

2. La fertilisation azotée

N. Vannoppen¹, G. Wain¹, B. Godin², C. Vandenberghe³, O. Mahieu⁴, J. Pierreux⁵, P.-Y. Werrie², V. Reuter², L.-M. Blondiau⁴, C. Collin⁶, A. Vilret⁷ et B. Dumont⁵

2.1	Bilan de la saison culturelle 2023-2024.....	40
2.2	La fertilisation azotée en froment d'hiver.....	42
2.2.1	Résultats des expérimentations en 2024	42
2.2.2	Relation entre force boulangère et rendement à l'hectare	56
2.2.3	Les éléments à considérer pour une recommandation pratique....	61
2.2.4	La détermination pratique de la fertilisation azotée	64
2.2.5	Fertilisation du froment d'hiver avec des matières organiques	68
2.3	La fertilisation azotée en escourgeon.....	74
2.3.1	Résultats des expérimentations en 2024	74
2.3.2	Analyses des reliquats pour la campagne 2025	80
2.3.3	Conseil de fertilisation pour la saison culturelle 2025.....	81
2.4	La fertilisation azotée de l'association du froment d'hiver et du pois protéagineux d'hiver.....	84
2.4.1	Etat de l'association en sortie d'hiver.....	84
2.4.2	La fumure conseillée pour la saison 2024-2025	84

¹ CePiCOP asbl – Centre Pilote wallon des Céréales et Oléo-Protéagineux – Subventionné par SPW – ARNE

² CRA-W – Département Connaissance et Valorisation des Produits – Unité Valorisation des Produits, de la Biomasse et du Bois

³ ULiège – Gx-ABT – Axe Echanges Eau-Sol-Plante – GRENeRA (membre de la Structure PROTECT'eau)

⁴ C.A.R.A.H. asbl. Centre pour l'Agronomie et l'Agro-industrie de la Province du Hainaut

⁵ ULiège – Gx-ABT – Axe Plant Science – Phytotechnie

⁶ RequaSud – Laboratoire de la Province de Liège

⁷ O.P.A. – Office Provincial Agricole – Province de Namur

2.1 Bilan de la saison culturelle 2023-2024

Semis et automne 2023 – La saison des céréales d'hiver a débuté dans des conditions idéales sous des températures anormalement douces, de fin septembre à mi-octobre, pour les semis d'escourgeon. Après une levée sans encombre, les jeunes plantules ont bénéficié de cet automne chaud et humide, propice à une croissance selon un rythme soutenu. En revanche, la période de semis au-delà de la mi-octobre a été particulièrement longue, perturbée par les fortes pluies survenues à partir du 18 octobre. Quelques jours d'accalmie fin novembre et mi-décembre ont permis des semis tardifs dans des conditions généralement difficiles. Lorsqu'elles n'étaient pas sous eaux, des levées hétérogènes et des phénomènes de battance ont souvent été observés dans les parcelles.

Hiver 2023-2024 – La saison se poursuit et fait toujours face aux précipitations et aux températures douces. Si les premiers mois de l'hiver correspondent normalement à une période de repos végétatif, les céréales bien aidées par ces conditions climatiques exceptionnelles ont émis de nombreuses talles et produit une biomasse aérienne importante. En janvier, une alternance de jours froids et de redoux a été enregistrée. Les jeunes emblavures ont fait face à ces gelées dans des sols gorgés en eau sous une faible couverture neigeuse, les exposant ainsi aux risques de gel. Le mois de février a été particulièrement doux et, encore une fois, humide, provoquant des asphyxies racinaires dans certains champs. La différence de développement entre les semis précoces et les plus tardifs était particulièrement marquée à la sortie de l'hiver.

Cette croissance presque ininterrompue et les précipitations abondantes de cet hiver ont forcément eu une incidence significative sur la quantité d'azote minéral présente en sortie d'hiver dans le profil de sol des emblavures de céréales. Les analyses de sol effectuées à cette période ont montré que l'azote n'était plus présent en quantités importantes dans les parcelles d'escourgeon (22 kg N/ha sur 90 cm) et de froment (35 kg N/ha sur 90 cm). De plus, elles ont révélé une répartition inégale de l'azote entre les horizons. Les précipitations ont favorisé la migration de l'azote vers le fond du profil et ont contribué à enrichir le dernier horizon. Ces reliquats azotés présentaient une grande variabilité entre parcelles, en fonction du précédent cultural. Une fois de plus, ces situations soulignent l'importance d'ajuster en cours de saison la fertilisation de référence préconisée par le Livre Blanc de février, via les observations de terrain et nos campagnes d'avertissements. Les premières applications d'engrais en escourgeon ont pu avoir lieu à partir de fin février entre les précipitations. Les terres emblavées avec du froment d'hiver ont généralement reçu leur première fraction dans le courant du mois de mars.

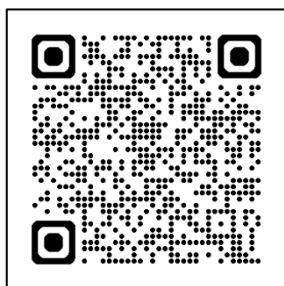
Printemps 2024 – Le début du printemps a été chaud et humide, mais surtout marqué par un manque d'ensoleillement persistant, aggravant les retards de croissance des semis tardifs et renforçant l'hétérogénéité entre les stades de développement. En avril, les écarts de températures diurnes et nocturnes ont impacté la fertilité des épis des céréales qui présentaient des stades de développement trop avancés pour la saison. Le mois de mai a été humide, sombre et relativement chaud, affectant la floraison et le remplissage des grains.

Bien que ces pluies aient souvent rendu difficile l'accès aux terres, la mise à disposition de l'azote pour les céréales auraient dû être facilitée. La première et seconde fraction semblaient avoir été bien valorisées par les peuplements. Les champs d'escourgeon et de froment ne semblaient pas présenter des symptômes de carences et montraient des biomasses importantes. Néanmoins, les précipitations anormalement excessives de l'année 2023-2024, ont saturé les sols en eau entraînant une diminution de la concentration en oxygène dans ceux-ci. En complément de l'anoxie observée directement pour les plantes, ces conditions anaérobiques

peuvent entraîner des pertes d'azote par le phénomène de dénitrification (certains micro-organismes transforment le nitrate (NO_3^-) en nitrite (NO_2^-) puis libèrent des gaz à effet de serre (N_2O)). Ce phénomène, couplé à d'autres facteurs observés durant cette saison, a pu provoquer des carences en azote dans les parcelles.

Fin de cycle et récolte – Le mois de juin, frais et pluvieux, a ralenti la croissance et limité les excès d'avancement, limitant ainsi les phénomènes de verse. La récolte des escourgeons, entre fin juin et mi-juillet, a montré des rendements inférieurs aux autres années, bien que la qualité des grains soit restée correcte. Le froment, récolté à partir de fin juillet, a également affiché des rendements très bas avec des grains présentant une bonne qualité panifiable et une teneur en protéines moyenne. Néanmoins, l'agencement des grains (poids à l'hectolitre) était particulièrement mauvais.

Pour plus d'informations sur la qualité des froments d'hiver de la récolte 2024, scannez le QR code suivant :



Chapitre 5 – Livre Blanc septembre 2024 : Qualité technologique et sanitaire des froments d'hiver de la récolte 2024.

2.2 *La fertilisation azotée en froment d'hiver*

2.2.1 Résultats des expérimentations en 2024

Les résultats des essais sont présentés ci-dessous ; deux d'entre eux ont été implantés dans la région de Gembloux (Lonzée) par le Centre Pilote wallon des Céréales et Oléo-Protéagineux (CePiCOP) en collaboration avec la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège. Un troisième essai a également été mis en place par ces deux institutions à Ciney dans le Condroz sur une parcelle de l'Ecole d'Agronomie et des Sciences de Ciney (EPASC). Enfin, le quatrième essai a été réalisé par le CARAH à Ath dans le Hainaut.

Pour l'interprétation des résultats, il convient de rappeler quelques définitions importantes :

- **le rendement phytotechnique** est défini comme le rendement brut, exprimé en quintaux à l'hectare (q/ha) selon un taux d'humidité corrigé à 15%, récolté sur la parcelle ;
- **le rendement économique** représente le rendement phytotechnique duquel on déduit l'équivalent en poids de grain (q/ha), correspondant au coût de la quantité totale d'engrais azoté appliquée.

Dans une démarche économique pour l'agriculteur, mais également plus respectueuse de l'environnement, ce sont les résultats exprimés en termes de rendement économique qu'il faut retenir.

Le prix de vente retenu pour le froment d'hiver en 2024 est de 190 €/t et le prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrat 27 %) a été fixé à 310 €. Les rendements économiques qui sont repris dans ce chapitre sont donc exprimés selon le rapport 6, à savoir qu'1 kilogramme d'azote correspond à 6 kilogrammes de froment (1 kg N = 6 kg de froment). Pour rappel, ce même rapport était de 8.5 dans le Livre Blanc de février 2023 et de 6.5 en février 2024.

• Itinéraire cultural des essais « fumure azotée »

Les itinéraires techniques des essais « fumure » sont détaillés dans le Tableau 1. Chaque essai a été mené suivant un itinéraire technique propre aux conditions régionales. Les deux essais de Lonzée ont des itinéraires relativement proches mais légèrement différents des essais à Ath et à Ciney. Les interventions culturales ont été réalisées aux moments les plus adéquats.

L'itinéraire technique des deux essais menés à Lonzée est caractérisé par un même précédent cultural (pomme de terre) et un suivi phytotechnique identique (désherbage, raccourcisseur et fongicide). La pression en maladie étant plus importante cette année, il a été décidé d'appliquer un programme fongicide comprenant un premier traitement au stade 2 nœuds (BBCH 32) et un second traitement au moment de l'épiaison (BBCH 55). Un seul désherbage a été réalisé à la sortie de l'hiver afin de limiter la prolifération des adventices. Le premier traitement, durant l'automne, permettant de cibler les graminées et les dicotylées à des stades juvéniles, n'a pas pu être réalisé cette année. Ces essais se distinguent par les variétés employées et par l'application de fumures spécifiques (ce point sera abordé ultérieurement). Les parcelles du premier essai ont été semées avec du Chevignon. Pour le deuxième essai, cinq variétés reconnues pour leur bonne aptitude à la panification ont été utilisées. Sur ce site, le reliquat azoté mesuré en sortie d'hiver sur une profondeur de 90 cm, était de 29 kg N_{min}/ha.

Un troisième essai a été semé avec la variété Chevignon à Ciney, après un précédent maïs. Un désherbage a été réalisé à la sortie de l'hiver. Un régulateur et deux traitements fongicides ont été appliqués durant la montaison afin de protéger la culture et limiter les risques de verse. Un insecticide a également été pulvérisé au moment de la floraison (BBCH 65) pour lutter contre les pucerons de l'épi. Sur ce site, le reliquat azoté mesuré en sortie d'hiver sur une profondeur de 60 cm était de 11 kg N_{min}/ha.

Le quatrième essai a été semé à Ath avec la variété fourragère LG Skyscraper, après un précédent maïs. Un premier désherbage a été réalisé au mois de novembre suivi d'un second traitement herbicide effectué au début du printemps. Deux régulateurs et trois traitements fongicides ont été appliqués durant la montaison lors de cette année à forte pression en maladies. Sur ce site, le reliquat azoté mesuré en sortie d'hiver sur une profondeur de 90 cm, était de 21 kg N_{min}/ha.

Les protocoles et les résultats de ces quatre essais sont présentés dans les points suivants.

Tableau 1 – Conduite culturale des essais sur la fumure azotée menés en 2024 à Lonzée (CePiCOP – Gx-ABT, ULiège), à Ciney (CePiCOP – Gx-ABT – EPASC) et à Ath (CARAH).

Interventions	Lonzée			Ciney			Ath	
	Caractéristiques	Valeur/ Date	Caractéristiques	Valeur/ Date	Caractéristiques	Valeur/ Date	Caractéristiques	Valeur/ Date
Choix variétal	Chevignon (Q2)	-	5 variétés (Q1/ Q1A)	-	Chevignon (Q2)	-	LG Skyscraper (Q4B)	-
Semis	250 grains/m ²	18-oct	250 grains/m ²	18-oct	300 grains/m ²	24-nov	350 grains/m ²	17-oct
Précédent	Pomme de terre	-	Pomme de terre	-	Mais	-	Mais	-
Reliquat azoté en sortie d'hiver (kgN/ha)	P : 0-30 cm P : 30-60 cm P : 60-90 cm Total N minéral	6 8 15 29	P : 0-30 cm P : 30-60 cm P : 60-90 cm Total N minéral	6 8 15 29	P : 0-30 cm P : 30-60 cm P : 60-90 cm Total N minéral	4 7 -	P : 0-30 cm P : 30-60 cm P : 60-90 cm Total N minéral	7 6 8 21
Apport de fumure	T IR R 2N DF E	19-mars 02-avr 10-avr - 08-mai -	T IR R 2N DF E	19-mars - 10-avr 18-avr 08-mai 22-mai	T IR R 2N DF E	22-mars 04-avr 15-avr - 16-mai -	T IR R 2N DF E	07-mars 25-mars 03-avr - 13-mai -
Désherbage	Sigma Star (330 g/ha) + Biathlon duo (70 g/ha) + Végétop (1 l/ha)	21-mars	Sigma Star (330 g/ha) + Biathlon duo (70 g/ha) + Végétop (1 l/ha)	21-mars	Sigma Star (280 g/ha) + Actirob (1 l/ha)	20-mars	Herold (0,6 l/ha) + AZ 500 (0,15 l/ha) Finy (20 g/ha) + Starane Forte (0,1 l/ha) + Primus (75 cc/ha)	24-nov 26-mars
Régulateur	CCC 750 (1 l/ha)	12-avr	CCC 750 (1 l/ha)	12-avr	Stabilan 750 (0,75 l/ha) + Mérox Max (300 g/ha)	09-mai	Cycocel 75 (1 l/ha) Cycofix (1 l/ha) + Moxa (0,9 l/ha)	26-mars 08-avr
Fongicide	Simvéris (0,6 l/ha) + Aquino (1,2 l/ha) + Stavento (1,5 l/ha)	22-avr	Simvéris (0,6 l/ha) + Aquino (1,2 l/ha) + Stavento (1,5 l/ha)	22-avr	Simvéris (1 l/ha) + Lenzyro (1 l/ha)	09-mai	Librax (1,5 l/ha) + Stavento (1,5 l/ha) Aquino (1,25 l/ha) + Protendo (0,3 l/ha) + Vélogy Era (0,6 l/ha) + Tébucur (0,3 l/ha)	23-avr 13-mai
Insecticide	Velogy Era (1 l/ha)	27-mai	Velogy Era (1 l/ha)	27-mai	Keynote (1,5 l/ha)	28-mai	Kestrel (1 l/ha)	29-mai
Récolte	-	25-juil	-	29-juil	Sparviero (50 ml/ha)	28-mai	-	-
					-	08-août	-	20-juil

Q1A : Froment panifiable premium améliorant belge ; Q1 : Froment panifiable premium belge ; Q2 : Froment panifiable supérieur belge ; Q4B : Froment basique belge biscuitier

P : profondeur ; T : tallage ; TR : Tallage-Redressement ; R : Redressement ; 2N : Deuxième neud ; DF : Dernière feuille ; E : Epiaison

• Analyse des résultats de l'essai « fumure » mené à Ath en 2024 (CARAH)

Les résultats de l'essai mené par le CARAH sur la fertilisation azotée du froment d'hiver sont repris dans le Tableau 2. Le premier objet de ce protocole est le témoin. Il ne reçoit aucun apport d'azote minéral. Les objets 2 à 4 et 6 à 10 comportent des fumures en trois fractions. L'objet 6 reprend la fumure liée aux recommandations du CARAH. L'objet 7 se différencie de l'objet 6 par un apport d'engrais azotés sous forme de sulfonitrate (26 N/31S) lors de la première

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

fraction, au moment du tallage. Enfin, les objets 5 et 8 correspondent aux fumures de référence en deux ou trois fractions proposées par le Livre Blanc de février 2024.

Tableau 2 – Résultats de l'essai « fumure » à Ath (CARAH) en 2024. Ce tableau reprend les rendements phytotechniques et économiques (q/ha), le poids à l'hectolitre P/HL (kg/hl), la teneur en protéines (%) et l'indice de Zélény (ml).

N° Objet	T	TR	Red	DF	Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Prot. [%MS]	Zeleny [ml]
1	-	-	-	-	0	54,0	54,0	76,1	8,9	11
2	40	-	30	40	110	81,7	75,1	76,1	9,9	12
3	45	-	40	45	130	84,5	76,6	76,6	10,5	12
4	50	-	50	50	150	88,0	79,0	76,8	10,6	12
5	-	95	-	75	170	88,6	78,3	76,4	11,3	15
6	60	-	60	60	180	88,6	77,8	76,8	10,9	13
7	60**	-	60	60	180	88,8	77,9	76,2	11,2	13
8	60	-	60	65	185	89,4	78,3	76,0	11,3	14
9	80	-	60	70	210	91,8	79,1	76,8	11,3	13
10	90	-	60	80	230	89,8	75,9	76,3	11,4	14

Pour chaque paramètre, les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale (test de Student-Newman-Keuls à 0,05 via R). Pour les rendements phytotechniques et économiques, un gradient de couleur permet de mieux visualiser les différences entre les valeurs proches de l'optimum économique. T : tallage; TR : Tallage-Redressement; Red : Redressement; DF : Dernière feuille.

** Avec du Sulfonitrile 26N/31S

Rendements phytotechniques et économiques

Le rendement phytotechnique maximal, soit 92 q/ha, est obtenu avec une fumure totale de 210 kg N/ha apportée en trois fractions (80-60-70). Mis à part le témoin et les objets 2 et 3, les autres objets testés dans cet essai présentent des niveaux de production statistiquement équivalents au rendement maximal.

Concernant le rendement économique, tous les objets testés, hormis le témoin, ont permis d'obtenir des rendements économiques statistiquement équivalents à l'optimum. Cet optimum est atteint par les objets 9 et 4 avec 79 q/ha. Ces objets correspondent à une fumure en trois fractions, respectivement répartie comme suit (80-60-70) et (50-50-50). Les fumures 6 et 7 recommandées par le CARAH, ainsi que les fumures recommandées par le Livre Blanc de février 2024 (objets 5 et 8), sont également proches de cet optimum. D'après ces résultats, une dose totale supérieure à 210 kg N/ha et inférieure à 130 kg N/ha semblent moins pertinentes sur le plan économique.

Poids à l'hectolitre (P/HL)

Il n'existe pas de différences statistiques significatives entre les modalités de l'essai. Par conséquent, il semble que la fumure ait eu peu d'influence sur ce paramètre. De manière générale, et assez étonnamment, les poids à l'hectolitre mesurés cette année sur cet essai sont supérieurs aux normes minimales de réception (> 75 kg/hl).

