à la dernière feuille. Quatre autres fumures permettent d'atteindre des rendements significativement équivalents. Ces fumures ont toutes des fractions de tallage-redressement supérieures ou égales à 100N/ha.

1.2.2.2 Détermination de l'optimum de la fraction de tallage-redressement

L'importance du renforcement de la 1^{ère} fraction de 25N pour une même fumure totale est illustrée dans le tableau 4.10.

- Lors du passage de 50 à 75 N, un gain moyen de 305 kg/ha a été observé pour des fumures totales de 150 et 175 N/ha ;
- Lors du passage de 75 à 100 N, le rendement moyen augmente encore d'une centaine de kg/ha ;

4. La fumure azotée

- Lors du passage de 100 à 125 N, le rendement moyen poursuit sa hausse avec un gain de 385 kg/ha.

Ces gains de rendement observés lors du renforcement de la première application sont directement liés au nombre d'épis/m² qui atteint les 400 épis/m² uniquement si la fraction de tallage-redressement est supérieure à 100 N/ha. Ces besoins élevés en azote en début de végétation sont liés au climat froid observé dans ces régions au printemps entraînant un démarrage lent de la culture et de la minéralisation.

Tableau 4.10 – Différences de rendement (kg/ha) observées lors de l'augmentation de la première fraction pour une fumure totale constante au niveau de l'essai Michamps 2010.

Fraction T-R	Fumure totale										Gain moyen de rdt	
	125 N		150 N		175 N		200 N		225 N			
	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt		
50 N			7292		7769							
				354		256						305
75 N	7953		7646		8025		7994					
				466		194		-285				102
100 N			8112		8219		7709		8036			
						175		489		492		385
125 N	7987				8394		8198		8528			

1.2.2.3 Impact de la fumure sur le taux de protéines

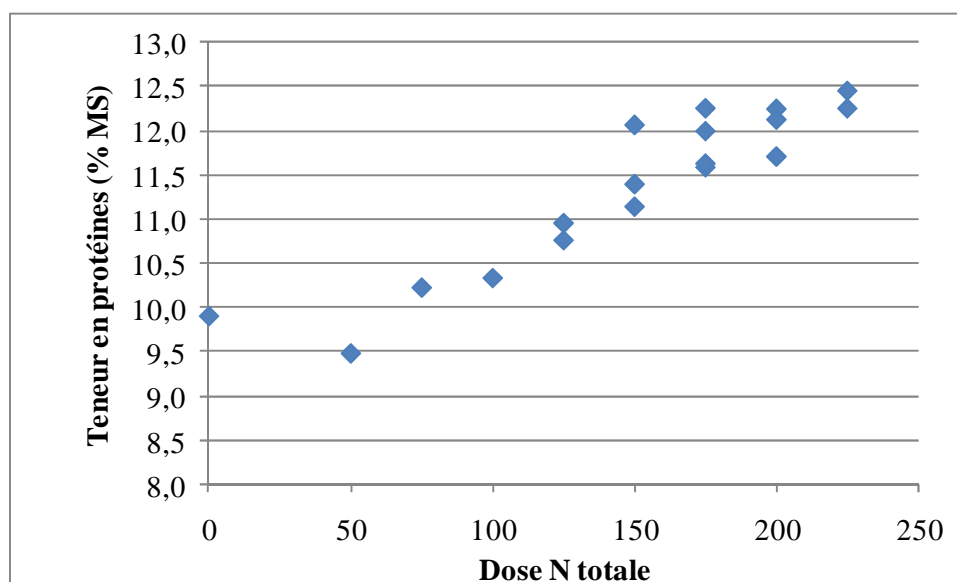


Figure 4.3 – Teneurs en protéines (% MS) en fonction de la dose totale d'N apportée – Michamps 2010.

