

# Effets d'apports de lisier de porcs sur la production d'une luzerne et la dynamique de l'azote du sol

P. Thiébeau<sup>1</sup>, D. Larbre<sup>2,4</sup>, J. Usunier<sup>3</sup>,  
G. Cattin<sup>4</sup>, V. Parnaudeau<sup>1</sup>, E. Justes<sup>5</sup>

**L'alimentation azotée de la luzerne est assurée par la fixation symbiotique et par l'azote minéral du sol. L'épandage d'effluents azotés parfois pratiqué sur les surfaces de luzerne soulève des questions : quel en est l'impact sur le stock d'azote du sol et sur les risques de fuites de nitrates par lixiviation ?**

## RÉSUMÉ

*Sur une luzerne exploitée 4 fois par an, on a comparé 2 niveaux d'apports de lisier de porcs (37 et 74 m<sup>3</sup>/ha/an), appliqués après les 3 premières coupes de la luzerne, à un témoin sans apport (T0). En année climatique normale, la production de matière sèche de la luzerne avec lisier est significativement supérieure au témoin, tout en présentant une qualité protéique similaire. La dynamique de l'azote du sol sous la luzerne montre que cette culture absorbe, en un cycle d'environ 42 jours, l'azote disponible dans le sol apporté par le lisier. Néanmoins, le bilan d'azote indique que le coefficient d'efficacité moyen de l'azote du lisier n'est que de 39%, la plus mauvaise efficacité étant obtenue en été, après la 3<sup>e</sup> coupe. Nous préconisons donc de supprimer ce 3<sup>e</sup> apport de lisier et de limiter les fractionnements de l'apport total aux 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> repousses de luzerne afin i) de minimiser les pertes d'azote ammoniacal et ii) d'éviter les excédents d'azote dans l'horizon 0-30 cm en fin d'année culturale.*

## MOTS CLÉS

Azote, bilan d'azote, Champagne-Ardenne, évolution, fertilisation azotée, fertilisation organique, lisier, lessivage, luzerne, production fourragère, porcin, protéine, sol.

## KEY WORDS

Nitrogen, Champagne-Ardenne, evolution, forage production, leaching, luzerne, nitrogen balance, nitrogen fertilization, organic fertilization, protein, soil, slurry, swine.

## AUTEURS

- 1 : INRA Unité d'agronomie de Laon-Reims-Mons, F-51686 Reims.
- 2 : Syndicat National des Déshydrateurs de France (SNDF), F-75000 Paris.
- 3 : Chambre d'Agriculture de la Marne, F-51009 Châlons-en-Champagne.
- 4 : Chambre d'Agriculture de la Marne, F-51686 Reims.
- 5 : INRA UMR Agrosystèmes Cultivés et Herbagers, F-31326 Castanet-Tolosan.

## CORRESPONDANCE

P. THIEBEAU, INRA, 2, Esplanade R. Garros, F-51686 Reims cedex 2 ; thiebeau@reims.inra.fr

S'intéresser à la gestion de l'azote pendant la culture d'une luzerne peut paraître surprenant. En effet, cette plante appartient à la famille des légumineuses, ce qui signifie que grâce à sa symbiose avec *Rhizobium meliloti*, qui lui permet de fixer l'azote de l'air, la nutrition azotée de cette plante n'est généralement pas un facteur limitant de sa croissance. Cependant, plusieurs travaux indiquent que la luzerne prélève préférentiellement l'azote du sol avant d'utiliser le produit de sa symbiose (WERY *et al.*, 1986 ; BEAUDOIN *et al.*, 1992 ; MULLER *et al.*, 1993). D'où l'émergence d'idées tendant à **utiliser les surfaces cultivées en luzerne pour gérer les excédents d'effluents d'élevage** générés par la présence d'ateliers hors sol. Mais en l'absence de références vis-à-vis de la gestion et des quantités d'azote maximales que la luzerne est susceptible d'absorber, **cette pratique peut constituer un risque pour l'environnement**. C'est pourquoi, les objectifs de ce travail ont été, d'une part, d'étudier la dynamique de l'azote du sol sous une luzernière soumise à des apports d'effluents d'élevage, riches en azote, pour vérifier les capacités de cette culture à absorber en priorité l'azote du sol ; d'autre part, de vérifier l'incidence de ces apports sur la production de la luzerne.