Teneur en protéines

L'objet 10 présente la teneur en protéines (11,4 %) la plus élevée. Ce taux de protéines est dû à la fertilisation azotée conséquente appliquée sur cet objet. Pour cet essai, la teneur en protéines moyenne est de 10,7 % et est conforme à ce qu'on peut attendre d'une variété biscuitière (Q4B) comme LG Skyscraper.

Les **fumures de référence en deux et trois fractions** (objets 5 et 8), recommandées par le Libre Blanc de février 2024, ont permis d'être proche du maximum phytotechnique et économique. Lors de cette saison culturelle particulière, une fertilisation de 210 kg N/ha en 3 fractions (objet 9) a permis d'atteindre le maximum phytotechnique et économique.

- **Analyse des résultats des essais « fumure » sur une variété fourragère (Chevignon) menés à Lonzée et Ciney en 2024 (CePiCOP – Gx-ABT, ULiège - EPASC)**

a. Résultats en région Limoneuse (Lonzée)

La seconde analyse est réalisée sur l'essai « fumure » implanté à Lonzée, après un précédent pomme de terre. Le Tableau 3 reprend le protocole mis en œuvre et les résultats pour différents paramètres mesurés sur cet essai.

Trente modalités « fumure » ont été testées sur la variété Chevignon, implantée en micro-parcelles. Cette variété de froment d'hiver est, depuis plusieurs années, la plus cultivée en Wallonie. Elle peut être utilisée pour l'alimentation humaine (variété Q2 – Panifiable belge supérieur) mais est surtout valorisée comme fourrage. Les modalités « fumure » varient à la fois sur la dose totale d'azote appliquée et sur le fractionnement des apports.

Le premier objet de ce protocole est le témoin. Il ne reçoit aucun apport d'azote minéral. Les objets 2 à 22 constituent le protocole factoriel avec des apports de 60, 90 et 120 kg N/ha, hormis l'objet 5. Les objets 23 et 24 correspondent à la fumure de référence en trois fractions recommandées par le Livre Blanc de février 2024. Pour l'objet 24, cette fumure de référence a été adaptée selon l'état de la culture et la situation de la parcelle en tenant compte des facteurs de correction. Les objets 25 et 26 reprennent la fumure de référence en deux apports proposés par le Livre Blanc en 2024. La fumure appliquée sur l'objet 26 a également été adaptée sur base des mêmes paramètres que l'objet 24.

L'objet 27 correspond à un schéma de fertilisation dans lequel la dernière fraction est réduite de 30 unités. Cette modalité permet d'évaluer l'effet sur le rendement et sur la qualité, d'une diminution de la dose d'azote au moment du dernier apport. Les objets 28 et 29 sont à mettre en relation avec l'objet 24. Ces deux modalités permettent d'évaluer l'intérêt d'augmenter la première fraction par rapport à la fumure de référence. Enfin, l'objet 30 est une fumure caractérisée par des apports importants en sortie d'hiver, lors de la première et de la deuxième fraction.

Rendements phytotechniques et économiques

Le rendement phytotechnique maximal s'élève à 84 q/ha (Tableau 3). Il est obtenu avec une fumure totale de 240 kg N/ha (objet 20) apportée en deux fractions, au tallage et à la dernière feuille. La plupart des fumures, en deux ou trois fractions, comprises entre 150 et 240 kg N/ha, même parfois de 120 kg N/ha, affichent des niveaux de production statistiquement équivalents à ce maximum phytotechnique. Ces fumures sont mises en évidence dans les cellules grisées dans la colonne « Rdt Phyto [q/ha] » du Tableau 3. A noter que les fumures recommandées par le Livre Blanc (objets 23 à 26) permettent également d'atteindre un rendement équivalent au maximum phytotechnique. Toutefois, les niveaux de production atteints cette année sur cet essai sont relativement bas. En effet, la variété Chevignon a présenté un rendement phytotechnique moyen de 74,2 q/ha, contre 116,8 q/ha en 2023.

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

Tableau 3 – Résultats de l'essai « fumure » réalisé à Lonzée sur la variété fourragère Chevignon. Ce tableau reprend les rendements phytotechniques et économiques (q/ha), le poids à l'hectolitre P/HL (kg/hl), le poids de 1000 grains PMG (g), le nombre d'épis/m² (épis/m²), la teneur en protéines (% MS), l'indice de Zélény (ml), la force boulangère W (10⁴ J) et la valeur du rapport de la force boulangère sur le taux de protéines W/P.

N° Objet	T TR Red DF	Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	PMG [g]	Nbre épis [épis/m ²]	Prot. [% MS]	Zélény* [ml]	W* [10 ⁴ J]	W/P*
1	- - - -	0	49,4	49,4	72,1	37,7	285	9,2	25	101	11,0
2	- - - 60	60	59,7	56,0	69,3	32,4	308	11,2	34	179	16,0
3	- - 60 -	60	63,8	60,2	70,9	35,2	355	10,1	29	146	14,5
4	60 - - -	60	71,2	67,6	73,1	39,1	383	9,4	27	124	13,3
5	40 - 60 85	185	78,4	67,3	70,9	35,5	380	12,8	52	244	19,1
6	60 - - 60	120	75,8	68,6	71,6	35,0	388	11,3	37	204	18,0
7	60 - 60 -	120	77,6	70,4	72,6	37,9	427	10,7	33	171	15,9
8	60 - 60 60	180	82,5	71,6	71,8	36,9	392	12,4	50	210	16,9
9	- - - 90	90	62,0	56,6	67,7	30,8	315	12,7	44	280	22,1
10	- - 90 -	90	66,6	61,2	70,1	33,9	333	11,2	36	200	17,9
11	90 - - -	90	73,6	68,2	72,0	37,3	405	9,7	28	122	12,5
12	- - 90 90	180	66,4	55,5	68,0	31,4	404	13,6	59	297	21,8
13	90 - - 90	180	80,0	69,2	71,4	35,0	385	12,4	48	261	21,0
14	90 - 90 -	180	80,8	70,0	71,9	35,3	416	12,4	47	254	20,5
15	90 - 90 90	270	81,0	64,7	70,8	33,7	411	13,6	58	308	22,7
16	- - - 120	120	60,0	52,7	68,2	31,3	325	12,9	50	264	20,4
17	- - 120 -	120	67,5	60,2	68,6	33,8	388	12,4	44	266	21,4
18	120 - - -	120	77,4	70,1	72,4	36,6	411	10,5	31	178	16,9
19	- - 120 120	240	67,9	53,4	67,9	31,9	378	14,3	63	283	19,8
20	120 - - 120	240	84,3	69,8	71,7	35,1	387	13,1	56	276	21,0
21	120 - 120 -	240	81,2	66,6	71,0	34,1	414	13,4	58	262	19,6
22	120 - 120 120	360	80,5	58,8	70,1	33,0	423	14,2	63	321	22,6
23	60 - 60 65	185	80,6	69,4	71,7	34,7	378	12,5	46	245	19,6
24	60 - 50 55	165	82,6	72,6	72,3	35,9	418	12,0	44	219	18,3
25	- 95 - 75	170	78,4	68,1	70,4	34,7	393	12,7	53	241	19,0
26	- 85 - 65	150	74,8	65,8	71,1	35,4	391	11,9	43	240	20,1
27	60 - 60 30	150	79,7	70,6	72,0	35,3	397	11,5	38	200	17,4
28	80 - 50 55	185	81,0	69,8	71,0	34,8	393	12,4	48	220	17,8
29	70 - 50 55	175	80,4	69,8	71,5	35,7	396	12,2	46	221	18,1
30	80 - 60 55	195	81,9	70,1	71,6	35,0	406	12,5	47	240	19,2
Moyenne de l'essai			74,2	64,8	70,9	34,8	383	12,0	45	226	18,5

Les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale observée pour un paramètre (test de Student-Newman-Keuls à 0,05 via R). Pour les rendements phytotechniques et économiques, un gradient de couleur permet de mieux visualiser les différences entre les valeurs proches de l'optimum. T : tallage; TR : Tallage-Redressement; Red : Redressement; DF : Dernière feuille. *Données mesurées sur un échantillon composite issu des 4 répétitions.

Le rendement économique optimal s'élève à 73 q/ha et est atteint avec la fumure de référence en trois fractions recommandées par le Livre Blanc, en tenant compte des facteurs correctifs (objet 24). Néanmoins, cette modalité présente une teneur en protéines plus faible (-0,5%) que l'objet 23. Les autres schémas de fertilisation conseillés en 2024, en 2 ou 3 fractions (objets 23, 25 et 26), sont également proches de cet optimum. D'un point vue économique, ces recommandations restent donc pertinentes dans le contexte actuel. Des rendements économiques statistiquement équivalents sont aussi obtenus avec des fumures totales plus élevées et plus faibles.

D'après la courbe de réponse reprise sur la Figure 1, l'optimum économique pour la saison 2023-2024 semble se situer dans une fenêtre comprise entre 150 et 195 kg N/ha. Dans le contexte actuel, le coût de ces fumures n'excède pas les 12 q/ha.

L'expérience prouve encore une fois qu'une fumure excessive, au-delà de 240 kg N/ha, est mal valorisée. Cette sur-fertilisation ne permet pas de déplafonner les rendements et de compenser les frais liés à l'utilisation d'engrais minéraux. Son intérêt sur le plan économique est donc nul puisqu'elle ne génère aucun gain supplémentaire. Cette affirmation se vérifie à nouveau en examinant la courbe de réponse reprise ci-dessous.

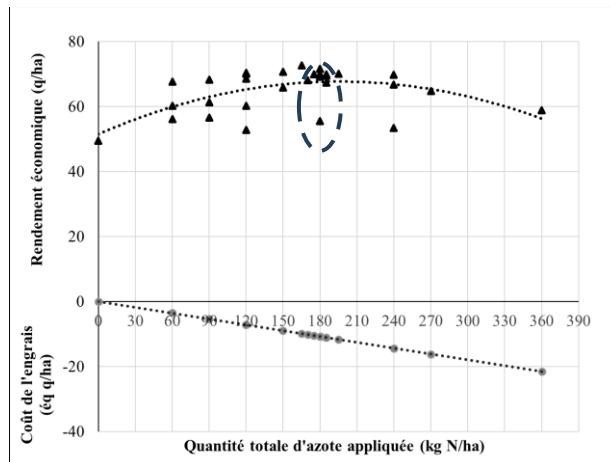


Figure 1 – Évolution du rendement économique [q/ha] et du coût de l'engrais [équivalent q/ha] en fonction de la dose de fertilisant appliquée dans le cadre de l'essai fumure sur la variété Chevignon mené à Lonzée.

Enfin, cette figure met également en avant l'influence du fractionnement sur le rendement qui se traduit par une certaine variabilité des résultats pour une même dose totale de fertilisant (ovale pointillé sur la figure).

Poids de mille grains et poids à l'hectolitre

Les poids de mille grains (PMG) et les poids à l'hectolitre (P/HL) mesurés sur cet essai ont été affectés par les mauvaises conditions de l'année culturelle 2023-2024. Néanmoins, très peu de dégâts liés à des problèmes de verse sont à déplorer sur les parcelles de cet essai.

À cause de ce contexte climatique défavorable, les poids de mille grains sont assez faibles, avec une valeur moyenne de 34,8 g contre 45,4 g en 2023. Avec un PMG de 39,1 g, l'objet 4 (60-0-0) est la modalité qui affiche la valeur la plus élevée pour ce paramètre mais suivant un potentiel de rendement faible. D'autres modalités avec des apports compris entre 0 et 180 kg N/ha se démarquent également en affichant des poids de mille grains statistiquement supérieurs aux objets pour lesquels les apports sont plus conséquents ou fractionnés différemment. Mis à part l'objet 8, les modalités reprenant le conseil Livre Blanc, ou d'autres schémas de fertilisation proches de la pratique, ont toutes un PMG significativement inférieur au maximum.

Le poids à l'hectolitre (P/HL) est également mauvais au regard de l'année écoulée. Sur cet essai, tous les objets ont présenté des P/HL inférieurs aux normes minimales de réception pour ce paramètre, avec une valeur moyenne égale à 70,9 kg/hl. La fertilisation azotée n'a pas permis de compenser les faibles P/HL obtenus cette année.

Teneur en protéines et force boulangère

Pour cet essai conduit avec du **Chevignon**, la teneur en protéines moyenne est égale à 12,0 % et est conforme à la tendance observée cette année. Sans surprise, l'objet 22 présente une des teneurs en protéines les plus hautes (14,2 %), juste devant l'objet 19. Ce taux de protéines élevé est dû à la fertilisation azotée excessive appliquée sur cet objet (360 kg N/ha). Les autres modalités ont des teneurs en protéines statistiquement inférieures. Néanmoins, il est important

de remarquer que les fumures en trois fractions avec une dose totale égale ou supérieure à 180 kg N/ha permettent d'obtenir des teneurs en protéines supérieures à 11,5%, minimum requis pour une valorisation en meunerie (seuil strict pour une variété Q2). Il est ainsi possible d'atteindre ce seuil en appliquant la fumure de référence en deux (95-75) ou trois fractions (60-60-65), recommandées par le Livre Blanc de février 2024, sur une variété Q2 comme **Chevignon**. Cette année, certaines modalités de fumure inférieures à 150 kg N/ha ont également atteint le minimum de protéines requis, principalement en raison des faibles rendements obtenus.

Les analyses effectuées sur les grains démontrent que la fertilisation a également une influence sur la force boulangère (W). La valeur de ce paramètre fluctue en fonction du fractionnement et de la quantité d'azote. Les modalités avec une fumure comprise entre 150 et 195 kg N/ha affichent systématiquement une force boulangère supérieure à 170, seuil minimum pour utiliser les grains d'une variété Q2 pour faire de la baguette. Toutefois, une fumure de minimum 170 kg N/ha sera requise pour obtenir un W de minimum 200, seuil strict pour la composition d'un mélange meunier (pain de mie).

Nombres d'épis/m²

Un nombre d'épis/m² élevé est généralement lié à des fertilisations azotées importantes. Pour ce paramètre, l'objet 22 (120-120-120) présente une des valeurs les plus élevées de cet essai avec 423 épis/m². L'analyse des résultats ne met en évidence que très peu de différences significatives entre les différents objets testés sur l'essai. Il semble néanmoins que les modalités ayant reçu une dose d'azote élevée au tallage présentent un nombre plus élevé d'épis/m². À l'inverse, les objets ne recevant qu'un seul apport d'azote à la dernière feuille affichent des valeurs plus faibles pour ce paramètre. La densité d'épis recherchée est comprise entre 400 et 500 épis/m² afin d'éviter les phénomènes de concurrence, de développer pleinement le potentiel de rendement et de qualité technologique. Dans une orientation alimentaire, le fractionnement de la fumure azotée ne sera pas orienté vers la production d'un nombre excessif d'épis. Une diminution de l'apport au tallage sera alors recommandée. On notera que le nombre d'épis/m² est donc plutôt bas cette année avec une moyenne de 383 épis/m², conséquence probable de l'excès en eau durant la croissance et le développement du froment. En effet, ce paramètre est influencé par la disponibilité en azote mais également impacté par les conditions climatiques observées durant la montaison.

Dans cet essai, **les fumures de référence en trois fractions**, avec ou sans les facteurs correctifs, qui avaient été conseillées lors du Livre Blanc de février 2024⁸, **ont permis d'atteindre des rendements phytotechniques et économiques optimum**. Les fumures de référence en deux fractions ont également permis de s'approcher de l'optimum. Ces fumures correspondent à une **fertilisation azotée raisonnée** qui permet d'optimiser **la production et la rentabilité de la culture**, tout en minimisant les risques pour l'environnement. **A condition d'opter pour une variété Q2**, la fumure de référence en trois fractions semble également être appropriée pour poursuivre un objectif qualité. En appliquant cette fumure, il est possible d'obtenir une teneur en protéines et une force boulangère supérieures aux minimum requis pour une valorisation de ce type de variété en meunerie.

⁸ Pour rappel, le Livre Blanc 2024 préconisait une fumure de référence en trois fractions : (60 N au tallage – 60 N au redressement – 65 N à la dernière feuille). Fumure de référence en deux fractions : (95 N au tallage-redressement – 75 N à la dernière feuille).

b. Résultats en Condroz (Ciney)

Depuis trois ans, le CePiCOP et la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech ont mis en place, en partenariat avec l'EPASC, un essai sur la fertilisation azotée du froment d'hiver en Condroz. L'objectif de cette démarche est relativement simple puisqu'il s'agit de vérifier si les fumures de référence recommandées chaque année à l'occasion du Livre Blanc de février sont également adaptées au contexte pédoclimatique du Condroz. Pour ce faire, l'essai mis en place sur une parcelle de la ferme de l'EPASC est semblable à celui implanté à Lonzée, dont les résultats ont été détaillés précédemment. La variété utilisée (Chevignon), le design expérimental et la plupart des modalités « fumure » testées sont communes aux deux sites.

Néanmoins, quelques modalités ont été adaptées en tenant compte des spécificités du Condroz où les sols sont plus superficiels et se réchauffent moins vite qu'en région limoneuse. Le protocole de cet essai reprend, bien entendu, les fumures de référence en 2 et 3 fractions recommandées par le Livre Blanc de février 2024 (objets 23 et 25), ainsi que les fumures après intégration des facteurs correctifs (24 et 26).

L'objet 2 correspond à un plan de fertilisation dans lequel la dernière fraction est réduite de 30 unités. Pour cette modalité, la logique poursuivie est la même que pour l'essai à Lonzée, c'est-à-dire évaluer l'effet sur le rendement et sur la qualité, d'une diminution de la fertilisation au moment du dernier apport. Cet objet peut être comparé aux modalités 7, 8 et 23 qui se différencient uniquement par la quantité d'azote appliquée à la dernière feuille.

Les objets 29 et 30 se démarquent des autres modalités par des apports plus importants au tallage, pratique courante dans le Condroz. Ils peuvent être comparés à l'objet 7 afin d'évaluer l'intérêt d'augmenter la dose épandue lors de la première fraction. Enfin, les objets 28, 27, 30 et 24 peuvent également être regroupés pour caractériser l'intérêt d'augmenter la fraction intermédiaire appliquée au moment du redressement.

Rendements phytotechniques et économiques

Les niveaux de production atteints sur cet essai sont globalement supérieurs à ceux observés sur le même essai à Lonzée, hormis pour le témoin sans azote (Tableaux 3 et 4). Le constat inverse avait été fait l'année passée, en s'appuyant sur le contexte pédoclimatique des deux régions et leur potentiel de rendement respectif. Néanmoins, pour cette année particulièrement humide, l'essai implanté à Ciney a mieux valorisé la fertilisation et a profité des capacités de drainage du sol limono-caillouteux de la parcelle. De plus, la date de semis plus tardive à Ciney a moins impacté le rendement que le semis précoce de Lonzée. Les rendements phytotechniques de cet essai sont toutefois plus bas qu'en 2023 avec une moyenne de 78,4 q/ha pour 2024, contre 98,6 q/ha l'année précédente.

