

2. La fertilisation azotée

A. Nysten¹, B. Van der Verren¹, B. Godin², C. Vandenberghe³, O. Mahieu⁴, J. Pierreux⁵, P.-Y. Werrie²,
V. Reuter², L.-M. Blondiau⁴, C. Collin⁶, J. Legrand,⁷ A. Vilret⁸, et B. Dumont⁵

2.1 Bilan de la saison culturale 2022-2023	42
2.2 La fertilisation azotée en froment d’hiver.....	44
2.2.1 Résultats des expérimentations en 2023	44
2.2.2 Relation entre force boulangère et rendement	59
2.2.3 Les éléments à considérer pour une recommandation pratique	62
2.2.4 La détermination pratique de la fertilisation azotée.....	65
2.2.5 Fertilisation du froment d’hiver avec des matières organiques	70
2.3 La fertilisation azotée en escourgeon.....	75
2.3.1 Résultats des expérimentations en 2023	75
2.3.2 Analyses des reliquats pour la campagne 2024	81
2.3.3 Conseil de fertilisation pour la saison culturale 2024.....	82
2.4 La fertilisation azotée de l’association du froment d’hiver et du pois protéagineux d’hiver	85
2.4.1 Etat de l’association en sortie d’hiver.....	85
2.4.2 La fumure conseillée pour la saison 2023-2024	85
2.5 La fertilisation azotée en épeautre	86
2.6 La fertilisation azotée en agriculture biologique : généralités.....	87

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

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-Plantes – GRENeRA (membre de la Structure PROTECT’eau)

⁴ C.A.R.A.H. asbl. Centre Agronomique de Recherches Appliquées de la Province de Hainaut

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

⁶ Requasud – Laboratoire de la Province de Liège

⁷ CPL-VEGEMAR asbl—Centre Provincial Liégeois des Productions végétales et maraîchères – Province de Liège

⁸ O.P.A. – Office Provincial Agricole – Province de Namur

2.1 Bilan de la saison culturale 2022-2023

Après un été marqué par la sécheresse et des températures élevées, la saison 2022-2023 avait débuté avec un mois de septembre particulièrement pluvieux. Absentes tout au long de la période estivale, les précipitations étaient redevenues fréquentes en cette fin d'été. Néanmoins cette instabilité fut de courte durée puisque les pluies furent à nouveau plus rares à partir du mois d'octobre. Coté thermomètre, les températures commençaient leur lente chute mais en restant tout de même bien au-dessus des normales saisonnières. Malgré l'arrivée de l'automne et les jours qui raccourcissent, la douceur s'est maintenue.

Avec un temps calme et doux, cette arrière-saison a offert des conditions idéales pour semer les céréales d'hiver. Tous les escourgeons ont été implantés à partir de la fin septembre et durant le mois d'octobre. La période des semis en froment a débuté peu avant le 15 octobre et s'est poursuivie sans interruption jusqu'à la mi-novembre. Après une levée sans encombre, les jeunes plantules ont profité de températures plutôt clémentes et des précipitations automnales pour débiter leur croissance et leur développement avec un rythme soutenu.

Le froid a fait un retour remarqué peu avant le 10 décembre. Pendant une dizaine de jours, le thermomètre est resté bloqué sous zéro degré de jour comme de nuit. Mais le frisson fut de courte durée ! L'arrivée de nouvelles précipitations accompagnées d'une masse d'air chaud mit fin à cette vague de froid. L'année 2022 se termina finalement sous la pluie et dans une douceur anormale avec des températures frôlant les 15°C le 31 décembre !

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. Fin janvier, certaines parcelles d'escourgeon ressemblaient davantage à une prairie qu'à un champ d'orge. A la même période, les parcelles de froment implantées au mois d'octobre avaient également un aspect gazonnant. La différence de développement entre les semis précoces et les plus tardifs étaient particulièrement marquée à la sortie de l'hiver.

Cette croissance ininterrompue et les précipitations abondantes de ce début d'hiver ont forcément eu une incidence significative sur la quantité d'azote minéral présent 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 quantité importante dans les parcelles d'escourgeon (28 kg N/ha sur 90 cm) et de froment (50 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 agricole. En effet, certaines cultures n'avaient pas valorisé correctement l'azote apporté durant la saison précédente. Les analyses de sol ont permis, dans certaines situations, d'éviter des surdosages inopportuns compte tenu du coût des engrais. 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.

Le mois de février marquait le début d'une nouvelle séquence durant laquelle les pluies se sont faites beaucoup plus rares. Les premières applications d'engrais en escourgeon ont pu avoir lieu à partir du 15 février sur des terres bien ressuyées. Pour les parcelles présentant des stades déjà très avancés, il était nécessaire de faire l'impasse sur la première fraction et d'opter pour un schéma de fertilisation en 2 fractions. Les terres emblavées avec du froment d'hiver ont

généralement reçu leur première fraction dans le courant du mois de mars.

De la mi-mars jusqu'à la mi-mai, notre pays a été régulièrement traversé par des zones de précipitations. Bien que ces pluies aient parfois rendu difficile l'accès aux terres, elles ont largement facilité la mise à disposition de l'azote pour les céréales. De manière générale, la première et seconde fraction ont été bien valorisées par les peuplements. D'ailleurs les champs d'escourgeon et de froment présentant des symptômes de carences étaient plutôt rares à cette période.

L'absence de précipitations pendant 21 jours consécutifs, de la fin mai jusqu'au 21 juin, n'a finalement pas trop été pénalisante pour les céréales qui ont bénéficié d'une bonne alimentation hydrique et azotée durant toute la montaison. Ce manque d'eau aura tout de même retardé, dans certaines parcelles, la mobilisation de l'azote apporté lors de la dernière fraction.

Fin juin, de nombreuses parcelles de céréales d'hiver affichaient un bon potentiel de rendement. Les escourgeons récoltés dans de bonnes conditions début juillet ont confirmé cette impression avec des bons rendements. La récolte des froments s'est étalée sur deux périodes. Les premiers froments ont pu être récoltés tout juste à maturité après le 15 juillet. Mais cette dynamique a vite été interrompue aux alentours du 21 juillet par le retour de la pluie. Il aura fallu attendre le 10 août pour sortir à nouveau les moissonneuses et récolter les nombreux champs de blé encore sur pied. Mais cette période de précipitations aura été préjudiciable. En effet, de nombreuses parcelles ont versé et des problèmes de prégermination dus à la surmaturité du grain ont également affecté de nombreux lots récoltés après les pluies.

2.2 La fertilisation azotée en froment d'hiver

2.2.1 Résultats des expérimentations en 2023

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 non loin de 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 2023 est de 200 €/t et le prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrate 27 %) a été fixé à 350 €. Les rendements économiques qui sont repris dans ce chapitre sont donc exprimés selon le rapport 6.5, à savoir qu'1 kilogramme d'azote correspond à 6.5 kilogrammes de froment (1 kg N = 6.5 kg de froment). Pour rappel, ce même rapport était de 8.5 dans le Livre Blanc de février 2023.

• **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 de l'essai à Ath. 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 insecticide a également été pulvérisé au moment de la floraison (BBCH 65) pour lutter contre les pucerons de l'épi, particulièrement nombreux en fin de printemps. Deux désherbages ont été réalisés afin de limiter la prolifération des adventices et notamment des camomilles. Le premier traitement, réalisé durant l'automne, a permis de cibler les graminées et les dicotylées à des stades juvéniles. Un second traitement a été appliqué en sortie d'hiver afin de compléter l'action du premier passage. Ces essais se distinguent par les variétés employées et par l'application de

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

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 74 kg Nmin/ha.

Le troisième essai a été semé à Ath avec la variété fourragère, LG Skyscraper, après un précédent maïs. Un premier désherbage a été réalisé au mois d'octobre suivi d'un second traitement herbicide effectué au début du printemps. Deux régulateurs et deux traitements fongicides ont également été appliqués durant la montaison afin de protéger la culture et limiter les risques de verse. Enfin, un insecticide a été pulvérisé au mois de novembre afin de lutter contre les pucerons et ainsi prévenir tout risque d'infection par la JNO. Sur ce site, le reliquat azoté mesuré en sortie d'hiver sur une profondeur de 90 cm, était de 19 kg Nmin/ha.

Le protocole et les résultats de ces trois essais sont présentés dans le point suivant.

Tableau 1 – Conduite culturale des essais sur la fumure azotée menés en 2023 à Lonzée (CePiCOP et Gx-ABT, ULiège) et à Ath (CARAH).

Interventions	Caractéristiques	Date / Donnée	Caractéristiques	Date / Donnée	Caractéristiques	Date / Donnée	Caractéristiques	Date / Donnée
Choix variétal	Chevignon	-	4 variétés Q1	-	LG Skyscraper	-	Chevignon	-
Lieu	Lonzée		Lonzée		Ath		Ciney	
Date de semis	300 grains/m ²	25-oct	250 grains/m ²	19-oct	333 grains/m ²	12-oct	300 grains/m ²	19-oct
Précédent	pommes de terre	-	pommes de terre	-	maïs	-	maïs	-
Reliquat azoté en sortie d'hiver	P : 0-30 cm	8	P : 0-30 cm	8	P : 0-30 cm	6	P : 0-30 cm	5
	P : 30-60 cm	21	P : 30-60 cm	21	P : 30-60 cm	7	P : 30-60 cm	7
	P : 60-90 cm	45	P : 60-90 cm	45	P : 60-90 cm	6	P : 60-90 cm	6
	Total N minéral	74	Total N minéral	74	Total N minéral	19	Total N minéral	18
Apport de fumure	T	15-mars	T	15-mars	T	24-févr	T	21-mars
	TR	30-mars	TR	-	TR	25-mars	TR	29-mars
	R	07-avr	R	07-avr	R	06-avr	R	13-avr
	DF	11-mai	DF	11-mai	DF	11-mai	DF	12-mai
	E	-	E	06-juin	E	-	E	-
Désherbage	Herold (0,6 l/ha)	12-nov	Herold (0,6 l/ha)	12-nov	Herold (0,6 l/ha)	21-oct	Carpatus (0,6 l/ha)	31-oct
	Sigma Star (0,33 kg/ha) + Biathon duo (70 g/ha)	28-mars	Sigma Star (0,33 kg/ha) + Biathon duo (70 g/ha)	28-mars	+ AZ 500 (0,12 l/ha) Allié (15g/ha) + Primus (75cc /ha)	19-avr		
Raccourcisseur	CCC (1 l/ha)	18-avr	CCC (1 l/ha)	18-avr	Modus (0,25 l/ha) + Cycocel 75 (1 l/ha) Cycocel 75 (0,8 l/ha)	24-mars 19-avr	Stabilan 750 (0,8 l/ha) Medax Max (0,4 l/ha)	21-avr
Fongicide	Simvéris (1 l/ha) + Stavento (1,5 l/ha)	06-mai	Simvéris (1 l/ha) + Stavento (1,5 l/ha)	06-mai	Lenyvor (1,2 l/ha)+ Felxity(0,4l/ha)+ Magnum (0,3 l/ha)	24-avr	Fandango Pro (1,5 l/ha)	08-mai
	Velogy Era (1 l/ha)	06-juin	Velogy Era (1 l/ha)	06-juin	Velogy Era (0,6 l/ha) +Univoq (1 l/ha)	31-mai	Lenyvor (1 l/ha) + Priaxor (1 l/ha)	01-juin
Insecticide	Teppeki (0,14 kg/ha)	10-juin	Teppeki (0,14 kg/ha)	10-juin	Karis (0,05 l/ha)	08-nov	Karate Zeon (50 ml/ha) Sparviero (50 ml/ha)	01-juin 21-juin
Récolte	-	19-juil	-	22-juil	-	17-juil	-	21-août

P : profondeur; T : tallage; TR : Tallage-Redressement; R : Redressement; DF : Dernière feuille; E : Epiais

• Analyse des résultats de l'essai « fumure » mené à Ath en 2023 (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 7 reprend la fumure liée aux recommandations du CARAH. L'objet 8 se différencie de l'objet 7 par un apport d'engrais azotés sous forme de sulfonitrate (26 N/32S) lors de la première fraction au moment du tallage. Enfin, les objets 5 et 6 correspondent aux fumures de référence en deux ou trois fractions proposées par le Livre Blanc de février 2023.

Tableau 2 – Résultats de l'essai « fumure » à Ath (CARAH) en 2023. 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. [%]	Zeleny [ml]
1	-	-	-	-	0	87,8	87,8	76,0	8,7	12
2	30	-	30	35	95	110,2	104,0	76,3	10,3	18
3	45	-	40	40	125	110,7	102,6	76,7	11,0	20
4	50	-	55	50	155	109,3	99,2	75,5	11,4	19
5	-	100	-	85	185	111,0	99,0	76,2	11,4	20
6	60	-	60	65	185	109,8	97,8	75,3	11,7	21
7	70	-	60	60	190	107,8	95,5	75,4	11,9	20
8	70**	-	60	60	190	105,8	93,4	74,8	11,8	20
9	65	-	70	80	215	106,9	92,9	75,3	12,0	20
10	80	-	80	85	245	107,0	91,1	73,4	12,4	22

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 phytotechnique et économique 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 Sulfonitrate 26N/32S

Rendements phytotechnique et économique

Le rendement phytotechnique maximal, soit 111 q/ha est obtenu avec une fumure totale de 185 kg N/ha apportée en deux fraction (100-85). Mis à part le témoin, tous les objets testés dans cet essai présentent des niveaux de production statistiquement équivalents au rendement maximal.