Le taux de protéines est directement proportionnel à la dose totale d'N apportée à la culture (Figure 4.3). Pour un même niveau de fumure, le taux de protéines est d'autant plus élevé que la dose de la fraction de dernière feuille est importante (tableau 4.9)

1.2.2.4 Les reliquats azotés

Les reliquats ont été réalisés sur 60 cm en deux profils de 30 cm. Les reliquats N sont élevés quelque soit la fumure azotée appliquée ainsi que pour le témoin sans azote. Dans cette même parcelle, les disponibilités en N avant l'hiver était de 126 N/ha sur 90 cm ce qui est très élevé et qui traduit le fait que l'essai était implanté dans une terre riche en humus comme c'est souvent le cas dans cette région. Les prélèvements ont seulement été effectués le 22 septembre, soit plus de quatre semaines après la récolte. Les quantités d'azote retrouvées dans le profil comprennent donc l'azote provenant de la minéralisation de l'humus du sol durant ce long intervalle et les reliquats à la maturité de la culture.

Les niveaux de reliquats sont plus élevés dans l'horizon 30-60 que dans l'horizon 0-30 cm. La comparaison des reliquats en absence de fumure avec ceux des parcelles fertilisées met en évidence les fumures supérieures ou égales à 175N qui présentent quasiment toutes des reliquats supérieurs à 70 N/ha pour les 60 premiers cm.

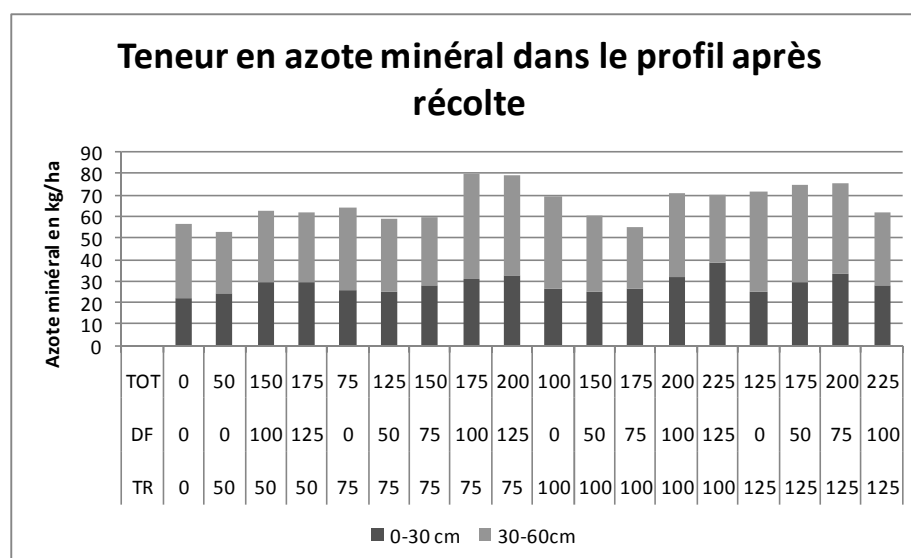


Figure 4.4 – Reliquats azotés mesurés le 22 septembre pour les 18 fumures de l'essai de Michamps.

1.2.3 Résultats obtenus sur froment de printemps à Lonzé

Les niveaux de rendement dans cet essai sur froment de printemps étaient plus élevés que ceux obtenus dans la même parcelle dans l'essai similaire en froment d'hiver implanté sur la variété Julius (§ 2.1). Pour une même gamme de fumure, le gain moyen observé est 6 qx/ha.

Les froments de printemps ont moins souffert de la sécheresse de fin juin - début juillet. Durant la phase de remplissage du grain, ils ont disposé de suffisamment d'eau ; cela s'est traduit par des poids de mille grains compris entre 47 et 51 g pour Tybalt (tableau 4.11) alors qu'ils étaient de 41 à 48 g pour Julius (tableau 4.2) du fait de leur stade de développement moins avancé (début remplissage). De plus, lors des orages du 14 juillet, ils n'étaient qu'au début du remplissage des grains et de ce fait ont mieux résisté à la verse.

