

SUIVIS DE RELIQUATS AZOTES APRES APPORTS TARDIFS DE LISIER EN PRAIRIE PERMANENTE PATUREE

De Toffoli Marc, Imbrecht Olivier, Cortvrint Zacharie, Imbrecht Cyril, Lambert Richard,
2025.

Université catholique de Louvain – Earth and Life Institute – agronomy

Place Croix du Sud, 2 boîte L7.05.26

1348 Louvain-la-Neuve

Table des matières

1.	INTRO.....	2
2.	MATERIEL & METHODE	3
	<i>Localisation</i>	3
	<i>Protocole</i>	4
	<i>Résumé climatologique</i>	5
3.	RESULTATS	7
	<i>Reliquats en azote minéral</i>	7
	<i>Part d'azote ammoniacal</i>	8
	<i>Azote Potentiellement Lessivable</i>	10
4.	CONCLUSION.....	11
5.	ANNEXES	12
1.	PART D'AZOTE AMMONIACAL.....	12
2.	RELIQUATS EN FIN DE PERIODE APL	13
3.	RELIQUATS APL	14

1. Intro

Les demandes de dérogations au calendrier d'épandage (Figure 1) sont fréquentes, notamment pour le lisier en prairie en fin de saison. Les agriculteurs cherchent à vider les cuves avant la période d'interdiction d'épandage et la saison de claustration hivernale. Or reculer la date de fin de période d'épandage augmente le risque d'une mauvaise valorisation par la prairie de l'azote contenu dans le lisier. L'objectif de l'action est d'évaluer l'impact sur le reliquat d'azote potentiellement lessivable (APL) d'un apport tardif de lisier en quantité limitée sur une prairie pâturée. Actuellement, les données provenant des références APL montrent que certaines parcelles ayant été fertilisées par du lisier par suite d'une dérogation peuvent présenter un APL au-delà du seuil de conformité. Il n'y a cependant pas d'information sur les quantités épandues et les dates d'apport.

Cinq expérimentations ont été réalisées entre 2020 et 2025 sur une parcelle des fermes universitaires de Louvain avec du lisier de bovin. Pendant la même période, un protocole différent mais complémentaire a été appliqué sur des lysimètres hors sol par GRENeRA à Gembloux. Les deux expérimentations ont pour but d'apporter des éléments objectifs afin d'alimenter la réflexion quant aux apports tardifs de lisier en prairie.

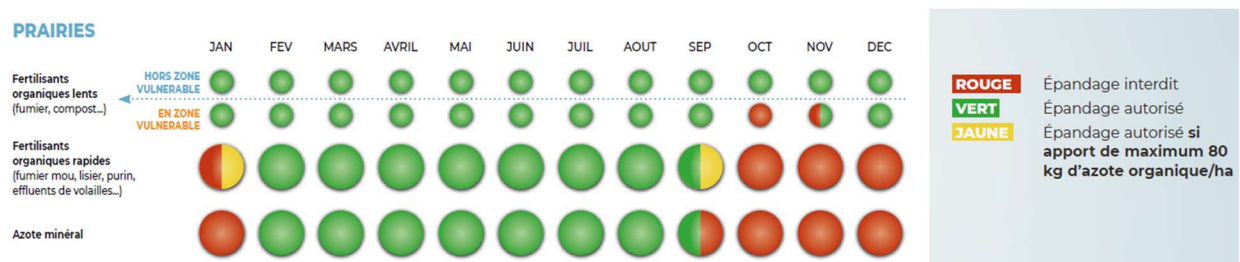


Figure 1. Calendrier d'épandage des fertilisants en prairie (Source : www.Protecteau.be ; PGDA : Art. R.203 et Annexe XXIII)

Protocole

L'expérimentation compare différentes dates d'apport de lisier de bovin (date 1, date 2 et date 3) et un témoin non fertilisé (T). La première date est située à la fin de la période autorisée d'apport de lisier en prairie dans le cadre du PGDA, à savoir fin septembre. La deuxième date d'épandage est le 15 octobre (deux semaines plus tard) et la troisième date d'apport le 15 novembre (quatre semaines après la deuxième date). Le 15 décembre – date 4 – constitue la fin de période de l'essai et donc la dernière date de mesure de reliquat azoté, en fin de période réglementaire de mesure de l'Azote Potentiellement Lessivable (APL).

Tableau 1. Description des modalités testées

Dates de mesure		Épandage	Modalités faisant l'objet de mesures de reliquat
30 septembre	Date 1	Lisier fin septembre	T
15 octobre	Date 2	Lisier mi-octobre	T, date1
15 novembre	Date 3	Lisier mi-novembre	T, date1, date 2
15 décembre	Date 4	-	T, date1, date 2, date 3

Les parcelles ont une surface de 32 m² et sont répétées trois fois aléatoirement (Figure 3).