L'objet 22 est la modalité qui a permis d'atteindre le rendement le plus élevé avec 94 q/ha. Cet objet correspond à une fumure excessive de 360 kg N/ha, répartie en trois fractions de 120 kg N/ha. Les modalités de référence 23, en 3 fractions, et 26, en 2 fractions corrigées, ont permis d'obtenir des niveaux de production proches de celui atteint par l'objet 22. La plupart des fumures en trois fractions comprises entre 175 et 270 kg N/ha affichent des rendements équivalents à ce maximum phytotechnique.

Enfin, même si l'analyse statistique ne met en avant aucune différence significative, des apports d'azote plus conséquents au tallage semblent générer un léger gain au niveau du rendement phytotechnique (objet 23, 29 et 30). Pour garantir ce potentiel de rendement, il est également important de ne pas trop réduire la seconde fraction au moment du redressement.

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

Tableau 4 – Résultats de l'essai fumure réalisé à Ciney sur la variété fourragère Chevignon. Ce tableau reprend les rendements phytotechniques et économiques (q/ha), le poids à l'hectolitre PHL (kg/hl), le poids de 1000 grains PMG (g), le nombre d'épis/m² (épis/m²), la teneur en protéines (% MS), l'indice de Zélény (ml) et la valeur du rapport de l'indice de Zélény sur le taux de protéines Z/P.

N° Objet	T	TR	Red	DF	Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	PHL [kg/hl]	PMG [g]	Nbre épis [épis/m ²]	Prot. [% MS]	Zeleny* [ml]	Z/P*
1	-	-	-	-	0	38,4	38,4	65,8	34,5	327	9,9	26	2,6
2	60	60	30		150	82,3	73,2	70,0	38,8	366	10,6	28	2,6
3	-	-	60	-	60	62,2	58,6	67,0	36,1	357	9,3	25	2,7
4	60	-	-	-	60	64,6	61,0	68,2	37,5	381	8,9	23	2,6
5	-	-	60	60	120	74,2	66,9	68,1	36,3	363	10,7	30	2,8
6	60	-	-	60	120	76,6	69,4	68,3	36,5	329	10,1	28	2,8
7	60	-	60	55	175	83,4	72,8	69,3	38,7	418	10,9	31	2,8
8	60	-	60	60	180	86,8	75,9	69,8	39,4	397	11,2	31	2,8
9	-	-	-	90	90	56,4	51,0	65,9	32,1	422	11,9	35	2,9
10	-	-	90	-	90	71,6	66,2	67,3	37,7	342	9,7	27	2,8
11	90	-	-	-	90	71,6	66,1	68,2	39,2	377	9,1	24	2,6
12	-	-	90	90	180	81,0	70,1	68,0	36,2	374	12,2	29	2,4
13	90	-	-	90	180	84,5	73,6	69,5	38,4	390	11,6	32	2,8
14	90	-	90	-	180	86,0	75,2	70,8	41,0	411	11,1	30	2,7
15	90	-	90	90	270	91,0	74,7	71,0	39,8	387	12,5	30	2,4
16	-	-	-	120	120	55,8	48,5	65,1	31,7	514	12,9	38	2,9
17	-	-	120	-	120	74,6	67,4	68,1	36,9	376	10,8	32	3,0
18	120	-	-	-	120	76,7	69,5	69,5	40,7	349	9,9	26	2,6
19	-	-	120	120	240	81,6	67,1	68,1	37,2	427	13,0	35	2,7
20	120	-	-	120	240	88,1	73,6	70,3	39,6	359	12,3	31	2,5
21	120	-	120	-	240	85,2	70,7	71,7	40,4	368	12,3	30	2,4
22	120	-	120	120	360	93,9	72,2	71,0	38,8	418	12,7	31	2,4
23	60	-	60	65	185	86,4	75,2	70,3	37,3	391	11,5	31	2,7
24	80	-	70	55	205	82,6	70,2	70,6	39,7	391	11,8	29	2,5
25	-	95	-	75	170	82,8	72,5	69,4	36,7	423	11,6	32	2,8
26	-	105	-	95	200	85,8	73,7	69,6	37,7	372	11,9	33	2,8
27	80	-	50	55	185	82,5	71,4	70,4	40,4	365	11,5	30	2,6
28	80	-	40	55	175	87,6	77,0	70,1	39,7	372	11,1	29	2,6
29	70	-	60	55	185	88,1	76,9	70,3	40,0	397	11,2	31	2,8
30	80	-	60	55	195	88,6	76,8	70,6	39,2	418	11,4	32	2,8
Moyenne de l'essai					78,4	68,5	69,1	37,9	386	11,2	30	2,7	

Les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale observée pour un paramètre (test de Student-Newman-Keuls à 0,05 via R). Pour les rendements phytotechniques et économiques, un gradient de couleur permet de mieux visualiser les différences entre les valeurs proches de l'optimum économique. T : tallage; TR : Tallage-Redressement; R : Redressement; DF : Dernière feuille. *Données mesurées sur un échantillon composite issu des 4 répétitions.

Le rendement économique optimal sur cet essai s'élève à 77 q/ha et est atteint avec une fumure totale de 175 kg N/ha (objet 28). Cet objet correspond à une fumure en trois fractions où l'apport au tallage a été augmenté au détriment de la fraction « redressement » qui s'est vue diminuer. Des rendements économiques statistiquement équivalents sont aussi obtenus avec des fumures totales comprises entre 150 et 270 kg N/ha. Néanmoins, les fumures comprises entre 180 et 200 kg N/ha sont les plus proches de l'optimum économique. Les fertilisations excessives au-dessus de 240 kg N/ha ne sont nullement pertinentes d'un point de vue économique et environnemental, comme le montre la courbe de réponse (Figure 2).

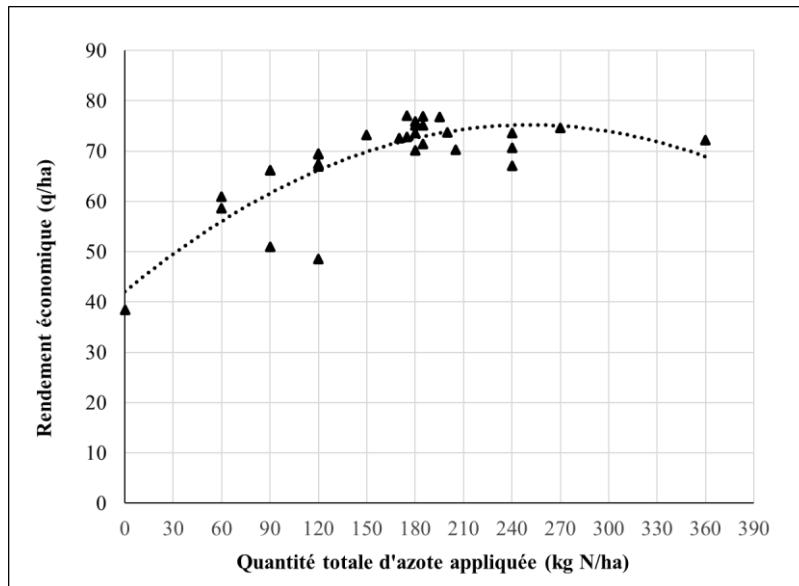


Figure 2 – Évolution du rendement économique [q/ha] en fonction de la dose de fertilisant appliquée dans le cadre de l'essai fumure sur la variété Chevignon mené à Ciney.

Teneur en protéines et indice de sédimentation Zélény

Les teneurs en protéines mesurées sur cet essai sont assez faibles, avec une valeur moyenne de 11,2 %. Toutefois, les fumures de références en deux ou trois fractions, avec ou sans les facteurs correctifs (objets 23 à 26), ont permis d'atteindre des teneurs en protéines supérieures ou égales à 11,5 %, seuil strict pour une utilisation en meunerie d'une variété Q2. En comparant les objets 7, 8 et 23, la fraction apportée à la dernière feuille montre encore une fois son importance pour maintenir une teneur en protéines suffisante. L'indice de sédimentation Zélény est également plus faible à Ciney qu'à Lonzée et peut donner approximativement un repère concernant la force boulangère (pas mesurée dans cet essai). En effet, un indice de 30 ml correspond plus ou moins à un W de 175 alors qu'un indice de 35 ml équivaut à un W d'environ 225.

Nombres d'épis/m²

Le nombre d'épis/m² est globalement similaire à celui mesuré en région limoneuse, avec une moyenne de 386 épis/m². L'objet 16 (0-0-120) possède étonnamment la valeur maximale pour ce paramètre. Habituellement, les modalités ayant reçu une dose d'azote élevée au tallage présentent un nombre plus élevé d'épis/m². À l'inverse, les objets ne recevant qu'un seul apport d'azote à la dernière feuille affichent des valeurs plutôt faibles pour ce paramètre.

L'expérience menée à Ciney démontre qu'il est important d'adapter correctement sa fumure en fonction du contexte pédoclimatique pour exploiter pleinement le potentiel de production du froment. Les résultats collectés sur cet essai semblent indiquer que l'optimum technico-économique peut être atteint grâce à une fumure comprise entre 180 et 200 kg N/ha.

Par conséquent, les **fumures de référence en 2 et 3 fractions, respectivement avec et sans facteurs correctifs**, recommandées par le Livre Blanc de février 2024, **semblent être appropriées pour atteindre cet objectif**. L'expérience devra être réitérée dans les prochaines années afin de consolider ces conclusions.

- **Analyse des résultats de l'essai « fumure » sur des variétés panifiables mené à Lonzée en 2024 (CePiCOP – Gx-ABT, ULiège)**

Le protocole de cet essai comprend six modalités « fumure » appliquées sur 5 variétés de froment d'hiver caractérisées pour leur aptitude à la panification. Les différents blés utilisés dans cette expérimentation font partie de la catégorie Q1 – froments d'hiver panifiables belges premium. Enfin, au sein de cette même catégorie, il existe une distinction entre les froments améliorants Q1A comme **Montalbano**, **Christoph** et **Moschus**; et les autres Q1 comme **Cubitus** et **KWS Emerick**.

Concernant la fumure, les modalités diffèrent à la fois au niveau du fractionnement et de la dose d'azote totale. La première modalité « fumure » sans aucun apport d'azote minéral constitue le témoin. La deuxième modalité permet d'évaluer la réponse des différentes variétés à un faible niveau d'azote. La troisième modalité correspond à la fumure de référence en trois fractions reprise dans le Livre Blanc de février 2024. La quatrième modalité est quant à elle la fumure de référence en quatre fractions recommandées pour les variétés panifiables, avec un apport au stade deux nœuds. La cinquième modalité reprend un schéma de fertilisation en quatre fractions avec un apport plus important au tallage et est à comparer à l'objet 4. Enfin, la sixième modalité est une variante de la troisième avec l'application supplémentaire d'une dernière fraction de 40 kg N/ha à l'épiaison, dont l'objectif est de vérifier l'éventuel intérêt d'un apport tardif à l'épiaison afin d'augmenter la teneur en protéines du grain.

Basés sur des résultats d'essais antérieurs, l'objectif de ce type de schéma est d'atteindre un compromis entre rendement, teneur et qualité des protéines.

Rendements phytotechniques et économiques

En période de récolte, il est vivement recommandé de donner la priorité aux parcelles emblavées avec des variétés panifiables. Moissonner ce type de froment dans de bonnes conditions et à maturité permet de préserver la qualité du grain.

Les résultats de cet essai démontrent en partie que le potentiel de production des variétés améliorantes ou de force (Q1A) est généralement inférieur à celui des autres blés, comme **Cubitus**. En effet, cette variété Q1 affiche des niveaux de production largement supérieurs à ceux atteints par les variétés de blé élite améliorant (Q1A) comme **Christoph**, **Montalbano** ou **Moschus**.

Par conséquent, pour ne pas biaiser l'interprétation des résultats au vu de leur différence de comportement, il a été décidé de faire l'analyse statistique par variété, pour le rendement phytotechnique et économique ainsi que pour la teneur en protéines. Les rendements relatifs repris dans le Tableau 5 pour les blés de force sont calculés par rapport à leur niveau de production moyen (70,3 q/ha). La même logique est appliquée pour obtenir les niveaux de production relatifs des deux autres variétés (moyenne de 78,2 q/ha).

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

Tableau 5 – Résultats de l'essai fumure réalisé à Lonzée sur les cinq variétés panifiables. Ce tableau reprend les rendements phytotechniques et économiques (q/ha), les rendements phytotechniques et économiques relatifs (%), la teneur en protéines (% MS), l'indice de Zélény (ml), la force boulangère W (10^{-4} J) et la valeur du rapport de la force boulangère sur le taux de protéines W/P.

N° Objet	Variété	T	Red	2N	DF	E	Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	Rdt Phyto Relatif (%)	Rdt Eco Relatif (%)	Prot. [% MS]	Zel* [ml]	W* [10^{-4} J]	W/P*	
Q1A-froments d'hiver panifiables belges premium améliorants	1	Montalbano	-	-	-	-	0	50,2	50,2	71,4	82,6	<u>11,2</u>	33	202	18,0	
	2	Montalbano	40	40	-	45	-	125	72,6	65,0	103,3	107,0	14,0	60	347	24,7
	3	Montalbano	60	60	-	65	-	185	75,1	63,9	106,8	105,1	<u>15,3</u>	66	364	23,7
	4	Montalbano	40	60	40	45	-	185	74,4	63,2	105,8	103,9	15,5	67	378	24,4
	5	Montalbano	80	60	40	45	-	225	76,3	62,7	108,5	103,2	16,0	69	376	23,5
	6	Montalbano	60	60	-	65	40	225	72,7	59,1	103,3	97,2	<u>16,3</u>	69	378	23,2
	7	Christoph	-	-	-	-	-	0	40,9	40,9	58,1	67,3	<u>11,3</u>	37	206	18,2
	8	Christoph	40	40	-	45	-	125	62,5	55,0	89,0	90,5	13,6	67	321	23,7
	9	Christoph	60	60	-	65	-	185	67,6	56,4	96,1	92,8	<u>15,2</u>	70	323	21,3
	10	Christoph	40	60	40	45	-	185	65,4	54,3	93,1	89,3	15,3	70	335	22,0
	11	Christoph	80	60	40	45	-	225	67,2	53,6	95,6	88,2	15,7	70	395	25,2
	12	Christoph	60	60	-	65	40	225	68,7	55,1	97,7	90,6	15,6	70	410	26,4
	13	Moschus	-	-	-	-	-	0	52,5	52,5	74,6	86,3	<u>10,4</u>	33	<u>162</u>	15,7
	14	Moschus	40	40	-	45	-	125	81,8	74,2	116,3	122,1	12,3	57	254	20,6
	15	Moschus	60	60	-	65	-	185	85,0	73,8	120,9	121,4	<u>13,1</u>	62	276	21,1
	16	Moschus	40	60	40	45	-	185	82,8	71,6	117,7	117,8	12,9	61	315	24,5
	17	Moschus	80	60	40	45	-	225	84,0	70,4	119,5	115,9	13,5	64	304	22,5
	18	Moschus	60	60	-	65	40	225	86,1	72,5	122,4	119,2	13,8	64	324	23,5
Moyenne pour les variétés Q1A							70,3	60,8				13,9	60,5	315	22,3	
Q1- froments d'hiver panifiables belges premium	19	Cubitus	-	-	-	-	0	51,8	51,8	66,3	75,5	<u>9,8</u>	28	<u>100</u>	10,2	
	20	Cubitus	40	40	-	45	-	125	87,5	80,0	111,9	116,4	11,6	40	203	17,5
	21	Cubitus	60	60	-	65	-	185	92,3	81,1	118,0	118,1	<u>13,0</u>	50	286	22,0
	22	Cubitus	40	60	40	45	-	185	90,8	79,6	116,1	115,9	12,8	50	239	18,7
	23	Cubitus	80	60	40	45	-	225	90,0	76,4	115,1	111,3	13,9	61	292	21,1
	24	Cubitus	60	60	-	65	40	225	88,3	74,7	112,9	108,7	13,7	59	303	22,2
	25	KWS Emerick	-	-	-	-	-	0	55,1	55,1	70,5	80,2	<u>10,5</u>	31	<u>162</u>	15,5
	26	KWS Emerick	40	40	-	45	-	125	75,2	67,7	96,2	98,5	12,6	47	236	18,8
	27	KWS Emerick	60	60	-	65	-	185	75,7	64,5	96,8	93,9	<u>14,3</u>	65	292	20,5
	28	KWS Emerick	40	60	40	45	-	185	76,4	65,2	97,7	94,9	14,2	62	249	17,5
	29	KWS Emerick	80	60	40	45	-	225	77,9	64,3	99,7	93,7	14,8	64	358	24,1
	30	KWS Emerick	60	60	-	65	40	225	77,3	63,7	98,9	92,8	14,5	65	348	24,0
Moyenne pour les variétés Q1							78,2	68,7				13,0	51,8	256	19,3	

Pour une variété et un paramètre donnés, les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale mesurée pour ce paramètre et cette variété (test de Student-Newman-Keuls à 0,05 via R). Pour les critères technologiques, les valeurs inférieures aux normes requises pour une valorisation en meunerie sont reprises en italique et soulignées. T : tallage ; Red : Redressement ; 2N : Deuxième nœud ; DF : Dernière feuille ; E : Epiaison. Les rendements phytotechniques et économiques relatifs sont calculés par rapport à la moyenne des rendements phytotechniques et économiques par catégorie de variétés Q1A et Q1.* Données mesurées sur un échantillon composite issu des 4 répétitions.

Dans cette expérimentation, le rendement phytotechnique maximal s'élève à 92 q/ha. Il a été obtenu en appliquant une fumure totale de 185 kg N/ha (objet 21), apportée en trois fractions (60-60-65), sur la variété **Cubitus**. Pour cette même variété, les rendements obtenus avec des fumures comprises entre 185 et 225 kg N/ha sont statistiquement équivalents à ce maximum. Pour les autres variétés, les fumures allant de 125 à 225 kg N/ha ont permis d'être proches de leur maximum phytotechnique.

La variété **KWS Emerick**, qui montre un potentiel de rendement plus bas, a présenté un rendement maximal (78 q/ha) lors d'un fractionnement en 4 apports, dont un au stade deux nœuds (80-60-40-45), pour un total de 225 kg N/ha. La variété Q1A **Montalbano** a également atteint son rendement maximal (76 q/ha) avec ce schéma de fertilisation. Pour les autres variétés élites améliorantes (Q1A), **Moschus** et **Christoph** ont affiché leur niveau de production le plus élevé avec respectivement 86 q/ha et 69 q/ha, lors d'une fertilisation en 4 apports dont un à l'épiaison (60-60-65-40).

En général, le rendement économique obtenu avec un apport de 80 kg N/ha au tallage est inférieur à celui obtenu avec le même fractionnement en diminuant cette première fraction à 40 kg N/ha. Pour **Cubitus**, le rendement économique optimal (81 q/ha) est atteint avec la fumure de référence en trois fractions recommandées par le Livre Blanc (60-60-65). Des rendements économiques statistiquement équivalents sont également obtenus lorsque des doses d'azote totales comprises entre 125 et 185 kg N/ha sont appliquées sur cette variété. Cette fumure de référence reste donc pertinente sur le plan économique pour des variétés panifiables premium (Q1). Pour la variété **KWS Emerick**, des fumures allant de 125 à 225 kg N/ha sont statistiquement équivalentes pour le rendement économique.