4. La fumure azotée

Variété	Tybalt	
Caractéristique variété	printemps	
N° de l'essai	FH10-06	
Date de semis	19-mars	
Densité de semis	300 gr/m ²	
Précédent	Betterave	
Apport de la fumure	Tallage	28-avr
	tallage-redressement	4-mai
	Redressement	19-mai
	dernière feuille	8-juin
Désherbage	27-avr	
Raccourcisseur (CCC 1L)	18-mai	
Fongicide	28-juin	

1.2.3.1 Le rendement phytotechnique

Le maximum de **rendement phytotechnique** était de 105 qx/ha avec une fumure de 200N. 14 autres fumures variant de 175 à 275 N procuraient des rendements statistiquement équivalents. Les fumures « Livre blanc » tant en 2 qu'en 3 apports figurent parmi ces 14 fumures.

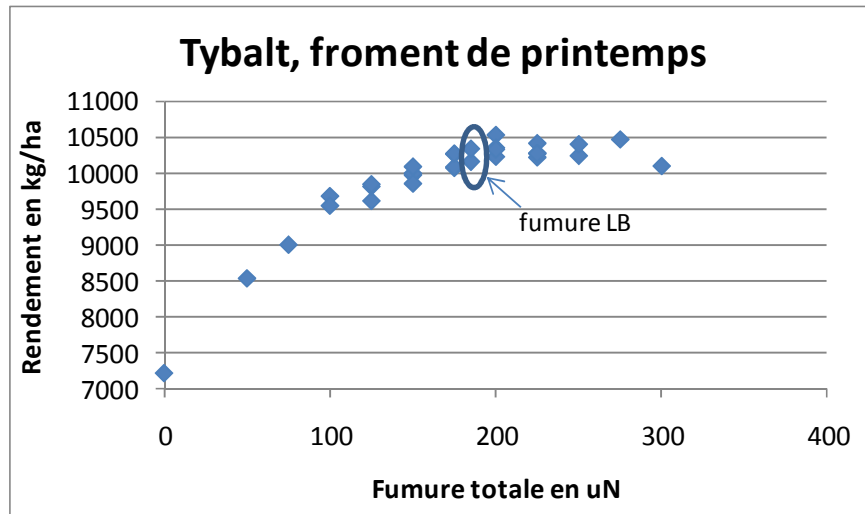


Tableau 4.11 – Rendement phytotechnique (qx/ha) ; teneur en protéines (%), Indice de Zélény (ml), poids de mille grain exprimés en g observés pour différentes modalités de fumure azotée sur froment de printemps– GxABT – Lonzée 2010.

Fumure azotée kg N/ha					Rdt	Taux de protéines	Zélény	PMG
T	T-R	R	DF	tot	qx/ha	%MS	ml	g
-	-	-	-	0	72	9,6	33	47
-	50	-	-	50	85	10,0	33	47
-	50	-	50	100	97	11,5	38	49
-	50	-	75	125	96	12,3	40	50
-	50	-	100	150	100	13,1	43	50
-	50	-	125	175	101	13,5	44	50
-	50	-	150	200	102	13,9	46	51
-	75	-	-	75	90	10,6	34	47
-	75	-	50	125	98	12,1	38	49
-	75	-	75	150	100	12,7	41	49
-	75	-	100	175	103	13,3	43	49
-	75	-	125	200	105**	13,5	45	50
-	75	-	150	225	104	13,7	45	51
-	100	-	-	100	95	11,1	35	48
-	100	-	50	150	101	12,7	40	48
-	100	-	75	175	101	12,9	41	49
-	100	-	100	200	104	13,3	43	49
-	100	-	125	225	102	13,5	43	49
-	100	-	150	250	102	13,9	45	49
-	125	-	-	125	98	11,7	38	47
-	125	-	50	175	103	12,8	40	48
-	125	-	75	200	103	13,1	41	47
-	125	-	100	225	103	13,4	42	49
-	125	-	125	250	104	13,5	45	48
-	125	-	150	275	105	13,6	44	48
50	-	50	50	150	99	12,5	40	48
75	-	75	75	225	103	13,2	43	48
100	-	100	100	300	101	13,2	44	47
50	-	60	75	185	102	13,2	43	48
-	80	-	105	185	103	13,2	43	50

* Les deux dernières fumures reprises dans le tableau sont les fumures calculées et ajustées selon la méthode du «Livre blanc».

