

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, A. Vilret⁷, et B. Dumont⁵

2.1	Bilan de la saison culturale.....	36
2.2	La fertilisation azotée en froment d'hiver.....	38
2.2.1	Résultats des expérimentations en 2022	38
2.2.2	Relation entre force boulangère et rendement à l'hectare	50
2.2.3	Les éléments à considérer pour une recommandation pratique.....	53
2.2.4	La détermination pratique de la fertilisation azotée.....	56
2.3	La fertilisation azotée en escourgeon.....	60
2.3.1	Résultats des expérimentations en 2022	60
2.3.2	Recommandations pratiques pour la campagne 2023 !.....	66
2.3.3	Conseil de fertilisation pour la saison culturale 2023.....	66
2.3.4	Considération pratique pour adapter le conseil en fonction des situations (régions, aléas climatiques ...)	68
2.3.5	Calcul des doses à appliquer dans votre propre parcelle :	69

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

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

2.4	La fertilisation azotée de l'association du froment d'hiver et du pois protéagineux d'hiver.....	71
2.4.1	Etat de l'association en sortie d'hiver.....	71
2.4.2	La fumure conseillée pour la saison 2022-2023	71
2.5	La fertilisation azotée en épeautre	72
2.5.1	La fumure conseillée pour la saison 2022-2023	72
2.6	La fertilisation azotée en agriculture biologique : généralités...	74

2.1 Bilan de la saison culturale

Les conditions particulièrement humides observées durant les mois de juillet et août 2021 ont progressivement laissé la place à un temps plus calme à partir du mois de septembre. Les précipitations se sont faites plus rares et la chaleur s'est maintenue jusque début octobre, permettant à cet été décidément bien maussade de jouer quelque peu les prolongations.

A partir d'octobre, les températures ont commencé à amorcer leur lente descente. Le retour de cette fraîcheur coïncide également avec l'arrivée de nouvelles précipitations. Ces pluies fréquentes en ce début d'automne ont pu dans certains cas retarder et perturber certains semis d'escourgeon notamment. Ce temps instable s'est maintenu jusqu'à la fin du mois d'octobre rendant également difficile l'implantation des premiers froments. L'arrivée d'un temps plus sec en novembre a permis de poursuivre les semis dans de meilleures conditions. Dans les champs, les levées se sont déroulées sans encombre dans des conditions météorologiques proches des normales saisonnières.

Mais l'accalmie observée durant le mois de novembre fut de courte durée puisque des précipitations sont à nouveau régulièrement observées à partir du mois de décembre. Les températures ont poursuivi leur descente entamée au mois d'octobre laissant présager l'arrivée d'une saison hivernale difficile. Mais il n'en sera rien ! Malgré quelques coups de froid sporadiques autour du solstice d'hiver et durant le mois de janvier, le thermomètre affichera une relative douceur durant tout l'hiver.

Malgré cette douceur, janvier et février seront à l'instar de décembre des mois bien arrosés. Cette pluviométrie a forcément eu une incidence importante sur la quantité d'azote minérale présente en sortie d'hiver dans le profil 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). Ces mesures ont également confirmé que la répartition de l'azote entre les horizons était très inégale à cette période. En effet, les précipitations ont favorisé la migration de l'azote vers le fond du profil et ont ainsi contribué à enrichir le dernier horizon. Enfin, les reliquats azotés étaient très variables d'une parcelle à l'autre en fonction du précédent. Certaines cultures n'ont donc pas valorisé l'azote apporté la saison précédente. Ces analyses de sol ont permis, dans certaines situations, d'éviter des surdosages qui n'étaient pas opportuns au vu du prix des engrais. Encore une fois, ces situations illustrent l'importance d'adapter en cours de saison la fertilisation de référence préconisée par le Livre Blanc de février.

Le mois de mars marque le début d'une nouvelle séquence durant laquelle les pluies se feront beaucoup plus rares. Hormis quelques précipitations parfois sous forme de neige début avril, la sécheresse va durablement s'installer dans nos régions jusque fin mai. Si les premières applications d'engrais en froment ont pu avoir lieu à la mi-mars sur des terres bien ressuyées, le manque d'eau a certainement réduit l'efficacité de ces premiers apports, en ralentissant la mise à disposition de l'azote pour les céréales ou en favorisant la volatilisation des formes liquides. Des problèmes similaires ont également été constatés lors de l'application de la seconde fraction, au moment du redressement mi-avril.

Avec l'augmentation progressives des températures, les effets du déficit hydrique ont commencé à se faire fort ressentir à partir de la mi-mai. Cet épisode de sécheresse a probablement mis à mal la croissance du froment dont les pailles paraissaient bien courtes jusque-là. Le manque d'eau semble également avoir induit la régression de nombreuses talles.

En mai, la chaleur a contribué à l'évolution rapide des stades. En froment, la dernière feuille à fait son apparition aux alentours de la mi-mai. Le retour de précipitations conséquentes durant la dernière décade et au début du mois de juin, a probablement permis aux céréales de valoriser correctement la dernière fraction d'azote. Ces précipitations providentielles ont dans bien des situations également limité les effets délétères liés au déficit hydrique notamment au moment du remplissage du grain. L'ensoleillement important durant les mois de juin et juillet a également été optimal et à certainement contribué à former des grains bien développés avec des poids de milles grain et des poids spécifiques particulièrement élevés.

Avec un cumul pluviométrique estival proche de zéro, les moissons ont pu se dérouler sans entraves. Les premiers escourgeons ont été récoltés fin juin à début juillet. Il a fallu encore attendre une dizaine de jour pour s'attaquer aux froments et terminer les travaux de récolte fin juillet.

2.2 La fertilisation azotée en froment d'hiver

2.2.1 Résultats des expérimentations en 2022

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 et le troisième a été réalisé par le CARAH à Ath.

Un quatrième essai a été mis en place sur le site de l'Ecole d'Agronomie et des Sciences de Ciney (EPASC). S'agissant d'une première année d'expérimentation en Condroz, les résultats ne sont pas utilisés dans la rédaction de ce chapitre.

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 2022 est de 260 €/t et le prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrate 27 %) a été fixé à 600 €. Les rendements économiques qui sont repris dans ce chapitre sont donc exprimés selon le rapport 8.5, à savoir qu'1 kilogramme d'azote correspond à 8.5 kilogrammes de froment (1 kg N = 8.5 kg de froment). Pour rappel, ce même rapport était de 9.6 à cette même période en 2022.

• **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 est restée relativement faible tout au long de la montaison, il a donc été décidé d'appliquer un programme fongicide comprenant un seul passage au stade dernière feuille étalée (BBCH 39). La faible pression en puceron et cécidomyie durant le printemps a permis de faire l'impasse sur le traitement insecticide. Deux désherbages ont tout de même dû être réalisés afin de limiter la prolifération des adventices et notamment des graminées (vulpin). Le premier traitement a été réalisé en début de printemps et le second un mois plus tard. Ces essais se distinguent par les variétés employées et par l'application de fumures spécifiques (ce point sera abordé ultérieurement). Les parcelles du premier essai ont

été semées avec du Chevignon, variété la plus cultivée en Région wallonne plutôt destinée à la production fourragère mais qui peut être aussi éventuellement valorisée en alimentation humaine. 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 23 kg N/ha.

Le troisième essai a été semé à Ath avec la variété fourragère, LG Skycraper, après un précédent betterave. La conduite de cet essai a nécessité des traitements supplémentaires justifiés par des pressions plus élevées. Un premier désherbage a ainsi été réalisé au mois d'octobre. Un second traitement herbicide a ensuite été effectué au début du printemps. Un régulateur et deux traitements fongicides ont également été appliqués durant la montaison afin de protéger la culture. Enfin un insecticide a été pulvérisé au mois de mai afin de lutter contre les pucerons et ainsi protéger l'épis. Sur ce site, le reliquat azoté mesuré en sortie d'hiver sur une profondeur de 90 cm, était de 34 kg N/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 2022 à Lonzée (CePiCOP et Gx-ABT, ULiège) et à Ath (CARAH).

Interventions	Caractéristiques	Date / Donnée	Caractéristiques	Date / Donnée	Caractéristiques	Date / Donnée
Choix variétal	Chevignon	-	Arminius, Christoph, Cub	-	LG Skycraper	-
Lieu	Lonzée		Lonzée		Ath	
Date de semis	300 grains/m ²	28-oct	300 grains/m ²	28-oct	400 grains/m ²	15-oct
Précédent	pommes de terre	-	pommes de terre	-	betterave	-
Reliquat azoté en sortie d'hiver	P : 0-30 cm	2	P : 0-30 cm	2	P : 0-30 cm	15
	P : 30-60 cm	6	P : 30-60 cm	6	P : 30-60 cm	8
	P : 60-90 cm	15	P : 60-90 cm	15	P : 60-90 cm	11
	Total N minéral	23	Total N minéral	23	Total N minéral	34
Apport de fumure	T	17-mars	T	17-mars	T	10-mars
	TR	04-avr	TR	04-avr	TR	25-mars
	R	21-avr	R	21-avr	R	29-mars
	DF	13-mai	DF	13-mai	DF	06-mai
	E	-	E	01-juin	E	-
Désherbage	Sigma Star (0,33 kg/ha)	24-mars	Sigma Star (0,33 kg/ha)	24-mars	Herold (0.6 l/ha)	18-oct
	+ Biathon duo (70 g/ha)		+ Biathon duo (70 g/ha)		+ AZ 500 (0,1 l/ha)	
	Axial (1,2 l/ha)	19-avr	Axial (1,2 l/ha)	19-avr	Allié (20g/ha)	12-avr
				+ Starane Forte (0.3 l/ha)		
Raccourcisseur	CCC (1 l/ha)	14-avr	CCC (1 l/ha)	14-avr	Modus (0.25 l/ha)	12-avr
				+ Cycofix (1 l/ha)		
Fongicide	Revystar Gold (1,5 l/ha)	15-mai	Revystar Gold (1,5 l/ha)	15-mai	Kestrel (1,25 l/ha)+	29-avr
	+ Stavento (1,5 l/ha)		+ Stavento (1,5 l/ha)		Stavento (1 l/ha)	
				Velogy Era (1l/ha)	19-mai	
Insecticide	-	-	-	-	Primor (200 g/ha)	19-mai
					+Karaté Zéon (12,5	
Récolte	-	23-juil	-	24-juil	-	17-juil

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

• Analyse des résultats de l'essai « fumure » mené à Ath en 2022 (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 6 et 8 à 10 comportent des fumures en trois fractions. L'objet 4 reprend la fumure liée aux recommandations du CARAH. L'objet 5 se différencie de l'objet 4 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 7 et 8 correspondent aux fumures de référence en deux ou trois fractions proposées par le Livre Blanc de février 2022.