Cette affirmation se vérifie également pour les variétés améliorantes. Les fumures comprises entre 125 et 225 kg N/ha ont également permis de se rapprocher de leur optimum économique. Le rendement économique obtenu par **Christoph** est inférieur au maximum économique des deux autres variétés. Les performances économiques de cette variété peuvent notamment s'expliquer par son faible niveau de production de cette année qui n'a pas permis de compenser correctement le coût des engrains. Par contre, sa qualité panifiable est supérieure à celle de **Moschus**.

A la lumière de ces résultats, il est important de rappeler que la culture de variétés élites améliorantes (Q1A) nécessite d'opter au préalable pour un contrat qui rémunère correctement la qualité.

Teneur en protéines

Les teneurs en protéines de ces variétés panifiables, qui valorisent bien l'azote, sont logiquement supérieures à celles observées dans les essais réalisés avec du **Chevignon** (variété Q2 – panifiable belge supérieur). En effet, les teneurs en protéines moyennes obtenues dans cet essai sont de 13,9 % pour les variétés Q1A et de 13% pour les Q1.

Pour chaque variété, les teneurs en protéines les plus élevées sont obtenues sur les objets caractérisés par une fertilisation de 225 kg N/ha (avec un apport supplémentaire au stade deux nœuds ou un dernier à l'épiaison). Dans cet essai, une dose totale d'azote égale ou supérieure à 125 kg N/ha a presque toujours permis d'atteindre (sauf **Cubitus**) des teneurs en protéines supérieures à 12,0 %, minimum requis pour une valorisation en meunerie (seuil strict pour une variété Q1A et Q1).

Au niveau de l'itinéraire technique, le choix variétal est un levier aussi important que la fumure, pour atteindre les normes requises pour une utilisation en meunerie. Des différences significatives existent entre les variétés testées. La variété **Montalbano** présente une teneur en protéines (14,7 %) statistiquement supérieure aux quatre autres variétés. La suite du classement est composée de **Christoph** (14,4 %) puis de **KWS Emerick** (13,4 %) qui font respectivement partie du second et troisième groupe statistique. Enfin, **Moschus** (12,6 %) et **Cubitus** (12,5 %) ferment la marche. Les teneurs en protéines plus faibles de **Moschus** peuvent s'expliquer par son rendement plus élevé obtenu cette année. À l'inverse, le potentiel de rendement plus faible de la variété **KWS Emerick** a favorisé sa teneur en protéines.

Enfin, l'apport d'une quatrième fraction au moment de l'épiaison est une pratique qui permettrait d'augmenter la teneur en protéines. En effet, après analyse des résultats depuis 2022, cette fraction à l'épiaison a montré un effet très hautement significatif pour la teneur en protéines mais non significatif sur le rendement et la force boulangère. Cette pratique n'est donc pas recommandée en froment panifiable.

Force boulangère (W) et rapport force boulangère sur protéines (W/P)

Si la force boulangère est un paramètre dépendant de la variété, il semble également être influencé par la fertilisation azotée. En effet, ce critère technologique semble répondre positivement à une augmentation de la dose d'azote jusque 185 kg N/ha. Au-delà de ce seuil, la tendance est moins claire selon les variétés. Un dernier apport de 40 kg N/ha peut dans la plupart des cas avoir un effet positif sur la force boulangère, mais la plus-value de cette quatrième fraction sur ce paramètre n'est pas systématique. En parallèle, le schéma de fertilisation semble également influencer les résultats de l'alvéographe.

Si pour une valorisation en alimentation humaine, il est important d'avoir une teneur en protéines élevée, ces protéines doivent également être de bonne qualité panifiable. Le rapport W/P peut être utilisé pour évaluer cette qualité. Pour ce paramètre, les résultats montrent des différences entre les variétés et entre les modalités de fumure pour une même variété. En effet, les trois variétés Q1A affichent un W/P supérieur à celui de **Cubitus**.

Mis à part les témoins sans apport d'azote, la plupart des objets testés sur cet essai présente une qualité panifiable élevée. Avec une fumure adaptée, des variétés comme **Montalbano** ou **Christoph** dépassent même le seuil de 350 en W pour être reconnu comme un blé de force. Tandis que **Moschus** est un peu plus en retrait cette année sur les différents critères technologiques par rapport à ces deux variétés. Enfin, **Cubitus** et **KWS Emerick** sont des variétés « compromis » qui permettent d'atteindre un équilibre intéressant entre quantité et qualité.

Au niveau de l'itinéraire cultural, **le choix variétal et la fertilisation azotée** sont les principaux leviers à disposition de l'agriculteur pour atteindre les normes requises pour une valorisation de son froment en meunerie et limiter les risques de déclassement. D'après les résultats de cet essai, **la fumure de référence** recommandée dans le Livre Blanc de février 2024 permet de se rapprocher de **l'optimum phytotechnique et économique**, tout en obtenant des **teneurs en protéines** suffisantes. Toutefois, si l'objectif poursuivi est de produire un blé de force ($W \geq 350 \text{ } 10^{-4} \text{ J}$), en optant pour une variété de froment panifiable premium améliorant (Q1A), l'utilisation d'une fumure plus conséquente, en **4 fractions**, peut être plus appropriée pour certaines variétés. Enfin, l'application d'un dernier apport au moment de l'épiaison a généralement un effet positif sur la teneur en protéines du grain mais pas en termes de rendement et de force boulangère. Cette pratique n'est donc pas recommandée pour garantir une bonne qualité de la protéine.

Une analyse plus approfondie de l'influence de la fertilisation et du choix variétal sur la teneur et la qualité de la protéine, pour les différents essais, est reprise dans la section suivante de ce chapitre.

2.2.2 Relation entre force boulangère et rendement à l'hectare

- Variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 5 années de récolte (2020 à 2024) en région limoneuse**

La Figure 3 représente la relation de la teneur en protéines et la force boulangère (« W » de l'alvéographe) avec le rendement à l'hectare d'une variété panifiable supérieure Q2 (**Chevignon**) sur 5 années de récolte (20-21-22-23-24) avec différents niveaux et fractionnements de fumure azotée, menées à Lonzée.

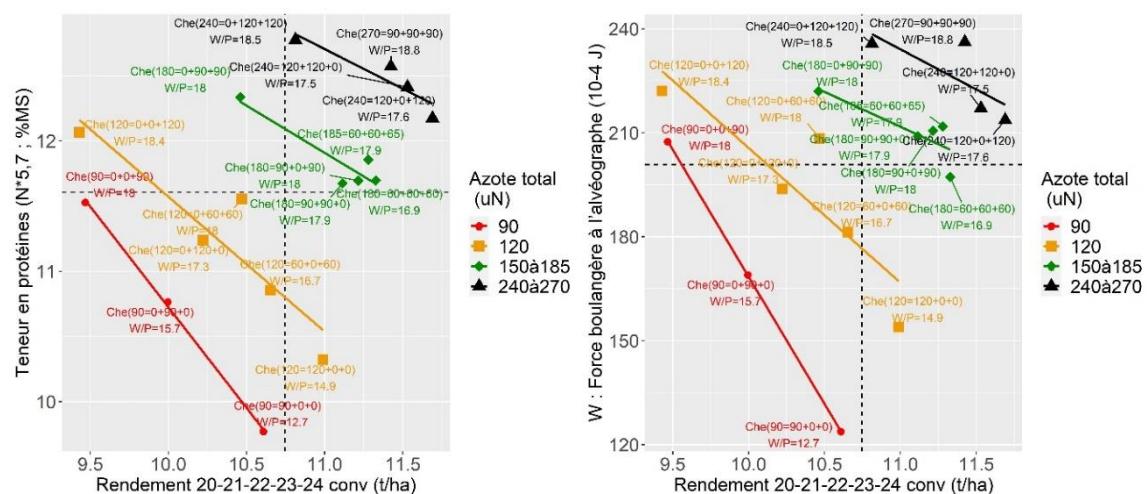


Figure 3 – Relation de la teneur en protéines (gauche) et la force boulangère (droite) avec le rendement à l'hectare d'une variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 5 années de récolte (20-21-22-23-24) avec différents niveaux et fractionnements de fumure azotée, menées à Lonzée. W/P (force boulangère du gluten « W » divisée par « P » teneur en protéines) est l'indicateur de la qualité technologique panifiable de la protéine.

Une relation inverse est observée entre la teneur en protéines et le rendement au sein de chaque fumure azotée totale équivalente (90, 120, 180 à 185 et 240 à 270uN) pour une variété de qualité panifiable Q2. Le fractionnement de l'azote pour une même fumure azotée totale conditionne significativement la force boulangère (15 à 80×10^{-4} J), la teneur en protéines (0,5 à 1,5 %MS) et le rendement à l'hectare (0,5 à 1,5 t/ha). Pour augmenter la force boulangère et la teneur en protéines pour un même rendement, il faut augmenter la fumure azotée totale car les droites de relation rendement avec la force boulangère et la teneur en protéines sont parallèles.

Les fumures azotées totales 240-270uN par rapport à 180uN sont efficientes en termes de teneur en protéines mais pas en termes de force boulangère qui plafonne.

La qualité panifiable de la protéine (W/P) pour une même fumure azotée totale dépend de son fractionnement. Les fumures azotées permettant d'obtenir les forces boulangères les plus élevées sont celles où l'azote est plutôt apporté en fin de cycle de croissance (cibler au moins 60uN en dernière feuille) qu'au début de croissance (cibler au maximum 40uN au tallage).

Une fumure azotée de 185uN en 3 fractions (tallage 40uN+redressement 80uN+dernière feuille 65uN) est recommandée pour des variétés panifiables supérieures Q2 à orientation alimentaire. Elle donne un résultat optimum en termes de combinaison de rendement, force boulangère et teneur en protéines pour cette valorisation.

- Variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 2 années de récolte (22 et 24) en Condroz**

La Figure 4 représente la relation de la teneur en protéines et la force boulangère (« W » de l'alvéographe) avec le rendement à l'hectare d'une variété panifiable supérieure Q2 (**Chevignon**) sur 2 années de récolte (22 et 24), avec différents niveaux et fractionnements de fumure azotée, menées à Ciney.

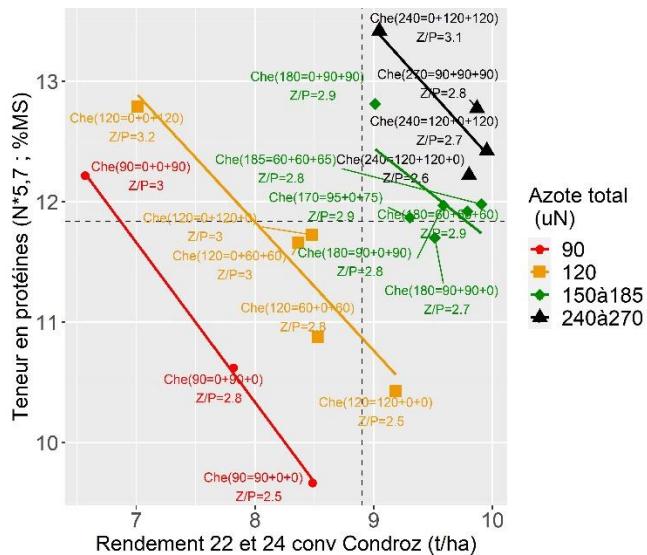


Figure 4 – Relation de la teneur en protéines avec le rendement à l'hectare d'une variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 2 années de récolte (22 et 24) avec différents niveaux et fractionnements de fumure azotée, menées à Ciney.

Les mêmes constats qu'avec le même essai mené à Lonzée, avec la même variété, sont réalisés. Pour les récoltes 2022 et 2024, les teneurs en protéines en moyenne à Ciney sont semblables à celles de Lonzée. Cependant, le rendement en moyenne sur ces 2 récoltes est de 1,8 t/ha inférieur à Ciney.

Les fumures azotées permettant d'obtenir les forces boulangères les plus élevées sont celles où l'azote est plutôt apporté en fin de cycle de croissance (cibler au moins 60uN en dernière feuille) qu'au début de croissance (cibler au maximum 40uN au tallage).

Une fumure azotée de 185uN en 3 fractions (tallage 40uN+redressement 80uN+dernière feuille 65uN) est également recommandée dans le Condroz pour des variétés panifiables supérieures Q2 à orientation alimentaire. Elle donne un résultat optimum en termes de combinaison de rendement, force boulangère et teneur en protéines pour cette valorisation.

- Variétés panifiables améliorantes Q1A, premium Q1 et supérieure Q2 sur 3 années de récolte (22-23-24) en région limoneuse**

Les Figures 5 à 7 représentent la relation du rendement à l'hectare et de la qualité technologique des protéines de variétés panifiables améliorantes Q1A (**Arminius** ; **Christoph** ; **Moschus**), premium Q1 (**Cubitus** ; **KWS Emerick**) et supérieure Q2 (**Chevignon**) sur 3 années de récolte (22-23-24) avec l'augmentation de la fumure azotée totale (0 à 225 uN), à Lonzée.

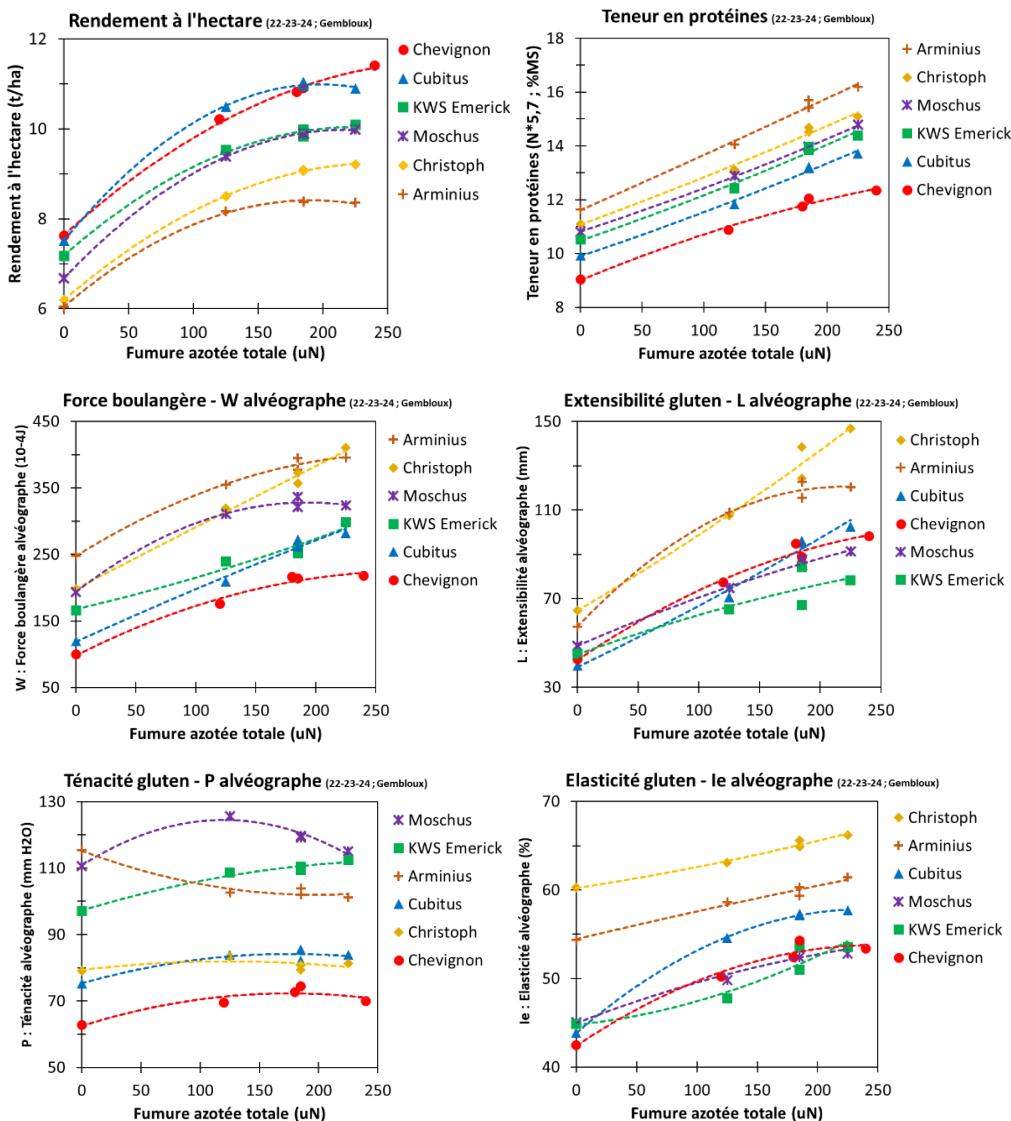


Figure 5 – Relation du rendement à l'hectare et de la qualité technologique des protéines de variétés panifiables améliorantes Q1A (Arminius ; Christoph ; Moschus), premium Q1 (Cubitus ; KWS Emerick) et supérieure Q2 (Chevignon) sur 3 années de récolte (22-23-24) avec l'augmentation de la fumure azotée totale (0 à 225uN) à Lonzée.

L'augmentation de la fumure azotée totale permet d'augmenter linéairement la teneur en protéines et l'extensibilité du gluten. Cependant, cette augmentation n'est pas linéaire pour le rendement à l'hectare (qui plafonne vers 225uN). Elle n'est pas toujours linéaire pour la force boulangère et l'élasticité du gluten. La ténacité du gluten est relativement constante.

L'augmentation de la teneur en protéines avec la fumure azotée totale est plus grande pour les variétés les plus panifiables (Q1A et Q1) que Q2. La gamme de teneur en protéines dépend avant tout de la variété.

Il faut bien distinguer la quantité de protéines et sa force boulangère qui peuvent être plus ou moins reliées entre elles en fonction de la variété. Les variétés **Arminius**, **Christoph**, **Cubitus** et **KWS Emerick** ont une force boulangère qui augmente avec la teneur en protéines (et la fumure azotée totale) mais nettement moins pour les variétés **Chevignon** et **Moschus**. La force boulangère dépend avant tout de la qualité panifiable des protéines de la variété.