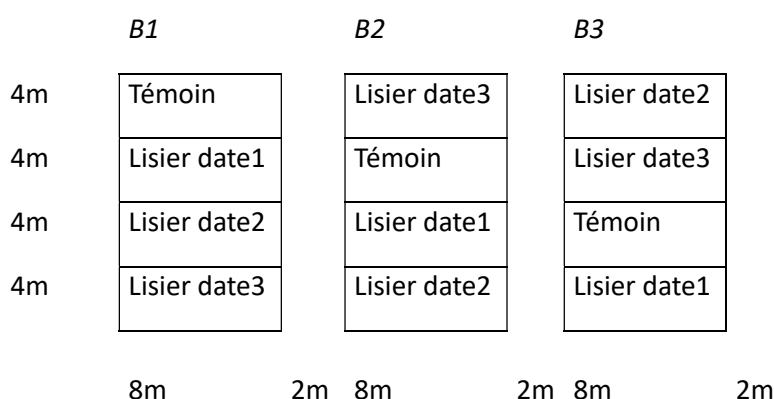


Figure 3. Plan d'expérimentation

Les épandages sont réalisés manuellement afin d'assurer une application précise et une répartition homogène du lisier sur chaque micro-parcelle. La quantité appliquée est de 34 m³/ha, un double échantillon est réalisé à chaque date d'application de lisier et envoyé au laboratoire pour analyse des teneurs. Cela permet de connaître les doses d'azote total et ammoniacal apportées pour chaque essai. Le Tableau 2 reprend les valeurs moyennes

pour chaque année d'expérimentation. En effet, chaque année, c'est le même lisier qui est appliqué lors de chaque date. Les variations des résultats d'analyses sont très faibles entre dates d'apport pour une même année. Malgré l'utilisation d'un lisier provenant chaque année de la même exploitation, une légère fluctuation est observée d'année en année avec un apport d'azote sensiblement plus faible en 2023.

Tableau 2. Description des apports de lisier : teneurs en azote et quantités appliquées

Année	Ntotal (kg/t MF)	N-NH4 (kg/t MF)	Dose appliquée (kg Nt/ha)
2020	4,3	1,8	145
2021	4,1	1,7	139
2023	2,3	0,9	77
2024	3,9	1,7	131
2025	3,2	1,6	108
Moyennes	3,4	1,5	115

Résumé climatologique

On constate chaque année d'expérimentation que le mois d'octobre présente une pluviométrie entre 60 et 80 mm cumulés, ce qui a favorisé la croissance de la végétation de la prairie (Tableau 3). Cela a permis une reprise de la pousse de l'herbe en 2021 après un mois de septembre particulièrement sec. Le mois de novembre est plus contrasté en fonction des années, avec les deux premières années d'essai très sèches avec de l'ordre de 20 mm cumulés puis trois années plus humides. Le mois de décembre est bien pourvu en pluies avec à nouveau entre 60 et 80 mm de précipitations, excepté en 2025 année plus sèche, cumulant moins de 30 mm sur le dernier mois de l'année.

On peut résumer en affirmant qu'aucune année n'a présenté de période de sécheresse prolongée pendant la période d'essai. La fin de l'année 2021 a été la plus sèche avec 166 mm cumulés et l'année 2024 la plus arrosée avec 298 mm pendant le dernier quadrimestre.

Tableau 3. Mesures mensuelles à Louvain-la-Neuve des précipitations cumulées et des températures moyennes au cours du dernier quadrimestre des années concernées par les expérimentations (Source : [CRA-W/Agromet.be](https://cra-w.agromet.be))

Mois	Pluviométrie cumulée						Températures moyennes					
	2020	2021	2023	2024	2025	Moy.	2020	2021	2023	2024	2025	Moy.
Septembre	80	15	45	78	50	53	16	16	19	15	15	16,4
Octobre	62	65	66	72	77	68	11	11	13	12	12	12,0
Novembre	19	21	101	70	61	54	9	6	8	7	8	7,5
Décembre	71	66	69	78	28	62	5	5	7	5	6	5,6
	232	166	280	298	215	238	10,5	9,8	11,6	9,8	10,3	10,4

En termes de températures, on observe logiquement une érosion progressive des températures moyennes mensuelles à l'approche de l'hiver (Figure 4). Une perte de près de 4.5 °C entre septembre et octobre puis entre octobre et novembre. Ensuite 2 °C en moyenne entre novembre et décembre. Le mois d'octobre présente donc des températures encore suffisantes pour une pousse de l'herbe, qui est ensuite modérée par la chute sous les 10°C en novembre qui s'accompagne également d'une diminution de l'ensoleillement et de la durée du jour. Il en résulte un ralentissement de la croissance de l'herbe qui va en s'accroissant à l'approche de l'hiver.