Tableau 2 – Résultats de l'essai « fumure » à Ath (CARAH) en 2022. Ce tableau reprend les rendements phytotechniques et économiques (q/ha), le poids à l'hectolitre P/HL (kg/hl), la teneur en protéines (%).

N° Objet	T	TR	Red	DF	Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Prot. [%]
1	0		0	0	0	75,8	75,8	78,3	9,0
2	30		40	40	110	109,2	99,8	82,3	11,6
3	30		45	50	125	111,2	101,1	82,7	11,9
4	40		50	50	140	114,2	102,3	83,1	12,3
5	40**		50	50	140	112,8	100,9	83,0	12,6
6	50		55	50	155	115,7	102,5	83,2	12,1
7		95		75	170	116,3	101,8	83,3	12,1
8	60		60	65	185	119,3	103,5	82,6	12,6
9	65		70	80	215	119,2	100,9	82,7	12,9
10	80		80	85	245	122,8	101,9	83,1	13,0

* 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 le rendement 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 122,8 q/ha est obtenu avec une fumure totale de 245 kg N/ha (80-80-85). Les rendements phytotechniques observés pour les objets 8 et 9, obtenus avec des fumures de 185 et 215 kg N/ha sont certes plus faibles mais ne sont pas statistiquement différents de ce rendement maximal. Toutes les autres fumures testées sur cet essai présentent des niveaux de productions significativement inférieur à ce maximum phytotechnique.

Concernant le rendement économique, l'optimum est atteint par l'objet 8 avec 103.5 q/ha. Cet objet correspond à la fumure de référence en trois fractions (60-60-65) recommandées par le Livre Blanc de février 2022. D'après l'analyse des résultats, toutes les fumures comprises entre 110 et 245 kg N/ha ont également permis d'obtenir des rendements économiques statistiquement équivalents à l'optimum.

Poids à l'hectolitre (P/HL)

Avec une valeur de 83.3 kg/hl, l'objet 7 est la modalité qui présente le poids à l'hectolitre le plus élevé. Mis à part pour le témoin et pour l'objet 2, 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 comme sur les autres, sont assez élevés.

Teneur en protéines

L'objet 10 présente la teneur en protéines (13,0 %) 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 12,0 %.

La **fumure de référence en trois fractions** conseillées par le Livre Blanc de février 2022 (objet 8) a permis d'atteindre l'optimum économique mais aussi de se rapprocher du maximum phytotechnique. Si dans cet essai, **la fumure de référence en deux fractions** affiche un rendement inférieur au maximum phytotechnique, elle permet tout de même d'obtenir un rendement économique proche de l'optimum.

- **Analyse des résultats des essais « fumure » menés à Lonzée en 2022 (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 Cheignon. Cette variété de froment d'hiver est la plus cultivée en Région wallonne. Elle peut être utilisée pour l'alimentation humaine 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 2022. 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 proposés par le Livre Blanc en 2022. La fumure appliquée sur l'objet 26 a également été adaptée sur base des mêmes paramètres que l'objet 24. Les objets 27 à 29 correspondent à des fumures issues de différentes modulations d'une fumure en trois apports avec un pas de 30 kg N/ha. Enfin l'objet 30 est une fumure caractérisée par un apport important à la sortie de l'hiver.

Le protocole du second essai comprend six modalités « fumure » appliquées sur 5 variétés de froment d'hiver (Arminius, Christoph, Cubitus, KWS Emerick 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 des froments d'hiver panifiables supérieur disponible en Belgique (Q1). Enfin au sein même de cette catégorie, on distingue les froments élites améliorant (Q1 supérieur) comme Arminius, Christoph, KWS Emerick et Moschus des

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

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 2022. 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 une fumure en deux apports régulièrement recommandée dans les éditions antérieures du Livre Blanc. 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. La quatrième et la sixième modalité 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 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 de 1000 grains PMG (g), le poids à l'hectolitre P/HL (kg/hl), le nombre de grains/m² (grains/m²), le nombre d'épis/m² (épis/m²), le nombre de grains/épi (grains/épi), la teneur en protéines (%), l'indice de Zélény (ml), la valeur du rapport du Zélény sur le taux de protéines Z/P.

N° Objet	T	TR	Red	DF	Total [kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	PMG [g]	Nbre grains [grains/m ²]	Nbre épis [épis/m ²]	grains / épi	Prot. [%]	Zeleny [ml]	Z/P
1					0	84,4	84,4	76,1	50,1	16852	313	54	9,3	18	1,9
2			60		60	105,3	100,2	78,7	52,5	20131	367	55	10,6	25	2,3
3			60		60	107,4	102,3	78,8	52,9	20328	347	59	10,6	24	2,3
4	60				60	101,4	96,3	76,9	49,7	20397	343	60	9,6	19	2,0
5			60	60	120	100,2	89,9	80,0	54,5	18432	327	58	12,1	34	2,8
6	60			60	120	115,9	105,6	79,1	54,0	21440	337	64	10,5	25	2,3
7	60		60		120	118,9	108,7	79,3	53,4	22262	373	60	10,7	25	2,4
8	60	60	60		180	120,8	105,4	80,1	54,7	22063	367	60	11,8	31	2,6
9				90	90	102,6	94,9	79,9	54,4	18893	320	60	11,6	31	2,6
10				90	90	98,2	90,5	79,4	54,3	18110	357	51	11,2	28	2,5
11	90				90	124,5	116,9	77,8	51,6	24146	420	58	9,6	19	2,0
12			90	90	180	111,0	95,6	80,7	55,4	20070	363	56	12,8	38	3,0
13	90			90	180	124,1	108,8	80,3	53,5	23218	390	60	11,6	30	2,6
14	90		90		180	122,3	106,9	79,6	53,8	22731	337	68	11,3	29	2,5
15	90	90	90		270	131,6	108,5	80,6	54,7	24048	350	69	12,1	32	2,7
16				120	120	98,4	88,2	80,1	55,0	17950	353	51	12,3	34	2,8
17				120	120	104,9	94,6	80,1	54,4	19295	353	55	11,8	31	2,6
18	120				120	124,3	114,0	78,0	52,1	23853	417	57	10,1	22	2,1
19			120	120	240	114,1	93,6	80,8	54,4	20957	307	69	13,0	40	3,1
20	120			120	240	135,9	115,3	80,2	54,4	25007	400	63	11,8	31	2,6
21	120		120		240	139,0	118,5	80,2	52,8	26423	443	60	11,6	30	2,6
22	120	120	120		360	135,5	104,8	80,5	55,0	24671	367	67	12,1	33	2,7
23	60		60	65	185	124,7	108,9	80,4	55,4	22501	380	60	11,8	32	2,7
24	60		50	55	165	122,9	108,8	80,2	54,5	22563	393	58	11,7	31	2,7
25		95		75	170	128,7	114,2	80,3	54,7	23532	373	63	11,6	31	2,6
26		85		65	150	129,0	116,2	80,0	54,2	23797	387	62	11,4	30	2,7
27	30		30	30	90	112,6	104,9	79,0	53,9	20894	337	63	10,6	24	2,3
28	60		30	60	150	128,4	115,6	80,0	54,3	23639	373	65	11,2	29	2,6
29	90		30	60	180	131,8	116,4	80,3	54,1	24347	413	59	11,5	30	2,6
30	80		40	65	185	130,8	115,0	80,3	54,5	24026	407	60	11,5	30	2,6

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 le rendement 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.

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

Tableau 4 – Résultats de l'essai « fumure » réalisé à Lonzeé sur les cinq variétés panifiables (Arminius, Cubitus, Christoph, KWS Emerick et Moschus). Ce tableau reprend les rendements phytotechniques et économiques (q/ha), le poids de 1000 grains PMG (g), le poids à l'hectolitre PHL (kg/hl), le nombre de grains/m² (grains/m²), le nombre d'épis/m² (épis/m²), le nombre de grains/épi (grains/épi), la teneur en protéines (%), l'indice de Zélény (ml), la valeur du rapport du Zélény sur le taux de protéines Z/P, la force boulangère (J), la valeur du rapport de la force boulangère sur le taux de protéines W/P.

