

IV. Perspectives

1. Optimiser la fertilisation azotée du blé dur : nouvelles perspectives sur le fractionnement et la dose totale..... 206
2. La fertilisation azotée du froment d’hiver panifiable en agriculture biologique 210
3. Fertilisation azotée en froment d’hiver biologique : quelle efficacité au regard du contexte pédoclimatique ?..... 214

1. Optimiser la fertilisation azotée du blé dur : nouvelles perspectives sur le fractionnement et la dose totale

R. Meza¹, B. Van der Verren¹, B. Godin², C. Demoitié³, B. Dumont⁴ et D. Eylenbosch¹

Le blé dur, traditionnellement cultivé dans le sud de l'Europe, se rapproche du froment mais possède des exigences spécifiques. Avec le changement climatique et grâce aux progrès de la sélection variétale, notamment au niveau de la tolérance au froid, la culture de cette céréale progresse vers le nord et devient possible en Wallonie.

Destiné uniquement à l'alimentation humaine, il est transformé en semoule pour la fabrication des pâtes et du couscous. La teneur en protéines est un critère majeur pour ce type de valorisation. Son seuil est fixé entre 13% et 14% selon le contrat. Elle influence fortement le mitadinage. Ce paramètre spécifique au blé dur représente la proportion de l'albumen qui, au lieu d'être vitreuse, est opaque et farineuse. Les normes commerciales internationales limitent le taux de mitadin à 25–30 % afin de ne pas réduire le rendement en semoule.

Selon ARVALIS - Institut du végétal, trois facteurs principaux déterminent le mitadinage : i) la teneur en protéines (20–25 % de la variabilité), ii) les conditions météorologiques en fin de cycle (35–50 %) et iii) la variété (15–20 %).

La fertilisation azotée constitue un levier essentiel pour réussir la culture du blé dur et atteindre un compromis satisfaisant entre rendement et qualité. Depuis plusieurs années, le CRA-W mène des travaux spécifiques sur cette composante de l'itinéraire technique. Plus de trente modalités de fertilisation, combinant différents niveaux d'apport et plusieurs schémas de fractionnement, ont déjà été évaluées. Le Tableau 1 présente les caractéristiques des essais conduits à Gembloux, en Région limoneuse, entre 2022 et 2025 et le Tableau 2 présente les résultats obtenus pour les huit modalités communes testées au cours de ces quatre années.

Les rendements les plus élevés ont été obtenus en 2025 dans ces essais sur la fertilisation azotée. À l'inverse, les rendements les plus faibles ont été mesurés en 2024, en raison notamment des conditions météorologiques particulièrement défavorables. Cette tendance s'est également confirmée pour d'autres céréales, comme le froment et l'escourgeon, qui ont eux aussi affiché des niveaux de production très faibles cette année-là.

La fertilisation maximale testée, soit 240 kg N/ha, n'a pas systématiquement conduit aux rendements les plus élevés. Des rendements comparables ont été obtenus, comme indiqué en gris, avec des apports azotés plus faibles. Les parcelles sans fertilisation azotée, Objet 1, présentent systématiquement les rendements et les taux de protéines les plus faibles. Elles

¹ CRA-W – Département Productions agricoles – Unité Productions végétales

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

³ CRA-W – Département Connaissance et Valorisation des Produits – Unité Qualité et authentification des produits

⁴ ULiège – Gx-ABT – Plant Sciences Axis – Phytotechnie tempérée/Crop Science

présentent également, chaque année, les taux de mitadinage les plus élevés, avec des valeurs dépassant la limite commerciale admise pour ce critère.

Tableau 1 – Informations sur les essais fertilisation menés par le CRA-W en blé dur.

	2022	2023	2024	2025
Variété	Wintergold	Wintergold	Anvergur	Anvergur
Date de semis	22-10-21	27-10-22	07-11-23	23-10-24
Densité (grains/m ²)	350	400	400	400
Précédent cultural	Ray grass	Froment d'hiver	Froment d'hiver	Lin fibre
Réliquats sortie d'hiver - Date prélèvement	21-01-22	19-01-23	22-01-24	17-01-25
Total kg N-NO ₃ /ha (0-90cm)	25	21	38	29
Date de récolte	18-07-22	18-07-23	25-07-24	11-07-25

Tableau 2 – Rendement (q/ha), poids à l'hectolitre (kg/hl), taux de protéines et taux de mitadin (%) obtenus dans les essais sur la fertilisation azotée du blé dur entre 2022 et 2025 (CRA-W). Les chiffres en italique et surlignés ne correspondent pas aux seuils théoriques de réception. Les cases grises correspondent aux objets statistiquement équivalents à la valeur maximale (en gras) mesurée.

