

Libération d'azote après retournement de luzerne

Un effet sur deux campagnes

Suite à la destruction d'une luzernière, la minéralisation des résidus se produit durant dix-huit mois. Pour ajuster la fertilisation azotée des cultures suivantes tout en préservant l'environnement, il faut quantifier précisément ce supplément de fourniture. La mise en place d'une culture piège à nitrate est préconisée après le blé de luzerne.

En Champagne crayeuse, les cultures de luzerne sont généralement détruites en fin de seconde année de production pour implanter une culture de blé. La dernière coupe est réalisée entre mi-septembre et mi-octobre par l'usine de déshydratation. Or, le blé sera semé, au plus tôt, début octobre. Il arrive donc qu'au moment du retournement de la luzernière, les plantes aient déjà repoussé depuis quelques semaines et que la biomasse aérienne produite soit importante. Mais, la date du retournement peut tout aussi bien correspondre, à quelques jours près, avec celle du semis de blé. Par ailleurs, l'analyse de la banque de données des "reliquats d'azote minéral" du département de la Marne a mis en évidence des reliquats "sortie hiver" généralement plus élevés pour les blés implantés

après un précédent luzerne (blé de luzerne) que pour ceux ayant d'autres précédents. Les reliquats "entrée hiver" (mi-novembre) après un précédent blé issu d'un anté-précédent luzerne (soit un an après le retournement de la luzerne) sont également plus élevés. Pour pouvoir gérer correctement l'azote après un retournement de luzerne, il est donc nécessaire de quantifier précisément la libération d'azote minéral après ce retournement, d'une part, pour l'année de sa destruction, et d'autre part, pour la deuxième année (arrière effet).

Deux années de suivi sous sol nu

Une expérimentation a été conduite conjointement par l'Inra Agronomie de Reims et la Chambre d'Agriculture de la Marne, pour étudier la dynamique de libération d'azote minéral après un retourne-

ment de luzerne, en fonction du niveau de repousse des plantes à la date d'enfouissement. A cette fin, trois traitements expérimentaux ont été mis en place :

1/ Témoin : sol sans résidus végétaux, derrière un précédent betterave où les collets et verts de betterave ont été manuellement et en majeure partie exportés de la parcelle. Ce traitement a permis d'estimer la minéralisation "basale" due à la matière organique du sol, dans les conditions de l'expérimentation ;

2/ Luzerne 1 : luzerne fauchée (biomasse exportée) le jour de la mise en place de l'essai. La biomasse présente lors de l'enfouissement est composée uniquement des collets (parties aériennes non récoltée par la faucheuse qui sont essentiellement composées de tiges) et des pivots racinaires ;

3/ Luzerne 2 : traitement correspondant à une repousse de quatre semaines au jour de ↔

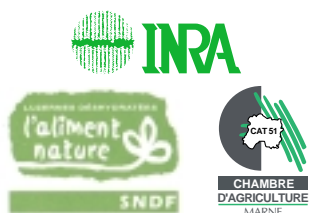
Beaucoup de biomasse et d'azote restent présents lors de la destruction d'une luzernière

Répartition de la matière sèche et de l'azote contenu dans les résidus de luzerne 1 et 2 au moment de l'enfouissement (tableau 1)

Organe de Luzerne	Matière Sèche (t/ha)	N-total (% MS)	N enfoui (kg N/ha)
Racines (0-20 cm)	4.91	1.59	78
Racines (> 20 cm)*	1.63	1.59	25
Collets (tiges < 6 cm)	3.10	1.99	61
Total Luzerne 1	9.64		165
Tiges et feuilles récoltées (> 6 cm)	1.49	4.54	68
Total Luzerne 2	11.13		233

*La part de racines présentes dans les horizons sous-jacents à 20 cm a été estimée à 25 % des racines présentes sur l'horizon 0-20 cm (horizon de mesure).