N° Objet	Variété	T	TR	Red	DF	E	Total N/ha	[kg Rdt Phyto [qx/ha]	Rdt Eco [qx/ha]	P/HL [kg/hl]	PMG [g]	Nbre grains [grains / m ²]	Nbre épis [épis / m ²]	grains / épi	Prot. [%]	Zel [ml]	Z/P	W** [J]	W/P**
1	Arminius						0	65,1	65,1	83,4	57,2	11384	280	41	12,7	41	3,2	317	25
2	Arminius	40	40	45			125	86,8	76,1	85,4	62,1	13964	350	40	15,3	62	4,0	397	26
3	Arminius	60	60	65			185	95,8	80,0	85,9	61,3	15634	367	43	16,4	69	4,2	403	25
4	Arminius	60	60	65	40		225	93,1	73,8	85,9	61,2	15202	297	52	17,5	74	4,3	413	24
5	Arminius		90	95			185	93,4	77,6	85,8	61,5	15190	340	45	16,8	71	4,2	427	25
6	Arminius		90	95	40		225	96,5	77,2	86,0	61,7	15649	363	43	17,4	74	4,3	435	25
7	Christoph						0	70,6	70,6	83,0	52,5	13454	293	46	12,0	35	2,9	250	21
8	Christoph	40	40	45			125	91,8	81,1	85,4	54,8	16765	350	48	14,0	51	3,7	445	32
9	Christoph	60	60	65			185	100,8	85,0	85,9	55,6	18132	307	59	15,3	62	4,1	502	33
10	Christoph	60	60	65	40		225	101,9	82,6	86,0	54,9	18553	323	58	16,0	67	4,2	532	33
11	Christoph		90	95			185	102,7	86,9	86,2	55,2	18615	330	57	15,3	62	4,1	498	33
12	Christoph		90	95	40		225	101,6	82,4	86,2	56,4	18007	337	54	16,2	68	4,2	527	33
13	Cubitus						0	87,0	87,0	79,9	53,3	16324	313	52	11,0	29	2,7	164	15
14	Cubitus	40	40	45			125	111,0	100,3	82,4	57,6	19262	373	52	12,8	40	3,1	236	18
15	Cubitus	60	60	65			185	115,5	99,7	82,9	56,6	20416	380	54	13,8	47	3,4	261	19
16	Cubitus	60	60	65	40		225	114,8	95,6	83,0	58,3	19706	347	58	14,4	52	3,6	278	19
17	Cubitus		90	95			185	115,5	99,7	83,0	57,4	20135	367	55	13,8	47	3,4	260	19
18	Cubitus		90	95	40		225	117,1	97,8	82,9	57,3	20457	380	54	14,3	52	3,6	277	19
19	KWS Emerick						0	79,5	79,5	79,8	56,7	14023	283	50	11,0	28	2,6	184	17
20	KWS Emerick	40	40	45			125	102,9	92,2	82,3	62,8	16376	287	58	12,9	43	3,3	261	20
21	KWS Emerick	60	60	65			185	111,8	95,9	82,9	60,7	18414	313	59	14,2	54	3,8	241	17
22	KWS Emerick	60	60	65	40		225	112,0	92,7	83,1	62,6	17896	303	60	15,1	60	4,0	264	18
23	KWS Emerick		90	95			185	107,7	91,9	82,7	62,0	17380	307	57	14,6	57	3,9	273	19
24	KWS Emerick		90	95	40		225	108,7	89,5	83,1	61,4	17703	320	55	15,3	61	4,0	276	18
25	Moschus						0	70,1	70,1	80,1	53,4	13143	297	44	11,8	34	2,9	243	21
26	Moschus	40	40	45			125	94,7	84,0	82,3	57,3	16522	340	50	14,0	51	3,7	344	25
27	Moschus	60	60	65			185	102,8	87,0	82,6	58,2	17676	347	51	15,3	60	3,9	347	23
28	Moschus	60	60	65	40		225	102,6	83,4	82,6	57,9	17731	350	51	16,1	65	4,0	348	20
29	Moschus		90	95			185	102,1	86,3	82,5	57,5	17792	370	48	15,2	60	3,9	331	22
30	Moschus		90	95	40		225	104,3	85,0	82,8	57,6	18098	363	50	16,0	64	4,0	326	20

T : tallage; TR : Tallage-Redressement; R : Redressement; DF : Dernière feuille; E : Epilaison

a. Essai « fumure » sur la variété fourragère Chevignon

Rendements phytotechnique et économique

Les niveaux de production atteints cette année sont en nette augmentation par rapport à la saison précédente et sont similaires à ceux atteints en 2020. Cette tendance se vérifie pour les deux essais fumure menés sur le site de Loncée. L’essai fumure emblavé avec la variété Chevignon présente un rendement phytotechnique moyen de 117,7 q/ha.

Le rendement phytotechnique maximal mesuré sur cet essai s’élève à 139 q/ha (Tableau 3). Il est obtenu avec une fumure totale de 240 kg N/ha (objet 21). La plupart des fumures comprises entre 120 et 360 kg N/ha affichent des niveaux de production statistiquement équivalents au rendement phytotechnique maximal. A noter que toutes les fumures (en 2 ou 3 fractions) recommandées par le Livre Blanc permettent d’atteindre un rendement équivalent au maximum phytotechnique (objet 23 à 26).

Le rendement économique optimal s’élève à 118.5 q/ha et est également atteint avec une fumure totale de 240 kg N/ha (objet 21). Des rendements économiques statistiquement équivalents sont aussi obtenus avec des fumures totales plus élevées et plus faibles. D’un point de vue économique, les fumures en 2 et 3 fractions recommandées par le Livre Blanc sont proches de l’optimum et restent donc pertinentes dans le contexte actuel. Cette année, les niveaux de production élevés atteints avec des fumures supérieures à 240 kg N/ha ont permis de compenser les frais liés à l’utilisation d’engrais minéraux. Cependant, si l’analyse statistique de ces résultats ne met en avant aucune différence significative entre l’optimum et le rendement économique obtenu avec ces fumures excessives, il est important de souligner que cette surfertilisation ne génère aucun gain supplémentaire. Cette affirmation se vérifie en examinant la courbe de réponse reprise à la figure 1.

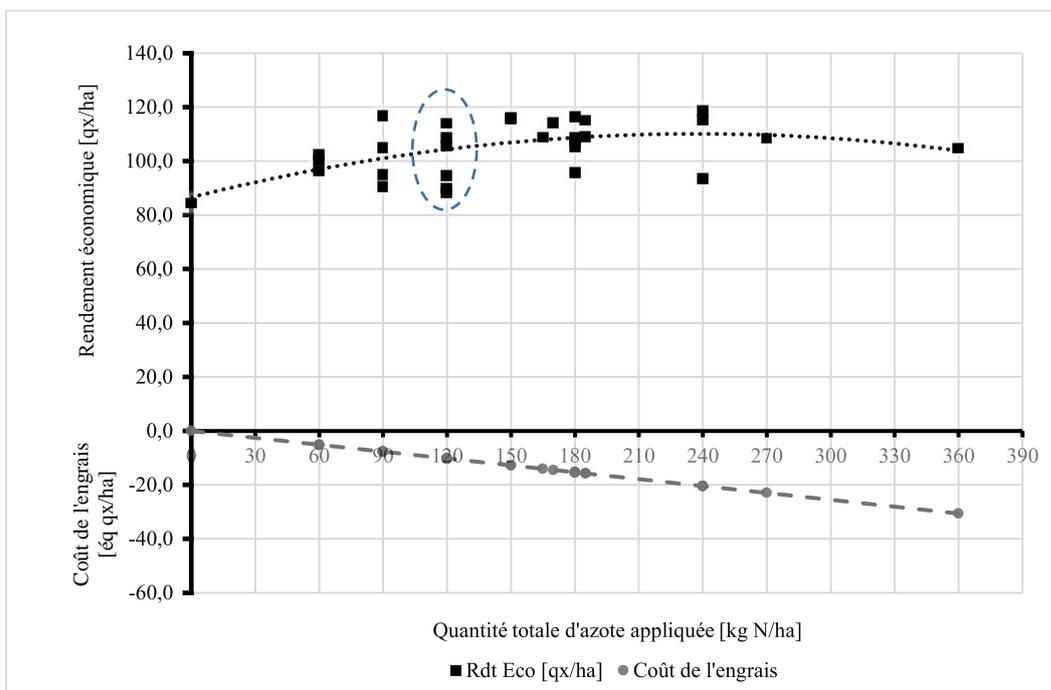


Figure 1 – Évolution du rendement économique [q/ha] et du coût de l'engrais [équivalent q/ha] en fonction de la dose de fertilisant appliquée dans le cadre de l’essai fumure sur la variété Chevignon mené à Loncée.

La partie supérieure de ce graphique (Figure 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) illustre l'évolution du rendement économique en fonction de la dose d'azote totale. Le coût en équivalent rendement de la fertilisation appliquée est repris dans la partie inférieure de la figure. Pour la saison 2021-2022, l'optimum économique se situe dans une large fenêtre entre 150 et 240 kg N/ha. Dans le contexte actuel, le coût de ces fumures n'excède pas les 20 q/ha. 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 8 essais « fumure » conduits sur des variétés fourragères et panifiables entre 2017 à 2022. Les fumures raisonnées en trois ou deux fractions de 180 kg N/ha affichent la fréquence de retour la plus élevée. En d'autres mots, ces fumures ont permis d'atteindre le rendement économique optimal sept fois sur huit.

Tableau 5 – Représentation de la réponse optimale du rendements économiques sur huit essais sur la fertilisation azotée du froment d'hiver menés à Lonzée entre les années 2017 et 2022.

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

Poids de mille grains et Poids à l'hectolitre

Cette année, le froment a pu bénéficier de bonnes conditions d'ensoleillement durant la phase de remplissage du grain même si par moment les températures élevées observées en fin de printemps ont pu faire craindre un risque d'échaudage. De plus, aucun problème de verse n'est à déplorer cette année sur l'essai. Grâce à ce contexte favorable, le poids de milles grains est élevé cette année, avec une valeur moyenne de 54 g. Pour ce paramètre, l'analyse des résultats

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

ne met pas en avant de grandes différences entre les modalités. Le PMG le plus élevé est atteint avec la fumure de référence en trois fractions (60-60-65) recommandées par le Livre Blanc Céréales de février 2022.

A l'instar du PMG, le poids à l'hectolitre (P/HL) est également en nette augmentation cette année. Sur cet essai, le P/HL moyen est égal à 79,6 kg/hl. Dans cet essai, les objets ayant reçu une quantité totale d'azote comprise entre 120 et 360 kg N/ha avec une dernière fraction positionnée au stade dernière feuille présentent des P/HL statistiquement équivalent à l'objet 19 (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 11,3 %. L'objet 22 présente la teneur en protéines la plus haute (13 %). Ce taux de protéines élevé est dû à la quantité importante d'azote appliquée sur cet objet (240 kg N/ha) mais aussi au positionnement des apports (120 kg N/ha au redressement et à la dernière feuille). La plupart des autres modalités ont des teneurs en protéines statistiquement inférieures. Cet objet présente également l'indice de Zélény et le rapport Zélény sur Protéines (Z/P) le plus élevés.

Nombres de grains/m², nombres d'épis/m² et nombres de grains/épi

Un nombre de grains par mètre carré et un nombre d'épis par mètre carré élevés sont généralement liés à des fertilisations azotées importantes. Pour ces deux paramètres, l'objet 21(120-120-0) présente les valeurs les plus élevées de cet essai avec 26423 grains/m² et 443 épis/m². La quasi-totalité des objets présentant un nombre de grains/m² statistiquement équivalent à la valeur maximale ont reçu une fertilisation totale supérieure à 150 kg N/ha.

Pour le nombre d'épis/m², l'analyse des résultats ne met en avant que très peu de différences parmi les 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. On notera également que le nombre d'épis/m² est particulièrement faible cette année, conséquence probable du déficit hydrique observé durant le printemps. En effet si ce paramètre est influencé par la disponibilité en azote, il est également impacté par les conditions climatiques observées durant la montaison.

Enfin l'objet 15 présente le nombre de grains/épis le plus élevé cette année, avec 69 grains/épis. La plupart des objets testés sur cet essai présentent un nombre de grains/épis statistiquement équivalent à cette valeur maximale.