** La valeur en gras représente le rendement maximum observé et les cases grisées sont les valeurs statistiquement équivalentes à la valeur maximale observée.

4. La fumure azotée

1.2.3.2 Détermination de l'optimum de la fraction de tallage-redressement

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 N.

Les différences de rendement (tableau 4.12) observées quand, pour une même fumure totale comprise entre 125 et 225 N, 25 N sont glissées de la fraction de dernière feuille à la première fraction sont:

- un gain de 180 kg/ha lors du passage de 50 à 75 N ;
- une perte de 114 kg/ha lors du passage de 75 à 100 N ;
- un gain de 73 kg/ha lors du passage de 100 à 125 N.

La dose optimale pour la première fraction, déduite à partir de ces résultats, est de 75 N/ha. Cette dose est égale à celle préconisée dans le calcul selon la méthode Livre blanc avec un premier apport de 80 N/ha. Pour rappel, les deux modalités de fumure Livre blanc se trouvent d'ailleurs parmi les fumures procurant un rendement statistiquement équivalent au rendement maximal.

Tableau 4.12 – Différences de rendement (kg/ha) observées lors de l'augmentation de la dose de première fraction pour une fumure totale constante au niveau de l'essai Tybalt (froment de printemps, précédent betterave feuilles enfouies - Lonzée 2010.

Fraction T-R	Fumure totale										Gain moyen de rdt
	125 N		150 N		175 N		200 N		225 N		
	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	Rdt	Gain Rdt	
50 N	9617		9975		10074		10232				
		201		23		192		304			180
75 N	9818		9998		10266		10536		10422		
				98		-175		-177		-200	-114
100 N			10096		10091		10358		10222		
						187		-25		58	73
125 N					10278		10333		10281		

1.2.3.3 Impact de la fumure sur la qualité

Comme pour les froments d'hiver, le taux de protéines est proportionnel à la dose totale d'N apportée à la culture. Pour un même niveau de fumure, le taux de protéines est d'autant plus élevé que la fraction de dernière feuille est importante (tableau 4.11). L'indice de Zélény suit la même dynamique que le taux de protéines.

1.2.4 Exemple de calcul d'optimum économique

On assiste ces dernières années à un envol important tant des prix de l'azote que ceux du froment. Le rapport prix azote-froment est souvent utilisé, il représente la **quantité en kg de froment qu'il faut pour payer une unité d'azote** (voir tableau 4.13).

Depuis la récolte 2007, les prix des céréales sont passés de 240 €/t à 100 €/t pour remonter ensuite. L'azote quant à lui à atteint les 380 €/t pour diminuer et se situer actuellement à 250 €/t. De nombreux scénarios peuvent être élaborés.

Dans notre analyse, les simulations ont été réalisées pour des rapports de 0 à 10 dans l'essai Julius de 2010 (tableau 4.2 et figure 4.5) et une synthèse de 5 années des essais fumure sur précédent betteraves a été réalisée pour trois rapports :

- un froment vendu à 220€/t pour payer de l'ammonitrate à 240€/t → rapport 4 ;
- de l'azote acheté à 260€/t pour produire un froment à 160€/t → rapport 6 ;
- prix de vente froment 140€/t, prix d'achat ammonitrate 300€/t → rapport 8.

Tableau 4.13 – Rapport entre prix azote- froment (kg de froment pour payer 1uN).