## Matériels et méthodes

### 1. Dispositifs expérimentaux

L'étude a été réalisée à l'aide de **2 expérimentations, conduites selon le même dispositif expérimental** mais implantées respectivement en été 1991 et 1992 sur deux parcelles différentes d'une même exploitation. Dans les 2 situations expérimentales, la luzerne a été implantée sur une rendzine grise sur craie en place. Chaque dispositif comprenait 4 blocs répétitions. Les parcelles élémentaires de chaque bloc avaient une surface de 60 m<sup>2</sup> (6 m x 10 m).

Le suivi expérimental a concerné **les deux années de production des luzernes (A1 et A2)**, soit respectivement **1992 et 1993 pour la première expérimentation (E1)** et **1993 et 1994 pour la seconde (E2)**. Les traitements comparés étaient :

- une luzerne sans apport de lisier, qui était notre **témoin (T0)** ;
- une luzerne recevant une dose simple de lisier de **37 m<sup>3</sup>/ha après chaque coupe**, correspondant à un apport annuel d'azote d'environ 250 kg/ha (**L1**) ;
- une luzerne recevant une dose double de lisier de **74 m<sup>3</sup>/ha après chaque coupe**, correspondant à un apport annuel d'azote d'environ 500 kg/ha (**L2**) ;

Ces apports d'azote sont conséquents, mais justifiés par les valeurs du coefficient direct d'efficacité de l'azote du lisier souvent estimé au mieux à 0,5 avec cette pratique d'épandage (CARLOTTI, 1992).

## 2. Caractéristiques des cultures de luzerne recevant l'apport de lisier

La luzerne (cv. Résis, 30 kg/ha) a été implantée après un escourgeon (paille enfouie), au mois de juillet (A0) qui est la période optimale des semis d'été de luzerne dans cette région. L'exploitation de la luzerne a débuté l'année suivante, au rythme de 4 coupes par an pendant 2 ans. Le calendrier de récolte des luzernes est déterminé par celui de l'usine de déshydratation qui assure la récolte des champs sur lesquels ces essais sont mis en place. La première coupe est intervenue au cours de chaque première quinzaine de mai, et l'intervalle moyen entre coupe a été de 43 jours ( $\pm 2$  j).

## 3. Caractéristiques des lisiers utilisés

Le lisier, issu de porcs à l'engraissement, a été épandu en surface après les 1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> coupes de luzerne. La 4<sup>e</sup> coupe n'a pas été suivie d'épandage. L'épandage a été réalisé à l'aide d'une citerne disposant d'une rampe de 6 m de largeur composée de 8 buses espacées de 70 cm. La bonne régularité d'application a été contrôlée latéralement et longitudinalement à l'aide de bacs positionnés sur le sol, sous le passage des buses et entre les buses. Un prélèvement de lisier a été réalisé dans la lagune de stockage avant chaque date d'apport, après l'agitation du produit qui précède son pompage dans la citerne d'épandage, pour analyse. La fraction  $\text{NH}_4$  n'a pas été mesurée dans le cadre de ces essais. Néanmoins, une campagne d'analyses de lisier réalisée dans le département de la Marne en 1991 a montré que cette fraction représentait en moyenne 80% de l'azote total.