N° Objet	Tallage	Redressement	Dernière feuille	Epiaison	Total kg N/ha	2022 - Wintergold				2023 - Wintergold				2024 - Anvergur				2025 - Anvergur			
						Rdt	PHL	Prot.	Mit.	Rdt	PHL	Prot.	Mit.	Rdt	PHL	Prot.	Mit.	Rdt	PHL	Prot.	Mit.
						q/ha	kg/hl	%	%	q/ha	kg/hl	%	%	q/ha	kg/hl	%	%	q/ha	kg/hl	%	%
1	-	-	-	-	0	43,2	83	<i>10,4</i>	<i>31</i>	56,9	81	<i>10,5</i>	<i>40</i>	16,9	70	<i>12,2</i>	<i>33</i>	51,3	81	<i>10,9</i>	<i>57</i>
2	70	40	70	-	180	81,2	85	15,4	0	83,1	82	<i>13,3</i>	3	57,1	71	14,0	15	101,0	81	14,0	24
3	70	40	100	-	210	81,2	84	16,4	0	85,4	82	13,8	3	56,8	66	14,2	17	102,8	82	14,8	16
4	70	40	70	40	220	81,6	85	16,5	0	84,1	81	13,9	1	57,9	70	15,2	9	101,4	82	15,2	15
5	70	40	40	40	190	79,3	85	16,1	0	85,5	82	13,7	1	57,6	70	14,0	11	99,4	81	14,5	27
6	80	40	80	-	200	82,9	85	15,7	0	84,4	82	13,6	2	61,2	73	13,9	8	104,9	82	14,4	11
7	80	40	40	40	200	80,9	84	15,8	0	84,9	81	13,7	2	58,9	73	14,3	12	103,5	82	14,6	13
8	80	80	80	-	240	84,7	85	16,5	0	84,0	81	13,9	2	58,8	70	14,9	10	105,6	81	14,5	10
Moyenne (q/ha) sans le témoin						81,7		16,0		84,5		13,7		58,3		14,3		102,6		14,6	

Rdt : Rendement, PHL : Poids à l'hectolitre, Prot : Taux de protéines, Mit : Taux de mitadinage. En 2022 et 2023, le taux en protéines a été mesurée pour chaque objet sur un échantillon composite issus de quatre répétitions.

En 2022, les rendements sont statistiquement similaires pour la majorité des modalités. Seuls les Objets 1, 5 et 7 se distinguent par des rendements significativement plus faibles.

En 2023, aucune différence significative n'a été observée entre les objets, que ce soit pour le rendement, la teneur en protéines ou le taux de mitadinage, à l'exception de la modalité sans apport azoté (Objet 1).

En 2024, les Objets 1, 2 et 3 n'atteignent pas un niveau de production statistiquement équivalent au rendement maximal de 61,2 q/ha obtenu avec l'Objet 6. Cette année-là, les parcelles sans fertilisation azotée (Objet 1) ont été particulièrement pénalisées par l'effet combiné de l'excès d'eau et de l'absence d'apport azoté. Leur rendement n'était que de 16,9 q/ha.

En 2025, les rendements sont supérieurs à ceux des années précédentes. Le rendement maximal, 105,6 q/ha, a été obtenu avec la fertilisation la plus élevée, soit 240 kg N/ha. Seuls les Objets 1 et 5 n'atteignent pas un rendement statistiquement équivalent à ce maximum.

Les poids à l'hectolitre en 2025 ont été élevés et comparables à ceux obtenus en 2023 (82 kg/hl). Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées en 2024, avec des poids inférieurs ou égaux à 73 kg/hl, tandis que les meilleurs résultats ont été obtenus en 2022, où ils dépassaient 83 kg/hl.

IV. Perspectives

Concernant la teneur en protéines, la variabilité observée entre années est plus marquée que celle liée aux différents traitements azotés, à l'exception du témoin sans apport (Objet 1). Les teneurs les plus élevées ont été obtenues en 2022 (supérieures à 15,4 %), tandis que les plus faibles ont été mesurées en 2023 (inférieures à 13,9 %). En 2025 les taux de protéines, compris entre 13,9 % et 15,2 %, étaient globalement satisfaisants.

Sur l'ensemble des quatre années d'essais, une fertilisation totale d'au moins 180 kg N/ha a permis d'obtenir des teneurs en protéines supérieures à 13,5 %. Seule exception : en 2023, l'Objet 2 (180 kg N/ha, fractionnement 70-40-70-0) n'a pas atteint ce seuil.

Un autre constat est que la modalité maximale 80-80-80-0 (240 kg N/ha) n'a pas systématiquement permis d'obtenir les meilleurs taux de protéines. C'est la modalité 70-40-70-40 (220 kg N/ha) qui a enregistré, chaque année, les valeurs les plus élevées pour ce paramètre tout en assurant un niveau de production statistiquement équivalent au rendement maximal de l'année.

Contrairement au froment d'hiver, le blé dur valorise l'apport d'une quatrième fraction appliquée à l'épiaison. La comparaison entre les schémas de fractionnements 70-40-70-0 (Objet 2, 180 kg N/ha) et 70-40-70-40 (Objet 4, 220 kg N/ha) montre que la fraction complémentaire permet d'augmenter de manière significative la teneur en protéines : +1,1 % en 2022, +0,6 % en 2023, +1,2% en 2024, et +1,2 % en 2025. Même constat avec l'application d'une dose plus importante au stade dernière feuille (+30 kg N/ha) avec le schéma 70-40-100-0 (Objet 3, 210 kg N/ha), par rapport à l'Objet 2 (70-40-70-0), la teneur en protéines a augmenté de manière significative +1,0 % en 2022, +0,5 % en 2023, +0,3 % en 2024 et +0,9 % en 2025. Par conséquent, un apport plus élevé au stade dernière feuille étalée ou l'ajout d'une quatrième fraction à l'épiaison permettent sécuriser la teneur de protéines. Cependant, ce type de stratégie n'aura que peu d'effet sur le rendement.

Il n'y a pas de différence significative entre les objets 6 et 7 concernant la teneur en protéines. Tous les deux ont une dose totale identique de 200 kg N/ha mais leur répartition diffère : l'objet 7 réduit l'apport à la dernière feuille pour réallouer une partie de l'azote à l'épiaison.

Aucun problème de mitadinage n'a été observé en 2022 et 2023, les valeurs mesurées sont restées très faibles. Cette problématique est davantage présente lors des années où les conditions à la récolte sont plus humides, comme en 2024 et 2025. En 2025, les Objets 2 et 5, avec les plus faibles apports ont été proches voire ont dépassé le seuil de tolérance compris entre 25 et 30%.