E. Justes, P. Thiébeau (INRA)
G. Cattin (CA 51)
D. Larbre (CA 51,
Syndicat National des Déshydrateurs de France) (SNDF)
B. Nicolardot (INRA)





En Champagne Crayeuse, les luzernières sont en général retournée après deux ans de production pour implanter une culture de blé, mais elles libèrent durant encore deux ans de l'azote dont il faut tenir compte dans sa fertilisation

⇨ l'incorporation. La biomasse de la repousse des parties aériennes est enfouie avec les collets et les pivots racinaires. Après enfouissement, ces trois traitements ont été conduits en sol nu, c'est-à-dire en absence totale de végétation, d'octobre 1997 à juillet 1999 (20 mois) sur un essai implanté à Saint-Hilaire-le-Grand (Marne), à partir d'une luzerne âgée de 2 ans. La luzernière a été détruite le 7 octobre 1997 par deux passages croisés de rotavator.

Le modèle Lixim pour calculer la minéralisation

Des prélèvements de sol ont été réalisés mensuellement sur une profondeur de 1 m, à raison de huit carottes de sol par traitement et par bloc répétition. Les prélèvements de sol sont découpés en quatre horizons de 25 cm ; le premier horizon (0-25 cm) correspondant à la couche travaillée (rendzine grise sur craie remaniée). Ces prélèvements ont permis de suivre l'évolution de l'azote minéral (nitrate et ammonium) et de l'humidité du sol. Le calcul de la minéralisation d'azote du sol a été réalisé à l'aide du modèle de

calcul Lixim (version 4.0 ; Mary et al., 1999) pour chacun des trois traitements (encadré 1). La minéralisation d'azote provenant des résidus de luzerne enfouis (effet net) est obtenue par différence entre la quantité d'azote minéralisé mesurée pour les traitements luzerne 1 ou 2 et celle du témoin.

Beaucoup d'azote retourne au sol via les résidus

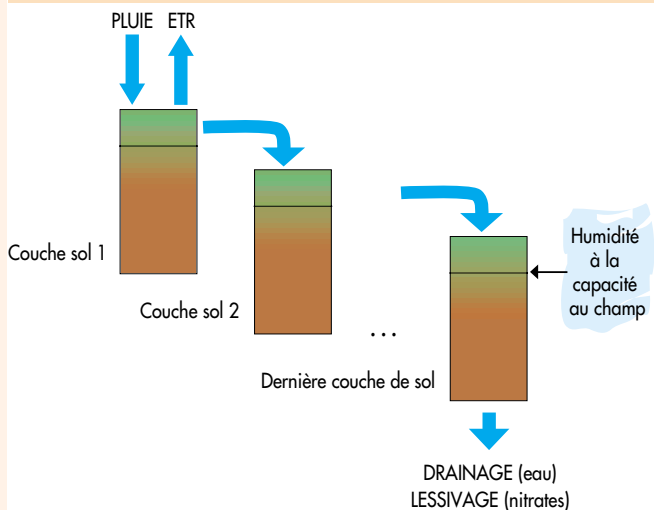
Les quantités de biomasse et d'azote incorporées dans le sol lors de la destruction d'une luzernière sont très importantes (tableau 1). En effet, elles ont été de 9,6 t matière sèche (MS) ha⁻¹ pour la luzerne 1, et de 11,1 t MS ha⁻¹ pour la luzerne 2. Ainsi, les quantités d'azote enfouies ont été de 165 kg N ha⁻¹ pour la luzerne 1 et de plus de 230 kg N ha⁻¹ pour la luzerne 2. La biomasse racinaire a représenté environ les deux tiers des quantités de matière sèche et d'azote enfouies de la luzerne 1. Enfin, pour la luzerne 2, les parties aériennes récoltables étant très riches en azote, même si la biomasse aérienne ayant repoussée était modeste (1,5 t MS ha⁻¹), les quantités d'azote

Le modèle Lixim fonctionne en quatre étapes

Lixim utilise les données journalières climatiques de pluie et d'ETP et les différents points de mesure d'azote minéral et d'humidité du sol. Ce modèle minimise simultanément les écarts entre les profils d'eau et d'azote mesurés et simulés, en ajustant le rapport ETR/ETP et la vitesse de minéralisation du sol entre deux dates de mesure (D1 et D2). Il procède en quatre étapes :