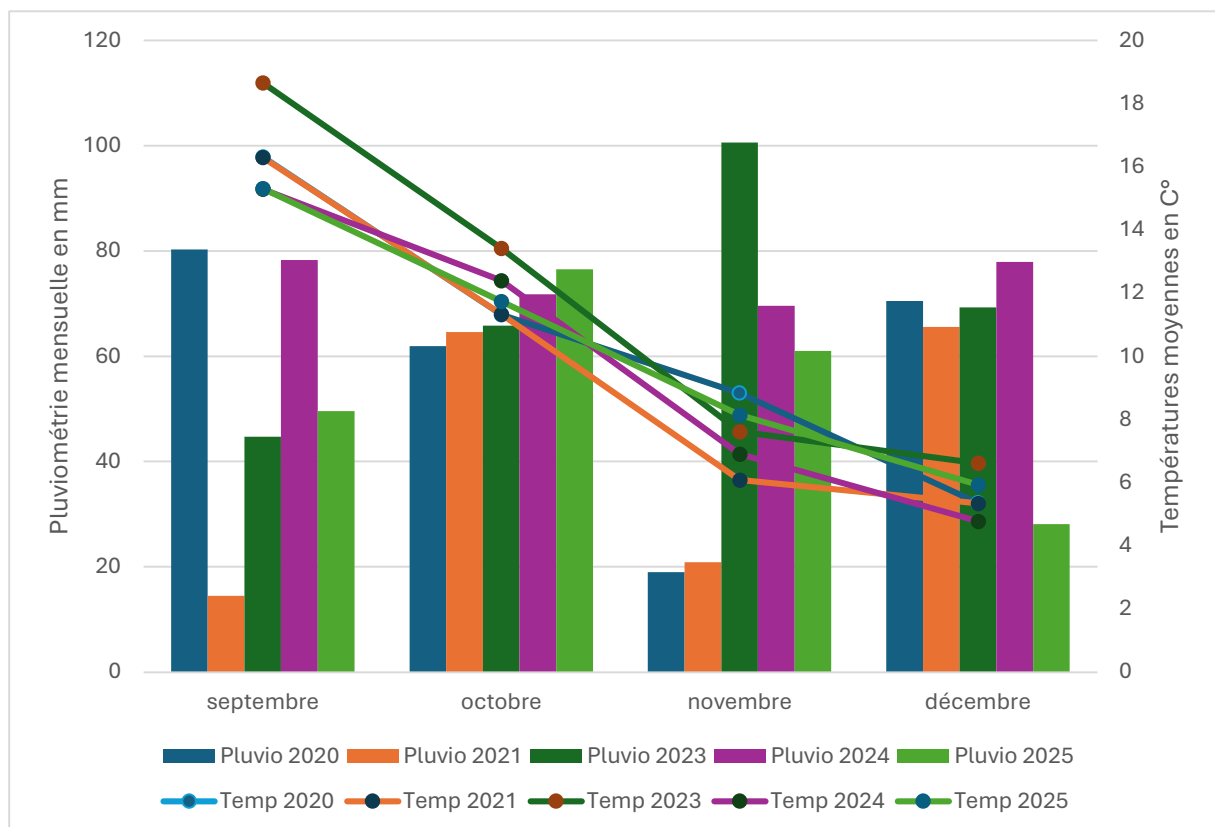


Figure 4. Représentation des mesures mensuelles à Louvain-la-Neuve des précipitations cumulées et des températures moyennes au cours du dernier quadrimestre des années concernées par les expérimentations (Source : CRA-W/Agromet.be)

3. Résultats

Les reliquats mesurés à chaque date d'intervention sur la parcelle permettent de suivre la quantité d'azote minéral en fonction des opérations de fertilisation réalisées depuis le début de l'expérimentation (Figure 5). Ainsi, au 15 décembre, toutes les modalités ont été réalisées et peuvent être évaluées et donc comparées sur la quantité d'azote nitrique et ammoniacal présentes sur une profondeur de 90 cm.