Concernant le rendement économique, l'optimum est atteint par l'objet 2 avec 104 q/ha. Cet objet correspond une fumure en trois fractions (30-30-35). D'après l'analyse des résultats, les fumures recommandées par le Livre Blanc de février 2023 (objet 5 et 6) ont également permis d'obtenir des rendements économiques statistiquement équivalents à l'optimum. D'après ces résultats, une dose totale supérieure à 185 kg N/ha ne semble pas pertinente sur le plan économique.

Poids à l'hectolitre (P/HL)

Avec une valeur de 76,7kg/hl, l'objet 3 est la modalité qui présente le poids à l'hectolitre le plus élevé. Mis à part pour le témoin et pour l'objet 8 et 10, il n'existe pas de différences statistiques

entre les autres modalités de l'essai (objets 3 à 10). Par conséquent, il semble que la fumure ait peu d'influence sur ce paramètre. De manière générale, les poids à l'hectolitre mesurés cette année sur cet essai sont proches des normes de réceptions.

Teneur en protéines

L'objet 10 présente la teneur en protéines (12,4 %) 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 11.1 % et conforme à ce qu'on peut attendre d'une variété biscuitière (Q4) comme LG Skyscraper.

La **fumure de référence en deux fractions** recommandée par le Livre Blanc de février 2023 (objet 5) a permis d'atteindre le maximum phytotechnique tout en étant proche de l'optimum économique. Même si elle affiche un niveau de production légèrement inférieur au maximum phytotechnique, la **fumure de référence en trois fractions** (objet 6) permet également d'obtenir un rendement économique proche de l'optimum et sécurisant la production.

- **Analyse des résultats des essais « fumure » menés à Lonzée en 2023 (CePiCOP – Gx-ABT, ULiège)**

La seconde analyse est réalisée sur les deux essais « fumure » implantés à Lonzée, après un précédent pomme de terre. Les Tableaux 3 et 4 reprennent les protocoles mis en œuvre et les résultats pour différents paramètres mesurés sur ces essais.

Dans le premier essai, trente modalités « fumure » ont été testées sur une seule variété. Les micro-parcelles de cet essai ont été implantées avec du Chevignon. 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. Les objets 23 et 24 correspondent à la fumure de référence en trois fractions recommandées par le Livre Blanc de février 2023. Cependant 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 proposée par le Livre Blanc en 2023. La fumure appliquée sur l'objet 26 a également été adaptée sur base des mêmes paramètres que l'objet 24.

L'objet 27 correspond 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.

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 (%), l'indice de Zélény (ml), la force boulangère W (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	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	PMG [g]	Nbre épis	Prot. [%]	Zeleny* [ml]	W* [J]	W/P*
1	-	-	-	-	0	99,3	99,3	76,4	47,4	390	8,7	20	77	8,9
2	-	-	-	60	60	93,7	89,8	76,5	47,8	377	8,7	21	82	9,5
3	-	-	60	-	60	109,3	105,4	77,3	46,6	463	9,5	24	100	10,5
4	60	-	-	-	60	109,4	105,5	77,4	46,8	477	9,3	21	123	13,3
5	-	-	60	60	120	119,2	111,4	78,4	46,1	477	10,5	28	165	15,7
6	60	-	-	60	120	116,0	108,2	78,5	45,7	483	10,5	28	160	15,3
7	60	-	60	-	120	115,4	107,6	78,3	46,2	513	10,4	28	155	14,9
8	60	-	60	60	180	121,8	110,1	79,0	45,6	513	11,4	34	196	17,1
9	-	-	-	90	90	114,7	108,9	78,3	46,8	397	10,3	28	169	16,5
10	-	-	90	-	90	112,5	106,7	78,2	46,5	490	10,3	28	128	12,4
11	90	-	-	-	90	113,0	107,2	77,9	44,7	523	10,0	25	140	14,0
12	-	-	90	90	180	120,7	109,0	78,8	45,0	507	11,6	35	191	16,5
13	90	-	-	90	180	121,9	110,2	79,4	44,8	497	11,4	34	191	16,7
14	90	-	90	-	180	117,8	106,1	79,0	44,9	533	11,6	34	209	18,0
15	90	-	90	90	270	123,2	105,7	79,0	43,5	510	12,7	43	242	19,1
16	-	-	-	120	120	115,3	107,5	78,7	46,1	413	10,7	29	196	18,4
17	-	-	120	-	120	114,0	106,2	77,9	45,7	473	10,4	29	162	15,6
18	120	-	-	-	120	117,4	109,6	78,6	44,7	560	10,3	28	156	15,1
19	-	-	120	120	240	126,5	110,9	79,0	46,0	513	12,3	40	213	17,4
20	120	-	-	120	240	123,3	107,7	79,1	43,7	520	12,0	38	205	17,1
21	120	-	120	-	240	115,6	100,0	78,4	44,1	590	12,6	49	233	18,5
22	120	-	120	120	360	118,1	94,7	78,5	42,8	577	13,2	48	240	18,2
23	60	-	60	65	185	123,4	111,4	79,4	44,7	520	11,8	32	205	17,4
24	60	-	50	55	165	120,2	109,4	79,0	45,3	527	11,2	37	177	15,8
25	-	95	-	75	170	121,0	110,0	79,1	45,9	457	11,4	34	198	17,3
26	-	85	-	65	150	117,7	107,9	79,0	45,9	493	11,0	32	184	16,7
27	60	-	60	30	150	120,6	110,8	78,9	44,9	517	11,0	32	184	16,7
28	80	-	50	55	185	120,1	108,1	79,0	44,2	547	11,6	35	190	16,4
29	70	-	50	55	175	120,9	109,5	78,9	44,8	500	11,3	32	193	17,1
30	80	-	60	55	195	122,5	109,8	79,1	44,3	530	11,7	36	216	18,4

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 phytotechnique et économique 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. *Donnée mesurée sur un échantillon composite issu des 4

Le protocole du second essai comprend six modalités « fumure » appliquées sur 4 variétés de froment d'hiver (Arminius, Christoph, Cubitus et Moschus). Ces variétés ont été sélectionnées pour leur aptitude à la panification. En effet, les différents blés utilisés pour cette expérimentation font partie de la catégorie Q1-froments d'hiver panifiables belges premium. Enfin au sein même de cette catégorie, on distingue les froments améliorants/élites (Q1 améliorant) comme Arminius, Christoph et Moschus des autres Q1 comme Cubitus.

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 2023. La quatrième modalité est une variante de la troisième avec l'application supplémentaire d'une dernière fraction de 40 kg N/ha à

l'épiaison. La cinquième modalité reprend un schéma de fractionnement en trois fractions avec des doses croissantes, spécialement adapté à la conduite des variétés panifiables belges premium (Q1). 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. Enfin, la sixième modalité est assez similaire à la cinquième mais se distingue par l'application d'une fraction supplémentaire de 40 kg N/ha à l'épiaison. Les modalités 4 et 6 s'inscrivent donc dans une logique similaire 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.

Tableau 4 – Résultats de l'essai fumure réalisé à Loncée sur les quatre variétés panifiables (Arminius, Cubitus, Christoph et Moschus). Ce tableau reprend les rendements phytotechniques et économiques (q/ha), les rendements phytotechnique et économique relatifs (%), la teneur en protéines (%), l'indice de Zélény (ml), la force boulangère W (J), la valeur du rapport de la force boulangère sur le taux de protéines W/P. L'indice verse est également mentionné dans ce tableau.

	N° Objet	Variété	Fertilisation (kg N/ha)				Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	Rdt Phyto Relatif (%)	Rdt Eco Relatif (%)	Prot. [%]	Zel* [ml]	W* [J]	W/P*	Indice Verse
			T	Red	DF	Ep										
Q1A-froments d'hiver panifiables belges premium améliorants	1	Arminius	-	-	-	-	0	68,2	68,2	70,1	78,3	<u>10,6</u>	37	<u>197</u>	18,7	1
	2	Arminius	40	40	45	-	125	93,5	85,3	96,0	98,0	13,1	66	330	25,2	38
	3	Arminius	60	60	65	-	185	88,9	76,9	91,4	88,3	14,8	70	368	24,9	70
	4	Arminius	60	60	65	40	225	91,5	76,9	94,0	88,3	15,2	71	393	25,8	58
	5	Arminius	30	60	95	-	185	91,5	79,5	94,0	91,3	14,9	70	380	25,6	56
	6	Arminius	30	60	95	40	225	95,9	81,3	98,5	93,3	15,1	70	339	22,5	48
	7	Christoph	-	-	-	-	0	77,7	77,7	79,8	89,2	<u>9,9</u>	31	<u>143</u>	14,4	0
	8	Christoph	40	40	45	-	125	102,5	94,4	105,3	108,4	11,6	49	208	17,9	0
	9	Christoph	60	60	65	-	185	105,8	93,7	108,7	107,6	13,2	67	307	23,2	6
	10	Christoph	60	60	65	40	225	107,5	92,8	110,4	106,6	13,7	68	302	22,0	20
	11	Christoph	30	60	95	-	185	106,0	94,0	108,9	107,9	13,5	67	255	18,9	3
	12	Christoph	30	60	95	40	225	106,2	91,6	109,1	105,1	13,8	68	324	23,5	14
	13	Moschus	-	-	-	-	0	77,9	77,9	80,1	89,5	<u>10,1</u>	36	<u>180</u>	17,8	0
	14	Moschus	40	40	45	-	125	102,3	94,2	105,1	108,2	12,1	64	331	27,3	0
	15	Moschus	60	60	65	-	185	106,6	94,5	109,5	108,5	13,3	68	337	25,3	6
	16	Moschus	60	60	65	40	225	108,0	93,4	111,0	107,2	14,3	74	321	22,5	11
	17	Moschus	30	60	95	-	185	109,9	97,8	112,9	112,3	13,6	68	354	26,0	10
	18	Moschus	30	60	95	40	225	112,1	97,4	115,1	111,9	14,3	69	360	25,2	0
Q1-froments d'hiver panifiables belges premium	19	Cubitus	-	-	-	-	0	89,7	89,7	78,0	85,7	<u>9,4</u>	26	<u>100</u>	10,6	0
	20	Cubitus	40	40	45	-	125	114,2	106,0	99,4	101,3	<u>11,2</u>	39	<u>189</u>	16,9	0
	21	Cubitus	60	60	65	-	185	121,3	109,3	105,6	104,4	12,7	57	263	20,7	0
	22	Cubitus	60	60	65	40	225	123,1	108,5	107,2	103,7	13,0	61	260	19,9	0
	23	Cubitus	30	60	95	-	185	120,9	108,8	105,2	104,0	12,9	62	279	21,6	0
	24	Cubitus	30	60	95	40	225	120,3	105,6	104,7	100,9	13,2	65	260	19,7	0

Pour un paramètre donné, les cases grisées sont les objets statistiquement équivalents à la valeur maximale mesurée pour ce paramètre (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; R : Redressement; DF : Dernière feuille; Ep: Epiaison. * Donnée mesurée sur un échantillon composite issu des 4 répétitions.

a. Essai « fumure » sur la variété fourragère Cheignon

Rendements phytotechnique et économique

Les niveaux de production atteints sur cet essai sont relativement bons pour l'année 2023. Les parcelles de cet essai ayant été récoltées le 19 juillet, peu de temps avant une longue période de précipitations, les rendements et les autres paramètres mesurés n'ont pas été pénalisés par ces mauvaises conditions. Cet essai fumure emblavé avec la variété Cheignon présente un rendement phytotechnique moyen de 116,8 q/ha.

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

Le rendement phytotechnique maximal s'élève à 126 q/ha (Tableau 3). Il est obtenu avec une fumure totale de 240 kg N/ha (objet 19) apportée en deux fractions au redressement (BBCH 30) et à la dernière feuille (BBCH 39). La plupart des fumures, en deux ou trois fractions, comprises entre 150 et 240 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 la plupart des fumures recommandées par le Livre Blanc (objet 23 à 25) permettent également d'atteindre un rendement équivalent au maximum phytotechnique. Néanmoins, la fumure de référence en deux fractions modulée en implémentant les facteurs correctifs (objet 26) présente un rendement significativement inférieur à ce maximum.

Le rendement économique optimal s'élève à 111,4 q/ha et est atteint avec la fumure de référence en trois fractions recommandée par le Livre Blanc (objet 23). Les autres schémas de fertilisation conseillés (en 2 fractions et avec ou sans les facteurs correctifs) dans l'édition précédente sont également proches de cet optimum. D'un point de 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 2022-2023 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 15 q/ha.

L'expérience prouve encore une fois qu'une fumure excessive, au-delà de 240 kg N/ha, est mal valorisée. Cette surfertilisation ne permet pas de dé plafonner 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 à la figure 1.

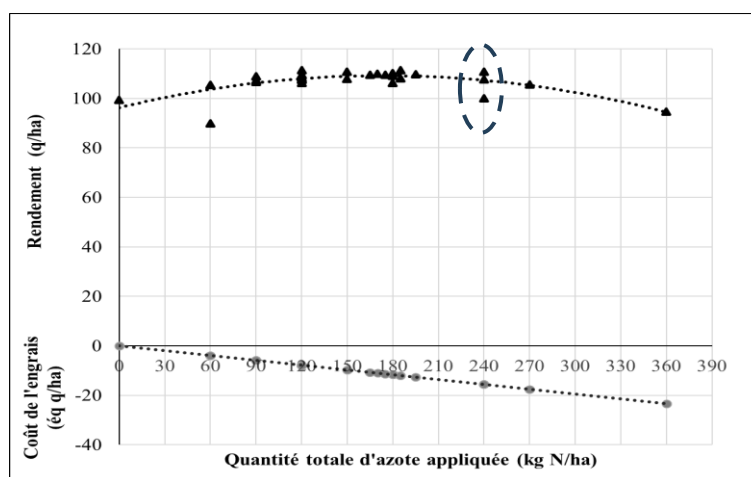


Figure 1 – Évolution du rendement économique [q/ha] et du coût de l'engrais [équivalent q/ha] en fonction de la dose de fertilisant appliquée dans le cadre de l'essai fumure sur la variété Chevignon mené à Lonzée.