- 1 – Ajuste l'évaporation réelle du sol nu (rapport $k = ETR/ETP$) en fonction du transfert d'eau ; mais on peut aussi imposer l'ETR si on connaît le coefficient k .
- 2 – Calcule le transfert d'eau sur l'ensemble du profil de sol et le drainage en dessous du dernier horizon mesuré (ici sous 1 m), sur le principe d'un modèle à réservoirs où l'eau est transférée vers l'horizon inférieur quand l'humidité à la capacité au champ est atteinte (schéma ci-dessous).
- 3 – Calcule le lessivage des nitrates (L) en dessous du profil de mesure (dans notre cas sous 1 m), en considérant un mélange homogène des nitrates dans la solution du sol avant le transfert vers la couche inférieure.
- 4 – Déduit la minéralisation du sol nu considéré (m) entre deux dates de mesures selon l'équation suivante : $m = ND2 - NDI + L$ (ND2 et NDI étant les quantités d'azote mesurées sur l'ensemble du profil à la date D2 et D1 respectivement).

Schéma de fonctionnement du modèle à réservoirs de Lixim (transfert d'eau)



incorporées ont été élevées (68 kg N ha⁻¹).

Une minéralisation d'azote continue à toutes les saisons

L'évolution des quantités d'azote nitrique mesurées (sur 1 m de profondeur) et les

simulations réalisées avec le modèle Lixim sont en très bon accord pour les trois traitements expérimentaux (figure 1). Ceci permet de penser que la minéralisation calculée pour chaque traitement sera correctement estimée et que les résultats obtenus sont fiables. Au cours des 20 mois de ⇨



La dynamique de libération d'azote minéral après un retournement de luzerne, varie en fonction du niveau de repousse des plantes à la date d'enfouissement.

a été d'environ 340 kg N ha⁻¹, et celle de la luzerne 2 de près de 400 kg N ha⁻¹, ce qui est considérable. Ainsi, malgré les températures hivernales ou les périodes sèches de l'été, la minéralisation de la matière organique du sol ou des résidus végétaux enfouis ne s'arrête pas, contrairement à ce qui est communément admis. La dynamique de minéralisation est néanmoins ralentie au cours de l'hiver, notamment à partir de novembre 1998 (figure 2).

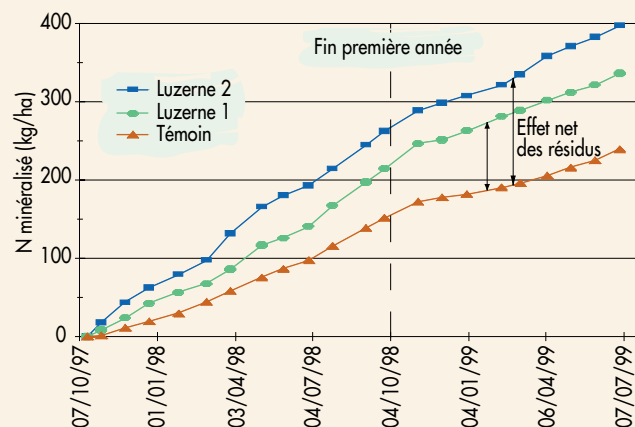
La libération nette d'azote se prolonge longtemps

⇨ mesures, la minéralisation cumulée d'azote par les trois traitements a été continue, quelle que soit la saison traversée (figure 2). La minéralisation "basale" du sol (témoin) a été de 240 kg N ha⁻¹, ce qui correspond à une minéralisation nette annuelle du sol de près de 150 kg N ha⁻¹. La minéralisation cumulée de la luzerne 1

La libération nette des deux traitements luzerne 1 et 2 s'est produite dès les premiers jours qui ont suivi le retournement de la luzernière (figure 3). Ainsi, deux mois après le retournement, ce sont environ 20 et 40 kg N ha⁻¹ qui ont été minéralisés respectivement en provenance des résidus de luzerne 1 et 2. Au 28 février

La minéralisation cumulée d'azote est continue, même l'hiver

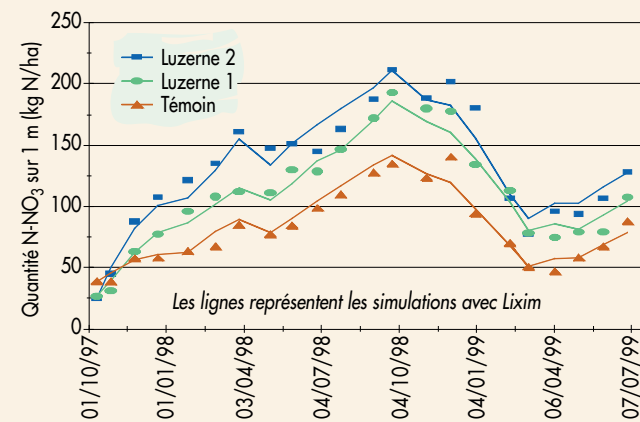
Minéralisation cumulée d'azote (kg N/ha) des trois traitements expérimentaux durant toute la durée de l'expérimentation (figure 2)