Les densités du lisier sont restées stables au cours de la période d'étude (1 007 à 1 009 g/l). En revanche, la matière sèche du produit a évolué significativement entre 1992 (11,74 g/kg,  $\pm 1,73$ ) d'une part, et 1993-1994 d'autre part (respectivement 17,70 g/kg ( $\pm 2,03$ ) et 20,20 g/kg ( $\pm 1,41$ )). La différence de teneur en matière sèche s'est traduite par une augmentation significative de la teneur en azote total allant de 2,12 g/kg ( $\pm 0,01$ ) en 1992 à 2,47 g/kg ( $\pm 0,09$ ) en 1993 et 2,44 g/kg ( $\pm 0,13$ ) en 1994. En outre, lors de la première expérimentation (1992-1993), les quantités d'azote apportées sur la luzerne en A1 (1992) variaient peu entre les 3 apports, alors que pour les autres apports, il y avait une décroissance des quantités d'azote apportées du printemps à l'été. Sur la totalité des apports de lisier réalisés sur la luzerne, **le traitement L1 a reçu une quantité totale d'azote variant de 237 ( $\pm 1$ ) à 308 ( $\pm 11$ ) kg/ha/an** au cours des 2 expérimentations, tandis que le traitement L2 a reçu une quantité totale d'azote variant **de 473 ( $\pm 2$ ) à 617 ( $\pm 22$ ) kg/ha/an**, ce qui constitue des quantités importantes.

## 4. Conditions climatiques et drainage

**En 1992**, les orages du printemps et de l'été ont conduit à une reprise du drainage à 2 m de profondeur sous la case lysimétrique "sol

nu" (de début juin à mi-juillet), à la station INRA de Châlons-en-Champagne, mais pas sous celles comportant une culture de blé. La pluviométrie annuelle de 600 mm est restée proche de la moyenne pluviométrique (645 mm).

**En 1993, la pluviométrie a été déficitaire** de 195 mm du mois de février au mois d'août inclus, représentant plus de 50% de la pluviométrie moyenne de cette période pendant laquelle la luzerne est récoltée 3 fois. La pluviométrie annuelle (562 mm) a été déficitaire de 80 mm. Le drainage sous les cases lysimétriques a été interrompu le 15 mars sous cultures de blé, pour reprendre à la mi-décembre. Cette climatologie a été moins favorable que celle de 1992 à la croissance des plantes dont l'enracinement reste superficiel, ce qui n'est pas le cas de la luzerne qui peut utiliser les réserves profondes du sol.

**En 1994, la pluviométrie a été conforme aux normales** saisonnières pluviométriques ; de même que les dates d'arrêt et de reprise de drainage observées sous les cases lysimétriques de Châlons-en-Champagne.

Nous retenons que, dans cette région de France, pendant la campagne d'exploitation des luzernes, de la seconde quinzaine d'avril à la première quinzaine d'octobre, le drainage est arrêté sous les cultures de blé dont l'enracinement n'est pas aussi profond que celui de la luzerne, et dont le cycle végétatif est plus court ; cela nous permet de supposer que le drainage a été absent en phase végétative de la luzerne au cours de cette étude.

## 5. Variables mesurées

### ■ Estimation de la matière sèche produite et de la teneur en protéine de la luzerne

La production de matière sèche aérienne exportable (MSA) de la luzerne a été estimée sur les 2 essais pendant les 2 années d'exploitation de chaque luzerne. La récolte a été réalisée par un passage de récolteuse d'essai automotrice, correspondant à une surface de 12,6 m<sup>2</sup> par parcelle. Un échantillon aliquote de luzerne a été prélevé sur chaque parcelle, pour détermination de la teneur en matière sèche (48 h à 80°C) et de la teneur en azote total par la méthode Kjeldhal. La teneur en protéines est obtenue en multipliant la teneur en azote total par 6,25.

### ■ Suivi de la dynamique de l'azote sous les traitements expérimentaux

#### • Suivi sur 0-60 cm de profondeur pendant la période végétative

Les prélèvements de sol pour la détermination des quantités d'azote minéral sont réalisés à partir de la première coupe de luzerne, de façon hebdomadaire. Lors de chaque coupe de luzerne, l'apport de lisier est réalisé après les prélèvements de sol servant au suivi de l'azo-

te minéral. La profondeur de prélèvement est de 60 cm, par horizon de 30 cm. Quatre prélèvements sont réalisés, à raison d'un carottage par bloc répétition. Les échantillons d'un même traitement sont ensuite mélangés entre eux par horizon.