		€/1uN	Prix du froment (€/T)							
			100	120	140	160	180	200	220	240
prix azote (ammonitrate27%) en €/T	100	0,4	3,7	3,1	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5
	120	0,4	4,4	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0	1,9
	140	0,5	5,2	4,3	3,7	3,2	2,9	2,6	2,4	2,2
	160	0,6	5,9	4,9	4,2	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5
	180	0,7	6,7	5,6	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,8
	200	0,7	7,4	6,2	5,3	4,6	4,1	3,7	3,4	3,1
	220	0,8	8,1	6,8	5,8	5,1	4,5	4,1	3,7	3,4
	240	0,9	8,9	7,4	6,3	5,6	4,9	4,4	4,0	3,7
	260	1,0	9,6	8,0	6,9	6,0	5,3	4,8	4,4	4,0
	280	1,0	10,4	8,6	7,4	6,5	5,8	5,2	4,7	4,3
	300	1,1	11,1	9,3	7,9	6,9	6,2	5,6	5,1	4,6
	320	1,2	11,9	9,9	8,5	7,4	6,6	5,9	5,4	4,9
	340	1,3	12,6	10,5	9,0	7,9	7,0	6,3	5,7	5,2
	360	1,3	13,3	11,1	9,5	8,3	7,4	6,7	6,1	5,6
380	1,4	14,1	11,7	10,1	8,8	7,8	7,0	6,4	5,9	
400	1,5	14,8	12,3	10,6	9,3	8,2	7,4	6,7	6,2	

L'utilisation d'un programme statistique a permis de réaliser des simulations de rendement phytotechnique et économique pour plusieurs de ces rapports.

Pour l'essai 2010, sont représentées sur la Figure 4.5 d'une part la fumure qui a permis d'obtenir le maximum phytotechnique (98 qx/ha avec une fumure de 225 N/ha) et d'autre part la courbe d'évolution de la fumure économique optimale pour les différents rapports prix N/froment. Pour des rapports de 0 à 5, la courbe diminue rapidement en passant de 225 N à 140 N pour se stabiliser ensuite autour de 125 N. Une détérioration de la situation économique (augmentation du rapport), conduit à des doses d'azote économiquement optimales plus faibles.