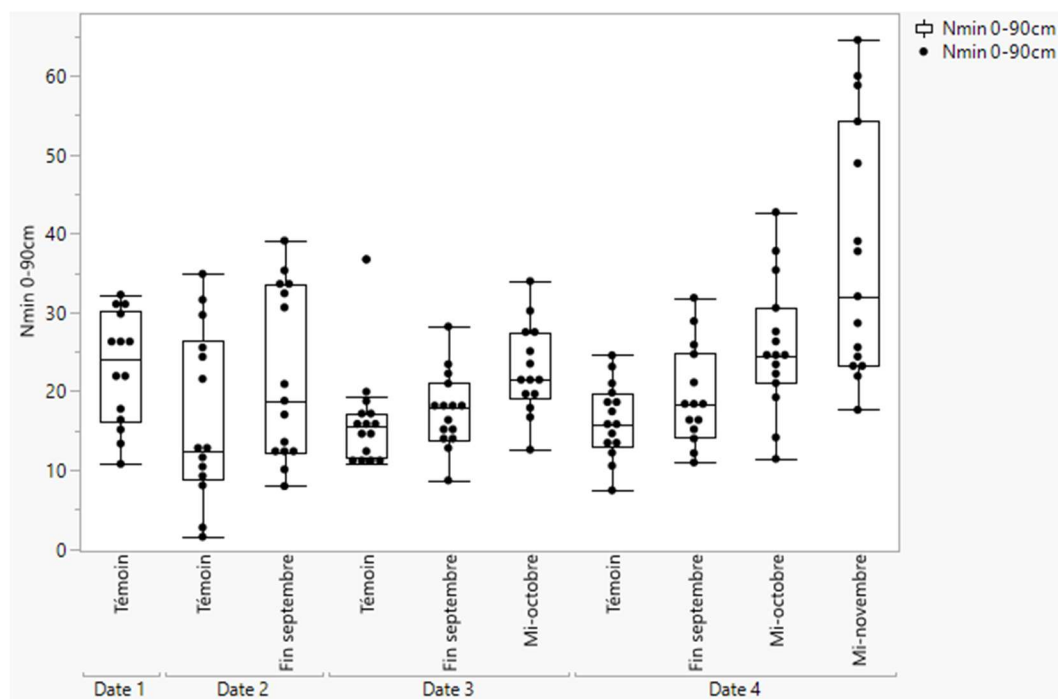


Figure 5. Mesures de reliquats azotés (en kg N/ha) aux dates successives d'intervention sur les parcelles (dates 1 à 4, cf. Tableau 1) dans les différentes modalités d'apport (de fin septembre à mi-novembre)

Reliquats en azote minéral

On constate d'abord une diminution du reliquat moyen dans les parcelles du témoin dès la mesure d'octobre, grâce à la pousse de la prairie toujours bien active en octobre. La modalité d'application du lisier conforme au PGDA (objet 'fin septembre') montre peu de différences avec le témoin, si ce n'est un décalage temporel dans la réduction du reliquat azoté suite à l'application du lisier fin septembre. En fin de période d'APL, il n'y a pas de différence significative en termes de quantité d'azote minéral entre ces deux objets (cf. annexe 2 page 13).

L'apport de la mi-octobre engendre une augmentation significative dès la mesure réalisée un mois après l'épandage, mais se stabilise en fin de période à un niveau supérieur au témoin. Cette dernière mesure n'est cependant pas significativement plus élevée que dans la parcelle avec apport de fin septembre.

L'apport de la mi-novembre engendre une augmentation du reliquat lors de la mesure réalisée un mois plus tard. Celui-ci atteint un niveau significativement plus élevé que les autres modalités au 15 décembre (Figure 6).

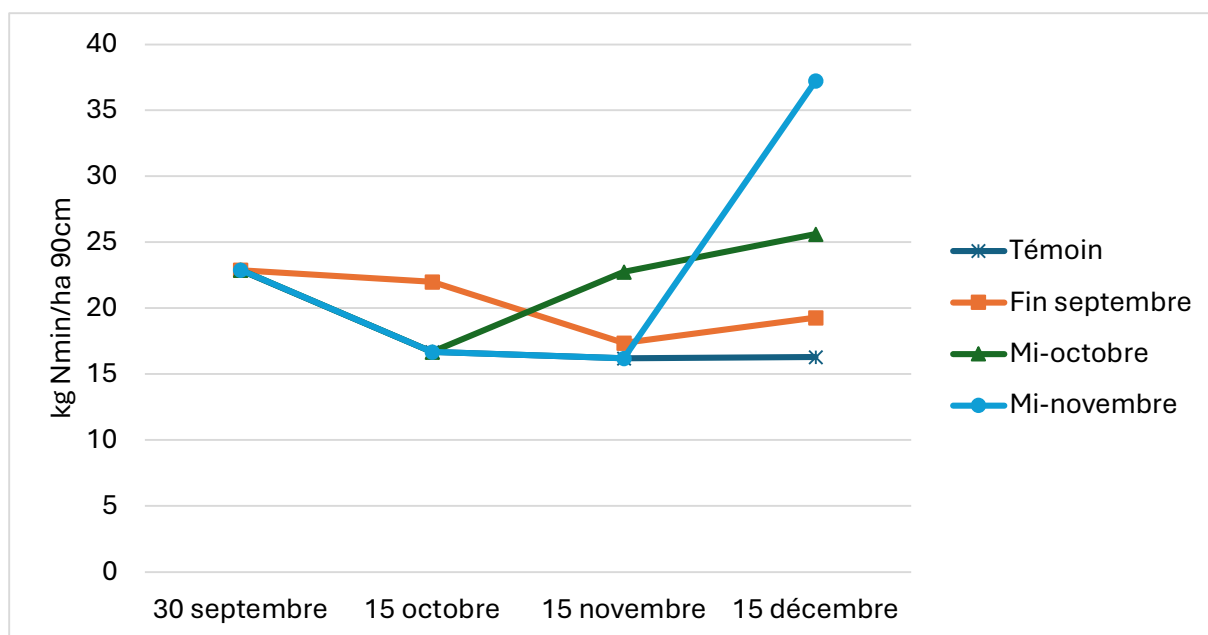


Figure 6. Évolution du reliquat azoté moyen en fonction de la modalité de fertilisation (période d'application du lisier)

Part d'azote ammoniacal

L'azote sous forme ammoniacale est généralement négligeable lors des mesures d'APL dans les parcelles en cultures arables en Moyenne Belgique. Cependant, les résultats d'analyses de N-NH₄ effectuées dans le cadre de cet essai (Figure 7) présentent en moyenne 46 % de l'azote minéral. Il y a significativement plus de N-NH₄ à la mesure de septembre, 16 kg N-NH₄/ha sur 90 cm, que lors des mesures suivantes (entre 8 et 10 kg/ha) et la quantité décroît significativement avec la profondeur (cf. annexe 1 page 12).