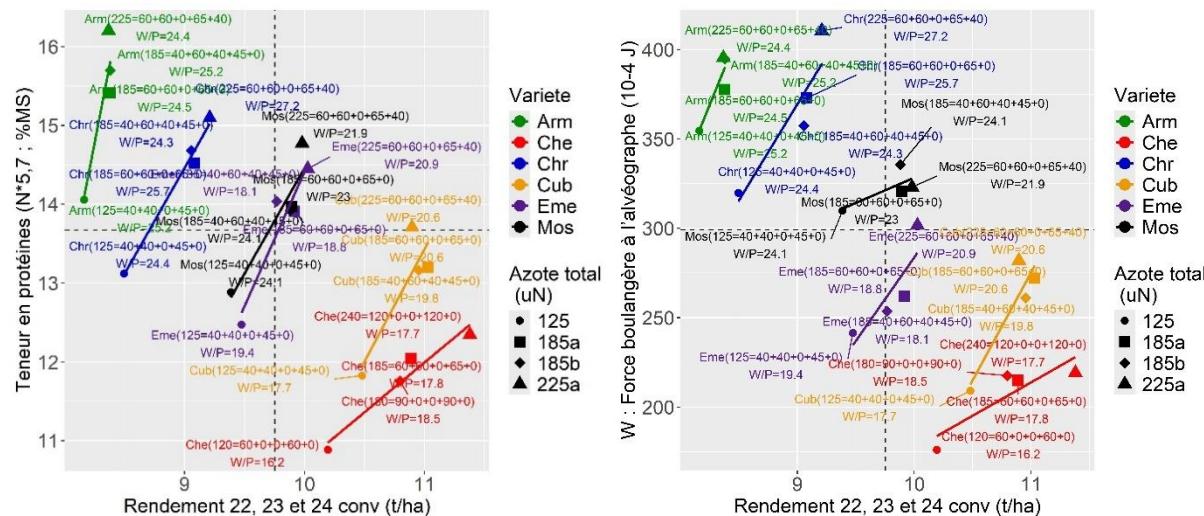


Figure 6 – Relation de la teneur en protéines (gauche) et la force boulangère du gluten (droite) avec le rendement à l'hectare de variétés panifiables améliorantes Q1A (Arm : Arminius ; Chr : Christoph ; Mos : Moschus), premium Q1 (Cub : Cubitus ; Eme : KWS Emerick) et supérieure Q2 (Che : Chevignon) sur 3 années de récolte (22-23-24) avec l'augmentation de la fumure azotée totale (125 à 225uN), menées à Lonzée.

W/P (force boulangère du gluten « W » divisée par « P » teneur en protéines) est l'indicateur de la qualité technologique panifiable de la protéine).

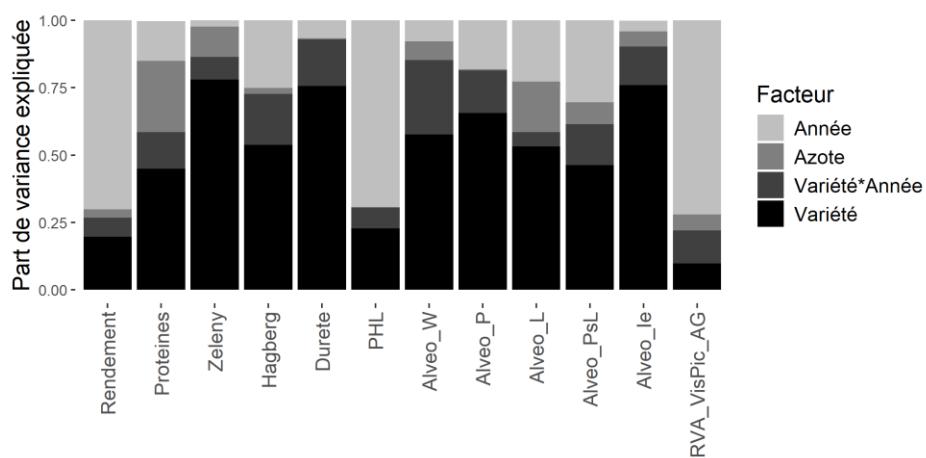


Figure 7 – Proportion de la variance expliquée par l'effet variété, fumure azotée totale et année sur le rendement à l'hectare et la qualité technologique. Variétés : panifiables améliorantes Q1A (Christoph ; Moschus), premium Q1 (Cubitus) et supérieure Q2 (Chevignon). Fumure azotée totale : 125 à 225uN menée à Gembloux. Année de récolte : 2022 à 2024.

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

La Figure 7 illustre que, pour des variétés panifiables de qualité Q1A à Q2 et une fumure azotée totale de 125 à 225uN, le rendement à l'hectare, le poids à l'hectolitre et la viscosité de l'amidon (RVA_VisPic_AG) dépendent essentiellement de l'effet année. Les autres paramètres dont la qualité panifiable de la protéine s'explique principalement par l'effet variété. La fumure azotée totale n'a un impact significatif que sur la teneur en protéines mais pas sa qualité technologique, à l'exception de l'extensibilité du gluten (L de l'alvéographe). Notons, la proportion de variance importante pour l'interaction entre l'effet variété et année pour certains paramètres, dont la force boulangère (W). Cela signifie que certaines variétés (notamment **Christoph**) ont une qualité technologique moins robuste d'une année à l'autre.

Les fumures azotées permettant d'obtenir les forces boulangères les plus élevées sont celles où l'azote est plutôt apporté en fin de cycle de croissance (cibler au moins 60uN en dernière feuille) qu'au début (cibler au maximum 40uN au tallage) (résultats d'essai de 2020 à 2024). Une fraction supplémentaire à l'épiaison de 40uN n'apporte généralement pas de gain substantiel en termes de rendement à l'hectare ainsi que de force boulangère malgré le gain en teneur en protéines (résultats d'essai de 2020 à 2024).

Une fumure azotée de 220uN en 4 fractions (tallage 40uN+redressement 80uN+2^{ème} nœud 40uN+dernière feuille 60uN) est recommandée pour les variétés panifiables améliorantes Q1A et premium Q1. Elle donne un résultat optimum en termes de combinaison de rendement, force boulangère et teneur en protéines pour cette valorisation (résultats d'essai de 2016 à 2024). La fraction 2^{ème} nœud est à adapter en fonction de son objectif de fumure azotée totale.

2.2.3 Les éléments à considérer pour une recommandation pratique

• Les objectifs de la recommandation

Le raisonnement de la fumure selon la méthode du « Livre Blanc Céréales » a pour objectif principal de s'approcher le plus près possible de l'optimum économique (rendement phytotechnique duquel est soustrait le coût lié à la fertilisation).

Le raisonnement de la fumure est intégré dans un mode de conduite de la culture où la densité de semis est modérée et où les interventions visant à protéger la culture de la verse et des maladies cryptogamiques sont raisonnées elles aussi en fonction de leur rentabilité.

Les recommandations de fractionnement visent à :

- ❖ minimiser le risque de mauvais rendements ;
- ❖ optimiser la rentabilité (rendement économique) ;
- ❖ réduire le risque de verse ;
- ❖ minimiser le risque de développement des maladies ;
- ❖ satisfaire aux normes technologiques.

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

- ❖ réduisant au minimum le reliquat d'azote après culture et en les limitant dans les horizons supérieurs du profil ;
- ❖ épuisant le reliquat azoté de la culture précédente ;
- ❖ limitant les pertes par voie gazeuse.

Une fertilisation azotée raisonnée permet d'optimiser la production et la rentabilité de la culture, tout en minimisant les risques de pertes culturales (maladie, verse) et environnementales (émission de N₂O, lixiviation de NO₃).

Les conditions climatiques lors de l'automne et de l'hiver 2024-2025

Après un mois d'août relativement chaud et moins pluvieux, une première depuis un certain temps, les températures ne sont pas descendues. En effet, d'après les relevés provenant de la station IRM d'Ernage (Tableau 6), les températures sont restées mois après mois, nettement supérieures aux normales mensuelles, mis à part pour le mois de novembre. L'automne 2024, comme en 2023, est donc caractérisé par des températures douces pour la saison. Une période plus froide a ensuite été enregistrée aux alentours de mi-janvier 2025.

Du côté des précipitations, le mois d'août laissait penser à une accalmie après ces nombreux mois de pluie. Malheureusement, les mois de septembre et octobre n'ont pas délogé à la règle de cette année, avec un excès de précipitations par rapport aux normales climatiques. Les deux derniers mois de l'année ont laissé place à quelques périodes d'accalmies, permettant les derniers semis de céréales.

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

Tableau 6 – Température moyenne de l'air sous abri et cumul pluviométrique mensuel enregistrés d'août à décembre 2024 (Station IRM d'Ernage - Gembloux).

	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne de l'air (°C)					
Observées	19,4	15,3	12,4	6,8	4,6
Normales	17,8	14,5	10,7	6,5	3,6
Précipitations (mm)					
Observées	59,7	90,9	75,1	64,3	77,3
Normales	84,7	57,9	62,9	64,8	86,8

La situation moyenne du profil en azote minéral du sol au 3 février 2025

Pas moins de 94 parcelles de froment d'hiver ont été échantillonnées, entre le 20 janvier et le 3 février 2025, par le CARAH, le CRA-W (Unité Fertilité des sols et Protection des eaux), Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège (GRENeRA et l'Unité de Phytotechnie) et par le CePiCOP. Comme chaque année, ces prélèvements ont été réalisés dans les différentes régions agricoles de Wallonie sur des parcelles présentant des situations culturales contrastées, notamment au niveau des précédents culturaux. Cette diversité et le nombre de prélèvements réalisés ont pour objectif d'être le plus représentatif possible de la réalité du terrain. L'échantillonnage de ces profils a été réalisé sur 90 cm de profondeur.

Tableau 7 – Comparaison au cours des 10 dernières années des réserves en azote minéral du sol (kg N_{min} /ha) – CRA-W, le CARAH, GRENeRA et l'unité de Phytotechnie tempérée de Gembloux Agro-Bio Tech et le CePiCOP.

	Année	2025	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016
Profondeur (cm)	Nombre de situations	94	77	130	142	89	101	179	138	148	163
0-30	0-30	11	10	11	12	15	14	12	9	22	9
30-60	30-60	14	11	15	18	23	20	30	11	34	12
60-90	60-90	14	14	23	21	31	25	43	18	24	17
Total	Total	39	35	50	50	68	59	85	39	79	39

Le Tableau 7 révèle que le profil moyen en sortie d'hiver de cette année est relativement faible par rapport aux années précédentes. Mis à part l'année passée, une situation comparable n'avait plus été observée depuis 2018. D'après les données récoltées jusqu'au 3 février 2025, le niveau d'azote présent dans le sol sur une profondeur de 90 cm est en moyenne de 39 kg N_{min} /ha. Ce qui est largement inférieur à la teneur moyenne en azote minéral de ces dix dernières années (54 kg N_{min} /ha).

Les précipitations de ces derniers mois (Tableau 6) ont eu une incidence importante sur le stock d'azote minéral encore présent dans le sol à cette période. Ces faibles quantités sont distribuées uniformément entre les trois horizons. La couche supérieure (0-30 cm) contient 11 kg N_{min} /ha, soit un peu plus de 28 % de l'azote présent dans le profil azoté (90 cm de profondeur). Les deux autres horizons contiennent tous deux à peine plus d'azote avec une moyenne de 14 kg N_{min} /ha. Les pluies de l'automne et de l'hiver, en s'infiltrant, ont favorisé la migration de l'azote au-delà de 90 cm de profondeur et ont ainsi contribué à appauvrir le profil.

Tableau 8 – Profils azotés moyens (en kg N_{min} /ha) observés en janvier 2025 sur 90 cm de profondeur pour des parcelles de froment d'hiver situées en Wallonie en fonction du précédent cultural.

	Précédent	Betterave	P.d.Terre	Colza	Légumineuse	Maïs	Lin	Chicorée	Moyenne
		Nb situation	23	19	12	8	20	5	94
Profondeur	0-30 cm	11	11	13	11	11	10	8	11
	30-60 cm	10	18	21	14	13	11	8	14
	60-90 cm	10	22	21	20	12	12	5	14
Total	0-90 cm	31	51	55	45	36	33	21	39
	Max	53	98	78	68	74	68	28	
	Min	13	25	26	16	15	11	9	

Comme chaque année, des disparités existent également entre les différents précédents culturaux (Tableau 8). Cette année, les profils les plus riches sont observés lorsque le froment suit une pomme de terre ou un colza, avec des reliquats moyens de 51 et 55 kg N_{min} /ha. Pour un précédent légumineuse, les reliquats mesurés en janvier 2025 sont particulièrement faibles comparativement aux années antérieures. D'autres précédents comme la betterave, le lin ou le maïs offrent des reliquats assez faibles avec une teneur moyenne comprise entre 31 et 36 kg N_{min} /ha. Enfin, pour un précédent comme la chicorée, la quantité d'azote minéral présente dans le sol est en moyenne de 21 kg N_{min} /ha.

Il est important de remarquer que pour un même précédent, il existe une forte variabilité entre les différents profils. Cette variabilité illustre les contextes pédoclimatiques variés rencontrés en Wallonie mais également les différences de pratiques en matière de fertilisation. De fortes variabilités intra-parcellaire peuvent également être observées en suite d'accidents cultureaux localisés.

Etat des cultures en sortie hiver

Dans les semis de la plateforme expérimentale de Lonzée, à la date du 04 février 2025, les stades de développement du froment observés dans les essais « dates de semis » sont :

- ❖ semis de mi-octobre : début tallage ;
- ❖ semis de mi-novembre : 2 feuilles ;
- ❖ semis de mi-décembre : 1 feuille ;

L'état des emblavements est variable selon la date de semis et les conditions d'implantation. Si les parcelles implantées à la mi-octobre sont pour la plupart en bon état, la situation semble plus contrastée pour les semis tardifs réalisés en novembre et décembre.

Si vous pressentez que votre situation s'écarte d'un contexte moyen, il est conseillé de réaliser des profils azotés dans vos parcelles afin d'adapter au mieux la fertilisation azotée de vos cultures.

2.2.4 La détermination pratique de la fertilisation azotée

• Les fumures de référence pour la saison 2024-2025

a. Les fumures de référence conseillées pour les variétés Q2, Q3 et Q4

La fumure de référence pour 2025 est basée sur les résultats d'une analyse pluriannuelle des essais « fumure », ainsi que sur base des observations de ce début de saison décrites précédemment. Il est également important de rappeler que ces fumures de référence sont recommandées pour la conduite des variétés de froment panifiable belge supérieur (Q2), des variétés de froment à autres usages non fourrager (Q3) et pour les variétés de froment basique belge (Q4) destinées à l'alimentation animale.

Cette année, le stock d'azote minéral présent dans le sol est relativement faible. La fraction de tallage est donc, pour ces raisons, maintenue à 60 kg N/ha. Les fractions de redressement et de dernière feuille sont fixées par rapport à une année normale pour une dose totale de 185 kg N/ha.

La fumure en deux fractions sera réservée uniquement aux situations les plus favorables. Une fumure totale de 170 kg N/ha est conseillée pour ce cas précis. La dernière fraction a été réduite depuis 2022 afin de garantir une bonne valorisation de cet azote, mais aussi pour éviter tout excès de fertilisation en fin de cycle.

Les deux fumures de référence proposées en 2025 sont :

En trois fractions :

Pour une situation normale

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	60 N
Fraction du redressement (2^{ème} fraction) :	60 N
Fraction de la dernière feuille (3^{ème} fraction) :	65 N

En deux fractions :

Réservée aux situations les plus favorables

Fraction intermédiaire « T-R »	95 N
Fraction de la dernière feuille	75 N

Pour rappel, ces fumures de référence **doivent toujours être adaptées** en fonction du contexte de la parcelle et de l'état de la culture. Avant chaque apport, il est impératif d'ajuster les doses préconisées par la fumure de référence en tenant compte des **différents facteurs correctifs**.

Sur base des résultats d'essais menés dans le Condroz depuis 2022, la fumure de référence en trois fractions peut notamment être adaptée comme suit :

Fumure en trois fractions, adaptée pour le Condroz :

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	80 N
Fraction du redressement (2^{ème} fraction) :	50 N
Fraction de la dernière feuille (3^{ème} fraction) :	55 N

Le conseil pourra évoluer en cours de saison en fonction des conditions de développement et de croissance des cultures.

Restez attentifs aux communiqués du CePiCOP durant la saison.

Dans un contexte où le prix des engrais azotés est volatil, il est plus que probable qu'un excès de fertilisation génère d'importants surcoûts. Raisonner sa fumure est une démarche nécessaire afin de garantir des rendements économiques satisfaisants.

b. Les fumures de référence conseillées pour les variétés Q1 et Q1A

Les fumures de référence reprises dans cette section sont uniquement destinées à la conduite des variétés de froment panifiable belge premium (Q1), catégorie qui reprend également les variétés de froment élites améliorantes (Q1A). Basé sur des résultats d'essais, l'objectif de ce type de schéma est d'atteindre un compromis entre rendement, teneur et qualité des protéines.

Cette fumure de référence est spécialement recommandée pour ces variétés de froment qui ont pour principal débouché la valorisation en meunerie et en boulangerie.

En trois fractions :

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	40 N
Fraction du redressement (2^{ème} fraction) :	80 N
Fraction de la dernière feuille (3^{ème} fraction) :	65 N

Si l'objectif poursuivi est de produire un blé de force ($W \geq 350 \text{ } 10^{-4} \text{ J}$), en optant pour une variété de froment Q1A, cette fumure de référence peut être augmentée et adaptée selon un schéma en 4 fractions. Plutôt que d'apporter 185 kg N/ha en trois fractions, une fumure de 220 kg N/ha sera privilégiée, avec une troisième fraction de 40 kg N/ha au stade 2^{ème} nœud, et en diminuant légèrement l'apport à la dernière feuille. Cette fumure donne un résultat optimal en termes de combinaison de rendement, force boulangère et teneur en protéines pour cette valorisation (résultats d'essai de 2016 à 2024). La fraction au 2^{ème} nœud est à adapter en fonction de son objectif de fumure azotée totale.

En quatre fractions :

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	40 N
Fraction du redressement (2^{ème} fraction) :	80 N
Fraction du 2^{ème} nœud (3^{ème} fraction) :	40 N
Fraction de la dernière feuille (4^{ème} fraction) :	60 N

Il est important de rappeler que la culture de variétés élites améliorantes (Q1A) nécessite d'opter au préalable pour un contrat qui rémunère correctement la qualité.

• Calcul de la fertilisation selon la méthode Livre Blanc Céréales

Quel que soit le fractionnement choisi, chaque apport devra être raisonné sur base des principes suivants :

- ❖ Chaque parcelle doit être considérée individuellement ; les conditions culturales varient souvent entre parcelles (passé cultural, évolution de la culture, impact de l'environnement avoisinant) ;
- ❖ La dose de chaque fraction est déterminée juste avant l'application. La fumure totale d'azote ne doit jamais être 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, via des correctifs appliqués aux doses de référence, 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).

La formule générale pour le calcul des doses à appliquer reste donc toujours d'application :

$$\boxed{\begin{aligned} \text{Dose à appliquer} = & \text{ Dose de référence} + N.TER + N.ORGA + N.PREC + N.ETAT \\ & + \text{éventuellement } N.CORR \end{aligned}}$$

Vous trouverez en suivant le lien suivant différents outils pour vous aider à calculer la dose à appliquer sur vos parcelles.