La minéralisation du sol est continue, sans arrêt durant l'hiver. Elle a été au total de 240 kg N/ha pour le sol témoin (soit une minéralisation annuelle basale du sol due à l'humus de 150 kg N/ha/an) et de 330 et 400 kg N/ha respectivement pour la luzerne 1 et 2, imputable à la libération d'azote provenant des résidus de luzerne.

Le modèle Lixim s'ajuste correctement aux mesures d'azote du sol

Evolution de la quantité d'azote nitrique (kg N/ha) des trois traitements expérimentaux durant toute la durée de l'expérimentation (figure 1)



Cette évolution sous sol nu après enfouissement est due à la fois aux phénomènes de minéralisation d'azote de l'humus du sol et des résidus de luzerne, mais aussi au lessivage des nitrates sous l'horizon de mesure (1 m), ce qui explique la diminution des quantités d'azote minéral durant la période de drainage. Les simulations réalisées avec le modèle Lixim sont très satisfaisantes (proches des mesures).

1998, date correspondant à la mesure du reliquat "sortie hiver", l'effet net est respectivement de 26 et 57 kg N ha⁻¹ pour la luzerne 1 et 2. Enfin, mi-juillet 1998, date correspondant à la fin d'absorption d'azote de la culture de blé suivante, ce sont respectivement près de 51 et 98 kg N ha⁻¹ qui ont été libérés.

En conséquence, l'effet net des résidus de luzerne 1 et 2 qui doit être pris en compte pour le calcul de la fertilisation azotée du blé (effet net du précédent : minéralisation cumulée d'azote entre le reliquat "sortie hiver" et le reliquat "récolte") a été respectivement de 25 et 41 kg N ha⁻¹; ce qui est cohérent par rapport aux préconisations du logiciel de fumure azotée "AZOBIL" (effet précédent luzerne de +30 kg N ha⁻¹).

Cette minéralisation s'est prolongée durant les 17 mois qui ont suivi l'enfouissement, indiquant un arrière effet significatif jusqu'au printemps

1999 puisque, entre mi-juillet 1998 et fin mars 1999, ce sont 45 et 60 kg N ha⁻¹ supplémentaires qui ont été libérés, respectivement pour la luzerne 1 et 2. Par contre, durant les trois derniers mois de l'expérimentation, les résidus de luzerne n'ont plus libéré d'azote minéral, l'effet net s'est donc estompé. Cet arrière effet sera donc presque totalement pris en compte lorsque l'on mesurera le reliquat "sortie hiver" en deuxième année à une date adaptée (fin février au plus tôt). La libération totale d'azote a été finalement de 96 kg N ha⁻¹ pour la luzerne 1 et de 158 kg N ha⁻¹ pour la luzerne 2, correspondant respectivement à une libération de 58 % et 68 % de l'azote contenu dans les résidus de luzerne enfouis au début de l'expérimentation.

Cette libération n'est donc pas intempestive mais régulière sur une longue période, comme l'avait déjà suggéré l'étude des fuites de nitrates ⇨

↳ après retournement de luzerne en cases lysimétriques (Beaudoin et al., 1992 ; Muller et al., 1993).