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 1).

Depuis 2017, les objets 1 à 22 sont systématiquement repris dans le protocole des essais sur la fertilisation azotée du froment d'hiver menés à Lonzée. Le Tableau 5 permet de visualiser le nombre de fois où ces différentes modalités ont généré des rendements proches de l'optimum

économique dans les 9 essais « fumure » conduits sur des variétés fourragères et panifiables entre 2017 à 2023. Les fumures raisonnées en trois ou deux fractions de **180 kg N/ha** affichent la fréquence de retour le plus élevé. Ces fumures ont permis d'atteindre le rendement économique optimal huit années sur neuf.

Tableau 5 – Représentation de la réponse optimale du rendements économiques sur 9 essais sur la fertilisation azotée du froment d'hiver menés à Lonzée entre les années 2017 et 2023.

N°Objet	T	R	DF	Total [Kg N/ha]	Temps de retour de l'optimum économique sur 9 essais
1	-	-	-	0	0
2	-	-	60	60	3
3	-	60	-	60	5
4	60	-	-	60	4
5	-	60	60	120	5
6	60	-	60	120	7
7	60	60	-	120	7
8	60	60	60	180	8
9	-	-	90	90	3
10	-	90	-	90	6
11	90	-	-	90	7
12	-	90	90	180	7
13	90	-	90	180	8
14	90	90	-	180	8
15	90	90	90	270	6
16	-	-	120	120	3
17	-	120	-	120	6
18	120	-	-	120	7
19	-	120	120	240	7
20	120	-	120	240	7
21	120	120	-	240	6
22	120	120	120	360	3

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 n'ont pas été affectés par les mauvaises conditions de l'été 2023. Le grain a été récolté tout juste à maturité, avant que la météo ne se dégrade. Par ailleurs, très peu de dégâts liés à des problèmes de verse sont à déplorer sur les parcelles de cet essai.

Grâce à ce contexte plutôt favorable, les poids de mille grains sont plutôt élevés cette année, avec une valeur moyenne de 45,4 g pour ce paramètre. Avec un PMG de 47,84 g, l'objet 2 (0-0-60) est la modalité qui affiche la valeur la plus élevée pour ce paramètre mais suivant un potentiel de rendement faible. Les autres modalités avec de faibles doses totales d'azote (comprise entre 0 et 120 kg N/ha) se démarquent également en affichant des poids de mille grains statistiquement supérieurs aux objets pour lesquels les apports sont plus conséquents. En effet, les modalités reprenant le conseil Livre Blanc ou d'autres schémas de fertilisation proche de la pratique ont toute un PMG significativement inférieur au maximum.

A l'instar du PMG, le poids à l'hectolitre (P/HL) est plutôt bon au regard de l'année écoulée. Sur cet essai, le P/HL moyen est égal à 78,5 kg/hl. Dans cet essai, les objets ayant reçu une quantité totale d'azote comprise entre 120 et 240 kg N/ha avec une dernière fraction positionnée au stade dernière feuille présentent des P/HL statistiquement équivalents à celui des objets 13 et 23 (P/HL le plus élevé).

Teneur en protéines, Indice de sédimentation de Zélény et rapport Zélény sur Protéines

Pour l'essai conduit avec du Chevignon, la teneur en protéines moyenne est égale à 11,0 % et conforme à la tendance observée cette année. Sans surprise, l'objet 22 présente la teneur en protéines la plus haute (13,2 %). Ce taux de protéines élevé est dû à la fertilisation azotée exagérée 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 11,5%, minimum requis pour une valorisation en meunerie. Il est ainsi possible d'atteindre ce seuil en appliquant la fumure de référence en trois fractions (60-60-65) recommandées par le Livre Blanc de février 2023 sur une variété Q2 comme Chevignon.

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 fertilisations excessives entre 270 et 360 kg N/ha permettent d'obtenir la force boulangère la plus élevée. Toutefois, 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 dans la composition d'un mélange meunier.

Nombres d'épis/m²

Un nombre d'épis/m² élevé est généralement liés à des fertilisations azotées importantes. Pour ce paramètre, l'objet 21(120-120-0) présente les valeurs les plus élevées de cet essai avec 577 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. A l'inverse les objets ne recevant qu'un seul apport d'azote à la dernière feuille affichent des valeurs plutôt faibles pour ce paramètre. On notera également que le nombre d'épis/m² est particulièrement élevé cette année, conséquence probable de la bonne alimentation en eau durant la croissance et le développement du froment. En effet si ce paramètre est influencé par la disponibilité en azote, il est également impacté par les conditions climatiques observées durant la montaison.

Dans cet essai, **les deux fumures de référence** qui avaient été conseillées lors du Livre Blanc de février 2023⁹ **ont permis d'atteindre des rendements phytotechniques et économiques 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 de 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.

⁹ Pour rappel, le Livre Blanc 2023 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. Essai « fumure » sur les variétés panifiables

Rendements phytotechnique et économique

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. Suivant cette recommandation, cet essai a été récolté le 22 juillet 2023.

Les résultats de cet essai démontrent encore une fois que le potentiel de production des variétés améliorantes ou de force (Q1A) est généralement inférieur à celui des autres blés. Cubitus, l'unique froment panifiable premium (Q1) repris dans cet essai affiche des niveaux de production largement supérieurs à ceux atteints par les variétés de blé élite améliorant (Q1A) comme Moschus et Christoph, ou encore Arminius.

Par conséquent pour ne pas biaiser l'interprétation des résultats, il a été décidé de faire la distinction entre les variétés améliorantes (Arminius, Christoph et Moschus) et Cubitus. L'analyse pour le rendement phytotechnique et économique a donc été réalisée séparément pour chaque catégorie de variété. Les rendements relatifs repris dans le Tableau 4 pour les blés de force sont calculés par rapport à leur niveau de production moyen (97,3 q/ha) largement inférieur à celui de Cubitus (114,5 q/ha). La même logique est appliquée pour obtenir les niveaux de production relatifs atteints par Cubitus.

Dans cette expérimentation, le rendement phytotechnique maximal s'élève à 123,1 q/ha. Il a été obtenu en appliquant une fumure totale de 225 kg N/ha (objet 22) apportée en quatre fractions (60-60-65-40) sur la variété Cubitus. Pour cette même variété, les rendements obtenus avec des fumures comprises entre 125 et 225 kg N/ha sont statistiquement équivalents à ce maximum. Ces fumures sont mises en évidence dans les cellules en gris clair de la colonne « Rdt Phyto relatif [%] » du Tableau 4.

Pour les variétés élites améliorantes (Q1A), l'objet 18 affiche le niveau de production le plus élevé avec 112,1 q/ha. Ce résultat a également été obtenu en appliquant une quantité totale d'azote de 225 kg N/ha. Mais dans ce cas-ci l'engrais a été apporté en suivant un schéma de fertilisation avec des doses croissantes (30-60-90-40). Pour Moschus et Christoph, les fumures comprises entre 185 et 225 kg N/ha donnent des résultats statistiquement équivalents à ce maximum (cellule gris foncé dans la colonne « Rdt Phyto relatif [%] » du Tableau 4). Arminius complète ce classement avec des rendements significativement inférieurs qui ne dépassent pas les 90 q/ha.

Il est également important de souligner que pour une même variété, le schéma de fertilisation en trois fractions avec des doses croissantes (30-60-95) affiche un niveau de production équivalent à celui obtenu avec la fumure de référence en trois fractions (60-60-65). Cette progressivité ne semble donc pas être préjudiciable pour le rendement phytotechnique.

Pour Cubitus, le rendement économique optimal (109,3 q/ha) est atteint avec la fumure de référence en trois fractions recommandée par Livre Blanc (60-60-65). Des rendements économiques statistiquement équivalents sont également obtenus quand des doses d'azote totales comprises entre 125 et 225 kg N/ha sont appliquées sur cette variété. Cette fumure de référence reste donc pertinente sur le plan économique pour des variétés panifiable premium (Q1).

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 l'optimum économique

atteint par l'objet 17. Le rendement économique obtenu par Arminius est significativement inférieur au maximum économique. Les performances économiques de cette variété peuvent notamment s'expliquer par son faible niveau de production qui ne permet pas toujours de compenser correctement le coût des engrais. Par contre, sa qualité panifiable est supérieure à celle de Christoph et 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 le premier essai conduit avec du Chevignon (variété Q2 – panifiable belge supérieur). En effet, la teneur en protéines moyenne est équivalente à 12,9 %. Pour chaque variété, les teneurs en protéines les plus élevées sont observées sur les objets caractérisés par une fertilisation de 225 kg N/ha (avec un dernier apport appliqué à l'épiaison). Pour cet essai, on peut également constater qu'une dose totale d'azote égale ou supérieure à 125 kg N/ha a permis cette d'année d'atteindre systématiquement des teneurs en protéines supérieur à 11,5 % (seuil limite pour la bonification). L'application d'une fertilisation avec des doses d'azote croissantes semble avoir un effet positif sur la teneur en protéines. Par rapport à une fertilisation classique, ce type de schéma permet d'augmenter la valeur de ce critère technologique de 0,1 à 0,3 % en fonction de la variété. Néanmoins, cette bonification n'est statistiquement pas significative.

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. Arminius présente une teneur en protéines moyenne (14 %) statistiquement supérieure aux quatre autres variétés. La suite du classement est composée de Christoph et Moschus qui font partie du second groupe statistique. Enfin sans surprise, Cubitus, seule variété qui n'appartient pas à la catégorie des froments élite améliorant, ferme la marche avec une teneur en protéines moyenne proche de 12%.

Enfin, l'apport d'une quatrième fraction au moment de l'épiaison est une pratique qui permet d'augmenter la teneur en protéines. En effet pour chaque variété testée sur l'essai, les modalités comportant un apport à l'épiaison génèrent systématiquement les teneurs en protéines les plus élevées.

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

Si la force boulangère est 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. Un dernier apport de 40 kg N/ha peut dans certains 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. La fumure en trois fractions avec des doses croissantes permet d'augmenter la force boulangère par rapport à un schéma de fertilisation plus classique comme celui recommandée par le Livre Blanc de février 2023. Cette observation est valable pour toutes les variétés sauf Christoph. Contre toute logique, la force boulangère de ce blé dévisse quand 185

unités d'azote sont appliquées progressivement entre le tallage et la dernière feuille (30-60-95).

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 utilisée pour évaluer cette qualité. Pour ce paramètre, les résultats ne montrent que très peu de différences entre les modalités de fumure pour une même variété. La différence semble plutôt se situer entre les variétés elles-mêmes avec Arminius et Moschus qui affichent un W/P similaire et largement supérieur à celui des autres variétés.

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

Une analyse plus approfondie de l'influence de la fertilisation et du choix variétal sur la teneur et la qualité de la protéine est reprises dans la section suivante de ce chapitre.

Au niveau de l'itinéraire culturale, **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 2023 permet d'atteindre **l'optimum phytotechnique et économique** avec une variété comme Cubitus. Toutefois si l'objectif poursuivi est de produire un blé de qualité supérieur en optant pour une variété de froment panifiable premium (Q1), l'utilisation d'une fumure en trois fractions avec des doses croissantes semble plus appropriée. Les apports d'azote plus important en fin cycle sont généralement bien valorisés par ces variétés et ont un effet positif sur la teneur en protéines et la force boulangère. Par ailleurs ce type de schéma de fertilisation ne semble pas non plus pénaliser les rendements phytotechnique et économique. Par conséquent, **la fumure en trois fraction 30-60-95 convient probablement mieux à la conduite de variété panifiables belges premium (Q1)**. Enfin, l'application d'un dernier apport au moment de l'épiaison a effet positif sur la teneur en protéines du grain. Néanmoins la nécessité de cet apport tardif devra se justifier en fonction du contexte économique et du débouché car la plus-value de cette quatrième fraction sur la force boulangère et sur la qualité de la protéine n'est pas systématique.

• Analyse des résultats des essais fumure menés à Ciney en 2023 (CePiCOP – Gx-ABT - EPASC)

Depuis deux 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 école de l'EPASC est semblable à celui implanté à Loncée et 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.

Tableau 6 – 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 nombre d'épis/m² (épis/m²) et la teneur en protéines (%). L'indice verse est également mentionné dans ce tableau.