#### • Suivi sur 210 cm de profondeur au début et en fin de période végétative

Pour chaque expérimentation, des profils d'azote minéral ont été réalisés sur 210 cm de profondeur par horizon de 30 cm, au début et en fin de période végétative.

Pour le premier prélèvement effectué en A1, 3 profils distants de 1 m ont été réalisés à 2 endroits distants d'environ 40 m. Les échantillons des 3 carottages d'un même emplacement ont alors été mélangés entre eux par horizon correspondant. Les deux emplacements ont alors fait l'objet d'un dosage de l'azote minéral séparément.

Lors des prélèvements suivants, la procédure de prélèvement a été la même que celle décrite précédemment pour le suivi hebdomadaire sur 60 cm. En l'absence de drainage pendant la période végétative de la luzerne, ces profils doivent permettre de vérifier l'effet des apports de lisier sur les quantités d'azote minéral du sol en profondeur.

## Résultats et discussion

### 1. Matière sèche et protéines produites par la luzerne

Au cours de l'expérimentation 1, aucune différence significative de production de matière sèche ou de protéines de la luzerne ne permet de différencier les traitements avec ou sans lisier, en première comme en deuxième année de production, alors que l'expérimentation 2 montre des différences lors des deux années de production (tableau 1). Cependant, les teneurs pondérées en protéines du fourrage récolté ne sont pas significativement différentes.

La quantité d'azote exportée par les témoins T0 de ces essais est de 31 à 35 kg/t MS, ce qui est légèrement supérieur à la référence communément admise de 30 kg/t de matière sèche.

TABLEAU 1 : Productions totales de matière sèche aérienne et de protéine de la luzerne (et erreurs standard) au cours de chaque année d'exploitation (A1 et A2) des 2 expérimentations (E1 et E2).

TABLE 1 : *Total yields of above-ground dry matter and of protein of lucerne (with standard errors) during each of the two harvest years (A1 and A2) in both trials (E1 and E2).*

Années de récolte		1992 et 1993 (E1)		1993 et 1994 (E2)	
		1992 (A1)	1993 (A2)	1993 (A1)	1994 (A2)
Matière sèche (t/ha)	T0	16,74 ± 0,35	16,25 ± 0,23	16,95 ± 0,26 <sup>B</sup>	14,82 ± 0,05 <sup>C</sup>
	L1	16,90 ± 0,30	16,94 ± 0,38	17,14 ± 0,26 <sup>B</sup>	16,18 ± 0,25 <sup>B</sup>
	L2	16,95 ± 0,21	16,81 ± 0,39	18,57 ± 0,62 <sup>A</sup>	18,06 ± 0,20 <sup>A</sup>
Protéines (t/ha)	T0	3,42 ± 0,07	3,18 ± 0,05	3,66 ± 0,06 <sup>B</sup>	2,92 ± 0,01 <sup>C</sup>
	L1	3,47 ± 0,06	3,39 ± 0,08	3,55 ± 0,05 <sup>B</sup>	3,18 ± 0,06 <sup>B</sup>
	L2	3,48 ± 0,04	3,40 ± 0,08	3,98 ± 0,14 <sup>A</sup>	3,67 ± 0,03 <sup>A</sup>
Teneur pondérée en protéines (%)	T0	20,4	19,6	21,6	19,7
	L1	20,5	20,0	20,7	19,6
	L2	20,5	20,2	21,4	20,3

A, B, C : classement en groupe homogène selon le test de Newman et Keuls (p<0,05), lorsque des différences significatives sont décelées lors des analyses de variance

En 1992 et 1993, l'apport de lisier n'a pas amélioré le statut azoté de la luzerne, ce qui explique que la production est identique entre T0 et L1-L2. En revanche, on peut supposer que l'alimentation hydrique a été un peu limitante en 1992. En effet, les simulations de production réalisées avec le modèle développé par COULMIER (1990) en Champagne-Ardenne indiquent, pour le rayonnement et la température de l'air de cette année, que la production potentielle est de l'ordre de 17,6 t/ha, alors que la moyenne de matière sèche annuelle observée a été de 16,8 t/ha.