4. La fumure azotée

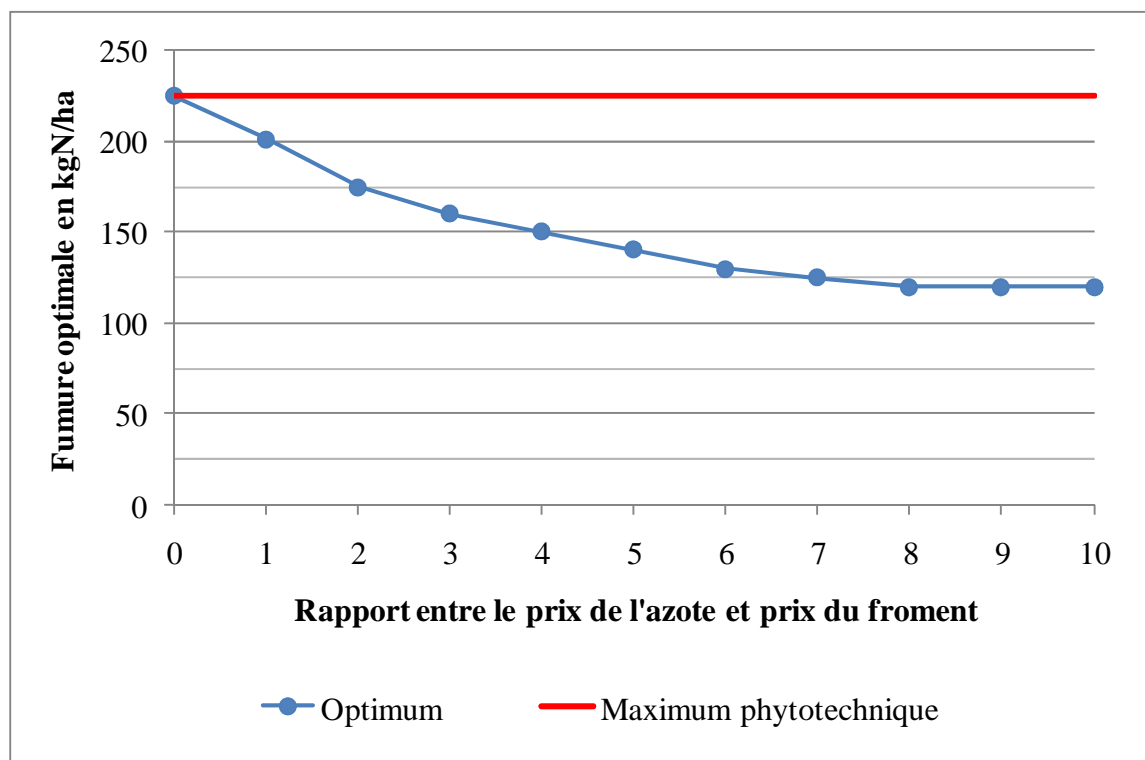


Figure 4.5 – Evolution de la fumure optimale calculée pour la variété Julius en fonction du rapport entre le prix d'achat de l'azote et du prix de vente du froment et fumure permettant d'atteindre le maximum phytotechnique – Lonzée 2010.

Pour la synthèse des cinq dernières années, les fumures économiquement optimales sont reprises au niveau du tableau 4.14 pour les trois rapports azote-froment (4, 6 et 8).

Les fumures procurant le rendement phytotechnique maximal sont comprises entre 225 et 275 N/ha. Les fumures économiquement optimales sont quant à elles comprises entre 125 et 250 N/ha. D'un essai à l'autre, la diminution du niveau des fumures optimales est très différente. En 2009, le rendement maximal est atteint avec 275 N alors que les fumures optimales varient de 250 à 225 N soit une diminution maximale de 50 N/ha. A l'opposé, en 2010, le rendement maximal est atteint avec 225 N/ha, alors que les fumures optimales vont de 150 à 125 N/ha soit une diminution de l'optimum pouvant atteindre 100 N/ha.

L'envol des prix de vente des céréales et d'achat des engrais pose souvent question en termes d'augmentation ou non de la dose totale d'azote à amener à la culture. Pour l'instant rien ne doit pousser l'agriculteur à modifier le raisonnement agronomique et raisonné de la fumure. Il faut garder à l'esprit que d'une année à l'autre, la réponse de la culture à l'azote sera différente (maladies, climat, ...). Une faim d'azote peut très vite être dommageable pour la culture (perte de rendement significative) et inversement un excès d'azote rendra la culture plus difficile à conduire (verse, maladies).

Tableau 4.14 – Fumures procurant le rendement phytotechnique maximal (Nmax), fumures économiquement optimales (Nopt) pour les 3 rapports étudiés ainsi que le rendement phytotechnique procuré par ces fumures optimales- essais fumure semés en octobre après betteraves de 2006-2010 – Loncée –GxABT.

Année n°essai	Rdt phytotechnique max		Rendement phytotechnique correspondant à la fumure optimale					
			Rapport 4		Rapport 6		Rapport 8	
	Nmax	RDT max	Nopt	Rdt	Nopt	Rdt	Nopt	Rdt
	kg N/ha	qx/ha	kg N/ha	qx/ha	kg N/ha	qx/ha	kg N/ha	qx/ha
FH2010-10	125-100	98	125-25	96	125-0	95	125-0	95
FH2009-06	125-150	131	100-150	129	100-150	130	75-150	128
FH2008-26	125-150	109	125-100	107	125-75	106	125-50	104
FH2007-16	125-125	101	125-50	99	125-50	99	100-25	96
FH2006-04	100-150	111	100-100	110	75-100	109	75-75	107

1.2.5 Conclusion des expérimentations 2010

La méthode de calcul « Livre blanc » en trois fractions a permis d'obtenir des rendements équivalents aux maxima observés dans les essais de 2010. Le fractionnement en deux apports a donné des rendements inférieurs principalement pour le précédent froment ce qui est conforme à ce qui était attendu au vu du faible développement des froments à la sortie de l'hiver et des relativement faibles teneurs en N des profils sortie hiver.