N° Objet	T	TR	Red	DF	Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Nbre épis [épis/m ²]	Prot. [%]	Indice Verse
1	-	-	-	-	0	49,1	49,1	70,4	259	6,3	0
2	60	-	60	30	150	105,7	96,0	71,6	435	8,1	14
3	-	-	60	-	60	79,5	75,6	70,5	389	6,6	0
4	60	-	-	-	60	72,6	68,7	70,3	371	6,3	0
5	-	-	60	60	120	98,8	91,0	70,8	359	7,9	5
6	60	-	-	60	120	86,5	78,7	70,9	366	7,6	6
7	60	-	60	55	175	107,8	96,4	72,2	414	8,6	37
8	60	-	60	60	180	107,1	95,4	72,0	414	8,9	47
9	-	-	-	90	90	82,0	76,1	71,1	353	8,4	5
10	-	-	90	-	90	94,5	88,7	70,6	383	7,4	1
11	90	-	-	-	90	81,6	75,8	70,9	373	6,4	0
12	-	-	90	90	180	106,9	95,2	72,0	418	9,7	48
13	90	-	-	90	180	104,7	93,0	71,9	403	8,5	3
14	90	-	90	-	180	107,5	95,8	72,4	396	8,8	35
15	90	-	90	90	270	106,4	88,8	72,3	403	11,3	77
16	-	-	-	120	120	91,7	83,9	72,0	353	9,2	30
17	-	-	120	-	120	101,1	93,3	71,2	400	7,9	3
18	120	-	-	-	120	93,4	85,6	71,1	395	6,8	0
19	-	-	120	120	240	111,1	95,5	71,9	452	10,4	77
20	120	-	-	120	240	109,0	93,4	72,6	429	10,5	67
21	120	-	120	-	240	111,3	95,7	72,5	454	10,0	79
22	120	-	120	120	360	106,9	83,5	72,1	428	12,1	98
24	80	-	70	55	205	107,2	93,9	71,6	446	9,3	52
25	-	95	-	75	170	104,6	93,5	71,9	413	8,7	10
26	-	105	-	95	200	111,2	98,2	72,0	438	9,0	30
27	80	-	50	55	185	109,7	97,7	72,2	412	9,1	51
28	80	-	40	55	175	105,2	93,8	72,1	417	8,7	18
29	70	-	60	55	185	105,0	93,0	72,0	442	9,0	49
30	80	-	60	55	195	109,1	96,4	72,3	438	9,0	53

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 phytotechnique et économique 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.

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 reprenait, bien entendu, les fumures de référence en 2 et 3 fractions recommandées par le Livre Blanc de février 2023 (objets 23 et 25). Néanmoins la modalité 23 a dû être déclassée suite à un problème expérimental. Les objets 24 et 26 correspondent à ces fumures de référence après intégration des facteurs correctifs afin de prendre en compte la situation de la parcelle et l'état de la culture.

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 Loncée, 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 épanchée lors de la première fraction. Enfin les objets 27, 24, 28 et 30 peuvent également être regroupés pour caractériser l'intérêt d'augmenter la fraction intermédiaire appliquée au moment du redressement.

Rendements phytotechnique et économique.

Les niveaux de production atteints sur cet essai sont globalement inférieurs à ceux observés sur le même essai à Loncée. Ces écarts de rendement sont plus que probablement dus au contexte pédoclimatique caractéristique du Condroz mais aussi à la date de récolte tardive. En effet, les parcelles de cet essai n'ont pas pu être récoltées avant la mi-août à cause des mauvaises conditions climatiques observées cet été. Le rendement phytotechnique moyen mesuré sur cet essai est de 98,6 q/ha (Tableau 6).

L'objet 21 est la modalité qui permet d'atteindre le rendement le plus élevé avec 111,3 q/ha. Cet objet correspond à un schéma de fertilisation dans lequel deux fractions de 120 kg N/ha ont été apportées au tallage et au redressement. La plupart des fumures comprises entre 150 et 360 kg N/ha affichent des rendements équivalents à ce maximum phytotechnique.

Les fumures de référence (avec ou sans facteurs correctifs) ont toutes permis d'obtenir des niveaux de production proches de celui atteint par l'objet 21. Même si la fumure de référence en trois fractions sans facteurs correctifs (60-60-65) n'est pas reprise dans les résultats, il est intéressant de noter que les autres objets fertilisés avec des doses totales d'azote comprises entre 175 et 185 kg N/ha affichent des rendements proches de l'optimum 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 24, 27 et 30). En effet, les fumures comprises entre 185 et 205 kg N/ha avec une dose importante en première fraction permettent d'atteindre des niveaux de production proches des 110 q/ha. Pour garantir ce potentiel de rendement, il est également important de ne pas trop réduire la seconde fraction au moment du redressement.

Le rendement économique optimal sur cet essai s'élève à 98,2 q/ha et est atteint avec une fumure totale de 200 kg N/ha (objet 18). Cet objet correspond à la fumure de référence en deux fractions ajustée en tenant compte des facteurs correctifs. Des rendements économiques statistiquement équivalents sont aussi obtenus avec des fumures totales comprises entre 120 et 240 kg N/ha. Comme à Loncée, les fertilisations excessives au-dessus de 240 kg N/ha ne sont nullement pertinentes d'un point de vue économique.

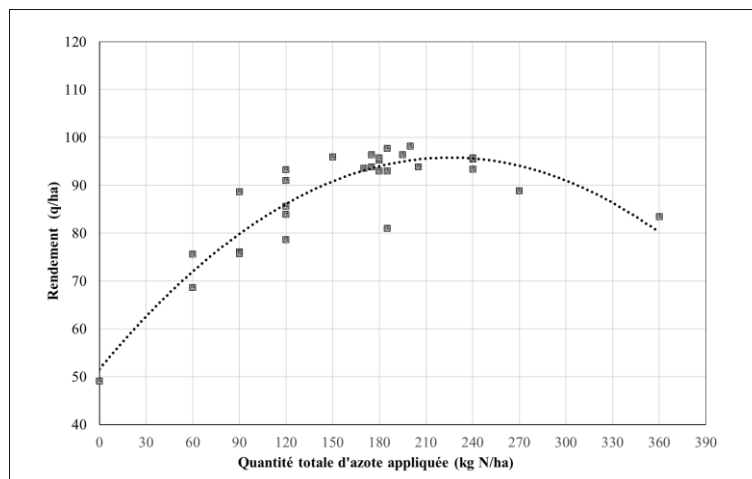


Figure 2 – Évolution du rendement économique [q/ha] en fonction de la dose de fertilisant appliquée dans le cadre de l'essai fumure sur la variété Chevignon mené à Ciney.

Cette expérience souligne encore une fois qu'une surfertilisation ne génère aucun gain supplémentaire. La courbe de réponse tracée à l'aide des données collectées sur cet essai (figure 2) permet de mieux visualiser l'optimum économique pour le Condroz. Ce dernier se situe dans une large fenêtre comprise entre 170 et 240 kg N/ha.

Teneur en protéines

Les teneurs en protéines mesurées sur cet essai sont extrêmement faibles. Seul l'objet 22 se démarque en affichant une teneur en protéines égal à 12,1 %. Résultat qui peut s'expliquer par la quantité importante d'azote (360 kg N/ha) appliquée sur cet objet. Toutes les autres modalités affichent des teneurs en protéines inférieures 11,5%, seuil minimum pour une utilisation en meunerie. Il est donc difficile de tirer des conclusions sur bases des résultats obtenus pour ce paramètres.

Nombres d'épis/m²

Le nombre d'épis/m² dans le Condroz est globalement inférieur à celui mesuré en Région limoneuse. Tout comme à Lonzée, l'objet 21 (120-120-0) présente le plus grand nombre d'épis/m² (454). Pour ce paramètre, il semble à nouveau difficile de mettre en avant des différences réellement significatives entre les modalités. Seul le témoin très clairsemé présentait moins de 300 épis/m². Il semble néanmoins que les modalités ayant reçu une dose d'azote élevée au tallage présentent un nombre plus élevé d'épis/m². A 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 205 Kg N/ha. Par conséquent, les **fumures de référence en 2 et 3 fractions avec et sans facteurs correctifs** recommandées par le Livre Blanc de février 2023 **semblent être appropriées pour atteindre cet objectif**. L'expérience devra être réitérée dans les prochaines années afin de consolider ces conclusions.

2.2.2 Relation entre force boulangère et rendement

- Une variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 4 années de récolte (2020-2021-2022-2023) à Gembloux

La Figure 3 représente la relation de la force boulangère (« W » de l'alvéographe ; valeur moyenne de $182 \cdot 10^{-4}$ J) et la teneur en protéines (valeur moyenne de 11,1 %MS) avec le rendement à l'hectare d'une variété moyennement panifiable (**Chevignon** ; valeur moyenne de 11,4 t/ha) sur 4 années de récolte (2020-2021-2022-2023) avec différents niveaux de fumure azotée menés à Gembloux.

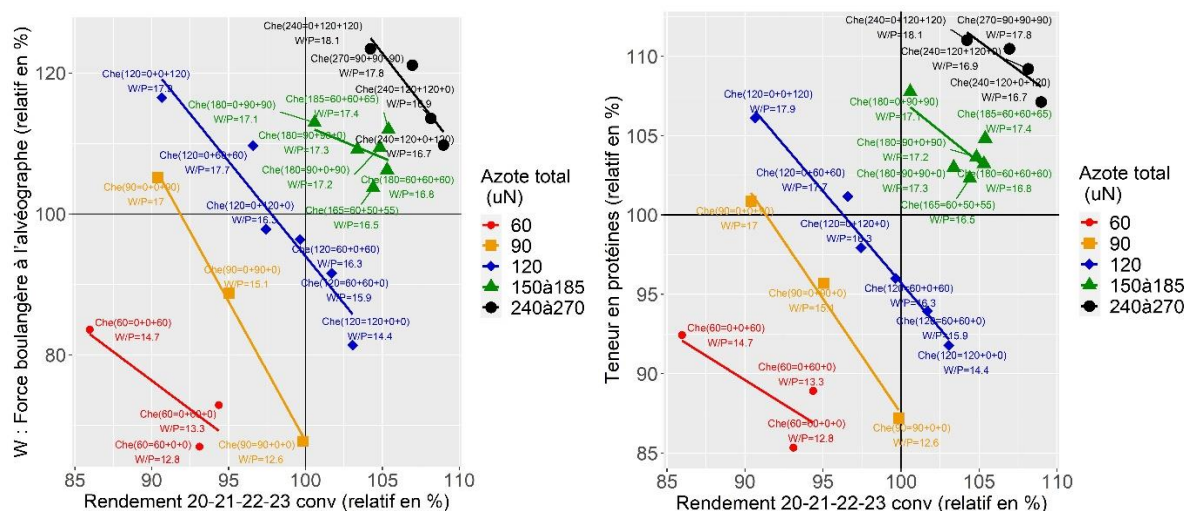


Figure 3 – Relation de la force boulangère (« W » de l'alvéographe) (côté gauche) et la teneur en protéines (côté droite) avec le rendement à l'hectare d'une variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 4 années de récolte (2020-21-22-23) avec différents niveaux de fumure azotée menés à Gembloux. W/P (« W » de l'alvéographe divisé par « P » la teneur en protéines) est l'indicateur de la qualité technologique d'aptitude à la panification). Une année facile pour la mobilisation azotée (2021) par rapport à une année difficile à ce niveau (2022) pour une variété moyennement panifiable (Chevignon).

Nous observons sur chaque graphique une relation inverse entre la teneur en protéine et le rendement à l'hectare au sein de chaque groupe de fumure azotée totale équivalente (60, 90, 120, 150 à 185 et 240 à 270 uN) pour une variété donnée. Le fractionnement de l'azote pour une même fumure azotée totale conditionne significativement à la fois la force boulangère (15 à $80 \cdot 10^{-4}$ J), la teneur en protéines (0,5 à 2,5 %MS) et le rendement à l'hectare (0,5 à 2,5 t/ha). Pour augmenter la force boulangère et la teneur en protéines et pour une même valeur de 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 et montent de manière croissante avec la fumure azotée totale.

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 qu'au début.

Une fumure azotée 185 uN en 3 fractions (tallage 60uN + redressement 60uN + dernière feuille 65uN) est recommandée pour des variétés panifiables supérieures Q2 car elle donne un résultat optimum en termes de combinaison rendement, force boulangère et teneur en protéines.

- Une variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 1 année de récolte (2022) à Ciney

La Figure 4 représente la relation de la force boulangère (« W » de l’alvéographe ; valeur moyenne de $212 \cdot 10^{-4}$ J) et la teneur en protéines (valeur moyenne de 12,1 %MS) avec le rendement à l’hectare d’une variété moyennement panifiable (Chevignon ; valeur moyenne de 9,6 t/ha) sur 1’année de récolte (2022) avec différents niveaux de fumure azotée sur l’essai mené à Ciney.

Nous faisons un constat identique qu’avec le même essai et variété mené à Gembloux

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.

Une fumure azotée 185 uN en 3 fractions (tallage 60uN + redressement 60uN + dernière feuille 65uN) est également recommandée pour des variétés panifiables supérieures Q2 dans le Condroz car elle donne un résultat optimum en termes de combinaison rendement, force boulangère et teneur en protéines.