En 1994, la pluviométrie ayant été conforme à la moyenne pluviométrique annuelle, tant en quantité que dans sa distribution annuelle, l'azote apporté a pu être à la disposition de la luzerne avec plus d'efficacité. Ainsi, le traitement L1 a produit autant de fourrage que ce que prévoyait le modèle de COULMIER (1990), et le traitement L2 a produit 10% de fourrage de plus. La production du traitement témoin, de 8% inférieure à la production du modèle, laisse supposer que l'alimentation azotée de la luzerne a pu être limitante pour la production, ce que nous a confirmé une analyse de la production d'azote exportée coupe par coupe en comparaison au modèle de LEMAIRE et al. (1985) dont les résultats ne sont pas présentés ici.

Ces résultats sont à analyser au regard de ceux obtenus par différents auteurs. Ainsi, CRUZ et LEMAIRE (1986) ont bien montré un effet significatif d'un apport d'azote (150 et 300 kg N/ha/an d'ammonitrate) sur la production de fourrage d'une luzerne, par rapport à un témoin, pour des peuplements de luzerne irrigués. Les auteurs interprètent cet effet par une limitation de la fixation symbiotique lors de périodes de forte croissance en été. Cependant, SPALLACCI et al. (1996), en l'absence de contrainte hydrique, n'ont observé aucun effet dû à des apports de lisier de porc (150 à 600 kg N/ha/an) et d'engrais minéral (150 à 300 kg N/ha/an), tant sur la quantité de fourrage produite que sur la quantité d'azote exporté par la luzerne. Néanmoins, lors de ces différents travaux, les modalités de répartition des apports d'azote ont été différentes, notamment pour SPALLACCI et al. (1996) dont un premier apport de 20% a été appliqué en fin d'automne.

## 2. Dynamique de l'azote du sol et fuites potentielles de nitrate

Par souci de concision, nous présentons **uniquement les résultats de l'expérimentation 2, pour laquelle des différences significatives de production de matière sèche aérienne et de quantité de protéines ont été mises en évidence**, notamment en A2 ; mais les mêmes tendances sont observées sur la première expérimentation.

### ■ Suivi sur 0-60 cm de profondeur pendant la période végétative

L'évolution hebdomadaire de la quantité d'azote minéral (nitrate et ammonium) présent dans le sol sous la luzerne, jusqu'à 60 cm de