1.3 Recommandations pratiques

1.3.1 Azote minéral du sol sous froment d'hiver, situation au 10 février 2011

1.3.1.1 Climat en automne et hiver 2010-2011

Tableau 4.15 – Températures et précipitations moyennes (Ernage – Gembloux).

	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
	Température moyenne (°C)					
Observée	16,8	13,8	10,2	5,8	-1,2	3,8
Normale	16,5	13,9	10,1	5,5	3,0	1,7
	Précipitations (mm)					
Observées	200,0	64,4	48,3	98,1	75,6	87,6
Normales	75,2	62,8	65,7	75,0	72,1	65,5

Les températures (tableau 4.15) ont été proches de la normale d'août à novembre ; en décembre, elles ont fortement chuté pour se trouver inférieures à la normale et ensuite remonter en janvier au dessus de la normale. Hormis en octobre, la pluviosité a toujours été au dessus de la normale. Août a été très exceptionnellement pluvieux avec 200 mm et dans une moindre mesure Novembre avec 98 mm.

4. La fumure azotée

1.3.1.2 Situation moyenne du profil en azote minéral du sol en février 2011

Un échantillonnage des profils en froment d'hiver a été réalisé **sur 90 cm** (tableau 4.16). Seuls quelques profils ont pu être sondés en début février jusque 1,50 m. Ces profils ont été réalisés par l'Unité Fertilité des sols et Protection des eaux du CRA-W et par Grenera de GxABT.

Tableau 4.16 – Comparaison pour les 10 dernières années des réserves en azote minéral du profil du sol (kg N/ha) – CRA-W.

	Année	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Moy
	Nb de situations	19	7	10	12	12	11	33	25	30	45	
Profondeur	0-30 cm	12	16	9	12	23	15	15	13	12	14	14
	30-60 cm	12	15	22	30	24	26	25	21	17	19	21
	60-90 cm	14	16	26	22	16	21	31	19	25	19	21
	90-120 cm	11	11	13	14	10	12	18	10	12	14	13
	120-150 cm	10	11	12	12	9	11	17	7	12	13	11
	Total 0-150	59	69	82	90	82	85	106	70	78	78	80

Les cases grisées contiennent des valeurs estimées sur base des observations des années antérieures. En raison des conditions climatiques, beaucoup de prélèvements n'ont été possibles que sur un profil de 0-90 cm.

1.3.1.3 Comparaison entre les précédents

Tableau 4.17 – Profil en azote minéral du sol **sur 90 cm** pour différents précédents (kg N/ha).

		Betterave	Colza	Maïs	Pomme de terre	Lin	Chicorée	Froment	Feverole
	Nb de situations	9	9	8	8	4	1	5	1
Profondeur	0-30 cm	16	14	15	15	13	11	9	17
	30-60 cm	19	16	22	27	20	17	15	14
	60-90 cm	16	19	20	28	22	15	17	14
	Total 0-90	51	49	57	69	55	43	40	45

Tableau 4.18 – Profil en azote minéral du sol **sur 150 cm** pour différents précédents (kg N/ha).