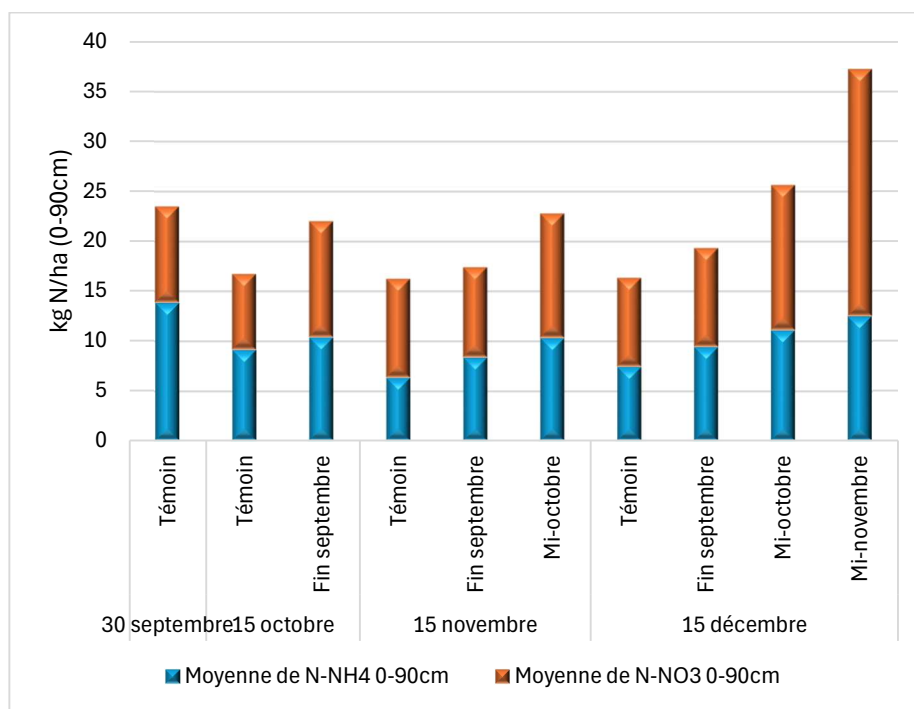


Figure 7. Reliquats d'azote minéral, nitrique et ammoniacal, mesurés dans chaque modalité en fonction de la date de prélèvement ; moyennes des cinq années d'essais avec parts d'azote nitrique et ammoniacal

Lors de la première année d'expérimentation, une mesure supplémentaire a été réalisée dans les 4 modalités le 15 février 2021, soit trois mois après le dernier apport. La mesure présente peu d'intérêt pour évaluer l'impact des traitements sur le reliquat², vu la durée et la pluviométrie cumulée (supérieure à 200 mm cumulés). Mais les résultats présentent l'intérêt de donner une image des quantités d'azote minéral en fin d'hiver et de la répartition entre les différentes formes d'azote sur les 90 cm échantillonnés :

- N-NO₃ : 18 kg/ha
- N-NH₄ : 45 kg/ha soit 71 % de l'azote minéral

On observe donc une majorité de l'azote minéral sous forme ammoniacale ce qui confirme l'hypothèse d'une minéralisation partielle de l'azote organique dû au refroidissement de la température du sol, plus défavorable aux bactéries nitrifiantes.