Ces résultats obtenus depuis 2022 montrent que le blé dur cultivé en Région limoneuse peut être conduit avec une fertilisation comparable à celle du froment d'hiver, soit environ 180 kg N/ha. Pour concilier rendement et qualité, mais aussi éviter tout risque de déclassement, une fertilisation totale d'environ 200 kg N/ha semble appropriée, sans dépasser 220 kg N/ha. Le fractionnement de la dose totale doit toutefois être ajusté en fonction des reliquats azotés en sortie d'hiver, du stade de développement et de l'état de la culture.

Fertilisation azotée et choix variétal : une combinaison gagnante !

Pour optimiser la fertilisation azotée, il est indispensable de tenir compte de la variété cultivée. En effet, toutes les variétés ne réagissent pas de la même manière aux apports d'azote. Le Tableau 3 présente l'itinéraire technique des essais d'évaluation variétale réalisés par le CRA-W, en Région limoneuse, durant la saison 2024-2025 à Gembloux et à Acosse, incluant les schémas de fractionnement et la dose totale d'azote appliquée. Les essais ont été conduits avec deux traitements fongicides et l'application d'un ou deux régulateurs de croissance.

La Figure 1 illustre la relation entre la teneur en protéines (%) et le rendement (q/ha) des variétés sur les deux sites.

Tableau 3 – Itinéraire technique des essais variétaux avec le fractionnement et la dose total d’azote appliquée lors de la saison 2024-2025 sur les sites de Gembloux et Acosse (CRA-W).

Localité	Précédent cultural	Date semis	Date récolte	Réquats sortie d’hiver (kg N/ha)	Fertilisation azotée (kg N/ha)					
					Tallage apport 1	Tallage apport 2	Redressement	Dernière feuille	Epiaison	Total
Gembloux	Lin	23-oct.-24	12-juil.-25	29	30	40	40	70	40	220
Acosse	Lin	26-oct.-24	12-juil.-25	58	39	39	49	54	-	181

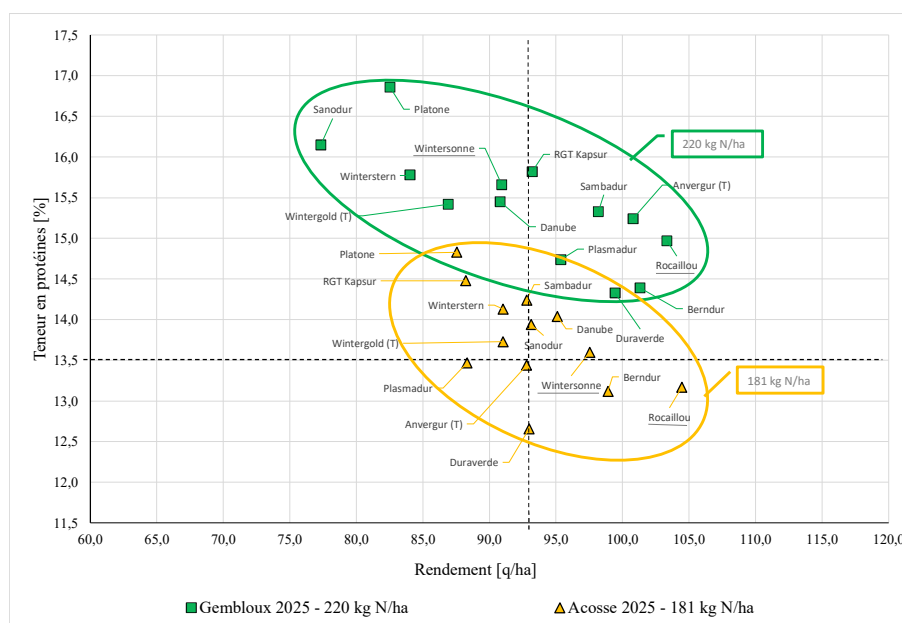


Figure 1 – Relation entre la teneur en protéine (%) et le rendement (kg/ha) des variétés évalués à Gembloux et à Acosse (CRA-W) durant la saison 2024-2025. Les lignes en pointilles indiquent le seuil à atteindre en protéines (13,5%) et la moyenne du rendement des essais (93 q/ha). Les variétés soulignées qui ont été recommandées pour les semis à l’automne 2025.

Les sites d’Acosse et de Gembloux présentent une phytotechnie comparable, tout comme leurs niveaux de rendement. La principale différence réside dans l’apport supplémentaire de 40 kg N/ha à l’épiaison à Gembloux, ce qui a eu un effet positif sur les teneurs en protéines des variétés. À Acosse, avec une fertilisation totale de 181 kg N/ha, certaines variétés n’ont pas atteint le seuil requis de 13,5 % de protéines, tandis qu’à Gembloux, avec 220 kg N/ha, toutes les variétés dépassent largement la teneur minimale exigée pour le blé dur.

Cette figure montre que le raisonnement de la fertilisation azotée doit impérativement intégrer le facteur variétal. En effet, lorsque la dose totale reste inférieure à 200 kg N/ha, il est essentiel de choisir une variété capable de bien valoriser l’azote afin de garantir une teneur en protéines atteignant, voire dépassant, le seuil de 13,5 %. D’autres paramètres, tels que les conditions météorologiques de l’année ou le type de sol, influencent également ce critère.

Plus encore qu’en blé tendre, la qualité du grain est déterminante en blé dur pour assurer la valorisation de la récolte. Obtenir de très hauts rendements sans atteindre la teneur en protéines requise pour la transformation n’a pas de sens pour une culture exclusivement destinée à l’alimentation humaine. Il est donc indispensable de prendre en compte l’ensemble des facteurs influençant la qualité du grain lors de la mise en place de la culture : choix variétal, parcelle, précédent cultural, raisonnement de la fertilisation azotée et date de récolte.