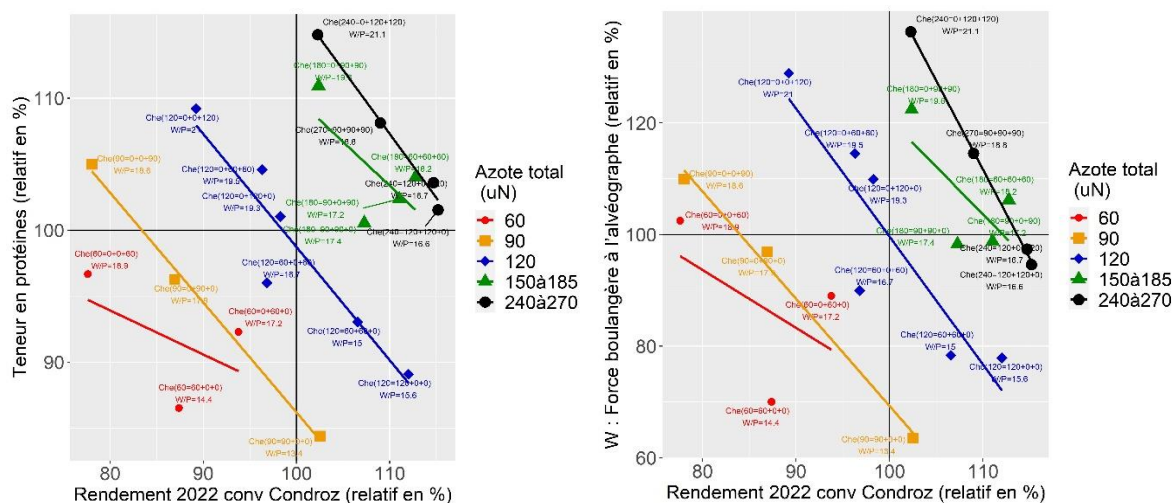


Figure 4 – Relation de la force boulangère (« W » de l’alvéographe) (côté gauche) et la teneur en protéines (côté droite) avec le rendement à l’hectare d’une variété panifiable supérieure Q2 (Chevignon) sur 1 année de récolte (2022) avec différents niveaux de fumure azotée menés à Ciney. W/P (« W » de l’alvéographe divisé par « P » la teneur en protéines) est l’indicateur de la qualité technologique d’aptitude à la panification).

• **Plusieurs variétés panifiables premium Q1 sur 2 années de récolte (2022-2023) à Gembloux**

La Figure 5 représente la relation de la force boulangère (« W » de l'alvéographe ; valeur moyenne de $319 \cdot 10^{-4}$ J) et la teneur en protéines (valeur moyenne de 13,8 %MS) avec le rendement à l'hectare de plusieurs variétés panifiables premium Q1 (**Arminius** ; **Christoph** ; **Cubitus** ; **Moschus** ; valeur moyenne de 10,0 t/ha) sur 2 années de récolte (2022-2023) avec l'augmentation de la fumures azotée menée par variété à Gembloux.

Nous observons que l'augmentation de la fumure totale permet d'augmenter la teneur en protéines mais elle n'augmente pas toujours de la force boulangère. Il faut donc bien distinguer la quantité de protéines et sa qualité panifiable qui peuvent être plus ou moins reliées entre elle en fonction de la variété. Les variétés **Christoph** et **Cubitus** ont une force boulangère qui augmente avec la teneur en protéines (et la fumure azotée totale) mais nettement moins pour les variétés **Arminius** et **Moschus**.

Une fraction supplémentaire à l'épiaison de 40 uN n'apporte généralement pas de gain efficient en termes de force boulangère et teneur en protéines (résultats d'essais de 2021 à 2023).

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 qu'au début (résultats d'essai 2020).

Une fumure azotée 185 uN en 3 fractions (tallage 40uN + redressement 60uN + dernière feuille 85uN) est recommandée pour les variétés panifiables premium Q1 car elle donne un résultat optimum en termes de combinaison rendement, force boulangère et teneur en protéines (résultats d'essais de 2016 à 2023). Il est recommandé de diviser la fraction de 85 uN en une fraction 2 nœuds de 40 uN et une autre fraction dernière feuille de 45 uN.

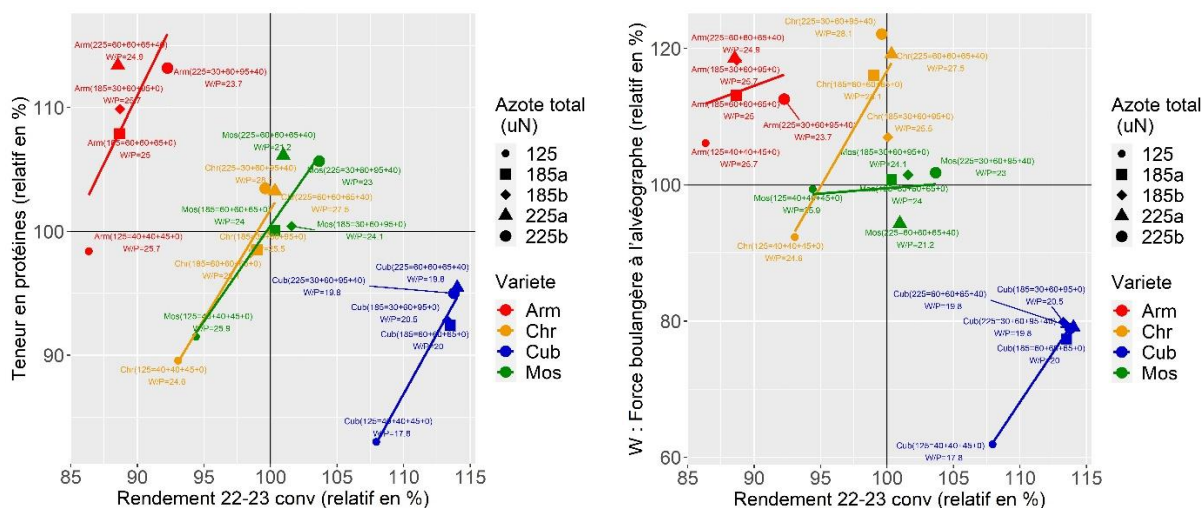


Figure 5 – Relation de la force boulangère (« W » de l'alvéographe) (côté gauche) et la teneur en protéines (côté droite) avec le rendement à l'hectare de plusieurs variétés panifiables premium Q1 (Arm : Arminius ; Chr : Christoph ; Cub : Cubitus ; Mos : Moschus) sur 2 années de récolte (2022-23) avec l'augmentation de la fumures azotée menée par variété à Gembloux. W/P (« W » de l'alvéographe divisé par « P » la teneur en protéines) est l'indicateur de la qualité technologique d'aptitude à la panification).

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 sont soustraits les coûts liés 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 2023-2024

Après un mois d'août proche des normales, le mercure a recommencé à grimper à partir de la rentrée. Les températures mesurées à la fin de l'été sont très élevées, faisant de septembre un mois particulièrement chaud. Comme en 2022, l'automne 2023 est caractérisé par des températures plutôt douces pour la saison. Les relevés provenant de la station IRM d'Ernage semble confirmer cette tendance. En effet si la température ne cesse de baisser depuis septembre, elle reste mois après mois, nettement supérieure aux normales mensuelles.

Du côté des précipitations, l'arrivée du mois de septembre laisse entrevoir une petite accalmie après un été particulièrement pluvieux. Mais cette météo plus calme cède rapidement sa place à un temps beaucoup plus instable dès la mi-octobre. A partir de ce moment-là, la pluie ne va littéralement plus nous quitter. Durant les trois derniers mois de l'année, nos régions sont régulièrement traversées par des précipitations importantes, comme l'attestent les cumuls pluviométriques mesurés d'octobre à décembre.

Tableau 7 – Température moyenne de l'air sous abri et cumul pluviométrique mensuel enregistrés d'août à décembre 2023 (Station IRM d'Ernage - Gembloux).

	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne de l'air (C°)					
Observées	17,7	18,2	13,3	7,4	6,4
Normales	17,1	14,1	10,6	6,2	3,3
Précipitations (mm)					
Observées	124,9	38,7	81,3	111,7	104,2
Normales	82,0	62,4	69,2	67,9	75,8

La situation moyenne du profil en azote minéral du sol au 3 février 2024

Pas moins de 77 parcelles de froment d'hiver ont été échantillonnées, entre le 19 janvier et le 3 février 2024, par le CARAH, le CRA-W (Unité Fertilité des sols et Protection des eaux), par Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège (GRENeRA et l'Unité de Phytotechnie) et par le CePiCOP. Cette année, le nombre d'échantillons est moins important à causes des conditions hivernales observées durant la période de prélèvement. De nombreux champs emblavés avec du froment n'étaient pas accessibles à cause de la neige présente en quantité. 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 but 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 8 – 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	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014
	Nombre de situations	77	130	142	89	101	179	138	148	163	137	156
Profondeur (cm)	0-30	10	11	12	15	14	12	9	22	9	9	11
	30-60	11	15	18	23	20	30	11	34	12	13	14
	60-90	14	23	21	31	25	43	18	24	17	16	18
	Total	35	50	50	68	59	85	39	79	39	38	43

Le tableau 8 révèle que le profil moyen en sortie d'hiver de cette année est particulièrement faible par rapport aux années précédentes. Il faut remonter à 2018 pour avoir une situation comparable. D'après les données récoltées jusqu'au 3 février 2024, le niveau d'azote présent dans le sol sur une profondeur de 90 cm est en moyenne de 35 kg N_{min} /ha. Ce qui est largement inférieur à la teneur moyenne en azote minéral de ces dix dernières années (55 kg N_{min} /ha).

Les précipitations de ces derniers mois (tableau 7) 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. Les couches supérieure (0-30 cm) et intermédiaire (30-60 cm) du profil contiennent respectivement 10 et 11 kg N_{min} /ha. Enfin, le dernier horizon, compris entre 60 et 90 cm de profondeur, contient à peine plus d'azote (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.

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

Tableau 9 – Profils azotés moyens (en kg N_{min}/ha) observés en janvier 2024 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	18	15	12	9	12	8	3	77
Profondeur	0-30 cm	8	11	10	15	8	10	10	10
	30-60 cm	7	14	12	12	8	10	11	11
	60-90 cm	7	18	15	16	13	19	11	14
Total	0-90 cm	22	43	36	43	30	39	32	35
	Max	35	67	101	73	53	55	41	
	Min	9	24	26	40	13	25	14	

Comme chaque année des disparités existent également entre les différents précédents culturaux (tableau 9). Les profils les plus riches sont logiquement observés lorsque le froment suit une légumineuse ou une pomme de terre. Ces parcelles présentent un reliquat moyen de 43 kg N_{min}/ha. A noter que pour un précédent pomme de terre ou légumineuse, ces reliquats mesurés en janvier 2024 sont particulièrement faibles comparativement aux années antérieures. D'autres précédents comme le colza, le maïs ou la chicorée offrent des reliquats assez faibles avec une teneur moyenne légèrement inférieure à 40 kg N_{min}/ha. Enfin pour un précédent comme la betterave dont les arrachages ont souvent été retardés par le mauvais temps en 2023, la quantité d'azote minéral présente dans le sol n'excède pas les 20 kg de 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.

Etat des cultures en sortie hiver

Dans les semis de la plateforme expérimentale de Loncée, à la date du 07 février 2024, les stades de développement du froment observés dans les essais « dates de semis » sont :

- ❖ semis de mi-octobre : plein tallage ;
- ❖ semis de début décembre : début tallage ;
- ❖ semis de mi-décembre: 3 feuilles ;

L'état des emblavements est très variable cette année. 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 faire 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 2022-2023**

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

La fumure de référence pour 2024 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.

La situation d'une parcelle à l'autre est très variable cette année. Les nombreuses précipitations observées cet automne n'ont pas toujours permis de semer le froment dans de bonnes conditions. Certaines parcelles semées entre les gouttes après le 20 octobre peuvent présenter un peuplement clairsemé. Il est faux de croire qu'un apport équivalent ou supérieur à 60 kg N/ha en première fraction permettra de corriger cette situation. Au contraire, ces quantités importantes d'azote ne seront pas correctement valorisées par le froment. Une partie de cet azote sera alors perdue. Par conséquent, si le peuplement de votre parcelle est clairsemé, c'est-à-dire que 50% des plantes ont été perdues, il est recommandé cette année de diminuer votre première fraction de 30 kg N/ha.

Enfin la fumure en deux fractions sera réservée uniquement aux situations les plus favorables. Une fumure totale de 170 kg N/ha est donc conseillée pour l'année culturale 2023-2024. La dernière fraction est réduite par rapport aux années précédentes afin de garantir la bonne valorisation de cet azote, mais aussi pour éviter tout excès de fertilisation en fin de cycle.

Les trois fumures de référence proposées en 2024 sont :

En trois fractions :

Pour 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

Pour situation dégradée avec un peuplement clairsemé (50% de plantes en moins)

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	30 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**.

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 particulièrement élevé, il est plus que probable qu'un excès de fertilisation génère d'importants surcoûts. Cette année encore, 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

La fumure de référence reprises dans cette section est uniquement destinée 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 antérieurs, 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) :	60 N
Fraction de la dernière feuille (3^{ème} fraction) :	85 N

En quatre fractions :

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	40 N
Fraction du redressement (2^{ème} fraction) :	60 N
Fraction du 2^{ème} nœud (3^{ème} fraction) :	40 N
Fraction de la dernière feuille (4^{ème} fraction) :	45 N

Cette fumure de référence peut également être appliquée selon un schéma en 4 fractions. Plutôt que d'apporter 85 kg N/ha à la dernière feuille, il est possible de scinder cette dernière fraction en deux en réalisant un premier passage avec 40 kg N/ha au deuxième nœud et un second avec 45 kg N/ha au stade dernière feuille étalée. Ce type de schéma colle davantage aux besoins de la plante et permet de mieux répartir le risque en cas de mauvaise valorisation.