Dans cet essai, **les deux fumures de référence** qui avaient été conseillées lors du Livre Blanc de février 2022⁸ et adaptées selon les recommandations aux conditions de l'essai et de la culture **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 pertes culturales et environnementales.

⁸ Pour rappel, le Livre Blanc 2022 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

Pour l'essai sur les variétés panifiables, le rendement phytotechnique maximal s'élève 117.1 q/ha. Il a été obtenu en appliquant une fumure totale de 225 kg N/ha (90-95-40) 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. Cette affirmation se vérifie également pour la variété KWS Emerick, pour laquelle l'application d'une dose d'azote totale comprise entre 185 et 225 kg N/ha permet de se rapprocher du maximum phytotechnique. Les résultats de cet essai démontrent que pour une fumure donnée, toutes les variétés n'ont pas le même potentiel de rendement. Les variétés Cubitus et KWS Emerick affichent des niveaux de production largement supérieurs à ceux atteints par les variétés Moschus et Christoph. Enfin la variété Arminius complète ce classement avec un rendement moyen qui ne dépasse pas les 100 q/ha.

Le rendement économique optimal (100.3 q/ha) est atteint avec une fumure de 125 kg N/ha appliquée en trois fractions (40-40-45) sur la variété Cubitus. Des rendements économiques statistiquement équivalents sont également obtenus pour des fumures comprises entre 125 et 225 kg N/ha, lorsqu'elles sont appliquées sur des variétés comme Cubitus ou KWS Emerick. Pour ces deux variétés, la fumure de référence en 3 fractions recommandée en 2022 par le Livre Blanc reste pertinente sur le plan économique. Enfin les rendements économiques affichés par les variétés Moschus, Christoph et Arminius sont largement en retrait par rapport à l'optimum. Les performances économiques de ces trois variétés peuvent notamment s'expliquer par leur plus faible niveau de production qui ne permet pas toujours de compenser correctement le coût des engrais. Par contre, leur qualité panifiable est supérieure à celle de Cubitus et KWS Emerick.

Poids de mille grains et Poids à l'hectolitre

Pour l'essai avec les variétés panifiables, le poids de mille grain moyen (PMG) est de 58 g. L'objet 20 présente le poids de mille grains le plus élevée sur cet essai (62.8 g). A côté de la fumure, la valeur de ce paramètre est surtout influencée par la variété. Les résultats illustrent une forte variabilité entre les différentes variétés testées sur l'essai. Ainsi des variétés comme KWS Emerick et Arminius présentent des PMG très élevées, significativement supérieurs à ceux obtenus avec des variétés comme Moschus, Cubitus et Christoph.

Sur cet essai, les poids à l'hectolitre (P/HL) sont globalement élevés. Ce paramètre affiche une valeur moyenne de 83.5 kg/hl, bien au-delà des normes de réceptions classiques. A nouveau, ces résultats suggèrent que les disparités entre les différents objets sont davantage dues à la variété plutôt qu'à la fumure. Les variétés Arminius et Christoph se démarquent avec des P/HL significativement supérieurs à ceux observés pour les autres variétés.

Teneur en protéines, Indice Zélény et rapport Zélény sur Protéines (Z/P)

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 Cheignon. En effet, la teneur en protéines moyenne est équivalente à 14.5 %. 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 la dernière fraction positionnée lors de 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).

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 différentes variétés. Arminius présente une teneur en protéines moyenne (16 %) statistiquement supérieure aux quatre autres variétés. La suite du classement est composée de Christoph et Moschus qui font partie du second groupe statistique. Enfin KWS Emerick et Cubitus ferme la marche avec des teneurs en protéines proches de 14 %.

Si l'objet 4 (Arminius fertilisé avec 225 kg N/ha en 4 fractions) présente la teneur en protéines la plus élevée, il affiche également l'indice de Zélény et le Z/P les plus élevés. Cette variété présente également deux autres modalités pour lesquelles ces trois paramètres sont statistiquement équivalents. Sur le plan variétal, Arminius présente un indice de Zélény moyen statistiquement supérieur à celui des autres variétés.

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. On peut constater que le schéma de fertilisation en trois fractions avec un dernier apport de 40 kg N/ha à l'épiaison permet d'augmenter la force boulangère de chaque variété hormis pour Moschus. La modalité en quatre fractions également avec une dernière fraction à l'épiaison est également intéressante pour des variétés comme Christoph ou encore Cubitus.

Si pour une valorisation en alimentation humaine, il est important d'avoir une teneur en protéines élevée, ces protéines doivent également être de bonnes qualités panifiables. 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 Christoph qui affiche un W/P largement supérieur à celui des autres variétés.

De manière générale, les objets de cet essai (sauf sans fumure azotée) présentent tous une qualité panifiable très élevée. Les variétés Arminius et Christoph dépassent même le seuil de 350 en W de l'alvéographe nécessaire pour être reconnu comme un blé de force. Les grains de ces variétés atteignant ce seuil étaient de ce fait en partie vitreux. Cela permet également de les valoriser en pâtes tout en ayant un rendement phytotechnique au moins équivalent à celui du blé dur sans prendre les risques liés à la culture du blé dur en Wallonie.

Nombres de grains/m², nombres d'épis/m² et nombres de grains/épi

Pour cet essai, l'application de 225 kg N/ha sur la variété Cubitus permet d'obtenir la valeur la plus élevée pour le nombre de grains/m² (20457). Seules les différentes modalités reprenant cette variété permettent d'obtenir des valeurs statistiquement équivalentes à la valeur maximale.

L'application de la fumure de référence en trois fractions (60-60-65) sur la variété Cubitus permet d'obtenir le plus grand nombre d'épis/m² (380). Il semble y avoir peu de différences entre les variétés hormis pour KWS Emerick qui possèdent moins d'épis/m² que les 4 autres variétés. Pour chaque variété, les objets ne recevant pas ou très peu de fumure (125 kg/N) affichent les valeurs les plus faibles pour cette composante du rendement.

Comme pour l'essai précédent, il existe peu de différences significatives entre les objets au niveau du nombre de grains/épis. Pour ce paramètre comme pour d'autres, la différence se marque plutôt sur le plan variétal. La variété Arminius présente un nombre de grains/épis largement inférieur à celui observé pour les autres variétés.

Efficacité d'un quatrième apport sur la teneur en protéines pour l'essai « panifiable »

Les objets présentés dans le tableau 6 permettent d'évaluer la plus-value d'un apport d'azote supplémentaire positionné à l'épiaison par rapport à la fumure de référence en trois fractions mais aussi par rapport à un schéma en deux fractions souvent recommandés dans les éditions précédentes du Livre Blanc. Il s'agit de quatre modalités appliquées sur l'ensemble des variétés reprises dans l'essai.

Sur le plan qualitatif, l'apport d'une dose supplémentaire d'azote à l'épiaison contribue à augmenter la teneur en protéines par rapport à une fumure classique raisonnée en 2 ou 3 fractions. Cette tendance s'observe pour toutes les variétés. En effet, pour un même cultivar, l'analyse statistique de ces résultats révèle systématiquement des différences significatives entre les schémas de fertilisation classique et leurs variantes incluant une dernière fraction à l'épiaison. A l'inverse cette tendance n'est pas visible au niveau de la production, démontrant encore une fois le peu d'influence de ce dernier apport sur le rendement phytotechnique.

Tableau 6 – Statistique des rendements phytotechniques et des teneurs en protéines mesurés dans l'essai fumure azotée sur les variétés panifiables pour les objets 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29 et 30 de Lonzée.

N°Objet	Variété	T	TR	Red	DF	Ep	Total [KgN/ha]	Rdt Phyto [qx/ha]	Prot. [%]
3	Arminius	60		60	65		185	95,8 defg	16,4 bc
4	Arminius	60		60	65	40	225	93,1 efg	17,5 a
5	Arminius		90		95		185	93,4 efg	16,8 b
6	Arminius		90		95	40	225	96,5 def	17,4 a
9	Christoph	60		60	65		185	100,8 cdef	15,3 d
10	Christoph	60		60	65	40	225	101,9 bcde	16,0 c
11	Christoph		90		95		185	102,7 bcde	15,3 d
12	Christoph		90		95	40	225	101,6 bcde	16,2 c
15	Cubitus	60		60	65		185	115,5 a	13,8 f
16	Cubitus	60		60	65	40	225	114,8 a	14,4 e
17	Cubitus		90		95		185	115,5 a	13,8 f
18	Cubitus		90		95	40	225	117,1 a	14,3 e
21	KWS Emerick	60		60	65		185	111,8 ab	14,2 e
22	KWS Emerick	60		60	65	40	225	112,0 ab	15,1 d
23	KWS Emerick		90		95		185	107,7 abc	14,6 de
24	KWS Emerick		90		95	40	225	108,7 abc	15,3 d
27	Moschus	60		60	65		185	102,8 bcde	15,3 d
28	Moschus	60		60	65	40	225	102,6 bcde	16,1 c
29	Moschus		90		95		185	102,1 bcde	15,2 d
30	Moschus		90		95	40	225	104,3 bcd	16,0 c

* Chaque valeur en gras représente la valeur la plus élevée observée pour les différents paramètres repris dans ce tableau. Les valeurs ne partageant pas de lettre commune sont significativement différentes (test de Student-Newman-Keuls à 0,05 via R). T : tallage; TR : Tallage-Redressement; Red : Redressement; DF : Dernière feuille; Ep:Epiaison.

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 2022 permettent d'atteindre **l'optimum phytotechnique et économique** (avec les variétés Cubitus et KWS Emerick ainsi que des variétés moyennement panifiables Q2 comme Chevignon). Par contre, la fumure 90TR+95DF permet d'atteindre l'optimum pour la combinaison rendement phytotechnique et force boulangère pour toutes les variétés panifiables de cet essai, c'est-à-dire des variétés panifiables supérieures Q1. Enfin **si l'on poursuit un objectif qualité**, l'application d'un dernier apport au moment de l'épiaison (surtout après deux fractions), permet d'augmenter significativement la teneur en protéines du grain mais semble également améliorer la force boulangère. Néanmoins la nécessité de cet apport tardif devra se justifier en fonction du contexte économique et du débouché.