2. La fertilisation azotée du froment d'hiver panifiable en agriculture biologique

N. Vannoppen⁵ et B. Godin⁶

La fertilisation azotée, en complément d'un choix variétal adapté, constitue l'un des principaux leviers dont dispose l'agriculteur pour atteindre les exigences de qualité requises pour la valorisation du froment panifiable en meunerie. En agriculture conventionnelle, l'apport d'azote minéral permet un ajustement fin de la nutrition de la culture afin d'optimiser à la fois le rendement et la teneur en protéines du grain, pour autant que les recommandations de fractionnement soient respectées.

En agriculture biologique, cette maîtrise est nettement plus complexe. L'azote provient essentiellement de la minéralisation de la matière organique du sol, des apports d'amendements organiques et de la rotation culturale. Sa disponibilité est donc plus variable, moins prévisible et fortement dépendante des conditions pédoclimatiques. Or, pour le froment panifiable, la disponibilité en azote en fin de cycle est déterminante pour atteindre les normes de qualité imposées par la filière meunière et boulangère. Un déficit azoté pénalise directement la teneur en protéines et la force boulangère du grain.

Dans ce contexte, la question de la synchronisation des apports azotés avec les besoins de la culture constitue un enjeu majeur en agriculture biologique.

- **Présentation du projet OrgaNicBoost**

Les essais présentés dans cet article ont été réalisés par le CePiCOP dans le cadre du projet **OrgaNicBoost**⁷, dont l'objectif est d'identifier des stratégies de fertilisation adaptées permettant aux agriculteurs wallons de produire un froment biologique répondant aux exigences de la filière.

Ce projet vise à évaluer l'intérêt du **fractionnement des apports d'azote** en agriculture biologique. De nombreux travaux ont montré qu'en conventionnel, les apports réalisés en fin de montaison améliorent significativement la teneur et la qualité des protéines. L'apparition sur le marché d'engrais organiques sous forme de **bouchons solides**, facilement épandables en cours de culture, offre la possibilité d'adapter ces schémas de fractionnement aux contraintes de la conduite biologique.

L'objectif est de formuler des **recommandations techniques concrètes** sur base des résultats obtenus.

⁵ CePiCOP asbl – Centre Pilote wallon des Céréales et Oléo-Protéagineux – Subventionné par SPW – ARNE

⁶ CRA-W – Département Connaissance et Valorisation des Produits – Unité Valorisation des Produits, de la Biomasse et du Bois

⁷ OrgaNicBoost – « Stratégies de fertilisation pour assurer la production de froment panifiable bio en Région wallonne » – Projet de développement (2023-2025) – Financé dans le cadre de l'appel à projet aux Centres Pilotes pour des essais en production biologique de la Région wallonne (Action 11_L4 du plan bio 2030) – (D65-7477)

- **Protocole expérimental**

Les essais ont été conduits durant la campagne culturale 2024-2025 sur deux sites contrastés :

- à **Corroy-le-Grand** (Hesbaye), sur une parcelle des Fermes Universitaires de l'UCLouvain, caractérisée par un sol limoneux à haut potentiel ;
- à **Ciney** (Condroz), sur une parcelle de l'EPASC (Ecole d'Agronomie et des Sciences de Ciney), au potentiel agronomique plus limité.

Deux variétés de froment d'hiver panifiable ont été étudiées :

- **Christoph**, classée « panifiable premium belge » (Q1 bio),
- **Chaussy**, classée « panifiable supérieur belge » (Q2 bio).

L'engrais organique utilisé est commercialisé sous forme de bouchons (VIO ORGA N12-P2-K0 – VIOLLEAU), composé de poudre de viande, de sang desséché et de poudre de plumes. Sa forte biodégradabilité permet une mise à disposition relativement rapide de l'azote pour la culture.

Plusieurs modalités de fractionnement ont été comparées pour un total de **90 kg N/ha**, répartis selon différents stades : sortie hiver, tallage, redressement et deuxième nœud (Tableau 1).

Tableau 4 – Protocole des essais menés en 2024-2025 dans le cadre du projet OrgaNicBoost.

Objet	Protocole				Dose totale (kg N/ha)
	Sortie hiver	Tallage	Redressement	2 Nœuds	
1	-	-	-	-	0
2	-	45	-	-	45
3	-	90	-	-	90
4	45	45	-	-	90
5	-	45	45	-	90
6	60	30	-	-	90
7	-	60	30	-	90
8	-	30	60	-	90
9	30	60	-	-	90
10	30	30	30	-	90
11	-	30	30	30	90

- **Effet de la fertilisation et de la variété sur le rendement**

Il convient de rappeler que ces résultats portent sur **une seule année culturale** et devront être confirmés par la poursuite des essais.

Les rendements observés à Corroy ont été en moyenne supérieurs d'environ 20 q/ha à ceux de Ciney, en raison des différences de potentiel pédoclimatique entre les deux sites (Tableau 2).

À Corroy, une différence variétale très hautement significative a été mise en évidence, la variété **Christoph** présentant des rendements supérieurs à **Chaussy**. À Ciney, malgré une tendance similaire, la différence n'était pas statistiquement significative. Il est à noter que la variété **Chaussy** a subi des dégâts de verse à Corroy et des dégâts de sangliers à Ciney, ce qui a probablement pénalisé ses performances.