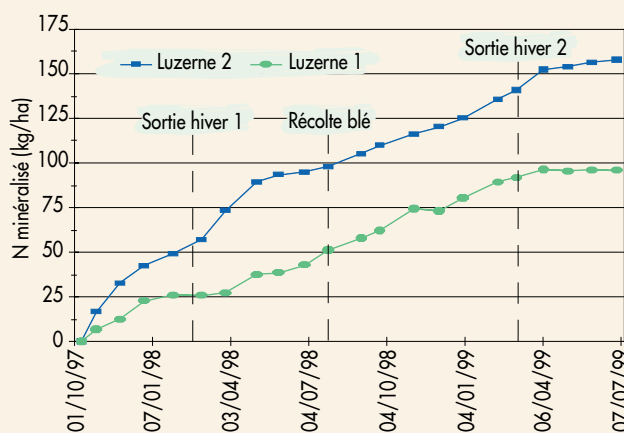
On constate qu'au cours du premier hiver qui suit sa destruction, la minéralisation de la luzerne 2 est plus importante que la luzerne 1, cette différence persistant par la suite. Ce phénomène est conforme à ce que l'on attendait, puisque les feuilles et tiges issus de la repousse sont des tissus jeunes et riches en azote (teneur en azote 2,8 fois supérieure à celles des racines) (tableau 1), et donc facilement dégradables par la microflore du sol, ce qui a induit une libération nette d'azote plus rapide que pour les collets et les racines.

Piéger les nitrates après un blé de luzerne

L'importance de l'arrière effet impose de préconiser la mise en place d'un couvert végétal pendant la période d'interculture suivant le blé de luzerne afin de piéger cet azote minéral supplémentaire, et cela, même si l'interculture est courte (sauf si un colza est semé précocement). Une crucifère culture intermédiaire piège à nitrates (moutarde,

La libération nette démarre très vite

Minéralisation nette cumulée d'azote (kg N/ha) provenant des résidus de luzerne (effet net) (figure 3)



Le premier blé après retournement de luzerne bénéficie d'un supplément de minéralisation de 20 à 40 kg N/ha à la date du reliquat sortie hiver (respectivement pour la luzerne 1 et 2), puis encore de 25 à 40 kg N/ha (entre le reliquat sortie hiver et la récolte = effet net AZOBIL). Enfin, après blé de luzerne, ce sont 45 à 60 kg N/ha supplémentaires qui seront libérés jusqu'au printemps suivant, l'effet s'estompant ensuite.

radis) sera alors bien adaptée pour absorber la minéralisation estivale et automnale du sol et ainsi limiter les fuites de nitrates par lessivage. Cette préconisation est d'autant plus justifiée en deuxième année que c'est généralement une "deuxième paille", voire même une orge de brasserie semée au printemps suivant, qui est implantée après un blé de luzerne.

Ce qu'il faut retenir

Pour limiter les quantités d'azote à gérer après un retournement de luzerne, il faut empêcher la luzerne de repousser après la dernière coupe qui précède sa destruction. L'effet net provenant des résidus de luzerne se produit rapidement après enfouissement indiquant la nécessité, d'une part, de mesurer le reli-

quat "sortie hiver" pour le maximum de parcelles et, d'autre part, de tenir compte d'un effet net de 25 à 40 kg N ha⁻¹ (selon le niveau de repousse avant retournement) pour l'ajustement de la fertilisation azotée de la culture suivante. Compte tenu de l'arrière effet se produisant jusqu'au deuxième printemps, il est également recommandé de mesurer systématiquement le reliquat "sortie hiver" pour les parcelles ayant eu un anté-précédent luzerne afin d'ajuster aussi précisément que possible la fertilisation azotée de la culture suivante. Enfin, en vue de mieux respecter l'environnement, il est fortement souhaitable qu'une culture intermédiaire piège à nitrates soit implantée durant la période d'interculture qui suit le blé de luzerne. ■



Pour en savoir plus

- Beaudoin N, Denys D, Muller JC, Monbrun MD, 1992. Influence d'une culture de luzerne sur le lessivage du nitrate dans les sols de Champagne crayeuse. *Fourrages*, 129, 45-57.
- Mary B, Beaudoin N, Justes E, Machet JM, 1999. Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soil using a simple dynamic model. *European Journal of Soil Science*, 50, 549-566.
- Muller JC, Denys D, Thiébeau P, 1993. Présence de légumineuses dans les successions de cultures : luzerne et pois cultivés purs ou en association, influence sur la dynamique de l'azote. In : *Matières organiques et agricultures*, Ed. Decroux J et Ignazi JC, Congrès GEMAS-COMIFER, Blois, 83-92.

La dernière coupe de luzerne est réalisée entre mi-septembre et mi-octobre par l'usine de déshydratation. Les quantités de biomasse et d'azote incorporées dans le sol lors de la destruction d'une luzernière sont très importantes, jusqu'à 11 t de matière sèche par hectare.