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 :

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

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

[Déterminer sa fumure en Froment – Livre Blanc Céréales \(livre-blanc-cereales.be\)](http://livre-blanc-cereales.be)

- **Détermination de N.PREC, fonction du précédent**

Dans le tableau ci-dessous, sont repris les précédents les plus habituels. Dans le cas où le précédent serait constitué d'une culture non reprise dans le tableau, on se situera par référence à des plantes connues comme ayant des caractéristiques fortement semblables sur le plan des reliquats de fumure et des résidus laissés par la culture. Les valeurs de ce tableau ont été adaptées en fonction des reliquats azotés mesurés en janvier 2024 dans 77 situations.

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

Tableau 10 – 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)	

Ces valeurs de N.PREC sont valables dans le cas où le précédent a donné 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.

Après légumes et de manière générale pour les situations non reprises dans le tableau 10, la très grande variabilité observée dans les disponibilités azotées après ce type de précédent, due aux modalités très variées de culture, fertilisation et récolte, ne permet pas de définir ici des termes correctifs pertinents. Dans ces situations il est préférable de faire réaliser une analyse de la teneur en azote minéral du sol pour bénéficier d'un conseil judicieux.

• **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. ORG A	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.

Parcelle 2

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

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 engrais minéraux. Ces engrais offrent à leurs utilisateurs une certaine souplesse d'utilisation. Ils sont facilement épanchables et leurs modes d'action rapides permet 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 engrais minéraux pour fertiliser leurs cultures. Cette tendance se traduit par un regain d'intérêt pour certains fertilisants organiques, mais aussi par l'apparition sur le marché de nouveaux produits de nutrition des plantes.

Si certaines matières organiques (Tableau 11) 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.

Tableau 11 – Matières organiques testées dans l'essai de 2021 à 2023.

Matière organique fertilisante	Fournisseur	Composition	Teneur en azote (%)
Compost formule printemps	Agricompost	Compost de déchets organiques agroalimentaires d'origine végétale	3,0
Fraction liquide de compost	Agricompost	Compost de déchets organiques agroalimentaires d'origine végétale	2,9
Digestat	Biogaz du Haut-Geer	Digestat liquide	0,4
Vinasse	Boval	Fermentation de la mélasse, co-produit de la betterave	3,0
Purin d'ortie	Agripur	Extrait de plantes d'ortie	-

Afin de répondre à ces différentes questions, le Centre pilote wallon Céréales et Oléo-protéagineux (CePiCOP) en collaboration avec la Faculté de Gembloux Agro Bio-Tech ULiège mène depuis trois ans, des essais à Lonzée sur la fertilisation du froment d'hiver avec ce type de matières organiques. L'objectif de cette expérimentation est double : évaluer leur pouvoir fertilisant et déterminer leur positionnement au sein de l'itinéraire technique afin de maximiser leur efficacité.

Cette section vous présente les premiers résultats provenant de ces expérimentations.

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

Dans cet essai, des produits comme du digestat, de la vinasse ou encore du compost sont testés en substitution partielle de l'azote minéral. D'autres produits comme du purin d'ortie sont utilisés en complément d'une fertilisation classique. Afin d'évaluer leurs efficacités, 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.

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.

Dans le protocole repris au Tableau 12, 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.

Tableau 12 – Protocole reprenant les différentes matières organiques testées à Gembloux entre 2021 et 2023. 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		T-R		R		DF		
		N 27%	MO	N 27%	MO	N 27%	MO	N 27%	MO	
1	Témoin sans azote	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2	Fumure Livre Blanc	60	-	-	-	60	-	60	-	180
3	Compost formule printemps	-	≈ 60	-	-	60	-	60	-	180
4	Fraction liquide de compost	-	≈ 60	-	-	60	-	60	-	180
5	Digestat	-	≈ 60	-	-	60	-	60	-	180
6	Vinasse	-	≈ 60	-	-	60	-	60	-	180
7	Compost formule printemps	-	≈ 60	-	-	-	≈ 60	60	-	180
8	Fraction liquide de compost	-	≈ 60	-	-	-	≈ 60	60	-	180
9	Digestat	-	≈ 60	-	-	-	≈ 60	60	-	180
10	Vinasse	-	≈ 60	-	-	-	≈ 60	60	-	180
11	Purin d'ortie	45	50 l/ha	45	50 l/ha	45	50 l/ha	45	50 l/ha	180

T : tallage; TR : Tallage-Redressement; R : Redressement; DF : Dernière feuille. N27% : application d'ammonitrate 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. 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 2023, trois années avec des printemps plutôt contrastés sur le plan climatique.

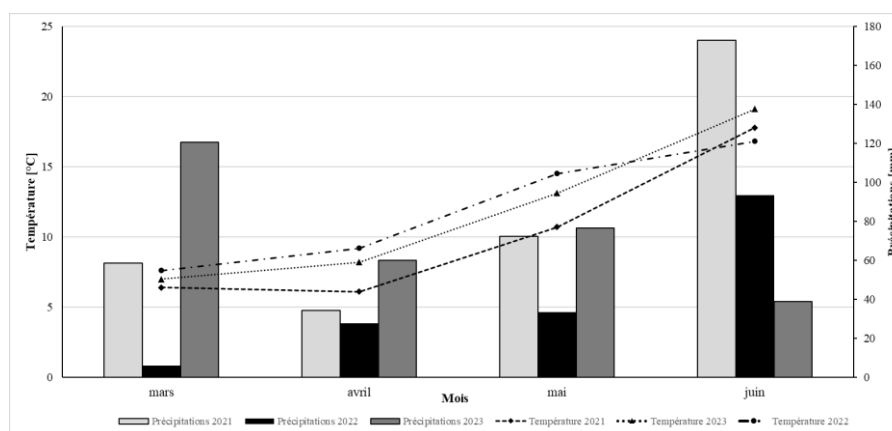


Figure 6 – Température moyenne et cumul pluviométrique mensuels observés durant chaque printemps entre 2021 et 2023 – Station IRM d'Ernage.

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

Après un hiver proche de la normale, l'année 2021 est caractérisée par un printemps froid avec des mois de mars et avril plutôt déficitaires en précipitations. Les pluies plus fréquentes durant les mois de mai et juin ont permis de ramener ce printemps proche de la normale au niveau de la pluviométrie.

L'année 2022 offre un printemps sec et chaud. Mis à part quelques précipitations parfois sous forme de neige début avril, 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.

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 sécheresse 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.

c. Impact sur le rendement

Le Tableau 13 reprend les rendements relatifs (%) pour chaque objet testé sur cet essai. Ces rendements ont été calculés à partir du rendement moyen de l'année également 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, les parcelles de cet essai étaient emblavées avec du Mentor dont le potentiel de rendement est largement inférieur au Chevignon, variété utilisée en 2022 et 2023.

Tableau 13 – Rendements phytotechniques relatifs des différents objets testés sur l'essai de 2021 à 2023.

Objets	Modalités	Rendement phytotechnique relatif (%)			
		2021	2022	2023	Moyenne
1	Témoin sans azote	86	80	78	81
2	Fumure Livre Blanc	99	104	102	102
3	Compost formule printemps (T)	94	98	103	99
4	Fraction liquide de compost (T)	100	112	106	106
5	Digestat (T)	105	96	102	100
6	Vinasse (T)	103	100	101	101
7	Compost formule printemps (T+R)	111	102	102	105
8	Fraction liquide de compost (T+R)	98	110	103	104
9	Digestat (T+R)	108	92	99	99
10	Vinasse (T+R)	101	95	100	98
11	Purin d'ortie	96	111	104	105
Rendement moyen (q/ha)		86	117	119	107

(T): application uniquement au tallage; (T+R): application au tallage et au redressement. 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).

De manière générale, l'efficacité de ces matières recyclées est variable d'une année à l'autre. Par exemple 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, le digestat ou encore la vinasse 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. Le froment présent dans ces parcelles présentait d'ailleurs une croissance irrégulière (peuplement moutonné) avant l'arrivée de précipitations abondantes fin mai 2022.

Utilisé en remplacement du nitrate d'ammonium, la fraction liquide de compost est la seule matière organique en substitution de l'ammonitrate, qui affiche un niveau de performance semblable voir supérieur à celui d'une fumure classique.

L'intégration de purin d'ortie dans un schéma de fertilisation semble également bénéfique pour améliorer la productivité du froment. Les modalités dans lesquelles ce produit est testé affichent des niveaux de production comparables à ceux du compost liquide. Cette matière à base d'ortie occupe une place un peu part parmi les différentes modalités reprises dans l'essai. En effet, elle est plutôt utilisée en complément d'une fertilisation classique. Néanmoins, le schéma d'application doit probablement être revu pour le faire davantage correspondre à la pratique.

A l'inverse en 2023, l'épandage de ces différentes matières organiques en première fraction a permis d'atteindre un rendement équivalent voir 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 ne permet pas systématiquement de sécuriser la production.

Enfin 2021, les résultats sont moins contrastés. Les schémas de fertilisation comprenant une première fraction de vinasse ou de digestat suivie de deux apports sous forme d'ammonitrate semblent présenter des performances comparables à celles d'une fumure plus classique. Mais étonnamment c'est surtout l'application de deux fractions à base de compost solide et de digestat qui permettent d'atteindre les niveaux de rendement les plus élevés cette année-là.

d. Impact sur la qualité

Tableau 14 – Teneur en protéines (%) mesurés pour les différents objets testés sur l'essai de 2021 à 2023.

Objets	Modalités	Teneur en protéines [%]		
		2021	2023	Moyenne
1	Témoin sans azote	10,1	9	9,6
2	Fumure Livre Blanc	12,3	11,6	12,0
3	Compost formule printemps (T)	12	11,3	11,7
4	Fraction liquide de compost (T)	12,6	12,2	12,4
5	Digestat (T)	12	11	11,5
6	Vinasse (T)	12,3	11,6	12,0
7	Compost formule printemps (T+R)	11,7	11	11,4
8	Fraction liquide de compost (T+R)	12,8	12,4	12,6
9	Digestat (T+R)	11,9	10,7	11,3
10	Vinasse (T+R)	12,6	11,2	11,9
11	Purin d'ortie	12,2	11,6	11,9

(T): application uniquement au tallage; (T+R) : application au tallage et au redressement. 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).

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

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 engrais minéraux, sur ce critère technologique.

La teneur en protéines est globalement plus élevée 2021 que cette année (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.

Néanmoins, l'intégration de ces matières recyclées dans un schémas de fertilisation ne semble pas être pénalisant pour la protéine. En effet, elle permet 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. En effet, ces modalités, aussi bien en 2021 et 2023, présentent les teneurs en protéines les plus élevées mesurées sur l'essai.

Utiliser du digestat, de la vinasse ou encore du compost 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 engrais 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 recyclées au tallage, suivie d'une seconde au redressement est une pratique qui peut présenter un risque. Si l'option est d'inclure davantage d'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 semble mieux convenir.

Même si l'essai ne permet pas d'y répondre dans un premier temps, l'utilisation de ces matières organiques pose également d'autres questions. En effet, l'épandage de certaines matières recyclées nécessite parfois un matériel spécifique. Les conditions climatiques durant les périodes d'épandage peuvent par ailleurs également rendre l'accès à certaines terres compliqué. Enfin, ce type de fertilisation implique parfois d'épandre des volumes très important de matières organiques, pour apporter les quantités requises d'azote. 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 2023

Les données relatives aux essais sur la fumure azotée proviennent des plateformes de recherche de Lonzée (CePiCOP-GxABT) et d'Ath (CARAH). Nous débutons par l'analyse de l'essai effectué à Ath, suivi de deux autres essais réalisés à Lonzée, l'un portant sur une variété lignée (brassicole) et l'autre sur une variété hybride.

Le Tableau 15 reprend les itinéraires techniques de ces trois essais.

Tableau 15 – Itinéraires techniques des essais implantés à Ath et Lonzée en 2023.

Intervention	Ath		Lonzée			
	Caractéristique	Valeur/Date	Caractéristique	Valeur/Date	Caractéristique	Valeur/Date
Choix variétal	KWS Orbit	-	KWS Faro	-	Wootan	-
Variété	Lignée		Lignée		Hybride	
Semis	275 grains/m ²	05-oct	225 grains/m ²	07-oct	175 grains/m ²	07-oct
Précédent	Froment		Pomme de terre		Pomme de terre	-
Profil azoté (kgN/ha)	profondeur 0-30 cm	7	profondeur 0-30 cm	14	profondeur 0-30 cm	14
	profondeur 30-60 cm	6	profondeur 30-60 cm	10	profondeur 30-60 cm	10
	profondeur 60-90 cm	6	profondeur 60-90 cm	9	profondeur 60-90 cm	9
	Total N minéral	19	Total N minéral	33	Total N minéral	33
Apport de fumure	Tallage (T)	02-mars	Tallage (T)	16-févr	Tallage (T)	16-févr
	Tallage retardée (TR)	15-mars	-		-	
	Redressement (R)	04-avr	Redressement (R)	29-mars	Redressement (R)	29-mars
	Dernière feuille (DF)	25-avr	Dernière feuille (DF)	25-avr	Dernière feuille (DF)	25-avr
Désherbage	Quirinus 1l/ha + AZ500 100cc/ha	18-oct	Herold 0,6l/ha	12-nov	Herold 0,6l/ha	12-nov
	Allié 15g/ha + Primus 75cc/ha	19-avr				
Régulateur	Medax Top 1l/ha	05-avr	Terpal 3L/ha	27-avr	Terpal 3L/ha	27-avr
	Medax Max 0,5kg/ha	27-avr				
Fongicide	Fandango Pro 1,5l/ha	05-avr	Simveris 1l/ha+ Comet New 0,5l/ha	17-avr	Simveris 1l/ha+ Comet New 0,5l/ha	17-avr
	Lenvyor 1.0l/ha + Priaxor 1,0 l/ha	02-mai	Ascra Xpro 1.2l/ha	06-mai	Ascra Xpro 1.2l/ha	06-mai
Insecticide	Karis 50 cc/ha	03-nov	Patriot 0,2l/ha	12-nov	Patriot 0,2l/ha	12-nov
Récolte	06-juil		03-juil		03-juil	

• Rendement phytotechnique et économique

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 **190€/t** et le prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrate 27%) est de **350€** avec une TVA appliquée de 6%.