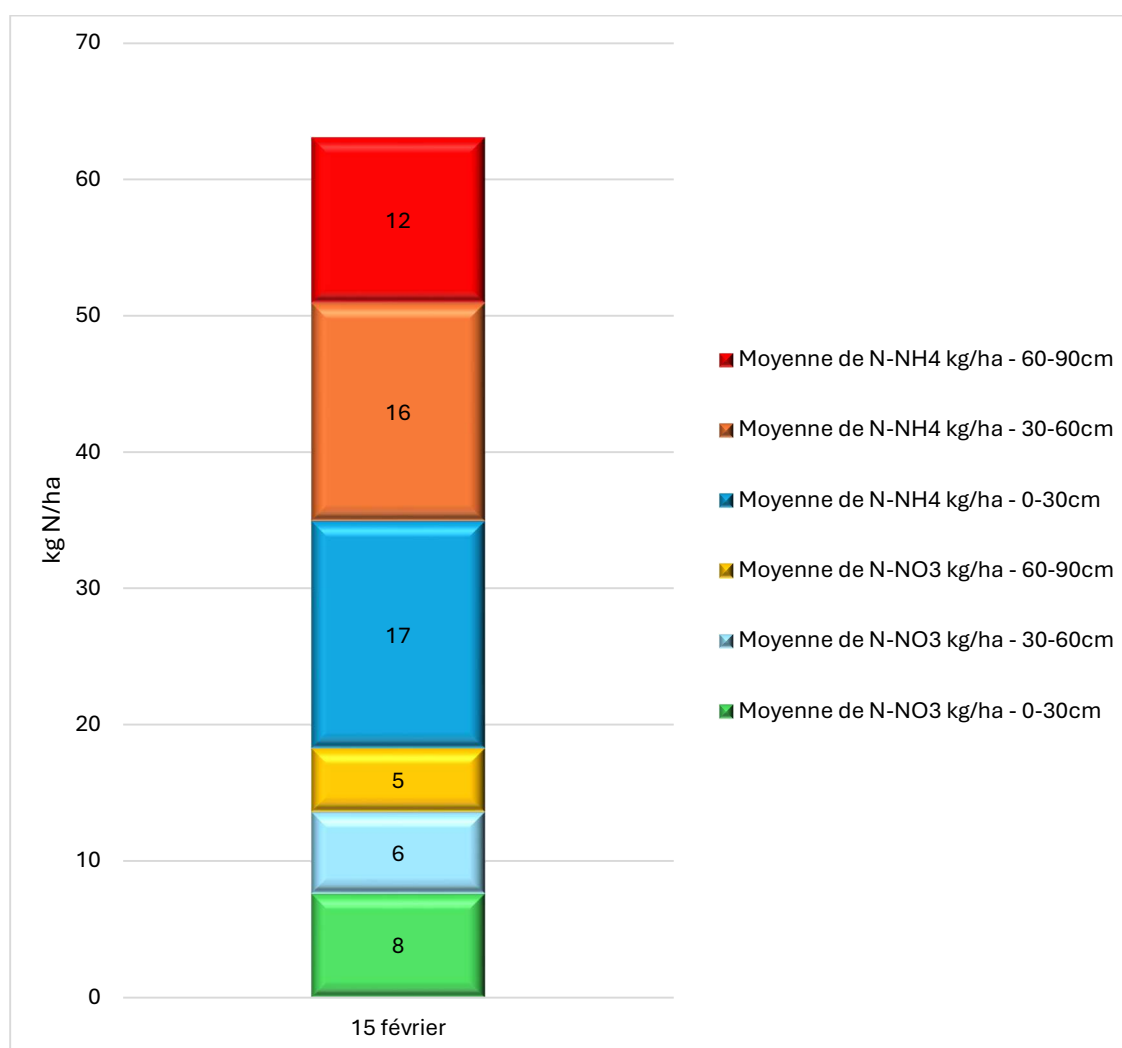


Figure 8. Reliquat mesuré le 15 février 2021, moyenne des quatre modalités et répartition des deux formes d'azote dans les trois couches de sol.

² Malgré une quantité d'azote nitrique inférieure dans les parcelles témoin, il n'y a aucune influence significative de l'application du lisier aux différentes dates sur les quantités d'azote dans les reliquats en fin d'hiver.

Azote Potentiellement Lessivable

Les mesures ont été réalisées sur 90 cm afin d'évaluer les quantités d'azote minéral ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$) présentes dans le sol en fonction des modalités appliquées. Cependant, dans la pratique, la mesure d'Azote Potentiellement Lessivable, telle que définie dans le PGDA pour la classe 8 relative aux prairies, est réalisée sur une profondeur de 30 cm et ne concerne que la part nitrique de l'azote minéral. Logiquement, on constate que la quantité ainsi évaluée est sensiblement plus faible (Figure 9) tout en présentant les mêmes différences significatives (cf. annexe 3, page 14). L'APL reflète donc correctement l'impact des pratiques sur les quantités d'azote susceptibles de lixiviation, tout en les minimisant d'un facteur compris entre deux et trois si la part ammoniacale est prise en compte (Figure 9).