2.2.2 Relation entre force boulangère et rendement à l'hectare

- **Une variété moyennement panifiable (Chevignon) sur 3 années de récolte (2020-2021-2022)**

La Figure 2 représente la relation de la force boulangère (« W » de l'alvéographe ; valeur moyenne de $184 \cdot 10^{-4}$ J) et la teneur en protéines (valeur moyenne de 11,2 %MS) avec le rendement à l'hectare d'une variété moyennement panifiable (Chevignon ; valeur moyenne de 11,4 t/ha) sur 3 années de récolte (2020-2021-2022) avec différentes fumures azotées menées à Gembloux.

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 $60 \cdot 10^{-4}$ J), la teneur en protéines (0,5 à 2 %MS) et le rendement à l'hectare (0,5 à 1,5 t/ha). Pour augmenter la teneur en protéines 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.

La relation de la force boulangère et la teneur en protéines avec le rendement à l'hectare suivent les mêmes tendances pour une même variété et conditions d'essai. Dans ces conditions, il y a une forte relation entre la teneur en protéines et la force boulangère.

La fumure azotée 185 uN en 3 fractions (60T+0TR+60Red+65DF+0E) donne un résultat proche de l'optimum en termes de combinaison rendement, teneur en protéines et force boulangère.

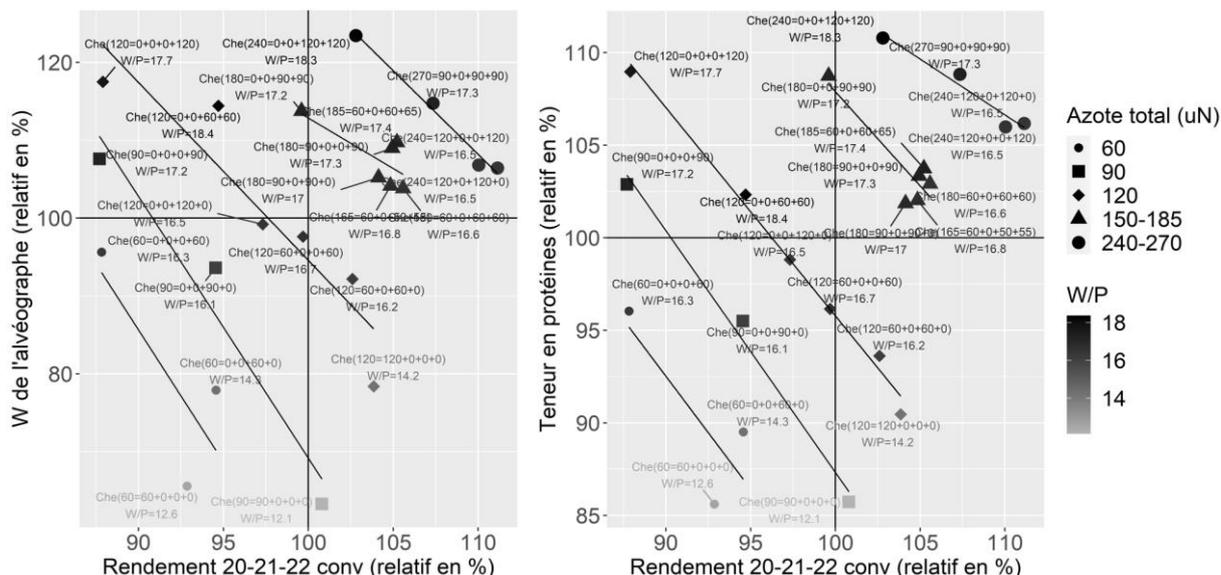


Figure 2 – Relation de la force boulangère (« W » de l'alvéographe) (côté gauche) et la teneur en protéines (côté droite) avec le rendement à l'hectare d'une variété moyennement panifiable (Chevignon) sur 3 années de récolte (2020-21-22) avec différentes fumures azotées menées à Gembloux. W/P (« W » 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)**

La Figure 3 représente la relation entre la force boulangère (« W » de l'alvéographe) et le rendement à l'hectare d'une variété moyennement panifiable (Chevignon) avec différentes fumures azotées menées à Gembloux d'une année facile de la mobilisation azotée (2021) par rapport à une année difficile à ce niveau (2022). Pour les données de 2021, la valeur moyenne du « W » de l'alvéographe et du rendement à l'hectare sont respectivement de $178 \cdot 10^{-4}$ J et 10,2 t/ha. Pour les données de 2022, la valeur moyenne du « W » de l'alvéographe et du rendement à l'hectare sont respectivement de $171 \cdot 10^{-4}$ J et 11,8 t/ha.

Les mêmes observations qu'au point précédent sont réalisées avec la variété moyennement panifiable Chevignon 2022 lors d'une année où la mobilisation de l'azote a été difficile. Par contre, avec les données de 2021 avec la même variété, les droites de relation rendement avec la force boulangère ne sont pas parallèles entre elles au-delà d'une fumure azotée totale supérieure à 90 uN. Cela signifie que, au-delà cette fumure de 90 uN, la diminution de rendement liée au fractionnement de l'azote se traduit par des moindres gains en force boulangère dans des conditions de mobilisation facile de l'azote comme en 2021. Pour les fumures azotées totales 240 à 270 uN dans cette condition en 2021, le fractionnement de l'azote ne permet plus de gagner en force boulangère. Cela peut s'expliquer par le fait que les gains en force boulangère sont affectés par les effets délétères liés à la verse (responsable de problèmes de remplissage du grain et de prégermination).

La fumure azotée 185 uN en 3 fractions (60T+0TR+60Red+65DF+0E) donne un résultat proche de l'optimum en termes de combinaison rendement et force boulangère tant lors

d'une année de mobilisation de l'azote normale que d'une difficile à ce niveau.

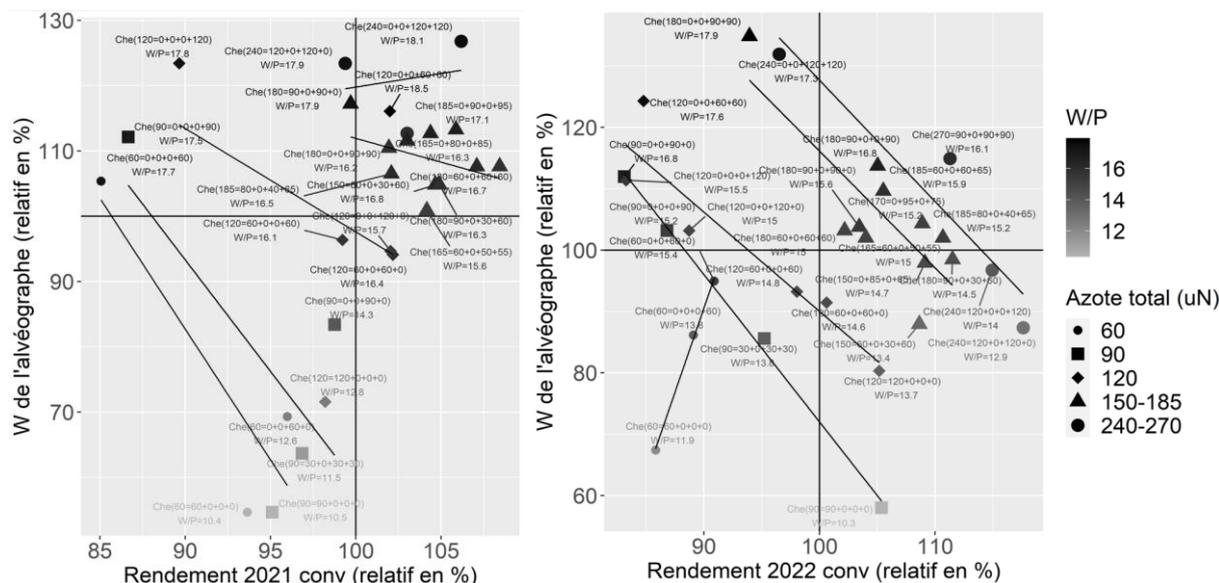


Figure 3 – Relation entre la force boulangère (« W » de l'alvéographe) et le rendement à l'hectare d'une variété moyennement panifiable (Chevignon) avec différentes fumures azotées menées à Gembloux d'une année facile de la mobilisation azotée (2021 ; côté gauche) par rapport à une année difficile à ce niveau (2022 ; côté droite). 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 variété moyennement panifiable (Chevignon) par rapport à une variété supérieure en panification (Mentor)

La Figure 4 représente la relation entre la force boulangère (« W » de l'alvéographe) et le rendement à l'hectare avec différentes fumures azotées menées à Gembloux d'une variété moyennement panifiable (Chevignon) par rapport à une variété supérieure en panification (Mentor). Pour les données de Chevignon (côté gauche de la figure), la valeur moyenne du « W » de l'alvéographe et du rendement à l'hectare sont respectivement de $204 \cdot 10^{-4} J$ et 12,4 t/ha. Pour les données de Mentor (côté droite de la figure), la valeur moyenne du « W » de l'alvéographe et du rendement à l'hectare sont respectivement de $216 \cdot 10^{-4} J$ et 11,5 t/ha.

Les observations équivalentes qu'au point précédent sont réalisées avec la variété moyennement panifiable Chevignon 2020. Par contre, avec les données de la variété panifiable supérieure Mentor 2020, les droites de relation rendement avec la force boulangère sont parallèles entre elles. Cela signifie que, pour une variété panifiable supérieure, la diminution de rendement liée au fractionnement de l'azote se traduit par des plus grands gains en force boulangère que pour une variété moyennement panifiable. Les fumures azotées totales 240 à 270 uN ne permettent pas de gagner en force boulangère par rapport à plusieurs fumures azotées totales de 150 à 185 uN. Cette dernière catégorie de fumure est plus optimale.

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.

La fumure azotée 185 uN en 3 fractions (60T+0TR+60Red+65DF+0E) donne un résultat proche de l'optimum en termes de combinaison rendement et force boulangère pour une variété moyennement panifiable. Par contre, pour la variété panifiable supérieure, une

fumure azotée de 185 uN en 3 fractions avec une fraction à l'épiaison de 40 uN est plus proche de l'optimum rendement et force boulangère.