IV. Perspectives

Concernant la fertilisation, les réponses diffèrent fortement selon le site. À **Ciney**, des différences hautement significatives apparaissent entre les modalités. Le fractionnement **45-45-0-0** (45 kg N/ha en sortie d'hiver et 45 kg N/ha au tallage) a permis d'atteindre le rendement moyen le plus élevé (51,3 q/ha). Les autres modalités présentent des rendements compris entre 41,9 et 46,2 q/ha. Les apports tardifs au deuxième nœud y ont été moins bien valorisés. À **Corroy**, aucune différence significative de rendement liée à la fertilisation n'a été observée, le potentiel du sol masquant l'effet des modalités.

Tableau 5 – Résultats de rendements et de teneurs en protéines selon le site, la variété et la fertilisation. Anova à 2 facteurs.

Site	Corroy						Ciney					
	Variétés	Rendement moyen (q/ha)	Groupes	p-valeur	Teneurs en prot. (%MS)	Groupes	p-valeur	Rendement moyen (q/ha)	Groupes	p-valeur	Teneurs en prot. (%MS)	Groupes
Christoph	67,1	a	***	11,88	a	***	45,4	a	NS	12,11	a	***
	Chaussy	60,6		b	11,44		b	43,1		a	11,38	
Fertilisation	Rendement moyen (q/ha)	Groupes	p-valeur	Teneurs en prot. (%MS)	Groupes	p-valeur	Rendement moyen (q/ha)	Groupes	p-valeur	Teneurs en prot. (%MS)	Groupes	p-valeur
0-0-0-0	60,0	a	NS	11,18	b	*	38,2	b	**	11,46	bc	***
0-45-0-0	64,1	a		11,31	ab		45,9	ab		11,60	bc	
0-90-0-0	66,6	a		11,76	ab		46,2	ab		11,82	abc	
45-45-0-0	66,2	a		11,65	ab		51,3	a		11,34	c	
0-45-45-0	66,2	a		11,88	ab		45,7	ab		12,45	a	
60-30-0-0	61,8	a		11,51	ab		46,1	ab		11,17	c	
0-60-30-0	67,0	a		12,02	a		42,4	ab		11,92	abc	
0-30-60-0	66,8	a		11,77	ab		46,2	ab		12,27	ab	
30-60-0-0	58,4	a		11,53	ab		44,3	ab		11,46	bc	
30-30-30-0	64,4	a		11,70	ab		41,9	ab		11,56	bc	
0-30-30-30	61,2	a		11,94	a		38,3	b		12,29	ab	

• Effet de la fertilisation et de la variété sur la teneur en protéines

L'objectif en termes de teneurs en protéines pour les variétés Q1 bio, comme **Christoph**, est d'obtenir une teneur en protéines supérieure ou égale à 11%. Pour les variétés Q2 bio, comme **Chaussy**, ce seuil est fixé à 10,5%. Les résultats de 2025 nous indiquent que ces seuils minimums ont été atteints pour toutes les modalités, sur les deux sites (Tableau 2).

Toutefois, l'analyse statistique met en évidence des différences significatives. La variété **Christoph** présente des teneurs en protéines supérieures à la variété **Chaussy**, conformément à son classement technologique.

Du point de vue du fractionnement, les apports tardifs montrent un effet très net. La modalité **0-30-30-30** (apport au deuxième nœud) améliore significativement la teneur en protéines par rapport à la modalité **30-30-30-0**, tant à Corroy qu'à Ciney. Les schémas ne comportant pas d'apport au redressement ou au deuxième nœud présentent systématiquement des teneurs plus faibles.

• Enseignements et conclusion

Ces essais mettent clairement en évidence l'intérêt du **fractionnement azoté en agriculture biologique** pour améliorer la qualité panifiable du froment.

Trois enseignements majeurs se dégagent (Figure 1) :

- Le schéma **45-45-0-0** est le plus performant pour maximiser le rendement, mais n'est pas le plus favorable à la qualité.
- Le schéma **0-30-60-0** apparaît comme le **meilleur compromis entre rendement et qualité boulangère**.
- Le schéma **0-30-30-30** (avec apport au deuxième nœud) se révèle moins performant, tant pour le rendement que pour la qualité, malgré l'augmentation de la teneur en protéines.

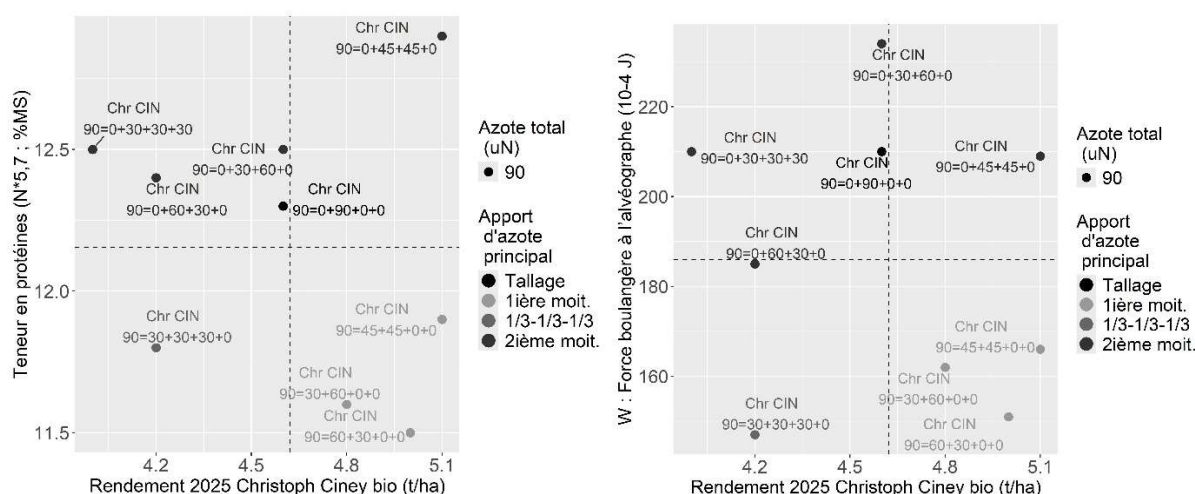


Figure 1 – Relation de la teneur en protéines (gauche) et la force boulangère (droite) avec le rendement à l'hectare pour la variété Christoph (Qualité Q1 BIO) pour différents fractionnements de fumure azotée à 90 uN en BIO menés à Ciney.