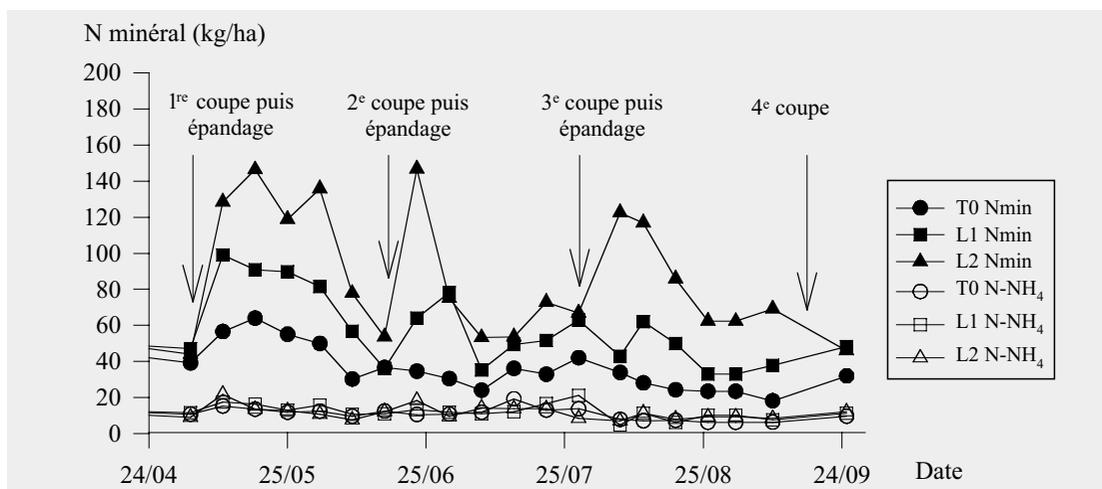


FIGURE 1 : **Dynamique de l'azote minéral du sol et de sa fraction ammonium sous la luzerne (0-60 cm) de l'expérimentation E2 soumise à des apports de lisier de porcs aux 3 premières coupes (L1 ou L2), en 2<sup>e</sup> année d'exploitation (A2), par rapport à un traitement témoin (T0).**

FIGURE 1 : **Nitrogen balance** (soil mineral N and  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) in the 0-60 cm soil layer calculated in the second harvest year (A2) after the third cut, in the two treatments with slurry (L1 and L2) in comparison with the control (T0).

profondeur, différencie bien les 3 traitements (figure 1). Ce suivi montre que le stock d'azote disponible dans le sol une semaine après l'épandage de lisier a augmenté significativement par rapport à la situation observée avant l'épandage. On constate que ce stock d'azote minéral diminue lors des prélèvements hebdomadaires suivants, pour se retrouver à un niveau proche du témoin ou légèrement supérieur au moment de la récolte suivante de luzerne. En fin d'année culturale, les traitements L1 et L2 présentent un stock d'azote minéral supérieur d'environ 10 kg/ha à T0.

La fraction d'azote ammoniacal ( $\text{N-NH}_4$ ) présente sur 60 cm de profondeur constitue un stock qui évolue entre 5 et 22 kg/ha (figure 1), dont la majeure partie (70 à 90%) se situe dans l'horizon 0-30 cm où les quantités minimales sont mesurées en été. Comme l'azote retrouvé dans le sol une semaine après l'épandage de lisier est essentiellement sous forme de  $\text{NO}_3^-$ , cela signifie que le processus de nitrification a été très rapide.

### ■ Suivi sur 210 cm de profondeur au début et en fin de période végétative

L'examen des profils d'azote sur 2,10 m de profondeur réalisés sur les témoins T0 (figures 2a à 2d) donne les indications suivantes :

- en A1, les stocks d'azote sont restés similaires dans tous les horizons de mesure entre le 1<sup>er</sup> mars 1993 et le 4 octobre 1993 (début et fin de période végétative de la luzerne). Le traitement T0 et les traitements L1 et L2 ayant reçu du lisier présentaient, le 4 octobre (figure 2b), des profils d'azote similaires au moins jusqu'à 150 cm de profondeur en A1 ; les variations des quantités d'azote mesurées dans les horizons inférieurs peuvent être attribuées à une variabilité spatiale, telle que montré par l'estimation de l'erreur de mesure du traitement T0 lors du prélèvement du 1<sup>er</sup> mars (figure 2a) ;

- entre A1 et A2, le prélèvement réalisé le 24 février 1994 (figure 2c), juste avant la reprise de végétation de la luzerne, montrait