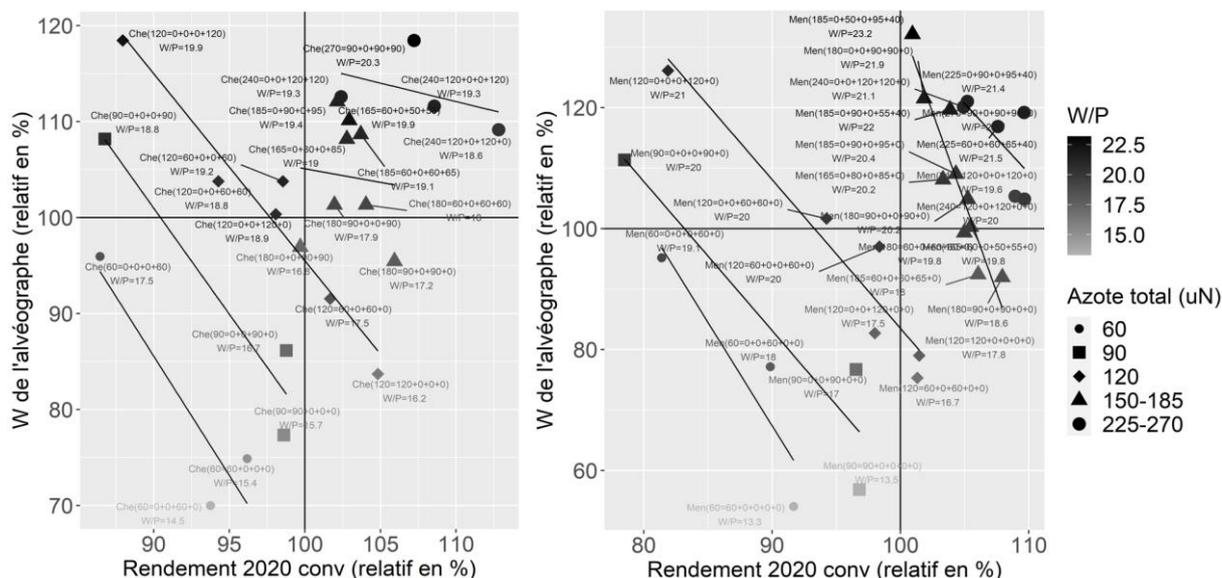


Figure 4 – Relation entre la force boulangère (« W » de l'alvéographe) et le rendement à l'hectare avec différentes fumures azotées menées à Gembloux d'une variété moyennement panifiable (Cheignon ; côté gauche) par rapport à une variété supérieure en panification (Mentor ; côté droit). W/P (« W » de 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 ;

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

- ❖ 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 2022-2023

Après un mois d'août particulièrement chaud, les températures ont commencé à légèrement baisser tout en restant au-dessus des normales saisonnières. Malgré l'arrivée de l'automne, cette douceur s'est maintenue durant tout le mois d'octobre (anormalement chaud cette année) et en novembre. Il a fallu attendre la deuxième décennie de décembre pour que le froid fasse son grand retour et mette fin à cette douceur persistante. Plusieurs jours de gel successifs ont alors permis de ramener la température moyenne mesurée en décembre proche de la normale (Tableau 7).

Peu présente durant le mois d'août, la pluie fait son grand retour début septembre. En effet, les précipitations deviennent à nouveau plus fréquentes en cette fin d'été comme en témoigne le cumul pluviométrique mesuré en septembre, qui est largement supérieur aux valeurs normales (Tableau 7). Mais cette instabilité cède rapidement sa place à un temps plus calme en octobre, mois durant lequel les précipitations se font à nouveau plus rares. À partir de la mi-novembre, nos régions sont régulièrement traversées par des précipitations. Si on observe une petite accalmie début décembre, elle est de courte durée puisque les pluies sont à nouveau abondantes durant la dernière décennie de l'année.

Tableau 7 – Température moyenne de l'air sous abri et cumul pluviométrique mensuel enregistrés de août à décembre 2022 (Station IRM d'Ernage - Gembloux).

	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne de l'air (C°)					
Observées	20,2	14,7	14,0	8,6	3,8
Normales	17,1	14,1	10,6	6,2	3,3
Précipitations (mm)					
Observées	35,7	123,3	34,2	56,3	83,9
Normales	82,0	62,4	69,2	67,9	75,8

La situation moyenne du profil en azote minéral du sol au 3 février 2023

Pas moins de 130 parcelles de froment d'hiver ont été échantillonnées, entre le 19 janvier et le 3 février 2023, par le CARAH, le CRA-W (Unité Fertilité des sols et Protection des eaux), le CePiCOP et par Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège (GRENeRA et l'Unité de Phytotechnie). 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 permettent 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 de Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège et de l'unité de Phytotechnie de Gx-ABT, ULiège.

Froment d'hiver												
Année		2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
Profondeur (cm)	Nombre de	130	142	89	101	179	138	148	163	137	156	118
	0-30	11	12	15	14	12	9	22	9	9	11	10
	30-60	15	18	23	20	30	11	34	12	13	14	13
	60-90	23	21	31	25	43	18	24	17	16	18	17
Total		50	50	68	59	85	39	79	39	38	43	40

Le tableau **Erreur ! Source du renvoi introuvable.8** révèle que le profil moyen en sortie d'hiver est cette année semblable à celui mesuré en 2022. D'après les données récoltées jusqu'au 3 février 2023, le niveau d'azote présent dans le sol sur une profondeur de 90 cm est en moyenne de 50 kg N_{min}/ha. Il est également inférieur à la teneur moyenne en azote minéral de ces dix dernières années (54 kg N_{min}/ha).

Il est intéressant de s'attarder sur la distribution de cet azote dans le sol. La couche supérieure du profil (de 0 à 30 cm) est la plus pauvre. Elle ne contient que 11 kg N_{min}/ha soit un peu plus de 22 % de l'azote présent dans le profil azoté. La zone intermédiaire située entre 30 et 60 cm, comprend 15 kg N_{min}/ha. Enfin, le dernier horizon, compris entre 60 et 90 cm de profondeur, est la partie la plus riche (23 kg N_{min}/ha). La pluviométrie importante de ces derniers mois a favorisé la migration de l'azote vers le fond du profil et a ainsi contribué à enrichir cet horizon.

De fortes disparités existent également entre les différents précédents culturels (tableau 9). Les profils les plus riches sont observés lorsque le froment suit une légumineuse ou une pomme de terre. Ces parcelles présentent respectivement un reliquat moyen de 66 kg N_{min}/ha et de 62 kg N_{min}/ha. Dans une moindre mesure, d'autres précédents comme le colza, le maïs offrent également un reliquat conséquent avec une teneur moyenne légèrement inférieure à 50 kg N_{min}/ha. Cette affirmation se vérifie également pour la betterave et la chicorée qui laissent cette année des profils un peu plus fournis qu'en 2022. Enfin pour un précédent comme le lin, la quantité d'azote minéral présente dans le sol n'excède pas les 35 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 pédo-climatiques variés rencontrés en Wallonie mais également les différences de pratiques en matière de fertilisation.

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

Tableau 9 – Profils azotés moyens (en kg N_{min}/ha) observés sur 90 cm pour des parcelles de froment d'hiver situées en Wallonie en fonction du précédent cultural.

	Précédent	Betterave	P.d.Terre	Colza	Légumineuse	Maïs	Lin	Froment*	Chicorée	moyenne
	Nb situation	31	30	12	5	33	9	3	7	130
Profondeur	0-30 cm	11	10	12	13	9	9	9	9	12
	30-60 cm	14	19	13	19	12	11	12	14	18
	60-90 cm	18	34	20	33	22	15	12	19	21
Total	0-90 cm	43	62	45	66	43	35	32	42	50
	Max	77	143	83	109	91	54	45	60	
	Min	26	11	26	28	19	17	24	19	

* situation avec moins de 5 profils azoté

Etat des cultures en sortie hiver

Dans les semis de la plateforme expérimentale de Lonzée, à la date du 07 février 2023, les stades de développement du froment observés dans les essais « dates de semis » sont :

- ❖ semis de mi-octobre : plein tallage ;
- ❖ semis de mi-novembre : début tallage ;

Dans la majorité des emblavements, les cultures sont en bon état.

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

La fumure de référence pour 2023 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.

Cette année, l'azote est majoritairement présent dans le deuxième et le troisième horizon et peu dans l'horizon superficiel, à cause de la lixiviation. 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 fumure en deux fractions sera réservée aux situations les plus favorables. Une fumure totale de 170 kg N/ha est donc conseillée pour l'année culturale 2022-2023. 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 deux fumures de référence proposées en 2023 sont :

En trois fractions :

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

En deux fractions :

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.

• 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 :

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

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

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 2023 dans 130 situations.

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)				

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						

2.3 La fertilisation azotée en escourgeon

2.3.1 Résultats des expérimentations en 2022

Les résultats d'essais sur la fumure azotée proviennent des plateformes de Lonzée (CePiCOP-Gx-ABT) et de Ath (CARAH). La première analyse est réalisée sur l'essai mené à Ath. Ensuite, les deux essais, l'un sur une variété lignée et l'autre sur une variété hybride réalisés à Lonzée sont détaillés. Le Tableau 11 reprend les itinéraires techniques des essais.

Tableau 11 – Itinéraires techniques des essais implantés à Ath et Lonzée en 2022.

Intervention	Ath		Lonzée			
	Caractéristique	Modalité / Date	Caractéristique	Modalité / Date	Caractéristique	Modalité / Date
Choix variétal	KWS Orbit	-	KWS Faro	-	Wootan	-
Type de variété	Lignée		Lignée		Hybride	
Date de semis	265 grains/m ²	10-oct	225 grains/m ²	11-oct	175 grains/m ²	11-oct
Précédent	Froment	-	Pomme de terre	-	Pomme de terre	-
Profil azoté (kgN/ha)	profondeur 0-30 cm	8,4	profondeur 0-30 cm	4,9	profondeur 0-30 cm	4,9
	profondeur 30-60 cm	14,4	profondeur 30-60 cm	7,2	profondeur 30-60 cm	7,2
	profondeur 60-90 cm	25,9	profondeur 60-90 cm	8,9	profondeur 60-90 cm	8,9
	Total N minéral	48,7	Total N minéral	21,0	Total N minéral	21,0
Apport de fumure	Tallage (T)	10-mars	Tallage (T)	24-févr	Tallage (T)	24-févr
	Redressement (R)	29-mars	Redressement (R)	28-mars	Redressement (R)	28-mars
	Dernière feuille (DF)	02-mai	Dernière feuille (DF)	02-mai	Dernière feuille (DF)	02-mai
Désherbage	Herold 0,6l/ha + AZ500 150cc/ha	18-oct	Herold 0,6l/ha	11-nov	Herold 0,6l/ha	11-nov
	Allié 25g/ha + Starane Forte 0,3 l/ha	12-avr				
Raccourcisseur	Medax Top 1l/ha	12-avr	Ethephon 1,25l/ha	02-mai	Ethephon 1,25l/ha	02-mai
	0,75 l/ha Ethephon + 0,6 l/ha Terpal	28-avr				
Fongicide	Fandango 1l/ha	14-avr	Simveris 1l/ha+ Comet New 0,5l/ha	13-avr	Simveris 1l/ha+ Comet New 0,5l/ha	13-avr
	Ascra Xpro 1.2l/ha	27-avr	Ascra Xpro 1.2l/ha	04-mai	Ascra Xpro 1.2l/ha	04-mai
Insecticide	-	-	Patriot 0,2l/ha	11-nov	Patriot 0,2l/ha	11-nov
Récolte	-	03-juil	-	06-juil	-	06-juil

• Rendement phytotechnique et économique

Situation 2023 : Pour le calcul du rendement économique qui est présenté dans les tableaux suivants, le prix de vente retenu pour l'escourgeon est de **250 €/t** et le prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrate 27%) est de **600 €** avec une TVA appliquée de 6%. Les rendements économiques repris dans cette section seront donc exprimés selon le rapport 8,9 à savoir qu'1 kilogramme d'azote correspond à 8,9 kilogrammes d'escourgeon (1 kg N = **8,9 kg** d'escourgeon).