Ces résultats démontrent que, même en agriculture biologique, il est possible de piloter la teneur en protéines du froment en jouant sur la synchronisation des apports d'azote avec les stades clés de la culture. La poursuite des essais dans les années à venir permettra de confirmer ces observations et d'affiner les recommandations techniques destinées aux producteurs wallons.

Pour plus d'informations, le rapport complet du projet est disponible sur la plateforme [Walakis](https://walakis.be)⁸. Des résultats pluriannuels d'essais menés sur la fertilisation du froment biologique ont été synthétisés dans le [Livre Blanc de février 2022](#).

⁸ <https://walakis.be/fr/ressources/organicboost-strategies-de-fertilisation-pour-assurer-la-production-de-froment>

3. Fertilisation azotée en froment d'hiver biologique : quelle efficacité au regard du contexte pédoclimatique ?

A. Beaugendre⁹, B. Godin¹⁰, M. Bonnave¹¹, J. Legrand¹² et A.-M. Faux⁹

3.1 Introduction

La fertilisation azotée des cultures de céréales en agriculture biologique demeure complexe. Contrairement aux engrais azotés minéraux, l'azote contenu dans les engrais organiques doit, après avoir été épandu, être rendu disponible via la minéralisation avant d'être assimilable par la culture. Ce processus dépend fortement des conditions pédoclimatiques durant la saison (Agehara & Warncke, 2005) ainsi que de la matière organique utilisée (engrais organique du commerce, engrais de ferme, digestat, vinasse, ...) et de sa composition (Agehara & Warncke, 2005 ; Tosti et al., 2016). Pour ces raisons, les essais visant à comparer des doses ou des matières différentes tendent à fournir des résultats assez variables (Legrand et al., 2022). Il en ressort qu'un apport élevé d'engrais organique pendant la saison de culture peut être financièrement risqué, particulièrement si les engrais utilisés sont coûteux (Abrams et al., 2020). Dès lors, la gestion de la rotation (précédent cultural, durée, diversification des cultures), l'incorporation des résidus de culture ou encore la fumure de fond sont essentiels en agriculture biologique. A l'instar des matières organiques exogènes, cependant, les quantités d'azote effectivement rendues disponibles à la culture par les matières organiques endogènes (déjà présentes sur la parcelle) sont l'objet d'incertitudes (Petersen et al., 2013).

En culture de froment panifiable, outre le rendement en grain, une valorisation en alimentation humaine passe par l'obtention d'une teneur en protéines du grain suffisante. En cherchant à maximiser ses chances d'une récolte correctement valorisée, l'apport d'engrais organiques en saison constitue une question récurrente, au vu des incertitudes qu'elle englobe quant à la minéralisation de l'azote et son assimilation par la culture, d'une part, et du coût des engrais, d'autre part.

Afin de contribuer à éclairer ces questions, cet article met à profit les données accumulées au fil de 12 années d'essais variétaux en froment conduits en agriculture biologique (2014 à 2025). Plus précisément, nous avons cherché à mettre en perspective les performances de la culture en termes de rendement grain et de teneur en protéines en fonction des reliquats azotés à la sortie d'hiver et de la fertilisation organique azotée appliquée, tout en tenant compte du précédent cultural et du contexte pédoclimatique.

⁹ CRA-W – Département Productions agricoles – Unité Productions végétales

¹⁰ CRA-W – Département Connaissance et valorisation des produits – Unité Valorisation des produits, de la biomasse et du bois

¹¹ C.A.R.A.H. asbl – Centre pour l'Agronomie et l'Agro-industrie de la Province de Hainaut

¹² CPL Végémar – Centre Provincial Liégeois des Productions Végétales et Maraîchères – Province de Liège

3.1 Données et méthodologie

Les résultats présentés ci-dessous reposent sur l'analyse des données collectées au sein des essais variétaux en froment en agriculture biologique réalisés par le CARAH, le CPL-Végémar et le CRA-W depuis 2014, soit 36 essais différents (12 années, 3 sites d'essai/année). Sur l'ensemble de ces essais, les reliquats azotés (NO_3^-) mesurés sur l'horizon 0-90 cm en sortie d'hiver variaient de 7 à 125 kg N/ha. Pour chaque essai, la quantité d'azote organique apporté via la fertilisation était adaptée en fonction des reliquats azotés, du précédent cultural et d'un objectif de rendement fixe (8 t/ha pour le CARAH et le CPL-Végémar, 5,5 t/ha pour le CRA-W), et variait ainsi de 0 à 120 kg N/ha. A l'exception de trois essais, l'apport d'engrais organique était réalisé en une seule fois dans le courant du mois de mars. Les essais faisant exception étaient conduits à Ath, en 2020 (apport le 6 mai), en 2023 (apport le 26 avril) et en 2024 (apport en 2 fractions, le 12 janvier et le 24 mars). Six variétés de froment les plus récurrentes sur l'ensemble des essais ont été retenues pour nos analyses : Alessio (24 occurrences), Arminius (27), Energo (27), Lennox (25), Renan (24) et Togano (28). Pour chacune d'entre elle, nous disposons de données relatives au rendement grain et à la teneur en protéines du grain, soit un total de 155 données pour chacune de ces deux variables.