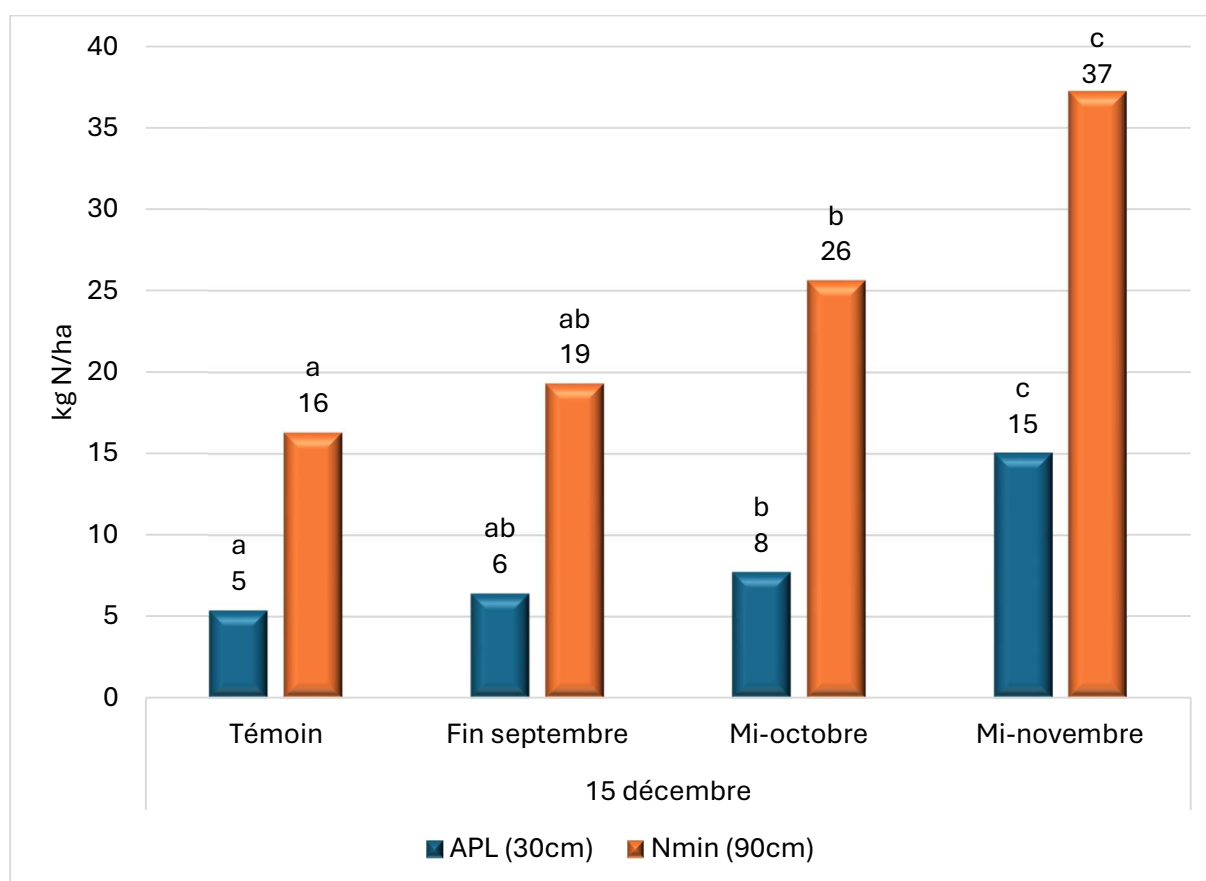


Figure 9. Comparaison de l'APL moyen et du reliquat d'azote minéral moyen, mesurés le 15 décembre pour les différentes modalités d'apport de lisier (APL : quantité d'azote nitrique sur une profondeur de 15 cm ; Nmin : quantité d'azote nitrique et ammoniacal sur une profondeur de 90 cm ; les comparaisons de moyennes sont effectuées séparément sur les deux séries)

D'une manière générale, il est intéressant de préciser que l'analyse des résultats ne permet pas de mettre en évidence un effet année sur l'évolution des reliquats mesurés en fin de période d'APL.

4. Conclusion

Les résultats de l'expérimentation menée pendant cinq saisons montrent que les apports tardifs de lisier de bovin en quantité modérée sur une prairie en bon état de production engendrent une augmentation limitée de l'azote potentiellement lessivable lorsque l'apport est réalisé mi-octobre. Du fait de la baisse des températures, les épandages effectués en novembre engendrent des reliquats significativement plus élevés augmentant ainsi le risque de lixiviation hivernale. Les essais ayant été réalisés en prairie permanente, les résultats peuvent être extrapolés aux prairies temporaires de fauche en cours d'exploitation, le recyclage de l'azote y étant plus efficace encore que dans les prairies pâturées, pour autant que la fertilisation y soit également raisonnée.

Un point d'attention ressort des mesures d'azote minéral. Le contrôle APL est réalisé sur la part nitrique du reliquat dans la première couche de 30 cm. Les analyses correspondantes sont globalement faibles sur les essais, mais la part ammoniacale (N-NH_4) dans l'ensemble des trois couches montre une quantité du même ordre de grandeur que l'azote nitrique (N-NO_3). Le contexte prairial avec teneur en matière organique élevée, vu le pâturage exclusif en prairie permanente, explique vraisemblablement la part importante d'azote qui n'est pas (encore) transformée en nitrate pendant cette période de l'année.

In fine, il est recommandé, en cas de demande de dérogation aux dates réglementaires d'épandage, de limiter la durée complémentaire autorisée à la première quinzaine d'octobre et de limiter l'apport durant cette période à 80 kg N/ha. Nous attirons toutefois l'attention sur la difficulté de contrôler les quantités épandues. Il est donc important de rappeler les bonnes pratiques en la matière, le calendrier d'épandage réglementaire visant à une optimisation agronomique et environnementale des effluents d'élevage.

5. Annexes

1. Part d'azote ammoniacal

Response N-NH4 kg/ha

Effect Summary

Source	Logworth	PValue
Profondeur	27,551	0,00000
Mesure Reliquat	7,847	0,00000

Summary of Fit

RSquare	0,352978
RSquare Adj	0,345692
Root Mean Square Error	2,38326
Mean of Response	3,330142
Observations (or Sum Wgts)	450

REML Variance Component Estimates

Random Effect	Var Ratio	Var Component	Std Error	95% Lower	95% Upper	Wald p-Value	Pct of Total
Année	0,1044029	0,5930014	0,4639607	-0,316345	1,5023477	0,2012	9,225
répétition	0,0273833	0,1555354	0,1934185	-0,223558	0,5346288	0,4213	2,419
Residual		5,6799304	0,3838141	4,9968045	6,5141718		88,356
Total		6,4284673	0,6283053	5,3550734	7,8622317		100,000

-2 Residual Log Likelihood = 2076,1427075. Note: Total is the sum of the positive variance components.