En 2022, avec la flambée du prix des intrants, nous avons fixé un prix de l'escourgeon qui avait été retenu à 200 €/t et un prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrate 27 %) à 640€ avec une TVA appliquée de 6% (1 kg N valait alors **11,9 kg** d'escourgeon).

Pour rappel, en 2021, le prix de l'escourgeon qui avait été retenu à l'époque était de 160 €/t et le prix moyen de la tonne d'azote (ammonitrate 27 %) était de 195 € (prix avril 2020) avec une TVA appliquée de 6% (1 kg N valait alors à l'époque **4,5 kg** d'escourgeon).

• **Analyse de l'essai fumure réalisé à Ath (CARAH)**

Le Tableau 12 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 2022, certains schémas de fertilisation ont permis d'obtenir des rendements supérieurs aux autres schémas. Au niveau du rendement phytotechnique, le témoin non fertilisé ainsi que les programmes 2 (40-30-40 kg N/ha) et 5 (70-0-70 kg N/ha) ne permettaient pas de maximiser le rendement. Comme pour le froment, il est particulièrement important de ne pas regarder uniquement 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 6, soit un schéma de 140 kg N/ha en trois apports : **40-50-50 kg N/ha et contenant du soufre (sulfonitrate 32%S) lors de la première fraction de tallage**. Toutefois, tous les programmes excepté le témoin non fertilisé donnent des résultats de rendements économiques statistiquement similaires. Le conseil donné par le CARAH d'un programme en trois fractions de 40-50-50 kg N/ha (modalité 4) est très proche de l'optimum avec 79q/ha en rendement économique.

On peut également faire le constat que la modalité 10 avec une fertilisation élevée de 200 kg N/ha (65-60-75 kg N/ha) atteint le meilleur rendement phytotechnique mais ne permet pas d'atteindre le meilleur rendement économique au vu du prix de l'ammonitrate 27%.

Tableau 12 – Résultats de l'essai « programmes de fumures azotées » réalisé en 2022 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) et la teneur en protéines (%).

KWS Orbit								
Objet	T 10-mars	R 29-mars	DF 02-mai	Total [Kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Teneur en protéines [%]
1	0	0	0	0	62	62	62,3	9,0
2	40	30	40	110	87	77	61,5	11,6
3	50	25	50	125	90	79	61,5	11,9
4	40	50	50	140	92	79	61,6	12,3
5	70		70	140	86	73	62,0	12,6
6	40**	50	50	140	93	80	61,2	12,1
7	50	55	50	155	92	79	61,4	12,1
8	80		75	155	93	79	60,6	12,6
9	55	55	60	170	94	79	58,9	12,9
10	65	60	75	200	96	78	60,8	13,0

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.

** Engrais contenant du soufre (sulfonitrate 32%S), le rendement économique a été calculé avec le prix supplémentaire que peut engendrer cette solution.

Au prix de vente de 250 € la tonne d'escourgeon et au prix d'achat de 600€ la tonne d'ammonitrate 27%, le **meilleur compromis** qui découle des résultats de cet essai est, selon nous, celui qui est atteint avec l'apport de **140 kg N/ha** (40-50-50) d'engrais contenant du soufre (sulfonitrate 32%S), qui donne un rendement phytotechnique de 93 q/ha et en rendement

économique de 80 q/ha.

Poids à l'hectolitre (P/HL)

Aucune différence significative entre les fumures n'a été observée ; si ce n'est l'objet 9 (170 kg N/ha) pour lequel le poids à l'hectolitre est statistiquement plus faible que les autres modalités.

Teneur en protéines

Comme attendu, les schémas de fertilisation avec des fumures très élevées (objets 8, 9 et 10) ont atteint des niveaux de teneur en protéines supérieurs aux schémas plus raisonnés. Le schéma 5 (70-0-70) a également permis d'atteindre un niveau de protéines similaire et la fraction plus importante de 70 kg N/ha au stade dernière feuille (DF) est certainement responsable de cette teneur 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 8. L'apport de soufre (sous forme de sulfonitrate 32%S) a permis d'obtenir un rendement phytotechnique similaire à un apport de 155 kg N/ha. Comme vu ci-dessus, le rendement économique de ce programme est d'ailleurs le plus élevé de tous les programmes testés.

- **Analyse des essais fumures réalisés à Lonzée (CePiCOP-Gx-ABT)**

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.

c. Essai fumure sur la variété lignée brassicole : KWS Faro

Rendement phytotechnique et économique

L'analyse statistique, présentée dans le tableau 13, indique qu'en 2022 les programmes non fertilisés (1) et qui comprennent un apport de moins de 105 kg N/ha (2, 3, 4, 5, 6, 8, 11) ou 140 kg N/ha (uniquement la modalité 14 : 0-70-70 kg N/ha) ont des rendements phytotechniques statistiquement inférieurs. Au niveau des rendements économiques, seuls les traitements en dessous d'un apport total de moins de 70 kg N/ha sont statistiquement inférieurs aux autres objets (programmes 1, 2, 3 et 5). Le rendement économique maximal est obtenu en 2022 avec le programme 16 en trois fractions (70-70-70) qui admet donc un apport élevé de 210 kg N/ha et atteint un rendement économique de 120 quintaux. Il est toutefois important de noter que des programmes avec 140-160 kg N/ha atteignent des rendements économiques statistiquement similaires avec 117-118 quintaux et permettent certainement une meilleure utilisation des intrants tout en respectant mieux l'environnement.

Tableau 13 – Résultats de l'essai « fumures » réalisé à Loncée (CePiCOP, Gx-ABT) en 2022 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), le nombre d'épis par m² ainsi que le nombre de grains par m² et le nombre de grains par épi.

KWS Faro												
Objet	T	R	DF	Total [Kg N/ha]	Rdt Phyto [q/ha]	Rdt Eco [q/ha]	P/HL [kg/hl]	Protéines	PMG	Nombre d'épis/m ²	Nombre de grains par m ²	Nombre de grains par épi
	24-févr	28-mars	02-mai									
1	0	0	0	0	77	77	67,0	9,5	48,0	568	16144	29
2	0	35	0	35	93	90	67,8	10,3	45,6	544	20539	39
3	35	35	0	70	107	101	64,3	10,6	46,8	508	22944	46
4	70	35	0	105	114	105	69,3	11,5	46,8	658	24421	40
5	0	35	35	70	107	101	69,4	12,0	47,9	556	22439	40
6	35	35	35	105	115	106	69,8	12,8	48,9	550	23533	44
7	70	35	35	140	126	114	70,2	12,7	48,6	652	25975	41
8	0	70	0	70	109	103	69,4	11,5	49,3	576	22138	40
9	35	70	0	105	124	114	69,6	11,7	48,6	716	25524	34
10	70	70	0	140	130	118	69,6	12,4	48,3	736	26962	38
11	0	70	35	105	120	111	69,7	12,7	48,3	626	24863	38
12	35	70	35	140	130	117	69,9	13,3	48,6	600	26658	44
13	70	70	35	175	127	111	70,1	13,3	47,7	586	26657	49
14	0	70	70	140	121	109	70,1	14,0	48,1	582	25143	42
15	35	70	70	175	127	111	69,7	13,6	49,2	590	25795	44
16	70	70	70	210	139	120	69,2	13,7	48,0	620	28928	47
17	0	105	70	175	129	113	70,2	13,7	50,0	640	25775	41
18	35	105	70	210	127	108	69,9	13,7	47,6	656	26680	43
19	0	105	105	210	129	110	70,2	14,2	48,5	618	26537	44
20	55	55	50	160	130	116	69,9	13	49,5	702	26368	38

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)

En 2022, le poids à l'hectolitre et le poids de mille grains ont été peu affectés par les schémas de fertilisation, ce qui rejoint les conclusions de l'essai réalisé à Ath.

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 140 kg N/ha ont permis de maximiser la teneur en protéines. Les essais (Loncée) sont réalisés dans une parcelle avec précédent pomme de terre et les teneurs en protéines sont assez élevées. Si vous souhaitez vous insérer dans une filière brassicole (norme stricte pour la teneur en protéines), veillez à ne pas opter pour des programmes de fumures avec des doses totales élevées qui entraineront le déclassement des lots.

Nombre de grains par mètre carré

Il y a deux composantes principales qui déterminent le rendement ; à savoir : le poids de mille grains (signe d'un bon remplissage du grain) et le nombre de grains par mètre carré qui lui est fonction du nombre d'épis et du nombre de grains par épi.

Etant donné que le poids de mille grains est faiblement impacté par la quantité d'azote totale

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

apportée, on peut conclure que l'élément le plus limitant dans une année normale est le nombre de grain par mètre carré.

Le nombre de grain est lié principalement à deux facteurs. Il faut tout d'abord un nombre de talles suffisant qui est lui en grande partie lié à la fraction de tallage. Le Tableau 13 montre que la plupart des objets qui ont reçu peu d'azote au tallage (35 kg N/ha ou moins) ont un nombre de grain par m² plus faible que les objets ayant reçu au moins 55 kg N/ha au tallage.