Sur base de ces données, deux modèles statistiques ont été construits, l'un pour le **rendement** en grain et l'autre pour la **teneur en protéines** du grain. Chacun des modèles possède une structure commune : le rendement ou la teneur en protéines sont décrits en fonction des effets de **deux variables explicatives, les reliquats azotés en sortie d'hiver et la dose d'azote organique apportée via la fertilisation**, et de leur **interaction**. Les modèles utilisés sont des modèles mixtes : les effets de l'année, du site d'essai, du précédent cultural et de la variété sont intégrés au modèle mais ne sont pas explicitement présentés (effets aléatoires). Ceci permet d'en tenir compte de façon à mettre en évidence spécifiquement l'effet de l'azote disponible et de son origine.

3.2 Résultats

Les résultats de notre modèle indiquent que les reliquats azotés, la dose d'azote organique apportée au printemps et leur interaction expliquent une part significative de la variabilité des rendements (R^2 marginal = 0,181)¹³ même si la majeure partie de cette variabilité est expliquée par les variables aléatoires (variété, année, site, précédent). Ils mettent en lumière un aspect important : la présence d'une **interaction entre effet de la fertilisation azotée et effet des reliquats azotés sur le rendement en grain**. Plus particulièrement, lorsque nous considérons un reliquat azoté fixe, nous constatons un effet positif de doses croissantes d'engrais sur le rendement ; cependant, **cet effet positif de la dose d'engrais s'amenuise avec des niveaux croissants de reliquats azotés**, jusqu'à plafonner (droites allant du clair au foncé ; **Erreur ! Source du renvoi introuvable**). Autrement dit, l'effet de l'azote apporté via la fertilisation apparaît conditionné par la quantité d'azote minéral présente dans le sol à la sortie d'hiver. Nos résultats semblent indiquer qu'en présence de reliquats excédant 50 uN/ha, l'effet bénéfique d'un apport d'engrais serait davantage incertain (Figure 1a). Ce seuil reste néanmoins à confirmer.

¹³Dans un modèle mixte, il est possible de distinguer (i) la variabilité expliquée par le modèle entier, y compris les effets aléatoires (R^2 conditionnel) ; et (ii) la variabilité expliquée par les effets fixes uniquement (R^2 marginal).

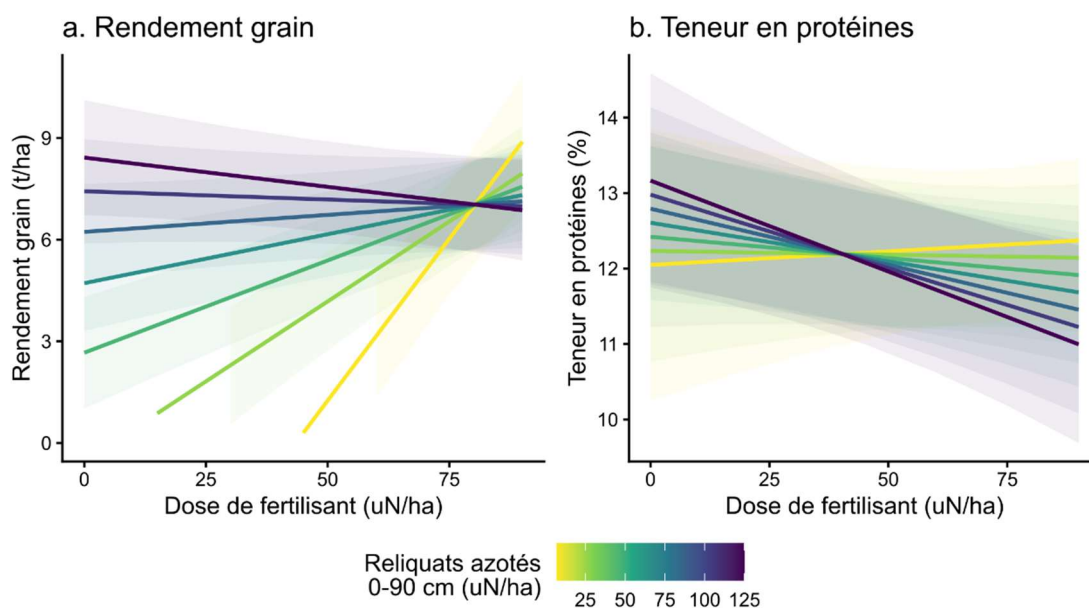


Figure 2 – Modélisation de l’effet de la dose de fertilisant et des reliquats azotés (kg N/ha) sur (a) le rendement grain et (b) la teneur en protéines des grains.

Pour la teneur en protéines (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**b), les résultats sont plus confus. La teneur en protéines apparaît principalement déterminée par la variété, l’année et le site d’essai. Quant à l’apport d’N et les reliquats azotés, aucun effet statistiquement significatif n’a été identifié. Le modèle indique que la fertilisation et les reliquats expliquent très mal la variabilité observée parmi les teneurs en protéines mesurées (R^2 marginal = 0,037), qui semblent plutôt dépendre des variables aléatoires (variété, année, site, précédent cultural ; R^2 conditionnel = 0,783).