		Maïs	Lin	Pomme de terre	Feverole	Froment	Betterave	Moyenne
	Nb de situations	1	1	1	1	1	2	
Profondeur	0-30 cm	13	15	13	17	11	12	13
	30-60 cm	17	24	29	14	14	12	18
	60-90 cm	16	20	28	14	15	12	18
	90-120 cm	10	17	24	14	11	10	14
	120-150 cm	10	16	19	15	11	8	13
	Total 0-90	46	60	70	45	40	36	49
	Total 0-150	67	92	113	73	62	54	77

La quantité d'azote minérale disponible en surface (60 cm) est généralement faible et varie de 23 à 41 kg (tableau 4.17). Ces profils peuvent être considérés comme pauvres après la plupart des précédents (< 50 kg N/ha). Les profils après Colza, 49 N/ha sur 90 cm, sont beaucoup plus faibles que les profils des dernières années à savoir 74 N/ha sur 90 cm en 2010 et 81 N/ha en 2009. Il en est de même après les Féveroles.

Les quantités d'azote présentes dans les horizons profonds entre 90 cm et 150 cm ne sont pas différentes des teneurs habituellement observées à cette profondeur.

1.3.1.4 Conseils en fonction de l'état des cultures

Dans les semis de la plateforme de Lonzée, à la date du 10 février, les stades des froments observés dans les essais « dates de semis » sont :

- Semis de mi-octobre : début tallage ;
- Semis de mi-novembre : 1^{ère} feuille.

Dans les régions plus précoces (Hainaut, Hesbaye Liégeoise) les semis précoces présentent des stades de développement plus avancés.

Le schéma de fumure en 3 fractions sera privilégié dans la majorité des semis effectués après la mi-octobre, où les froments présentent un retard dans leur développement ainsi que dans les situations où les cultures ont souffert (terres coulées, mauvaise structure, semis difficiles, mauvaise levée).

Le schéma de fumure en 2 fractions sera, par contre, privilégié dans les situations où les cultures présentent déjà deux talles à la mi-février (semis et régions précoces) et où de l'azote est disponible en quantité suffisante (redistribution fréquente de matière organique, précédent légumineuses, pomme de terre).

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 ;
- épuisant 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'efficacité 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 culturales (figure 4.6).

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.

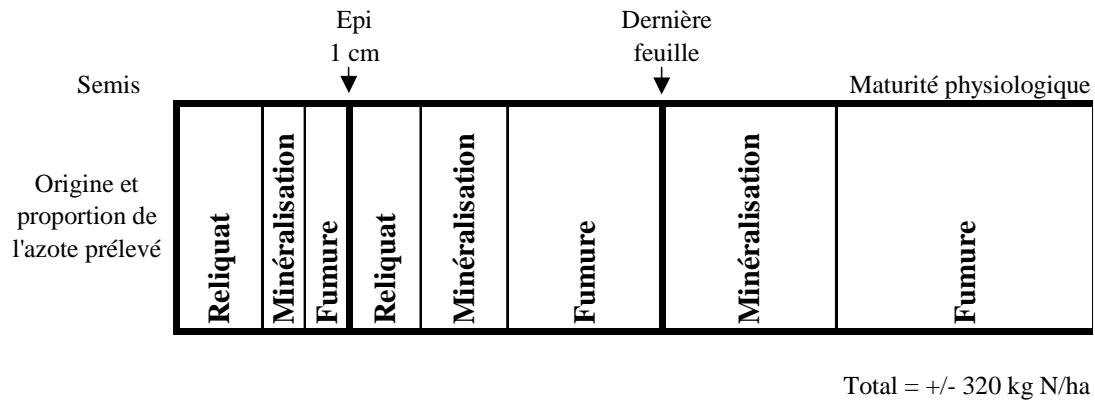


Figure 4.6 – Absorption d'azote par le froment d'hiver et son origine.

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.

4. La fumure azotée

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 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

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

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 :

- **Apport en 3 fractions :**
 - Tallage
 - Redressement
 - Dernière feuille
- **Apport en 2 fractions :**
 - Intermédiaire tallage-redressement
 - Dernière feuille

4. La fumure azotée

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.

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 prélèvements par la culture sont quasi inexistantes 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.

4. La fumure azotée

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.

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.