<https://livre-blanc-cereales.be/thematiques/fumures/froment/determination-pratique-froment/>

• Détermination de N.PREC, fonction du précédent

Dans le Tableau 9 sont repris les précédents culturaux les plus courants et les valeurs du correctif N. PREC en fonction de ceux-ci. Ces valeurs ont été validées en fonction des reliquats azotés mesurés en janvier 2025 dans 94 situations.

Ces valeurs de N.PREC sont valables dans le cas où le précédent a présenté un rendement normal, compte tenu des fumures apportées. Dans le cas où le rendement de la culture précédente aurait été trop faible par rapport à la fumure azotée qui lui avait été apportée, il y a lieu de réduire les valeurs de N.PREC pour tenir compte du reliquat vraisemblablement plus important laissé par la culture précédente. Il convient toutefois de faire une analyse de la teneur en azote minéral du sol pour ajuster au mieux la fumure azotée.

Avec un précédent « légumes », et de manière générale pour les situations non reprises dans le tableau, la très grande variabilité observée dans les disponibilités en azote après ce type de précédent, due aux modalités très variées de culture, fertilisation et récolte, ne permet pas de définir des termes correctifs pertinents. Il est donc préférable dans ce cas de réaliser une analyse de la teneur en azote minéral du sol pour bénéficier d'un conseil judicieux.

Tableau 9 – Valeur du correctif N.PREC selon le précédent cultural et le schéma de fractionnement.

Précédent cultural	N.PREC selon:				
	3 fractions			2 fractions	
	T	R	DF	TR	DF
Betteraves	0	0	0	0	0
Chicorées	+10	0	0	0	0
Pois protéagineux, pois de	0	-20	-10	-20	-10
Colza	0	0	0	0	0
Lin	0	0	0	0	0
Pomme de terre	0	-10	-10	-10	-10
Maïs ensilage	0	0	0	Non recommandé	
Maïs grain	+15	+15	0	Non recommandé	
Pailles enfouies sans azote	+10	+10	0	Non recommandé	
Légumes (épinard, choux, carottes)	(Analyser et consulter)			(Analyser et consulter)	

• Calcul de la fumure

La fumure de la parcelle est constituée de deux ou trois fractions dont les différents termes peuvent être rassemblés puis sommés dans le tableau suivant.

Parcelle 1

FUMURE	DOSE REF.		N. TER	N. ORGANIQUE	N. PREC	N. ETAT	N. CORR	TOTAL ⁽¹⁾
	3 fractions	2 fractions						
Tallage	60	-						
Intermédiaire T-R		95						
Redressement	60	-						
Dernière feuille	65	75						

(1) Lorsque le total ainsi calculé est négatif, sa valeur est ramenée à 0 ; lorsque ce total vaut moins de 10 N, sa valeur est reportée sur la fraction suivante.

2.2.5 Fertilisation du froment d'hiver avec des matières organiques

Pour les céréales cultivées avec une approche conventionnelle, la fumure organique a depuis longtemps été remplacée par les engrains minéraux. Ces derniers sont facilement épandables et offrent à leurs utilisateurs une certaine souplesse d'utilisation ainsi qu'une meilleure maîtrise des quantités et du moment de mise à disposition de l'azote pour la nutrition des plantes. En effet, leurs modes d'action rapides permettent de coller au plus près des besoins de la plante. Poussés par la conjoncture économique, de plus en plus d'agriculteurs cherchent des alternatives aux engrains minéraux pour fertiliser leurs cultures. Cette tendance se traduit par un regain d'intérêt pour certains fertilisants organiques, ainsi que par l'émergence sur le marché de nouveaux produits destinés à la nutrition des plantes. Si certaines matières organiques reviennent au goût du jour (e.g. compost), et que d'autres émergent (e.g. digestat), leur intégration au sein de l'itinéraire technique suscite de nombreuses questions et nécessitera probablement quelques aménagements.

Afin de répondre à ces différentes questions, le Centre Pilote wallon des Céréales et Oléo-Protéagineux (CePiCOP), en collaboration avec la Faculté de Gembloux Agro Bio-Tech ULiège, mène depuis quatre ans des essais à Lonzée sur la fertilisation du froment d'hiver avec différentes matières organiques, reprises dans le Tableau 10. Leur composition, leur teneur en azote totale, ainsi que les pourcentages d'azote organique et minéral (sous forme ammoniacale) sont présentés.

Tableau 10 – Les matières organiques testées dans l'essai de 2021 à 2024 et leur composition.

Matière organique fertilisante	Fournisseur	Composition	Teneur en N totale (%m.s.)	N orga (%)	N-NH ₄ ⁺ (%)
Compost solide	Agricompost	Compost de déchets verts enrichis en éléments minéraux provenant de végétaux	3,0	8	92
Fraction liquide de compost	Agricompost	Jus de compostage d'engrais organiques	2,9	< 1	99
Digestat	Biogaz du Haut-Geer	Digestat liquide	0,4	78	22
Fiente	Particulier	Fumier de poulets de chairs (déjection + paille)	2,4	71	29
Purin d'ortie	Agripur	Extrait de plantes d'ortie	-	-	-

L'objectif de cette expérimentation est double : déterminer le **positionnement** et la **dose** de ces matières organiques à appliquer dans l'itinéraire technique, en substitution partielle ou totale de l'azote minéral, ainsi que d'évaluer leur **pouvoir fertilisant** et leur **efficacité**.

a. Matières organiques testées en substitution ou en complément d'une fumure classique

Dans cet essai, des produits comme du compost, du digestat ou encore des fientes de poulets sont testés en substitution partielle ou complète de l'azote minéral. Les fientes de poulets ont été testées pour la première fois en 2023-2024. D'autres produits, comme du purin d'ortie, sont utilisés en complément d'une fertilisation classique ou réduite. Afin d'évaluer leur efficacité, les modalités intégrant ces produits sont comparées à une fumure minérale (en trois fractions) de 180 kg N/ha (60-60-60 kg N/ha), comparable à la fumure de référence recommandée par le Livre Blanc. L'essai comprend également un objet témoin qui ne reçoit aucune fertilisation.

Dans le protocole repris au Tableau 11, l'épandage de ces matières a lieu soit au tallage, soit au tallage et au redressement. L'existence de ces deux modalités pour chaque matière testée permet d'évaluer des schémas de fertilisation avec différents positionnements. Pour ces différentes matières organiques, les quantités appliquées lors de chaque fraction sont calculées pour correspondre à une dose équivalente d'azote de 60 kg N/ha ou de 120 kg N/ha, en fonction

des modalités testées. Concernant le purin d'ortie, il est apporté en complément, au redressement et à la dernière feuille, d'une fertilisation réduite à 150 kg N/ha ou d'une fertilisation classique.

**Tableau 11 – Protocole reprenant les différentes matières organiques testées à Gembloux entre 2021 et 2024.
Ces matières sont soit apportées uniquement au moment du tallage, soit au tallage et au redressement.**

Objet	Modalité	Applications						Dose totale (kg N/ha)	
		T		Red		DF			
		N 27%	MO	N 27%	MO	N 27%	MO		
1	Témoin sans azote	-	-	-	-	-	-	0	
2	Fumure Livre Blanc	60	-	60	-	60	-	180	
3	Compost solide	-	≈ 60	60	-	60	-	180	
4	Fraction liquide de compost	-	≈ 60	60	-	60	-	180	
5	Digestat	-	≈ 60	60	-	60	-	180	
6	Fiente	-	≈ 60	60	-	60	-	180	
7	Compost solide	-	≈ 60	-	≈ 60	60	-	180	
8	Fraction liquide de compost	-	≈ 60	-	≈ 60	60	-	180	
9	Digestat	-	≈ 60	-	≈ 60	60	-	180	
10	Fiente	-	≈ 60	-	≈ 60	60	-	180	
11	Digestat	-	≈ 120	-	≈ 60	-	-	180	
12	Fiente	-	≈ 120	-	≈ 60	-	-	180	
13	Purin d'ortie	60	-	60	50 l/ha	30	50 l/ha	150	
14	Purin d'ortie	60	-	60	50 l/ha	60	50 l/ha	180	

T : tallage; Red : Redressement; DF : Dernière feuille. N27%: application d'ammonitrat et MO: application de matière organique.

Aucun apport n'est réalisé en dernière fraction car l'application de ce type de matière organique, au-delà du redressement, est généralement compliquée et peut endommager le peuplement. Par ailleurs, si ces apports sont trop tardifs, la minéralisation de l'azote organique, contenu dans ces matières recyclées, risque de ne pas coïncider avec les besoins de la culture.

Comme d'autres fumures organiques, ces matières recyclées contiennent une part d'azote minéral directement disponible pour la plante mais aussi une part d'azote organique (Tableau 10). Cette fraction doit donc être minéralisée avant de pouvoir être assimilée par la culture. Or, ce processus de minéralisation nécessite une certaine humidité et des températures suffisantes. Par conséquent, l'efficacité de ces matières organiques est fortement influencée par les conditions climatiques observées en sortie d'hiver et au printemps.

b. Contexte climatique de l'expérimentation

L'analyse des résultats présentés dans cette section doit donc se faire en tenant compte du contexte climatique dans lequel chaque année d'expérimentation s'est déroulée. Pour rappel, la période d'expérimentation s'étale de 2021 à 2024, quatre années avec des printemps plutôt contrastés sur le plan climatique (Figure 8).

Après un hiver proche de la normale, l'année 2021 est caractérisée par un printemps relativement froid avec des mois de mars et avril plutôt déficitaires en précipitations. Les pluies plus fréquentes durant le mois de mai et surtout du mois de juin ont largement ratrépqué le déficit des deux mois précédents au niveau de la pluviométrie.

L'année 2022 offre un printemps sec et chaud. La sécheresse va durablement s'installer dans nos régions de début mars jusque mi-mai. Le retour de précipitations plus importantes durant la dernière décennie de mai et au début du mois de juin a limité les effets délétères liés au déficit hydrique notamment au moment du remplissage du grain.

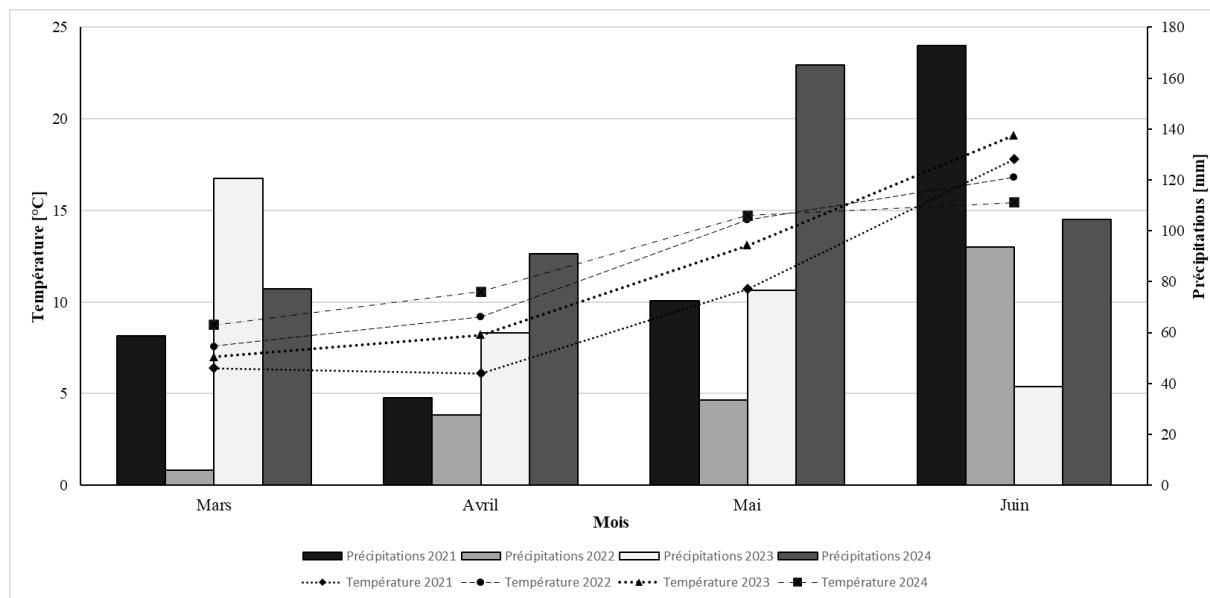


Figure 8 – Températures moyennes et cumuls pluviométriques mensuels observés durant chaque printemps entre 2021 et 2024 – Station IRM d'Ernage (Agromet).

La situation en 2023 est à l'inverse de celle observée en 2022, avec un printemps plutôt humide. En effet, de la mi-mars à la mi-mai, le pays est régulièrement traversé par des précipitations abondantes. Cette période agitée précède la seule période plus sèche observée en 2023, durant laquelle il ne va pas pleuvoir à Gembloux pendant près d'un mois, entre la mi-mai et la mi-juin.

L'année 2024 restera une année particulière avec des records enregistrés de précipitations et de températures, dépassant toutes les normes climatiques. Le printemps très humide et chaud reflète bien ces conditions météos. Seul le mois de juin était légèrement plus frais, ce qui a freiné le développement excessif des cultures et la minéralisation des matières organiques.

c. Impact sur le rendement

Le Tableau 12 reprend les rendements relatifs (%) pour chaque objet testé sur cet essai. Ces rendements ont été calculés à partir du rendement moyen de l'essai pour chaque année et sont repris dans ce tableau. Ces résultats permettent de tirer plusieurs enseignements.

Tout d'abord, les niveaux de production en 2021 sont largement inférieurs à ceux observés en 2022 et 2023. Cette différence s'explique avant tout par la variété utilisée. La première année, la variété Mentor, présentant un potentiel de rendement largement inférieur à Chevignon, avait été utilisée. Depuis, l'essai se conduit avec la variété Chevignon. Néanmoins, cette variété a montré un faible potentiel de rendement en 2024, principalement dû aux conditions climatiques.

De plus, l'efficacité de ces matières recyclées est variable d'une année à l'autre. Par exemple, en 2023, l'épandage de ces différentes matières organiques, en première fraction, a permis d'atteindre un rendement équivalent, voire supérieur, à celui obtenu avec une fumure classique. Les températures plutôt douces et les précipitations abondantes observées peu de temps après le premier apport ont probablement facilité la mise à disposition de l'azote contenu dans ces matières. Néanmoins, malgré un contexte favorable à la minéralisation, un premier apport de matière organique au tallage suivi d'un second passage au redressement n'a pas systématiquement permis de sécuriser la production.

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

Tableau 12 – Rendements phytotechniques relatifs des différents objets testés sur l'essai de 2021 à 2024.

Objets	Modalités	Rendement phytotechnique relatif [%]				
		2021	2022	2023	2024	Moyenne
1	Témoin sans azote	86	81	78	64	77
2	Fumure Livre Blanc	99	105	103	114	105
3	Compost solide (T)	94	99	104	107	101
4	Fraction liquide de compost (T)	100	113	106	114	108
5	Digestat (T)	104	97	102	103	102
6	Fiente (T)*	-	-	-	96	96
7	Compost solide (T+R)	111	103	103	100	104
8	Fraction liquide de compost (T+R)	98	110	104	114	107
9	Digestat (T+R)	108	92	100	94	98
10	Fiente (T+R)*	-	-	-	89	89
11	Digestat (T120+R)*	-	-	-	90	90
12	Fiente (T120+R)*	-	-	-	92	92
13	Purin d'ortie (150N)*	-	-	-	109	109
14	Purin d'ortie (180N)*	-	-	-	114	114
Rendement moyen (q/ha)		86	117	118	71	100

(T) : application uniquement au tallage; (T+R) : application au tallage et au redressement. * 1 seule année d'essai. Les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale du rendement phytotechnique (q/ha) observée pour une même année (test de Student-Newman-Keuls à 0,05 via R).

À l'inverse, en 2022, les conditions climatiques du printemps, peu propices à la minéralisation, ont probablement freiné la mise à disposition d'une partie de l'azote contenue dans ces matières organiques. Le compost solide ou le digestat n'ont pas correctement travaillé et n'ont pas libéré suffisamment d'azote au moment où le froment en avait besoin. Le recours à ces matières organiques pour fertiliser les parcelles n'a donc pas permis d'atteindre un rendement statistiquement équivalent à celui obtenu avec la fumure de référence recommandée par le Livre Blanc.

Concernant l'année 2024, l'épandage à la première fraction de ces différentes matières organiques, hormis les fientes, a permis de s'approcher du rendement maximal obtenu avec une fumure classique. La fraction liquide de compost a également montré un potentiel intéressant lors d'un apport au tallage et au redressement, complété par un apport d'azote minéral à la dernière feuille. Les autres matières n'ont pas démontré leur intérêt lorsqu'elles étaient appliquées en deux fractions. Ces résultats s'expliquent par le pourcentage important d'azote sous forme ammoniacale, directement disponible pour la plante, présent dans la fraction liquide du compost. Au contraire, le digestat et les fientes sont majoritairement composés d'azote organique (Tableau 10). En effet, les conditions climatiques trop humides au printemps, et assez fraîches au mois de juin, n'ont pas favorisé le processus de minéralisation de la matière organique. Il est vrai que les micro-organismes ont besoin d'humidité pour la bonne réalisation de ce processus or, les excès de précipitations de cette année ont probablement entraîné une réduction de la concentration en oxygène dans les sols, réduisant la capacité des micro-organismes à transformer l'azote organique en azote minéral. Le froment n'a donc pas suffisamment bénéficié de cette minéralisation au bon moment.

Une étude, réalisée en 2024, dans le cadre d'un mémoire de fin d'études⁹ sur cet essai implanté à Lonzée, a démontré que le froment présentait une carence en azote tout au

⁹ Collart M., 2025. Etude du potentiel de substitution des matières organiques au regard de l'efficience de la nutrition azotée du froment d'hiver (*Triticum aestivum* L.)

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Froment d'hiver

long de la période culturale pour les différentes modalités testées (compost solide, digestat et fientes). En effet, les pics de minéralisation ont été observés à partir de mi-juin jusqu'au mois d'août (un mois après la moisson). Le froment n'était donc plus en mesure de prélever de l'azote à cette période.

L'intégration de purin d'ortie dans un schéma de fertilisation classique semble également bénéfique pour assurer la productivité du froment, même si ce produit n'a pas permis d'augmenter significativement le rendement. Dans un schéma de fertilisation réduite à 150 kg N/ha, cette matière à base d'ortie a tout de même permis d'atteindre un rendement proche de la fumure de référence.

d. Impact sur la qualité

Tableau 13 – Teneur en protéines (%) pour les différents objets testés sur l'essai de 2021 à 2024.