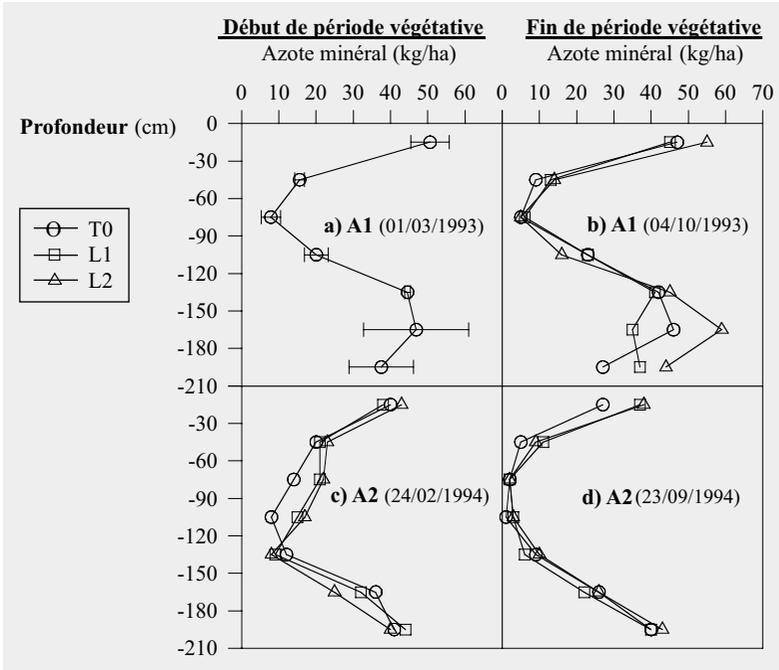


FIGURE 2 : Evolution des profils d'azote minéral du sol (sur 210 cm de profondeur) en début et en fin de période végétative de la luzerne, sous les traitements L1 et L2 avec lisier de porcs par rapport au témoin T0, pour les 2 années d'exploitation (A1 et A2) de la luzerne de l'expérimentation E2.

FIGURE 2 : Changes in the mineral nitrogen contents of the soil (measured on a depth of 210 cm) between beginning and end of the growing season in both harvest years (A1 and A2) for the two treatments with slurry (L1 and L2) in comparison with the control (T0), in the E2 trial.

qu'une partie de l'azote se trouvant dans l'horizon 0-30 cm le 4 octobre précédent a été lixivie dans les horizons inférieurs par rapport au témoin T0, pour se retrouver dans les horizons 60-90 et 90-120 cm ;

- en A2, le stock d'azote présent dans l'horizon 0-120 cm en fin de campagne d'exploitation de la luzerne (23 septembre 1994) a fortement diminué par rapport à la situation de sortie d'hiver (24 février 1994), tandis que la variation de stock a été absente en dessous de 120 cm de profondeur ;

- en fin de saison végétative, avant la destruction de la luzerne pour le semis du blé qui lui succédera, les trois profils d'azote minéral apparaissent similaires (figure 2d) : les horizons 60-90 et 90-120 cm ne contenant pratiquement plus d'azote (< 5 kg/ha/horizon) indiquent que l'enracinement de la luzerne est probablement de l'ordre de 120 cm.

On peut donc penser que les apports de lisier n'ont pas entraîné de lixiviation supplémentaire de nitrates durant la culture de la luzerne. Ceci est cohérent avec les résultats obtenus par WERY *et al.* (1986), BEAUDOIN *et al.* (1992), MULLER *et al.* (1993), SPALLACCI *et al.* (1996) selon lesquels la luzerne absorbe préférentiellement l'azote minéral du sol avant d'utiliser le produit de sa symbiose avec *Rhizobium meliloti*.

**Toutefois, la quantité d'azote minéral qui reste dans l'horizon superficiel (0-30 cm) constitue un stock qui n'est pas négligeable et qu'il faut parvenir à maîtriser au mieux pour préserver le milieu naturel, et ce d'autant plus qu'il se produit une libération importante d'azote après le retournement d'une culture de luzerne (JUSTES *et al.*, 2001) ; cet azote supplémentaire s'ajoutera donc à celui produit par la minéralisation des résidus enfouis.**