Ensuite, il faut de l'azote au redressement pour permettre aux talles présentes de monter en épis. En effet, favoriser un bon tallage n'est pas suffisant car en cas de manque d'azote lors de la phase de redressement, une partie des talles présentes ne pourra pas monter en épis et va dégénérer. Attention, exagérer la fumure à certaines fractions n'est certainement pas la solution car un nombre de talles ou d'épis trop élevé peut engendrer des problèmes de verse, de maladies foliaires mais aussi un moins bon remplissage du grain.

On observe que le programme de fumure conseillé au Livre Blanc 2022 (programme 20 avec 55-55-50 kg N/ha) atteint un très bon nombre de grain par m² et confirme ainsi son rendement phytotechnique (130 q/ha) proche du rendement maximum (139 q/ha).

Messages à retenir des essais sur les variétés lignées en 2022 :

Les programmes avec une dose totale de 140-160 kg N/ha obtiennent de très bons résultats.

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

d. Analyse de l'essai fumure réalisé à Lonzée pour la variété hybride : Wootan

Rendement phytotechnique et économique

Pour la variété hybride Wootan, la fumure permettant de maximiser le rendement phytotechnique (134 q/ha) et économique (119 q/ha) est obtenue par le programme de fumure 20 qui correspond au conseil du Livre Blanc 2021 et composé de trois fractions : 175 kg N/ha (25-75-75) comme décrit dans le Tableau 14.

Contrairement à la variété lignée KWS Faro, la variété hybride Wootan est moins pénalisée par des faibles apports d'azote au tallage. Cela pourrait être expliqué par une plus grande rusticité et une meilleure vigueur du système racinaire qui permet aux hybrides de mieux valoriser l'azote situé en profondeur en sortie d'hiver.

Tableau 14 – Résultats de l'essai « fumures » réalisé à Loncée 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 nombre d'épis par m² ainsi que le nombre de grains par mètre carré et le nombre de grains par épi. Le rendement économique ne tient pas compte du prix 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	PMG	Nombre d'épis/m ²	Nombre de grains par m ²	Nombre de grains par épis
	24-févr	28-mars	02-mai									
1	0	0	0	0	98	98	69,8	10,5	48,5	559	20216	36
2	0	35	0	35	108	105	70,2	10,7	48,6	521	22242	44
3	35	35	0	70	119	113	70,3	10,9	47,0	617	25289	43
4	70	35	0	105	125	115	71,7	11,6	48,3	663	25815	39
5	0	35	35	70	116	110	70,5	11,6	49,6	597	23405	40
6	35	35	35	105	126	116	70,6	11,8	49,6	579	25399	44
7	70	35	35	140	127	115	70,1	12,3	47,8	749	26682	36
8	0	70	0	70	119	113	70,0	11,5	48,8	670	24519	37
9	35	70	0	105	126	116	70,4	11,4	48,3	663	26026	39
10	70	70	0	140	126	113	68,1	11,8	46,3	708	27145	39
11	0	70	35	105	127	117	70,4	11,3	49,8	597	25443	44
12	35	70	35	140	131	118	70,1	12,3	49,9	623	26190	42
13	70	70	35	175	131	116	70,0	12,3	48,9	645	26867	42
14	0	70	70	140	129	116	71,0	12,5	48,7	563	26432	47
15	35	70	70	175	132	116	70,6	12,6	49,7	617	26477	44
16	70	70	70	210	130	112	69,3	13,2	48,4	701	27026	39
17	0	105	70	175	129	113	70,1	12,7	48,9	610	26386	45
18	35	105	70	210	129	111	66,8	13,1	47,9	594	27045	47
19	0	105	105	210	131	112	70,1	13,0	48,7	638	26937	43
20	25	75	75	175	134	119	70,7	12,7	48,7	706	27612	40

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. Les essais de ces dernières années montrent que la fumure influence peu le poids à l'hectolitre.

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 140 kg N/ha ont permis de maximiser la teneur en protéines et d'obtenir plus de 12% MS.

Nombre de grains par mètre carré

Etant donné que les variétés hybrides ont des capacités de tallage importantes, même avec un faible apport d'azote au tallage, la fraction qui va avoir le plus d'impact pour ces variétés est la fraction redressement qui va permettre aux talles de monter en épis.

Message à retenir des essais de variétés hybrides en 2022 :

- Les variétés hybrides sont en général moins pénalisées par une fraction de tallage plus faible que les variétés lignées. Ces résultats confirment l'intérêt de différencier le conseil de fumure pour les variétés hybrides par rapport aux variétés lignées.
- La fraction de redressement est importante 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 Recommandations pratiques pour la campagne 2023 !

Conditions particulières de 2023 : prix de l'azote toujours haut, état des profils à la sortie d'hiver et stades avancés de certaines parcelles.

Les températures des mois d'octobre et novembre 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.

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.

Trente-deux parcelles d'escourgeon (uniquement des précédents « froment » dans le cadre de ces analyses) ont été échantillonnées en ce début d'année 2023 (Tableau 15). Les quantités d'azote disponibles dans les 90 premiers centimètres du profil sont similaires aux années précédentes et se rapprochent de la moyenne de ces 13 dernières années (31 kg N_{min}/ha sur 0-90 cm). L'azote est réparti uniformément dans les trois horizons du sol.

Tableau 15 – Comparaison pour les 13 dernières années des réserves en azote minéral dans les différents étages du profil du sol (kg N-NO₃/ha) – CePiCOP, CRA-W, GRENeRA, Gx-ABT, Requasud et les laboratoires provinciaux.

		Réserve en azote minéral en kgN/ha														
		2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	Moyenne
	Nbr de profils	32	29	17	18	29	18	30	34	21	29	22	10	6	5	
Profondeur (cm)	0-30	9	8	10	8	11	8	21	7	6	5	8	9	10	9	9
	30-60	9	9	11	7	11	8	32	5	5	5	8	9	12	7	10
	60-90	10	11	17	12	15	12	22	7	5	8	10	12	10	9	12
Total (cm)	0-90	28	28	38	28	37	28	75	19	16	18	26	30	32	25	31

2.3.3 Conseil de fertilisation pour la saison culturale 2023

La fumure de référence conseillée pour 2023 est basée sur les résultats de l'analyse pluriannuelle (2018 à 2022), de l'expérience du passé et sur une analyse des résultats des essais « fumures » de 2022 ainsi que sur base des observations de ce début de saison et sur le prix des engrais toujours particulièrement élevés cette saison. 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.

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

Fumure de référence

La fumure de référence proposée en 2023 pour l'escourgeon ligné est de :

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

La fumure de référence proposée en 2023 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

La fumure proposée est identique à l'année dernière car les résultats des essais montrent encore une fois que ces programmes donnent de bons résultats même en tenant compte de la flambée des prix de l'azote. Il est toutefois bon de le rappeler et de garder en tête, particulièrement en 2023 avec un prix de l'engrais encore élevé, qu'il n'est pas judicieux d'augmenter trop fortement sa dose totale au risque de voir son rendement économique chuter. **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.**



Situation exceptionnelle cette année, les semis précoces (avant octobre par exemple) ont profité des températures clémentes du mois d'octobre et de novembre. Ils atteignent des stades très avancés dans certaines parcelles (stade fin tallage début février) !

La fumure de référence en trois fractions est alors à ajuster vu qu'il est déjà trop tard pour apporter la fraction de tallage. Ces escourgeons ont souvent déjà profité de la minéralisation d'automne, toutefois, il est important de leur apporter de l'azote mais de façon ajustée.

Pour l'escourgeon ligné, la fumure proposée est de :

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	0 N
Fraction du redressement (2^{ème} fraction) :	80 N
Fraction de la dernière feuille (3^{ème} fraction) :	60 N

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

Pour l'escourgeon hybride, la fumure proposée est de :

Fraction du tallage (1^{ère} fraction) :	0 N
Fraction du redressement (2^{ème} fraction) :	75 N
Fraction de la dernière feuille (3^{ème} fraction) :	75 N

2.3.4 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 55 kg N/ha pour les variétés lignées. Dans une situation normale, augmenter de manière trop importante ces fumures risquerait de provoquer un développement de talles surnuméraires, non productives et génératrices de difficultés de conduite de la culture (densité de végétation trop forte, verse, maladies, ...).

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

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

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

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

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

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

2.3.5 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 :

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

Prenons un exemple :

Une parcelle dans le Condroz (précédent froment) qui comprend un mauvais drainage et une terre argileuse mais avec des restitutions organiques (tous les 3 ans). Cette culture atteint le stade fin tallage début mars avec une densité normale 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 55-55-50 kg N/ha devient **60-65-55** kg N/ha

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

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

II.2. Céréales d'hiver – Fertilisation azotée

• Fiche de calcul de la fumure

Le tableau ci-dessous, reprend les données de la formule générale pour les doses d'azote à appliquer sur la culture. La fumure de la parcelle est constituée de trois fractions dont les différents termes peuvent être rassemblés puis sommés dans le tableau suivant.

Tableau 16 – Bilan de la fertilisation à apporter à la culture d'escourgeon hybride 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	25						
Redressement	75						
Dernière feuille	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

Tableau 17 – Bilan de la fertilisation à apporter à la culture d'escourgeon lignée 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	55						
Redressement	55						
Dernière feuille	50						

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

2.4 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 2022-2023

La fumure conseillée pour 2023 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 la cadre de l'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 2023 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 (ULg – 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.

2.5.1 La fumure conseillée pour la saison 2022-2023

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 2023 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 dont voici les liens :

- Livre Blanc Céréales de février 2017 (Chapitre 9) :
<https://www.livre-blanc-cereales.be/wp-content/uploads/2017/02/LBfev2017.pdf>
- Livre Blanc Céréales de février 2018 (Chapitre 3 – section 4) :
<https://www.livre-blanc-cereales.be/wp-content/uploads/2018/02/LBfev2018.pdf>

2.6 La fertilisation azotée en agriculture biologique : généralités

J. Legrand⁹

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 texture et friabilité.

⁹ CPL-VEGEMAR asbl—Centre Provincial Liégeois des Productions végétales et maraîchères – Province de Liège

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, 2021¹⁰). La période des besoins en azote (de mars à juin) ne correspond pas à la période de forte minéralisation du 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 22 (Legrand et al, 2022)¹¹, 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 uN, 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 uN.

¹⁰ B. Godden (2021) La gestion de la fertilité des sols et des matières organiques en agriculture biologique. Socle de connaissances.

¹¹ 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.