Objets	Modalités	Teneur en protéines [%]			
		2021	2023	2024	Moyenne
1	Témoin sans azote	10,1	9,0	9,3	9,5
2	Fumure Livre Blanc	12,3	11,6	12,1	12,0
3	Compost solide (T)	12,0	11,3	12,2	11,8
4	Fraction liquide de compost (T)	12,6	12,2	12,8	12,5
5	Digestat (T)	12,0	11,0	11,8	11,6
6	Fiente (T)*	-	-	12,1	12,1
7	Compost solide (T+R)	11,7	11,0	11,7	11,5
8	Fraction liquide de compost (T+R)	12,8	12,4	12,7	12,6
9	Digestat (T+R)	11,9	10,7	11,3	11,3
10	Fiente (T+R)*	-	-	11,8	11,8
11	Digestat (T120+R)*	-	-	9,6	9,6
12	Fiente (T120+R)*	-	-	9,4	9,4
13	Purin d'ortie (150N)*	-	-	11,3	11,3
14	Purin d'ortie (180N)*	-	-	12,0	12,0
Moyenne annuelle		11,9	11,2	11,4	11,4

(T) : application uniquement au tallage; (T+R) : application au tallage et au redressement. * 1 seule année d'essai. Les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale observée pour une même année (test de Student-Newman-Keuls à 0,05 via R).

Des mesures ont également été effectuées sur la teneur en protéines afin d'évaluer l'impact d'une fertilisation combinant ces matières organiques et des engrains minéraux, sur ce critère technologique.

La teneur en protéines moyenne est globalement plus élevée en 2021 qu'en 2023. Les raisons de cet écart sont multiples : utilisation d'une variété présentant une meilleure aptitude à la panification (Mentor) et rendements beaucoup moins importants. Pour l'année 2024, les teneurs en protéines sont semblables à celles obtenues en 2021.

L'intégration de ces matières recyclées dans un schéma de fertilisation ne semble pas être pénalisant pour la protéine, mis à part pour les modalités où uniquement des matières organiques ont été apportées (objets 11 et 12). En effet, les différents objets ont permis d'atteindre des teneurs en protéines comparables à celles obtenues avec une fumure minérale classique. En outre, l'utilisation de compost liquide en une ou deux applications semble même avoir une influence positive sur la qualité du grain.

Utiliser du compost ou du digestat pour fertiliser le froment est possible, à condition de combiner l'utilisation de ces matières organiques avec une fertilisation minérale. D'après ces résultats, l'application de ces engrains organiques lors de la première fraction garantirait un certain niveau de production proche de celui obtenu avec une fumure exclusivement minérale. Néanmoins, l'efficacité de ces apports reste tributaire des conditions climatiques. Par conséquent, une première application de matière organique au tallage, suivie d'une seconde au redressement est une pratique qui peut présenter un risque. Si l'option est d'inclure davantage d'engrais organique dans son schéma de fertilisation, il convient de choisir une formulation adaptée pour minimiser ce risque. Dans ce cas, les formulations dépourvues de fraction solide, comme la fraction liquide de compost, semblent mieux convenir.

Même si l'essai ne permet pas d'y répondre, l'utilisation de ces matières organiques pose également d'autres questions. En effet, l'épandage de certaines matières recyclées nécessite du matériel spécifique. Ce type de fertilisation implique généralement d'épandre des volumes de matières organiques très importants, pour apporter les quantités d'azote requises. Enfin, les conditions climatiques durant les périodes d'épandage peuvent également rendre l'accès à certaines terres compliqué. Tous ces éléments devront être pris en considération avant d'opter pour l'utilisation de matières organiques.

2.3 La fertilisation azotée en escourgeon

2.3.1 Résultats des expérimentations en 2024

Les résultats d'essais sur la fumure azotée proviennent des plateformes de Lonzée (CePiCOP-Gx-ABT) et de Ath (CARAH). La première analyse a été réalisée à Ath. Les deux autres essais, l'un sur une variété lignée et l'autre sur une variété hybride, ont été réalisés à Lonzée.

Le Tableau 14 reprend les itinéraires techniques de ces trois essais.

Tableau 14– Itinéraires techniques des essais implantés à Ath et Lonzée en 2024.

Intervention	Ath		Lonzée			
	Caractéristique	Valeur/ Date	Caractéristique	Valeur/ Date	Caractéristique	Valeur/ Date
Choix variétal	KWS Orbit	-	Visuel	-	SY Bankook	-
Variété	Lignée		Lignée		Hybride	
Semis	275 grains/m ²	04-oct	225 grains/m ²	04-oct	175 grains/m ²	04-oct
Précédent	Froment		Pomme de terre		Pomme de terre	-
Profil azoté (kgN/ha)	profondeur 0-30 cm profondeur 30-60 cm profondeur 60-90 cm Total N minéral	6 7 6 19	profondeur 0-30 cm profondeur 30-60 cm profondeur 60-90 cm Total N minéral	6 6 7 18	profondeur 0-30 cm profondeur 30-60 cm profondeur 60-90 cm Total N minéral	6 6 7 18
Apport de fumure	Tallage (T) Tallage-Redressement (TR) Redressement (R) Dernière feuille (DF)	15-mars 25-mars 03-avr 18-avr	Tallage (T) - Redressement (R) Dernière feuille (DF)	28-févr - 25-mars (minérale) 26-mars (compost,...) 18-avr 29-avr (Utrisha)	Tallage (T) - Redressement (R) Dernière feuille (DF)	28-févr - 25-mars (minérale) 26-mars (compost,...) 18-avr 29-avr (Utrisha)
Désherbage	Herold 0,6l/ha + AZ500 120cc/ha Allié 15g/ha + Primus 75cc/ha	18-oct 19-avr	Axial 0,9l/ha + Biathlon Duo 70g/ha	10-avr	Herold 0,6l/ha	21-mars
Régulateur	Medax Top 11/ha Medax Max 0,5kg/ha	02-avr 18-avr	Medax Top 0,4l/ha Medax max 0,75kg/ha	08-avr 30-avr	Medax Top 0,4l/ha Medax max 0,75kg/ha	08-avr 30-avr
Fongicide	Fandango Pro 11/ha Lenyvor 11/ha + Priazor 11/ha	06-avr 22-avr	Simveris 11/ha+ Comet New 0,5l/ha Ascras Xpro 1.2l/ha	08-avr 30-avr	Simveris 11/ha+ Comet New 0,5l/ha Ascras Xpro 1.2l/ha	08-avr 30-avr
Insecticide	Kendo 50 cc/ha	17-oct	-	-	-	-
Récolte		08-juil	09-juil		09-juil	

• Rendements phytotechniques et économiques

Situation 2024 : Pour le calcul du rendement économique qui est présenté dans les tableaux suivants, le prix de vente retenu pour l'escourgeon est de **180 €/t** et le prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrat 27%) est de **310 €**, avec une TVA appliquée de 6%.

Les rendements économiques repris dans cette section seront donc exprimés selon le rapport 6.4, à savoir qu'1 kilogramme d'azote correspond à 6.4 kilogrammes d'escourgeon.

• Analyse de l'essai fumure réalisé à Ath

Le Tableau 15 illustre les résultats de l'essai « fumure azotée » mené dans le Hainaut par le CARAH sur la variété KWS Orbit. Cet essai se caractérise par des rendements globalement faibles, liés aux conditions climatiques de l'année 2024, exceptionnellement marquée par des précipitations qui ont certainement influencé la valorisation des fractions azotées apportées. Néanmoins, les résultats de l'analyse statistique montrent certaines différences significatives entre modalités. Le schéma 8 (60-0-55-70 kg N/ha), le seul ayant reçu une dose de sulfonitrat lors du tallage, est celui qui obtient le rendement phytotechnique le plus élevé. Comme attendu,

seul le témoin non fertilisé ne permet pas de maximiser le rendement. Comme pour le froment, il est particulièrement important de ne pas regarder uniquement les rendements phytotechniques mais de prendre également en compte le rendement économique.

Grâce au calcul du rendement économique, on observe que le meilleur résultat est également obtenu avec la modalité 8, conseillée par le CARAH, soit un schéma de 185 kg N/ha en trois apports : **60-0-55-70 kg N/ha** et contenant du soufre (sulfonitrate 26N/31S) lors de la première fraction au tallage. Toutefois, tous les programmes, excepté le témoin non fertilisé, donnent des résultats de rendements économiques statistiquement similaires. Le conseil donné par le CARAH d'un programme en deux fractions de **0-80-0-80 kg N/ha** (modalité 6) ou d'un programme en trois fractions **60-0-55-70 kg N/ha** (modalité 7) sont parmi les schémas les plus performants au point de vue du rendement économique.

Tableau 15 – Résultats de l'essai « fumure azotée » réalisé en 2024 à Ath (CARAH) sur la variété KWS Orbit. Ce tableau renseigne les fumures appliquées en fonction des stades de la culture (kg N/ha), la fumure totale (kg N/ha), le rendement phytotechnique et économique (q/ha), le poids à l'hectolitre (kg/hl), le poids de mille grains PMG (g) et la teneur en protéines (% matière sèche).

KWS Orbit										
Objet	T 15-mars	TR 25-mars	R 03-avr	DF 18-avr	Total [Kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	PMG [g]	Teneur en protéines [% MS]
1	0	0	0	0	0	35	35	61,5	45,9	8,6
2	40	0	35	40	115	74	67	60,3	45,4	11,2
3	40	0	40	50	130	73	65	60,1	43,5	11,9
4	40	0	55	50	145	75	66	60,2	40,5	11,5
5	55	0	55	50	160	75	65	60,9	44,8	12,0
6	0	80	0	80	160	76	66	59,0	43,7	12,0
7	60	0	55	70	185	77	65	59,5	43,9	12,7
8	60**	0	55	70	185	82	70	58,7	41,4	12,3
9	70	0	60	70	200	74	61	59,7	44,4	12,5
10	70	0	60	85	215	77	63	59,9	43,6	12,2

Les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale observée pour un paramètre. Pour les rendements, un gradient de couleur permet de mieux visualiser les différences entre les valeurs proches de l'optimum économique (plus la case est foncée, plus le rendement est élevé). Test statistique de Student Newman-Keuls p<0,05. T: tallage; TR : tallage-redressement, R : Redressement; DF : Dernière feuille.

** Engrais contenant du soufre (sulfonitrate 31%S)

Au prix de vente de 180 € la tonne d'escourgeon (prix retenu pour 2024) et au prix d'achat actuel de 310 € la tonne d'ammonitrat 27 %, le meilleur compromis qui découle des résultats de cet essai est celui qui est atteint avec l'apport de **185 kg N/ha** (60-0-55-70), qui donne un rendement phytotechnique de 82 q/ha et un rendement économique de 70 q/ha.

Poids à l'hectolitre (P/HL) et poids de mille grains (PMG)

En 2024, le poids à l'hectolitre et le poids de mille grains ont été particulièrement bas. Comme dans l'essai du CARAH en 2023, les objets avec des schémas de fertilisation plus élevés ont majoritairement et statistiquement un poids à l'hectolitre plus faible que les autres modalités. L'objet 1, le témoin, est celui qui ressort avec le poids à l'hectolitre et le poids de mille grains les plus élevés. Néanmoins, toutes les modalités présentent un P/HL inférieur aux normes minimales de réception (63 kg/hl).

Teneur en protéines

Comme attendu, les schémas de fertilisation avec des fumures élevées (à partir de 160 kg N/ha) ont atteint des niveaux de teneurs en protéines supérieurs à ceux des schémas plus raisonnés.

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Escourgeon

Toutefois, le schéma 3 (130 kg de N) a également permis d'atteindre un niveau de protéines quasi similaire.

Apport de soufre

Afin d'évaluer la nécessité ou non d'apporter du soufre au tallage, l'ammonitrat 27 % a été remplacé par du sulfonitrate 26N/31S lors de l'apport de la première fraction de tallage dans l'objet 8. Comme vu ci-dessus, l'apport de soufre a permis d'obtenir le rendement phytotechnique et économique les plus élevés de l'essai. En effet, en comparaison avec l'objet 7 (même fractionnement mais sans ajout de soufre), les rendements phytotechniques et économiques ont augmenté de 5 quintaux chacun, ce qui est non négligeable.

Les besoins en soufre sont généralement modérés et les réserves présentes dans les sols sont habituellement suffisantes. Cependant, selon les conclusions des chercheurs français (d'après les résultats d'Arvalis), les pertes de soufre sous forme de sulfate sont étroitement liées au drainage hivernal, même davantage que celles du nitrate. Ainsi, vu les conditions climatiques de 2024, utiliser en 2025 une solution de sulfonitrate semble être une **option pertinente pour les parcelles présentant un risque élevé de carence en soufre**, notamment dans les sols superficiels filtrants, argilocalcaires superficiels, sols sableux ou limoneux caillouteux. Il est recommandé d'effectuer cet apport de soufre entre les stades de mi-tallage et de redressement. Les situations caractérisées par des apports organiques fréquents (tels que les effluents d'élevage) présentent un risque faible, de même que les sols profonds, les limons argileux et limons francs.

• Analyse des essais fumures réalisés à Lonzée (CePiCOP-GxABT)

Le fractionnement de la fumure azotée a de nouveau été étudié sur deux essais mis en place à Lonzée ; le premier a été réalisé avec la variété Visuel (variété lignée brassicole), le second avec la variété Bankook (variété hybride). Le choix de réaliser deux essais séparés pour les variétés lignées et hybrides découle du constat que les deux types de variétés ont des comportements différents par rapport aux divers schémas de fumure. De plus, cette année, certains objets ont reçu un ou plusieurs fractionnements de fumures alternatives comprenant du compost, du digestat ou encore de l'Utrisha® N / BlueN®. Le compost et le digestat sont les mêmes produits que ceux présentés précédemment dans la partie 2.2.5. Les modalités (13 à 20, Tableau 16 et 17) ayant reçu du compost, digestat ou Utrisha® N / BlueN® sont entourées par un cadre noir ! **Il est important de prendre en compte que ces modalités ont été testées pour la première fois dans cet essai !**

a. Analyse de l'essai fumure réalisé à Lonzée sur la variété lignée

Rendements phytotechniques et économiques

L'analyse statistique de l'essai 2024, présentée dans le Tableau 16, indique que le programme non fertilisé (objet 1), ainsi que ceux comprenant un apport inférieur ou égal à 105 kg N/ha (modalités 2 et 3) ont un rendement phytotechnique et économique inférieurs à celui des autres modalités.

Grâce au calcul du rendement économique, le meilleur résultat est obtenu avec la modalité 6, soit un schéma de 140 kg N/ha en trois apports : **35-70-35 kg N/ha**.

Au vu des coûts supplémentaires dus à l'apport de l'Utrisha® N / BlueN®, le rendement économique des modalités 19 et 20 a été calculé différemment des autres modalités. En effet,

le prix du produit ainsi qu'un passage supplémentaire de pulvérisateur ont été pris en compte. Le rendement économique des modalités 13 à 18 (c'est-à-dire celles comportant du compost ou du digestat) n'a pas été calculé.

Pour le rendement phytotechnique, la modalité 18 obtient le meilleur résultat avec 76,2 q/ha, soit un schéma de 160 kg N/ha en trois apports : **50-60-50 kg N/ha**, dont l'azote apporté lors du redressement était sous forme de compost solide. Toutefois, ces résultats ne sont issus que d'une année d'essai. Les modalités ayant reçu 140 kg N/ha, ou plus, ont présenté des rendements phytotechniques et économiques statistiquement plus élevés.

Il faut cependant tenir compte que l'année 2024 a été exceptionnellement marquée par des précipitations qui ont certainement influencé la valorisation des fractions azotées apportées.

Tableau 16 – Résultats de l'essai « fumure » réalisé à Lonzée (CePiCOP, GxABT) en 2024 sur la variété lignée Visuel. Ce tableau renseigne les fumures appliquées (kg N/ha) en fonction des stades de la culture, la fumure totale (kg N/ha), le rendement phytotechnique et économique (q/ha), le poids à l'hectolitre (kg/hl), la teneur en protéines (% de la matière sèche) et le poids de mille grains PMG (g).

Objet	VISUEL								
	T 28-févr	R 25/26-mars	DF 18/29-avr	Total [Kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Protéines [% MS]	PMG [g]
1	0	0	0	0	43,7	44	60,0	9,8	37,9
2	70	35	0	105	66,2	59	60,5	11,1	39,1
3	35	70	0	105	66,9	60	61,1	11,5	38,3
4	70	35	35	140	73,3	64	61,6	11,9	40,3
5	70	70	0	140	71,1	62	60,3	11,9	39,3
6	35	70	35	140	76,0	67	60,1	11,6	38,3
7	0	70	70	140	70,5	62	59,7	11,8	38,1
8	50	60	50	160	74,7	64	59,7	12,3	38,7
9	70	70	35	175	75,9	65	60,3	11,8	38,7
10	35	70	70	175	74,9	64	59,7	12,0	38,3
11	70	70	70	210	71,6	58	58,3	12,3	36,7
12	35	105	70	210	73,4	60	59,0	12,6	36,5
13	D50	60	50	160	72,2		60,0	11,5	37,9
14	D70	60	50	180	75,1		60,2	11,6	38,6
15	D50	D60	50	160	69,4		60,6	11,8	39,8
16	50	D60	50	160	71,5		60,7	11,4	38,9
17	C50	60	50	160	72,4		60,3	11,6	38,4
18	50	C60	50	160	76,2		61,4	11,8	39,4
19	50	U+20	50	120	75,3	65	62,3	11,7	41,2
20	50	U+60	50	160	75,0	62	60,2	11,7	38,3

Les cases grises sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale observée pour un paramètre. Pour le rendement économique, un gradient de couleur permet de mieux visualiser les différences entre les valeurs proches de l'optimum économique. Test statistique de Student Newman-Keuls p<0.05. T: tallage; R : Redressement; DF : Dernière feuille.

D = Digestat, C = Compost solide, U = Utrisha N

Poids à l'hectolitre (P/HL) et poids de mille grains (PMG)

En 2024, le poids à l'hectolitre et le poids de mille grains ont été particulièrement bas (P/HL < 63 kg/hl). Le poids de mille grains a été peu affecté par les schémas de fertilisation. Pour les poids à l'hectolitre, ceux-ci sont plus bas lorsque les programmes de fertilisation ont reçu une dose totale supérieure à 160 kg N/ha.

Teneur en protéines

La teneur en protéines est liée en grande partie à l'apport de la dernière fraction d'engrais azoté et est favorisée par des fumures totales élevées. Cette année, les fumures totales égales ou supérieures à 140 kg N/ha permettent d'obtenir les plus hautes teneurs en protéines. Cet essai a été réalisé dans une parcelle avec un précédent pomme de terre et une restitution de fumier (tous les 3 à 5 ans).

Relation entre la teneur en protéines et le rendement à l'hectare :

Comme les modalités (apport de fumures alternatives) et la variété d'escourgeon (KWS Faro les autres années) ont changé par rapport à ces dernières années, il n'a pas été possible de réaliser un graphique de la relation entre la teneur en protéines et le rendement à l'hectare des programmes de fumure sur plusieurs années. Si vous souhaitez avoir une vision globale sur plusieurs années, consultez les pages 78-79 du Livre Blanc de février 2024.

Si vous souhaitez vous insérer dans une **filière brassicole** (teneur en protéines entre 9.5-11.5%), veillez à ne pas opter pour des programmes de fumures avec des doses totales trop élevées qui risqueraient, en fonction de l'année, d'entrainer le déclassement des lots.