Total including negative estimates = 6,4284673

Fixed Effect Tests

Source	Nparm	DF	DFDen	F Ratio	Prob > F
Profondeur	2	2	438,0	73,5818	<,0001*
Mesure Reliquat	3	3	438,0	13,7281	<,0001*

Effect Details

Profondeur

LSMeans Differences Tukey HSD

$\alpha=0,050$ Q=2,35171

Level	Least Sq Mean	Std Error
0-30cm A	5,4664	0,46057
30-60cm B	3,3129	0,46057
60-90cm C	2,1804	0,46057

Levels not connected by same letter are significantly different.

Mesure Reliquat

LSMeans Differences Tukey HSD

$\alpha=0,050$ Q=2,57896

Level	Least Sq Mean	Std Error
Date 1 A	5,3632	0,54467
Date 4 B	3,3434	0,44944
Date 2 B	3,1543	0,48328
Date 3 B	2,7521	0,46100

Levels not connected by same letter are significantly different.

Année

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	0	5	10	15	20	25
2020	2,63073	0,3375	●					
2021	3,51767	0,3375	●					
2023	3,39018	0,3375	●					
2024	4,34133	0,3375	●					
2025	4,38623	0,3375	●					

répétition

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	0	5	10	15	20	25
1	3,39679	0,3941	●					
2	3,50619	0,3941	●					
3	4,05670	0,3941	●					

2. Reliquats en fin de période APL

Response Log(Nmin 0-90cm)

Summary of Fit

RSquare	0,634975
RSquare Adj	0,615065
Root Mean Square Error	0,297892
Mean of Response	3,098166
Observations (or Sum Wgts)	59

REML Variance Component Estimates

Random Effect	Var Ratio	Var Component	Std Error	95% Lower	95% Upper	Wald p-Value	Pct of Total
répétition	0,1046238	0,0092842	0,0139235	-0,018005	0,0365739	0,5049	6,803
Année	0,4333955	0,0384592	0,0327704	-0,02577	0,102688	0,2406	28,179
Residual		0,0887394	0,0179627	0,0618817	0,1379292		65,019
Total		0,1364829	0,038885	0,0836846	0,2615004		100,000

-2 Residual Log Likelihood = 45,874993338. Note: Total is the sum of the positive variance components.

Total including negative estimates = 0,1364829

Fixed Effect Tests

Source	Nparm	DF	DFDen	F Ratio	Prob > F
Date d'épandage	3	3	48,9	19,3332	<,0001*

Effect Details

Date d'épandage

LSMeans Differences Tukey HSD

Differences are on transformed Y's

$\alpha=0,050$ Q=2,65971

Level		Least Sq Mean	Std Error
Mi-novembre	A	34,178	0,12924
Mi-octobre	B	24,291	0,12924
Fin septembre	B C	18,842	0,13108
Témoin	C	15,610	0,12924

Levels not connected by same letter are significantly different.

Répétition

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	10	30	50
1	20,8037	0,1057			
2	21,7642	0,1057			
3	24,2604	0,1065			

* Std Errors are on transformed Y's

Année

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	10	30	50
2020	18,2017	0,0977			
2021	20,8261	0,0977			
2023	20,5420	0,0977			
2024	23,9505	0,0977			
2025	29,1043	0,1004			

* Std Errors are on transformed Y's

3. Reliquats APL

Response Log(N-NO3 kg/ha)

Summary of Fit

RSquare	0,702844
RSquare Adj	0,686924
Root Mean Square Error	0,337482
Mean of Response	1,969069
Observations (or Sum Wgts)	60

REML Variance Component Estimates

Random Effect	Var Ratio	Var Component	Std Error	95% Lower	95% Upper	Wald p-Value	Pct of Total
répétition	0,1236753	0,0140858	0,0198133	-0,024748	0,0529192	0,4771	6,016
Année	0,9319452	0,1061428	0,0817876	-0,054158	0,2664434	0,1944	45,336
Residual		0,1138938	0,0227788	0,079735	0,1759936		48,647
Total		0,2341224	0,0864095	0,1270555	0,5672815		100,000

-2 Residual Log Likelihood = 63,357124698. Note: Total is the sum of the positive variance components.

Total including negative estimates = 0,2341224

Fixed Effect Tests

Source	Nparm	DF	DFDen	F Ratio	Prob > F
Date d'épandage	3	3	50,0	21,8746	<,0001*

Effect Details

Date d'épandage

LSMeans Differences Tukey HSD

Differences are on transformed Y's

$\alpha=0,050$ $Q=2,65759$

Level	Least Sq Mean	Std Error
Mi-novembre A	12,702	0,18308
Mi-octobre B	7,007	0,18308
Fin septembre B C	5,987	0,18308
Témoin C	4,944	0,18308

Levels not connected by same letter are significantly different.

Répétition

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	10	20	30	40
1	6,52564	0,1607				
2	7,07518	0,1607				
3	7,96356	0,1607				

* Std Errors are on transformed Y's

Année

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	10	20	30	40
2020	5,9978	0,1165				
2021	6,5439	0,1165				
2023	5,6025	0,1165				
2024	6,9977	0,1165				
2025	12,2634	0,1165				

* Std Errors are on transformed Y's