Les rendements économiques repris dans cette section seront donc exprimés selon le rapport 6.8 à savoir qu'1 kilogramme d'azote correspond à 6.8 kilogrammes d'escourgeon.

• Analyse de l'essai fumure réalisé à Ath

Le Tableau 16 illustre les résultats de l'essai « programme de fumure azotée » mené dans le Hainaut par le CARAH sur la variété KWS Orbit. Les résultats de l'analyse statistique montrent qu'en 2023, certains schémas de fertilisation ont permis d'obtenir des rendements supérieurs aux autres schémas. Le schéma 7 (55-0-55-50 kg N/ha) est celui qui obtient le rendement phytotechnique le plus élevé. Seul le témoin non fertilisé ne permettait pas de maximiser le

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

rendement. Comme pour le froment, il est particulièrement important de ne pas regarder que les rendements phytotechniques mais de prendre en compte le **rendement économique**.

Grâce au calcul du rendement économique, on observe que le meilleur résultat est obtenu avec la modalité 2, soit un schéma de 100 kg N/ha en trois apports : **40-0-30-30 kg N/ha**. 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 trois fractions de **50-0-50-50 kg N/ha** (modalité 4) est le deuxième schéma le plus performant au point de vue du rendement économique.

Tableau 16 – Résultats de l'essai « fumures azotées » réalisé en 2023 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 (g) et la teneur en protéines (% matière sèche).

KWS Orbit										
Objet	T 02-mars	TR 15-mars	R 04-avr	DF 25-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	80	80	66,4	50,9	8,5
2	40	0	30	30	100	117	110	66,8	51,0	10,1
3	50	0	25	50	125	118	110	66,1	51,2	10,8
4	50	0	50	50	150	120	110	65,3	53,0	11,0
5	0	75	0	75	150	114	104	63,7	52,5	11,6
6	50**	0	50	50	150	119	109	64,1	48,3	10,9
7	55	0	55	50	160	120	109	65,1	52,0	11,5
8	0	80	0	80	160	113	103	63,7	51,2	11,7
9	65	0	55	55	175	120	108	64,6	51,5	12,0
10	65	0	60	75	200	118	105	64,6	47,8	11,6

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 32%S), le rendement économique a été calculé avec le prix un peu supérieur que peut engendrer cette solution.

Au prix de vente de 190 € la tonne d'escourgeon (prix retenu pour 2023) et au prix d'achat actuel de 350€ la tonne d'ammonitrate 27%, le **meilleur compromis** qui découle des résultats de cet essai est celui qui est atteint avec l'apport de **150 kg N/ha** (50-0-50-50) qui donne un rendement phytotechnique de 120 q/ha et en rendement économique de 110 q/ha.

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

Les objets avec des schémas de fertilisation plus élevée (>150 kg N/ha) ont majoritairement et statistiquement un poids à l'hectolitre plus faible que les autres modalités. En 2023, le poids de mille grains a été peu affecté par les schémas de fertilisation.

Teneur en protéines

Comme attendu, les schémas de fertilisation avec des fumures très élevées (objets 7, 8, 9 et 10) ont atteint des niveaux de teneur en protéines supérieurs aux schémas plus raisonnés. Toutefois, le schéma 5 (0-75-0-75) a également permis d'atteindre un niveau de protéines similaire et la fraction plus importante de 75 kg N/ha au stade dernière feuille (DF) est certainement responsable de cette teneur élevée en protéines.

Apport de soufre

Afin d'évaluer la nécessité ou non d'apporter du soufre au tallage, l'ammonitrate 27% a été

remplacé par du sulfonitrate 32% lors de l'apport de la première fraction de tallage dans l'objet 6. L'apport de soufre (sous forme de sulfonitrate 32%S) a permis d'obtenir un rendement phytotechnique similaire à un apport de 150 kg N/ha. Comme vu ci-dessus, le rendement économique de ce programme n'est par ailleurs pas plus élevé que les programmes testés dans les essais 2023. Son bénéfice avait été plus marqué en 2022 en obtenant le meilleur rendement économique de l'essai (avec 1q/ha de plus que la modalité sans soufre).

Les besoins en soufre sont généralement modérés et les réserves présentes dans les sols sont habituellement suffisants. 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 des nitrates. Ainsi, utiliser en 2024 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 KWS Faro (variété lignée brassicole), le second avec la variété Wootan (variété hybride). Le choix de réaliser deux essais séparés pour les variétés lignées et hybrides est parti du constat que les deux types de variétés ont des comportements différents par rapport aux divers schémas de fumure.

- **Analyse de l'essai fumure réalisé à Lonzée sur la variété lignée**

Rendement phytotechnique et économique

L'analyse statistique, présentée dans le Tableau 17, indique comme chaque année que le programme non fertilisé (objet 1) a un rendement phytotechnique et économique inférieur aux autres modalités. En 2023, l'essai montre que les programmes 2 (0-35-0 kg N/ha) et 18 (35-105-70) kg N/ha ont également des rendements phytotechniques statistiquement inférieurs.

Au niveau des rendements économiques, seuls les programmes 1 et 18 sont inférieurs aux autres objets. Le rendement économique maximal est obtenu en 2023 avec le programme 12 en trois fractions (35-70-35) qui admet donc un apport de **140 kg N/ha** et atteint un rendement économique de 114 quintaux.

Les programmes 6,7, 11 et 12 (qui comportent un fractionnement avec 105 à 140 kg N/ha) obtiennent les meilleurs rendements économiques avec 111 à 114 quintaux et permettent une meilleure utilisation des intrants tout en respectant mieux l'environnement.

L'année 2023 a été marquée tout d'abord par un mois de février très sec. Ensuite, les mois de mars et d'avril ont été très pluvieux. Mi-mai, nous avons retrouvé la sécheresse jusque mi-juin. Ces épisodes extrêmes influencent la valorisation des fractions azotées apportées.

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

En 2023, le poids à l'hectolitre et le poids de mille grains ont été peu affectés par les schémas de fertilisation. On peut toutefois signaler que les poids de mille grains sont en général plus bas lorsque les programmes de fertilisation comportent des apports élevés en azote.

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

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 175 kg N/ha admettent les plus hautes teneurs en protéines (programmes 16, 17, 18 et 19). Les essais (Lonzée) sont réalisés dans une parcelle avec précédent pomme de terre et une restitution de fumier (tous les 3 à 5 ans).

Tableau 17 – Résultats de l'essai « fumures » réalisé à Lonzée (CePiCOP, GxABT) en 2023 sur la variété lignée KWS Faro. 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 (g).

KWS Faro									
Objet	T	R	DF	Total [Kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Protéines % MS	PMG g
	16-févr	29-mars	25-avr						
1	0	0	0	0	84	84	67,6	8,5	46,6
2	0	35	0	35	107	104	68,4	8,0	45,5
3	35	35	0	70	109	104	68,9	9,3	47,8
4	70	35	0	105	116	109	69,2	9,7	48,3
5	0	35	35	70	112	108	68,8	9,8	47,1
6	35	35	35	105	121	113	69,0	9,7	47,2
7	70	35	35	140	120	111	69,5	9,3	46,1
8	0	70	0	70	111	107	69,0	9,7	46,9
9	35	70	0	105	115	108	69,2	9,3	47,4
10	70	70	0	140	113	103	69,2	9,2	46,3
11	0	70	35	105	120	113	69,3	10,1	46,4
12	35	70	35	140	124	114	69,5	10,0	47,3
13	70	70	35	175	115	103	69,2	9,6	44,9
14	0	70	70	140	115	106	68,9	10,1	46,0
15	35	70	70	175	120	108	69,1	9,9	46,0
16	70	70	70	210	113	99	69,2	10,8	45,7
17	0	105	70	175	120	108	68,8	10,7	45,1
18	35	105	70	210	105	91	68,8	10,8	45,9
19	0	105	105	210	117	102	68,8	10,9	44,5
20	55	55	50	160	115	104	68,9	9,2	46,1

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.

Messages à retenir pour les variétés lignées :

Les programmes avec une dose totale de 105-175 kg N/ha obtiennent de très bons résultats de rendements économiques chaque année (synthèse pluriannuelle des résultats 2018-2023 non présentée ici) et permettent une meilleure utilisation des intrants tout en respectant mieux l'environnement.

La fraction de dernière feuille influence la teneur en protéines mais a un faible impact sur le rendement.

Si vous souhaitez vous insérez 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'entraîner le déclassement des lots.

La Figure 7 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 KWS Faro (Far) de 2020 à 2023. 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 (adéquante à la finalité brassicole) sont celles se trouvant proches ou dans le carré en bas à droite de la figure.

Les résultats historiques (années 2020 à 2023) favorisent des programmes de fumures de l'ordre de +/-150 kg N/ha pour ce débouché (dans de terres avec précédent moyen comme dans le cadre de cet essai avec précédent pomme de terre). Il est conseillé de modérer la dernière fraction apportée et de choisir des programmes comme **70-35-35** ou **70-70-0 = 140 kg N/ha**. Les modalités 55-55-50 kg N/ha (Livre Blanc), 70-70-35 kg N/ha, 35-70-35 kg N/ha obtiennent de bons résultats également mais des teneurs en protéines un peu plus hautes.

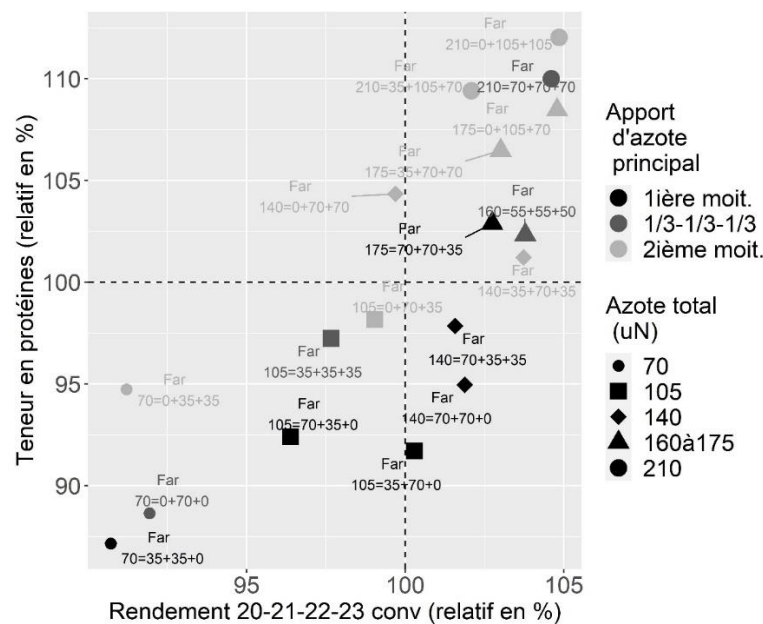


Figure 7 – Relation entre la teneur en protéines et le rendement à l'hectare des programmes de fumures testés sur la variété KWS Faro (Far) de 2020 à 2023.

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

Rendement phytotechnique et économique

Pour la variété hybride Wootan, la fumure permettant de maximiser le rendement phytotechnique (122 q/ha) est obtenue par le programme n°16 composé de trois fractions : 70-70-70 kg N/ha (210 kg N/ha au total) comme décrit dans le Tableau 18.

Les programmes avec les doses d'azote total les plus élevées (175-210 kg N/ha) obtiennent les meilleurs rendements phytotechniques. Toutefois, lorsqu'on regarde les rendements économiques, on s'aperçoit que les programmes avec moins d'azote (70-105 kg N/ha) admettent des meilleurs résultats en 2023. Toutefois, lorsqu'on réalise des analyses sur les synthèses pluriannuelles (2018-2023), les programmes qui proposent de 105 à 210 kg N/ha sont les plus rentables (statistiquement similaires au meilleur pour au moins 5 ans sur 6).

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

Contrairement à la variété lignée KWS Faro, la variété hybride Wootan est moins pénalisée par des faibles apports d'azote en première fraction (au tallage). On peut notamment le confirmer encore cette année en observant les modalités 5, 8, 11, 14 et 17.

Tableau 18 – Résultats de l'essai « fumures » réalisé à Lonzée en 2023 sur la variété hybride Wootan. 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 surcrot des semences hybrides.

Wootan									
Objet	T	R	DF	Total [Kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Protéines [%MS]	PMG [g]
	16-févr	29-mars	25-avr						
1	0	0	0	0	100	100	67,5	9,7	47,1
2	0	35	0	35	108	105	67,1	9,7	46,8
3	35	35	0	70	113	109	67,2	9,3	46,0
4	70	35	0	105	117	110	66,3	9,4	46,3
5	0	35	35	70	117	112	66,1	9,3	44,6
6	35	35	35	105	110	103	66,3	9,6	44,3
7	70	35	35	140	110	100	65,4	9,6	42,9
8	0	70	0	70	115	110	66,7	10,2	44,6
9	35	70	0	105	114	107	65,9	9,4	44,0
10	70	70	0	140	115	106	65,9	9,5	44,5
11	0	70	35	105	117	110	65,4	9,7	44,4
12	35	70	35	140	116	107	65,1	10,0	43,9
13	70	70	35	175	115	103	64,8	10,3	41,6
14	0	70	70	140	115	106	64,5	9,7	43,4
15	35	70	70	175	116	104	64,8	10,7	42,2
16	70	70	70	210	122	108	64,9	10,8	41,3
17	0	105	70	175	119	107	64,1	11,1	42,3
18	35	105	70	210	119	105	64,2	11,5	41,8
19	0	105	105	210	114	100	63,5	10,8	42,7
20	25	75	75	175	118	106	64,6	10,3	42,1

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.