La Figure 9 suivante présente la relation entre la teneur en protéines et le rendement à l'hectare pour les différents programmes de fumures testés sur la variété Visuel pour l'année 2024. La relation inverse entre la teneur en protéines et le rendement à l'hectare est observée sur cette figure. Les programmes de fumure les plus performants en termes de rendement combiné à la quantité de protéines (adéquate à la finalité brassicole) sont ceux se trouvant proches ou dans le carré en bas à droite de la figure.

Globalement, il est constaté que les fumures alternatives apportent moins de protéines que la fumure minérale, et cette différence est d'autant plus marquée pour le digestat (composé majoritairement de N organique).

Comme cette année les sols étaient détremplés, il y a eu un manque d'oxygène ce qui n'a pas permis la minéralisation de l'azote organique qui a eu pour conséquence une diminution de la formation de protéines dans les plantes.

Comme on peut le constater sur ce graphique, il est conseillé de modérer la dernière fraction apportée et de choisir un programme comme **35-70-35 (minéral)**.

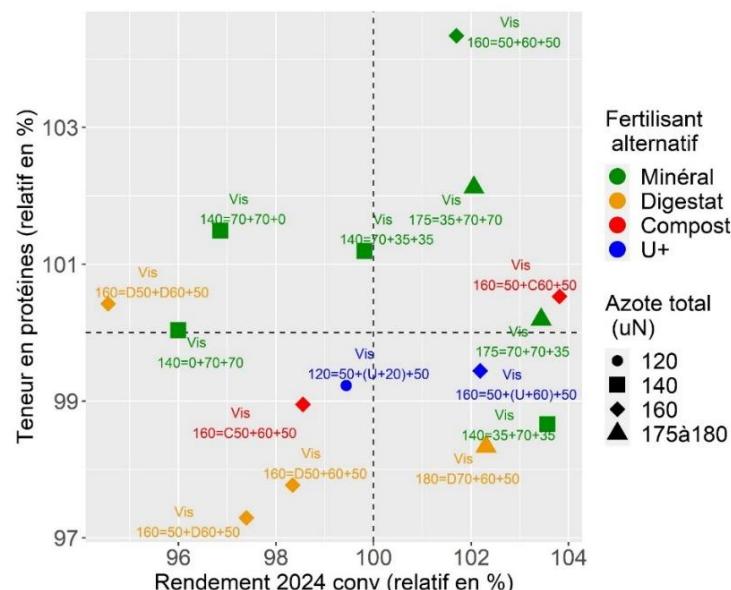


Figure 9 – Relation entre la teneur en protéines et le rendement à l'hectare des programmes de fumures testés sur la variété Visuel pour l'année 2024.

b. Analyse de l'essai fumure réalisé à Lonzée pour la variété hybride

Rendements phytotechniques et économiques

Pour la variété hybride Bankook, la fumure permettant de maximiser le rendement phytotechnique (88 q/ha) et économique (79 q/ha) est obtenue par le programme n°7, composé de trois fractions : **35-70-35 kg N/ha**, soit un schéma de 140 kg N/ha.

Comme pour l'essai précédent, au vu des coûts supplémentaires dus à l'apport de l'Utrisha® N / BlueN®, le rendement économique des modalités 19 et 20 a pris en compte le prix du produit ainsi qu'un passage supplémentaire de pulvérisateur.

Le rendement économique des modalités 13 à 18 (c'est-à-dire celles comportant du compost ou du digestat) n'a pas été calculé.

Pour le rendement phytotechnique, la modalité 20 obtient le meilleur résultat avec 90 q/ha, soit un schéma de 175 kg N/ ha en trois apports : **25-75-75 kg N/ha**, avec un ajout de l'Utrisha® N / BlueN® lors du redressement (première année d'essai).

Tableau 17 – Résultats de l'essai « fumure » réalisé à Lonzée en 2024 sur la variété hybride Bankook. Ce tableau renseigne les fumures appliquées (kg N/ha) en fonction des stades de la culture, la fumure totale (kg N/ha) du programme, le rendement phytotechnique et économique (q/ha), le poids à l'hectolitre (kg/hl), la teneur en protéines (% de la matière sèche), le poids de mille grains (g). Le rendement économique ne tient pas compte d'un éventuel surcout des semences hybrides.

Objet	BANKOOK								
	T 28-févr	R 25/26-mars	DF 18/29-avr	Total [Kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Protéines [%MS]	PMG [g]
1	0	0	0	0	51	51	60,3	10,0	48,2
2	0	35	35	70	72	68	62,0	11,4	49,8
3	35	35	35	105	80	74	61,5	11,7	48,5
4	35	70	0	105	78	71	61,8	11,0	49,0
5	0	70	35	105	82	75	60,4	11,3	47,6
6	70	35	35	140	87	78	61,7	11,6	50,3
7	35	70	35	140	88	79	60,8	11,7	49,7
8	0	70	70	140	86	77	61,6	12,1	47,8
9	35	70	70	175	89	78	60,9	12,5	49,1
10	0	105	70	175	87	76	60,6	12,6	46,5
11	25	75	75	175	87	76	60,7	12,5	48,8
12	35	105	70	210	87	73	60,4	13,3	48,0
13	D25	75	75	175	87		60,6	12,5	47,0
14	D55	75	75	205	88		61,1	12,5	49,3
15	25	D75	75	175	87		61,7	11,9	50,5
16	D25	D75	75	175	83		60,7	12,0	50,4
17	C25	75	75	175	86		60,4	12,4	47,7
18	25	C75	75	175	86		61,6	12,1	49,1
19	25	U+45	75	145+U	85	73	60,6	12,1	48,5
20	25	U+75	75	175+U	90	76	61,2	12,5	50,4

Les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale observée pour un paramètre.
 Pour le rendement économique, un gradient de couleur permet de mieux visualiser les différences entre les valeurs proches de l'optimum économique. Test statistique de Student Newman-Keuls p<0.05.
 T: tallage; R : Redressement; DF : Dernière feuille.
 D = Digestat, C = Compost solide, U = Utrisha N

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Escourgeon

Poids à l'hectolitre (P/HL) et poids de mille grains (PMG)

En général, le poids à l'hectolitre et le poids de mille grains ont été peu affectés par les schémas de fertilisation. Comme pour la variété Visuel, le poids à l'hectolitre est particulièrement faible cette année.

Teneur en protéines

La teneur en protéines est liée en grande partie à l'apport de la dernière fraction et est favorisée par des fumures totales élevées. Cette année, les fumures totales de plus de 140 kg N/ha ont permis de maximiser la teneur en protéines.

Message à retenir des essais de variétés hybrides:

Les variétés hybrides sont en général moins pénalisées par une fraction de tallage plus faible que les variétés lignées dans les conditions limoneuses de cet essai.

La fraction de redressement est importante (70 kgN/ha) pour permettre à un nombre de talles suffisant de monter en épis.

La fraction dernière feuille est importante pour assurer un bon remplissage des grains.

2.3.2 Analyses des reliquats pour la campagne 2025

Les températures des mois d'octobre, novembre et de décembre ont été plus élevées que les normales climatiques. Cela a permis à certains escourgeons de profiter de ces conditions et de la minéralisation pour prélever de l'azote dans le profil.

Les précipitations excessives des mois de septembre et octobre 2024 ont favorisé le lessivage de l'azote. Les conditions printanières, qui influenceront particulièrement la valorisation des fractions d'azote qui seront apportées, ne peuvent être connues à l'avance. Toutefois, les premières analyses de reliquats azotés dans le sol réalisées fin janvier 2025 permettent d'estimer l'état moyen des profils azotés en escourgeon.

Douze parcelles d'escourgeon (uniquement des précédents « froment » dans le cadre de ces analyses) ont été échantillonnées en ce début d'année 2025. Les quantités d'azote disponibles dans les 90 premiers cm du profil sont **légèrement plus hauts** par rapport aux années précédentes. La moyenne de ces 16 dernières années est de 30 kg N_{min}/ha sur 0-90 cm de profondeur. L'azote est réparti uniformément dans les trois horizons du sol.

Tableau 18 – Comparaison pour les 16 dernières années (2010-2024) des réserves en azote minéral dans les différents étages du profil du sol (kg N-NO₃/ha) – CePiCOP, CRA-W, GRENeRA, GxABT, Requasud et les laboratoires provinciaux.

Réserve en azote minéral en kgN/ha																	MOY
Nbr de profils	12	25	32	29	17	18	29	18	30	34	21	29	22	10	6	5	
Profondeur (cm)	0-30	10	8	9	8	10	8	11	8	21	7	6	5	8	9	10	9
	30-60	9	6	9	9	11	7	11	8	32	5	5	5	8	9	12	7
	60-90	11	8	10	11	17	12	15	12	22	7	5	8	10	12	10	9
Total (cm)	0-90	30	22	28	28	38	28	37	28	75	19	16	18	26	30	32	25
																	30

2.3.3 Conseil de fertilisation pour la saison culturelle 2025

La fumure de référence conseillée pour 2025 est basée sur les résultats de l'analyse pluriannuelle (2018 à 2024, 7 dernières années d'essais), de l'expérience du passé et sur une analyse des résultats des essais « fumures » de 2024 ainsi que sur base des observations de ce début de saison et sur le prix des engrains. Etant donné que les réponses à l'azote diffèrent entre les variétés lignées et hybrides, les schémas de fumure seront traités séparément pour ces deux types de variétés.

Fertilisation de référence 2025

La fumure de référence proposée pour l'escourgeon lignée est de :

Fraction du tallage (1 ^{ère} fraction)* :	50 N
Fraction du redressement (2 ^{ème} fraction) :	50 N
Fraction de la dernière feuille (3 ^{ème} fraction) :	50 N

*Il est conseillé d'apporter du soufre lors du premier apport (tallage).

La fumure de référence proposée pour l'escourgeon hybride est de :

Fraction du tallage (1 ^{ère} fraction) :	25 N
Fraction du redressement (2 ^{ème} fraction) :	75 N
Fraction de la dernière feuille (3 ^{ème} fraction) :	75 N

Les essais montrent qu'une fumure raisonnée permet d'éviter les surcoûts de fertilisation et d'obtenir un bon rendement économique tout en préservant l'environnement.

Cette année, la fumure totale conseillée, pour la variété lignée, diminue de 10 unités par rapport à l'année dernière, passant de 160 à 150 unités. Cependant, il est fortement conseillé d'apporter du soufre avec le premier apport d'azote, c'est-à-dire au tallage, sous forme d'engrais azoté soufré, dans les situations nécessaires. Depuis plusieurs années, les résultats du CARAH à Ath montrent en effet que les rendements économiques et phytotechniques augmentent lorsque du soufre est ajouté. Malheureusement, aucune des modalités des essais à Lonzée ne comportaient du soufre.

La fumure totale conseillée pour la variété hybride ne change pas et reste à 175 unités.

ATTENTION : ces conseils de fumure doivent être ajustés à chaque parcelle (région, état du sol, précédent, apport de fumure organique, ...) Des facteurs de corrections sont indispensables pour arriver au programme de fumure qui correspond à votre parcelle !

Considération pratique pour adapter le conseil en fonction des situations (régions, aléas climatiques, ...)

La fumure de référence est valable dans la majorité des situations culturales. Le meilleur moment pour effectuer l'apport post-hivernal de tallage doit coïncider avec la reprise de la végétation. **Intervenir plus tôt ne s'est jamais concrétisé** par un bénéfice à la culture, au contraire une telle pratique présente des risques pour l'environnement et pour la culture.

II.2 Céréales d'hiver – Fertilisation azotée – Escourgeon

D'une manière générale, le conseil est de ne pas renforcer la fraction de tallage de la fumure azotée, qui reste de 25 kg N/ha pour les variétés hybrides et de 50 kg N/ha pour les variétés lignées. Dans une situation normale, augmenter de manière trop importante ces fumures risquerait de provoquer un développement de talles surnuméraires, non productives et génératrices de difficultés de conduite de la culture (densité de végétation trop forte, verse, maladies, ...).

Toutefois, comme expliqué précédemment, il est important de tenir compte de facteurs correctifs pour sa parcelle et une majoration de la dose préconisée au tallage doit se concevoir dans certaines situations particulières, lorsque l'emblavure apparaît claire ou peu développée à la sortie de l'hiver, comme dans les exemples suivants :

- ❖ cas de certains semis tardifs ;
- ❖ suite à l'arrêt précoce de la végétation à l'arrière-saison ;
- ❖ suite à un déchaussement de plante.

Dans certaines situations, une impasse de la fraction de tallage est possible :

- ❖ dans les parcelles à bonne minéralisation (en région limoneuse et sablo-limoneuse) ;
- ❖ dans des cultures très denses en sortie d'hiver ;
- ❖ dans les parcelles où la culture est plus précoce et proche du redressement à la sortie de l'hiver ;
- ❖ lorsque les conditions climatiques sont particulièrement favorables.

Si l'impasse de la fraction de tallage est nécessaire ou justifiée, il reste important de respecter certaines consignes quant au moment de l'application. Faire l'impasse de toute fumure avant le stade 1^{er} nœud est souvent pénalisant. De ce fait, il conviendra donc d'anticiper et d'appliquer la fraction unique « tallage + redressement » quelques jours avant le stade « épis à 1 cm », en veillant à ne pas dépasser un total de 115 kg N/ha. Toutefois, notre conseil est de se limiter à 100 kg N/ha.

A l'opposé, il convient de ne pas faire l'impasse sur la fumure de tallage dans des parcelles peu fertiles ou très froides, même en Hesbaye.

A partir du **stade redressement**, les besoins de l'escourgeon deviennent importants. Les disponibilités à ce stade doivent être suffisantes pour couvrir les besoins afin d'éviter toute faim azotée mais, comme pour le tallage, il est inutile, quelles que soient les situations, d'appliquer des fumures excessives au risque d'entraîner ultérieurement des problèmes de verse, maladies...

La fraction de dernière feuille est destinée à assurer le remplissage maximum des grains en maintenant une activité photosynthétique la plus longue possible pour permettre un transfert parfait des matières de réserve vers le grain.

Calcul des doses à appliquer dans votre propre parcelle :

Comme pour le froment, la formule générale pour le calcul des fractions à appliquer reste d'application :

$$\boxed{\begin{aligned} \text{Dose à appliquer} = & \text{Dose de référence} + N.TER + N.ORGA + N.PREC + N.ETAT \\ & + \text{éventuellement } N.CORR \end{aligned}}$$

Les étapes pour adapter sa fumure selon la méthode Livre Blanc ainsi que les tableaux pratiques

pour le calcul de votre fumure sur champs sont disponibles en suivant le lien ci-dessous :
<https://www.livre-blanc-cereales.be/thematiques/fumures/escourgeon/determination-pratique-escourgeon/>

1. Outils de calcul :

Un outil de calcul permet de réaliser une simulation directe dans un fichier Excell.

2. Adapter sa fumure en escourgeon

Un document qui détaille les valeurs des facteurs correctifs : N.TER, N.ORGANIC, N.PREC, N.ETAT et N.CORR en fonction de votre situation (climat froid...).

3. Tableaux synthétiques pour le calcul de la fertilisation : tableaux pour calcul de votre fumure.

❖ Le rappel des principes théoriques d'une bonne fertilisation :

<https://www.livre-blanc-cereales.be/thematiques/fumures/escourgeon/>

Tableau 19 – Bilan de la fertilisation à apporter à la culture d'escourgeon en fonction des facteurs de correction propres à votre parcelle qui sont à considérer.

FUMURE	DOSE REF.	N. TER	N. ORGA	N. PREC	N. ETAT	N. CORR	TOTAL (1)
Tallage							
Redressement							
Dernière feuille							
(1) Lorsque le total ainsi calculé est négatif, sa valeur est ramenée à 0 ; lorsque ce total vaut moins de 10 N, sa valeur est reportée sur la fraction suivante							

Prenons un exemple avec une variété lignée:

Une parcelle dans le Condroz (précédent froment) qui comprend un mauvais drainage et une terre argileuse mais avec des restitutions organiques modérées (tous les 3 ans). Cette culture atteint le stade fin tallage début mars avec une densité élevée de plantes/m² mais un sol encore gorgé d'eau.

L'aspect de la végétation aux stades redressement et dernière feuille est normal.

Pour cette situation en tenant compte des facteurs correctifs, la fumure référence 50-50-50 kg N/ha devient alors >> **55-70-55** kg N/ha

2.4 La fertilisation azotée de l'association du froment d'hiver et du pois protéagineux d'hiver

2.4.1 Etat de l'association en sortie d'hiver

Les conditions de semis fin octobre - début novembre ont été favorables à l'association froment-pois. Cette association a ainsi pu se développer correctement durant l'automne et a profité des températures clémentes. Les températures plus fraîches du mois de janvier ont ralenti le développement des deux espèces. Début février, l'état de croissance du froment correspond au stade trois feuilles étalées. Le pois est composé de trois feuilles et trois vrilles.

2.4.2 La fumure conseillée pour la saison 2024-2025

La fumure conseillée pour 2025 s'appuie sur les résultats d'un projet de recherche¹⁰, sur les essais réalisés par le CePiCOP en 2019 et 2020 ainsi que sur base des observations de ce début de saison. La fumure conseillée est une fumure en deux fractions. Une première fraction de 40 kg N/ha est apportée au stade tallage-redressement du froment. Ensuite, un apport de 60 kg N/ha est réalisé lors du stade dernière feuille. Une fumure totale de 100 kg N/ha est donc appliquée.

Une sur-fertilisation de cette association est contre-productive car elle entrave la « fertilisation naturelle » apportée par les nodosités symbiotiques du pois. Ces nodosités, qui permettent au pois de fixer l'azote de l'air pour ses besoins pendant la phase végétative, se développent moins bien si la fertilisation est excessive ou trop précoce. En fin de végétation, les nodosités offrent également un avantage à la céréale grâce aux transferts d'éléments nutritifs issus d'exsudats racinaires. Pour optimiser les performances de l'association, il est essentiel d'appliquer la fertilisation aux moments appropriés, en respectant les doses recommandées.

La fumure conseillée pour l'association de froment et de pois protéagineux d'hiver est de :

Fraction du tallage – redressement (1 ^{ère} fraction) :	40 N
Fraction de la dernière feuille (2 ^{ème} fraction) :	60 N

Néanmoins, en fonction de l'état de la culture en sortie d'hiver, et surtout de la disparition significative des pois protéagineux dans l'association, cette fumure pourrait être adaptée. En effet, lorsque la pression en maladies sur les pois est trop importante, situation assez fréquente ces dernières années, et que les pois tendent à disparaître, le fractionnement peut s'adapter comme suit afin d'assurer le potentiel de rendement de la céréale :

Fraction du tallage (1 ^{ère} fraction) :	30 N
Fraction du redressement (2 ^{ème} fraction) :	30 N
Fraction de la dernière feuille (3 ^{ème} fraction) :	60 N

¹⁰ « Produire durablement des graines riches en protéines en optimisant la conduite de la culture associée de pois protéagineux d'hiver et de froment d'hiver », financé par le SPW/DGO3 de 2012 à 2018.