3.3 Discussion et recommandations

En ce qui concerne le **rendement**, nos résultats confirment d’abord que les apports d’azote provenant de reliquats azotés ou d’engrais organiques du commerce contribuent significativement tous deux à augmenter le rendement. Cependant, nous avons également identifié une interaction significative entre ces deux variables, qui se traduit ainsi : **l’apport d’engrais organique est bénéfique à la culture lorsque le sol est pauvre en azote, mais ne sera pas récompensé par une hausse de rendement dans le cas où le sol serait déjà suffisamment fourni en sortie d’hiver.** Cette observation est concordante avec les observations de la Chambre d’Agriculture de Seine et Marne sur des essais similaires : le niveau d’azote dans la parcelle en sortie d’hiver joue de manière positive sur le rendement, mais de manière négative sur l’efficacité de l’engrais (Glachant & Aubert, 2015a). Elle s’aligne également avec une loi bien connue de l’agronomie, la loi des « accroissements moins que proportionnels » ou loi de Mitscherlich : des doses croissantes d’azote aboutissent à des rendements croissants mais l’effet positif de l’azote sur le rendement décroît à mesure que la dose d’azote augmente (Valkama et al., 2013).

Lorsque l’on se tourne vers la **teneur en protéines**, il est plus difficile de tirer des conclusions nettes. De fait, notre modèle s’avère très peu explicatif pour ce caractère, principalement influencé par la variété et l’environnement (site et année d’essai). Il convient de rappeler

qu'entre 76 et 80% de l'azote contenu dans le grain est absorbé par la plante avant la floraison. Par ailleurs, stimuler l'absorption d'azote après la floraison peut contribuer à augmenter la teneur en protéines du grain (Bogard et al., 2010). En agriculture conventionnelle, renforcer l'apport d'azote en fin de croissance fait partie des stratégies de fertilisation visant à augmenter la teneur en protéines à la récolte (Vannoppen et al., 2025). En agriculture biologique, s'agissant d'engrais organiques, la mise à disposition de l'azote apporté dépend fortement de la température et de l'humidité du sol (Agehara & Warncke, 2005), elles-mêmes tributaires des conditions pédoclimatiques. Selon les situations, l'azote ainsi apporté peut, dans des proportions variables, contribuer au rendement, à la teneur en protéines, ou au contraire être perdu, par lessivage (Tosti et al., 2016) ou en raison d'une minéralisation trop tardive (Abrás et al., 2020). Des essais réalisés en Belgique (Abrás et al., 2020 ; Legrand et al., 2022) et en France (Glachant & Aubert, 2015b) mettent en évidence le caractère incertain des apports d'engrais organique au printemps en vue d'améliorer la teneur en protéines du grain. Il n'est donc pas surprenant que, dans notre analyse, la seule fourniture en azote (reliques azotés et apport d'engrais) n'ait pu permettre de prédire la teneur en protéines obtenue à la récolte.

Enfin, notre analyse confirme qu'en présence de reliques azotés faibles, faire appel à des engrais organiques permet bel et bien d'assurer de meilleurs rendements. Ainsi, nos recommandations s'alignent avec celles de la Chambre d'Agriculture de Seine et Marne (Glachant & Aubert, 2015a) : **l'apport d'engrais organique au printemps est à considérer comme un levier à mobiliser** en cas de fourniture trop faible en azote, et non comme une pratique systématique. **Mesurer les reliques à la sortie d'hiver** de ses cultures de froment est dès lors une pratique qui ne peut être que recommandée en vue de guider l'éventuel apport d'engrais. Enfin, **garantir la fourniture en azote** des cultures de froment d'hiver **en soignant sa rotation** reste primordial en agriculture biologique.

3.4 Bibliographie

- Abrás, M., Godden, B., Legrand, J., Stalport, A., & Mahieu, O. (2020). 9. Fertilisation des céréales en agriculture biologique. In *Livre Blanc des Céréales* (Février 2020).
- Agehara, S., & Warncke, D. D. (2005). Soil Moisture and Temperature Effects on Nitrogen Release from Organic Nitrogen Sources. *Soil Science Society of America Journal*, 69(6), 1844-1855.
- Bogard, M., Allard, V., Brancourt-Hulmel, M., Heumez, E., Machet, J.-M., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Martre, P., & Le Gouis, J. (2010). Deviation from the grain protein concentration–grain yield negative relationship is highly correlated to post-anthesis N uptake in winter wheat. *Journal of Experimental Botany*, 61(15), 4303-4312.
- Glachant, C., & Aubert, C. (2015a). Décid-org, un outil pour gérer les apports organiques sur blé bio au printemps. *ALTERAGRI*, Nov-déc 2015.
- Glachant, C., & Aubert, C. (2015b, novembre). *Gestion de l'azote sur blé biologique en Ile-de-France*. <https://comifer.asso.fr/wp-content/uploads/2023/03/Nov2015-Comifer-Gemas-ARTICLE-GLACHANT.pdf>
- Legrand, J., Stalport, A., Abrás, M., Heens, B., Godden, B., & Mahieu, O. (2022). 2.2.6 Point sur les essais menés en fertilisation de froment biologique. In *Livre Blanc des Céréales* (Février 2022).
- Petersen, S. O., Schjøning, P., Olesen, J. E., Christensen, S., & Christensen, B. T. (2013). Sources of Nitrogen for Winter Wheat in Organic Cropping Systems. *Soil Science Society of America Journal*, 77(1), 155-165.
- Tosti, G., Farneselli, M., Benincasa, P., & Guiducci, M. (2016). Nitrogen Fertilization Strategies for Organic Wheat Production: Crop Yield and Nitrate Leaching. *Agronomy Journal*, 108(2), 770-781.
- Valkama, E., Salo, T., Esala, M., & Turtola, E. (2013). Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions : A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 1-13.
- Vannoppen, N., Wain, G., Godin, B., Vandenberghe, C., Mahieu, O., Pierreux, J., Blondiau, L.-M., Collin, C., & Vilret, A. (2025). 2. La fertilisation azotée. In *Livre Blanc des Céréales*.