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

Tout comme pour les variétés lignées, le poids à l'hectolitre et le poids de mille grains ont été peu affectés par les schémas de fertilisation. En général, les programmes de fertilisation avec des doses totales d'azote faibles ont des PHL et des PMG plus élevés.

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 175 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 kg N/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 2024

Les températures des mois d'octobre et décembre ont été particulièrement élevées pour la période et certains escourgeons ont déjà profité de ces conditions et de la minéralisation pour prélever de l'azote dans le profil.

Les précipitations très importantes des derniers mois (voir article climatologique) ont favorisé le lessivage de l'azote. Nous ne connaissons pas encore les conditions printanières qui influenceront particulièrement fort la valorisation des fractions d'azote qui seront apportées, toutefois, les premières analyses de reliquats azotés dans le sol réalisées fin janvier permettent d'estimer l'état moyen des profils azotés en escourgeon.

Vingt-cinq parcelles d'escourgeon (uniquement des précédents « froment » dans le cadre de ces analyses) ont été échantillonnées en ce début d'année 2024 (Tableau 19).

Les quantités d'azote disponibles dans les 90 premiers centimètres du profil sont **un peu plus faibles** par rapport aux années précédentes. La moyenne de ces 15 dernières années (30 kg N_{min}/ha sur 0-90 cm). L'azote est réparti uniformément dans les trois horizons du sol.

Tableau 19 – Comparaison pour les 15 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
		2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	
	Nbr de profils	25	32	29	17	18	29	18	30	34	21	29	22	10	6	5	
Profondeur (cm)	0-30	8	9	8	10	8	11	8	21	7	6	5	8	9	10	9	9
	30-60	6	9	9	11	7	11	8	32	5	5	5	8	9	12	7	10
	60-90	8	10	11	17	12	15	12	22	7	5	8	10	12	10	9	11
Total (cm)	0-90	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 culturale 2024

La fumure de référence conseillée pour 2024 est basée sur les résultats de l'analyse pluriannuelle (2018 à 2023, 6 dernières années d'essais), de l'expérience du passé et sur une analyse des résultats des essais « fumures » de 2023 ainsi que sur base des observations de ce début de saison et sur le prix des engrais. 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 2024

La fumure de référence proposée en pour l'escourgeon ligné est de :

Fraction du tallage (1 ^{ère} fraction) :	50 N
Fraction du redressement (2 ^{ème} fraction) :	60 N
Fraction de la dernière feuille (3 ^{ème} fraction) :	50 N

La fumure de référence proposée en 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.

Il est impératif de s'abstenir d'apporter de l'azote sur des sols déjà saturés d'eau, car dans de telles conditions, les plantes ne peuvent pas tirer profit de l'engrais. Leurs racines, asphyxiées, sont incapables d'absorber les nutriments. Il est donc essentiel de n'intervenir que dans des conditions climatiques favorables : le sol doit être réessuyé et non gelé, une pluviométrie d'au moins 10 à 15 mm est attendue après l'application de l'engrais et les températures doivent être propices à la croissance des plantes.

ATTENTION : ces conseils de fumure doivent être ajustés à chaque parcelle (région, état du sol, précédent, apport de fumure organique, ... Des facteurs de correction 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.

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. 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 trois 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 :

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

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

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

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.ORGAN, 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 20 – 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 modérés (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 50-60-50 kg N/ha devient alors >> **55-80-55** 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. Actuellement (le 4 février), l'état de croissance du froment correspond au stade début tallage tandis que le pois est déjà composé de deux feuilles et d'une vrille.

2.4.2 La fumure conseillée pour la saison 2023-2024

La fumure conseillée pour 2024 s'appuie sur les résultats du projet de recherche financé par le SPW/DGO3 de 2012 à 2018, intitulé « 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 », 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.

Il est inutile de sur-fertiliser cette association car cette action aura alors un impact négatif sur la « fertilisation naturelle » apportée par les nodosités qui vivent en symbiose avec le système racinaire du pois. En effet, une fertilisation trop importante voire trop précoce limite la mise en place et le développement de ces nodosités sur le système racinaire du pois. Ces nodosités constituent un des atouts des légumineuses, permettant à ces dernières de subvenir à leurs besoins en élément azoté pendant la phase végétative par une assimilation de l'azote contenu dans l'air. Dans le cadre de cette association, elles présentent également un atout en fin de végétation puisqu'elles permettent alors à la céréale de bénéficier d'une « fertilisation complémentaire », grâce aux transferts d'éléments nutritifs issus d'exsudats racinaires.

Il est donc important de réaliser ces applications aux moments idéaux, ni trop précoces, ni trop tardifs, ni supérieures à la fertilisation conseillée car cela limite alors les performances de l'association.

La fumure conseillée en 2024 pour l'association de froment et de pois est de :

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

2.5 La fertilisation azotée en épeautre

Cette année, aucun essai en fumure sur la culture de l'épeautre n'a été mené. Cependant, un conseil en fumure peut être réalisé suite aux travaux sur la fertilisation azotée qui ont été menés par Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège – Unité de Phytotechnie tempérée), l'UCL (ELIa-membre scientifique de PROTECT'eau), le Centre de Michamps asbl et le CRA-W (Unité Amélioration des espèces et biodiversité). Ces travaux ont été réalisés entre 2011 et 2017 sur des expérimentations en parallèle en région limoneuse (Gembloux) et en Ardenne (Michamps) avec la variété Cosmos. Le choix de ces deux sites a permis de comparer deux situations contrastées.

Grâce à l'analyse de ces essais, il est possible aujourd'hui d'affirmer avec certitude que la fertilisation azotée de l'épeautre ne doit pas se calculer comme celle du froment. Il semble qu'aussi bien la dose totale que le schéma de fractionnement doivent être adaptés à chaque région.

Les études pluriannuelles ont démontré l'importance des fractions de tallage et de redressement dans l'élaboration du rendement. De plus, l'épeautre a besoin d'un fractionnement dégressif, c'est-à-dire beaucoup d'apport au début de son cycle et des doses plus faibles par la suite. Dans les deux régions, un apport plus important est donc recommandé au tallage.

C'est pourquoi en région limoneuse les résultats pluriannuels démontrent qu'une fumure totale de l'ordre de 150 kg N/ha permet d'atteindre les objectifs de production pour l'épeautre, avec des fractionnements recommandés de 75-60-0 (135 kg N/ha) ou 90-60-0 (150 kg N/ha). En région ardennaise, ces mêmes études pluriannuelles indiquent qu'une fumure de l'ordre de 100 kg N/ha est recommandée, avec des fractionnements possibles de 60-45-0 (105 kg N/ha), 75-30-0 (105 kg N/ha) ou de 75-45-0 (125 kg N/ha). Au vu des résultats, la fertilisation de l'épeautre peut donc se réaliser simplement en deux fractions permettant de faire des économies sur le nombre de passages de machines. Dans le cadre de contrats spécifiques, un apport réalisé à la dernière feuille visant à augmenter la teneur en protéines est possible, mais celui-ci doit rester limité (30 kg N/ha).

Par ailleurs, les analyses de reliquats azotés post-récolte de 2013 à Michamps montrent qu'en deçà de 100 kg N/ha, les reliquats sont proches de celui du témoin zéro et par conséquent ont un impact minime envers l'environnement. Le conseil formulé dans cette étude participe à diminuer l'impact de la fertilisation azotée sur l'environnement.

La fumure conseillée en 2024 pour l'épeautre est de :

Fumure en région limoneuse	de 135 à 150 kg N/ha
Fractionnements recommandés (T-R-DF) :	75-60-0 kg N/ha
	90-60-0 kg N/ha
Fumure en région froide (Ardenne)	de 105 à 120 kg N/ha
Fractionnements recommandés (T-R-DF) :	60-45-0 kg N/ha
	75-30-0 kg N/ha
	75-45-0 kg N/ha

Pour des informations complémentaires, les articles sur la fertilisation azotée de l'épeautre sont disponibles en consultant les versions du Livre Blanc céréales février de 2017 et 2018.

2.6 La fertilisation azotée en agriculture biologique : généralités

J. Legrand¹⁰

La fertilisation en agriculture biologique se fait selon le respect du cahier des charges européen UE 848/2018 et de l'Arrêté du gouvernement Wallon du 20/01/2023, qui interdisent les produits de synthèse. Elle dépend d'une part de la **minéralisation** de la **matière organique du sol** et d'autre part des **apports exogènes** repris dans une liste positive par le cahier des charges.

Le précédent cultural, la présence de légumineuses dans la rotation et la présence ou non de résidus de culture influencent fortement la fourniture naturelle du sol en azote. La mesure des reliquats azotés sur le profil de sol à la sortie de l'hiver, nous donne à un instant donné une indication sur la fourniture du sol et fera partie d'un des éléments du bilan de fertilisation.

Lorsque des apports exogènes sont envisagés, les matières azotées les plus utilisées sont les suivantes :

- engrais organique du commerce (EOC) à base de produits naturels (sous-produits végétaux ou animaux) sous forme de granulés,
- engrais de ferme, (à l'exception d'élevage industriel) de préférence composté,
- fertilisants provenant de déchets (si toutes les matières premières qui les composent sont autorisées en bio), exemple : digestat de biogaz
- vinasse (à l'exclusion des vinasses ammoniacales),

Notons que l'ensemble des apports organiques d'origine animale est limité à 170 kg d'azote par hectare de la surface agricole utile par année civile.

La particularité de ces engrais organiques est qu'ils doivent d'abord passer par une phase de **minéralisation** avant d'être assimilables par la céréale. La part en azote ammoniacal de ces différentes matières est variable et généralement faible. Dès lors, il est important d'analyser ces matières avant l'épandage pour savoir ce que l'on apporte, y compris la part directement assimilable.

La minéralisation, aussi bien de la matière organique du sol que des matières fertilisantes, dépend des **conditions climatiques** de l'année et principalement la température et la pluviométrie, paramètre qui influence directement la teneur en eau du sol. Ces paramètres ne sont malheureusement pas connus avant l'épandage des engrais organiques et au moment du profil azoté. De plus, selon les matières et leur coefficient d'utilisation, il n'y a qu'un certain pourcentage qui sera assimilé la première année et le reste les années suivantes.

Le **travail du sol** est également important pour l'incorporation des résidus de cultures avant l'implantation du couvert ou de la céréale. Il permet d'éviter les pertes par volatilisation et favorise leur décomposition. L'incorporation des engrais organiques sera également importante pour les mêmes raisons au printemps. Il se réalise notamment grâce aux passages des outils de désherbage mécanique et sera plus facile pour un EOC que pour un fumier, en raison de sa

¹⁰ CPL-VEGEMAR asbl—Centre Provincial Liégeois des Productions végétales et maraîchères – Province de Liège

texture et friabilité.

Des études préalables ont montré qu'il était préférable d'apporter une fraction unique et ce dès la reprise de la végétation en agriculture biologique. Des apports plus tardifs libèreraient la majorité de leur azote trop tard, c'est-à-dire après la phase d'absorption par la céréale (B. Godden, 2021¹¹). La période des besoins en azote (de mars à juin) ne correspond pas à la période de forte minéralisation de la matière organique présente dans le sol, ce qui peut dans certains cas entraîner une faim d'azote s'il n'y a pas d'apport extérieur (B. Godden, 2021).

Au cours des **différentes années d'essais (2015 à 2021)** synthétisées dans un article du Livre Blanc de février 2022 (Legrand et al, 2022)¹², il a été difficile de tirer des conclusions tant les conditions pédoclimatiques de l'année influencent fortement l'efficacité de la fertilisation organique. Testés à la dose de 40 et 80 kg N/ha, les gains de rendement ont été très variables d'une année à l'autre mais les gains maximums ont été obtenus à la dose de 80 kg N/ha. On a constaté également que le gain de rendement n'était pas toujours proportionnel à la teneur en azote ammoniacal de la matière. Enfin, il a été difficile de comparer les EOC entre eux car leurs provenances variaient fortement. Par contre, la vinasse et le digestat, plus stables d'une année à l'autre semblent donner de bons résultats en moyenne et au-delà du seuil de rentabilité (le coût de l'engrais est compensé par le gain de rendement). En effet, au niveau de la rentabilité économique, le coût de l'engrais influence directement celle-ci. Les EOC sont les plus chers à l'unité d'azote suivis par la vinasse, les effluents de volaille, le digestat et enfin le lisier. En raison de leur coût plus élevé, le risque financier est plus important avec les EOC surtout si on augmente la dose à 80 kg N/ha.

¹¹ B. Godden (2021) La gestion de la fertilité des sols et des matières organiques en agriculture biologique. Socle de connaissances.

¹² J. Legrand, A. Stalport, M. Abras, B. Heens, B. Godden et O. Mahieu (2022) « 2.2.6 Point sur les essais menés en fertilisation de froment biologique ». Livre Blanc céréales, Edition février 2022, p. 57-62.