Ainsi, compte tenu de la lame d'eau drainante moyenne dans cette région (150 mm), la lixiviation de 17 kg/ha/an d'azote minéral dans un horizon hors d'atteinte par les racines de la culture suivante suffit à produire une eau de drainage dont la concentration en nitrate atteint le seuil de 50 mg/l pour l'eau de consommation. Le transfert des nitrates entre octobre (A1) et février (A2) peut être "récupéré" par la luzerne car son enracinement et sa capacité d'absorption préférentielle de l'azote du sol sont importants, ce qui peut justifier que l'on réalise des apports d'azote sur la luzerne jusqu'au moment de la troisième coupe en A1. Mais le stock d'azote disponible dans les horizons profonds (150-210 cm) en A1 montre que des quantités notables d'azote avaient été lixiviées durant les cultures précédant la luzerne. Il est donc nécessaire d'être vigilant dans la gestion de l'azote et *a fortiori* dans celle des apports de lisier sur les cultures pour limiter ces fuites, même en présence de luzerne dans les assolements.

### 3. Estimation des coefficients d'efficacité de l'azote du lisier

Les données du suivi de la dynamique d'azote minéral du sol sur 0-60 cm de profondeur permettent d'estimer la part d'azote apportée par le lisier qui se retrouve réellement à la disposition de la luzerne. En effet, lors d'une coupe, la luzerne subit une défoliation complète qui la prive durant les quelques jours suivants des ressources énergétiques fournies par l'activité photosynthétique des feuilles. Après une coupe, la mise en place d'un nouvel appareil foliaire s'effectue donc uniquement à partir des réserves carbonées et azotées des pivots racinaires (JUSTES *et al.*, 2002). Sachant que, dans les conditions de température des 2 expérimentations, le délai nécessaire à la mise en place d'un appareil foliaire initial est estimé entre 4 et 8 jours selon le modèle de COULMIER (1990), nous pouvons poser l'hypothèse que la luzerne n'absorbe pas ou très peu d'azote minéral du sol au cours de la première semaine suivant l'apport de lisier. Par ailleurs, compte tenu des faibles quantités d'azote apportées sous forme organique par le lisier, nous faisons l'hypothèse que la minéralisation induite par cette fraction représente un flux très faible par rapport aux quantités d'azote ammoniacal apporté.

Il est donc possible d'ouvrir un bilan dont le point de départ correspond à la date de récolte de la luzerne, lors de laquelle on réalise un prélèvement de sol sur 0-60 cm pour déterminer le stock d'azote minéral juste avant l'apport de lisier. Ce bilan est fermé 8 jours plus tard, au moment du prélèvement de sol du suivi hebdomadaire du stock d'azote minéral. L'essentiel du stock d'azote mesuré dans le profil de sol des traitements L1 et L2 correspond alors, déduction faite du stock d'azote du sol du témoin T0, à l'azote réellement apporté par le lisier et mis à la disposition de la luzerne. Ceci nous permet donc de calculer les coefficients d'efficacité de l'azote contenu dans le lisier.

Les calculs réalisés ainsi, après chaque date de coupe, montrent que **les traitements L1 ont eu à leur disposition entre 82 et 106 kg N/ha/an et les traitements L2, entre 204 et 266 kg N/ha/an pro-**

**venant de l'azote minéral du lisier.** Le coefficient d'efficacité de l'azote contenu dans le lisier évolue donc entre 0,16 et 0,52 par rapport aux quantités d'azote total de lisier qui ont été apportées en surface, avec une moyenne qui s'établit à 0,39 ( $\pm$  0,09). L'analyse par traitement montre que l'on a un coefficient d'efficacité de 0,34 ( $\pm$  0,13) pour L1, tandis qu'il est de 0,43 ( $\pm$  0,05) pour L2. Ainsi, le coefficient d'efficacité moyen de l'azote du lisier obtenu est plus faible que celui donné par CARLOTTI (1992). Cette faible disponibilité de l'azote peut s'expliquer par **l'hypothèse d'une forte volatilisation de  $\text{NH}_3^+$ , probablement favorisée par plusieurs facteurs :**

- **La modalité d'apport en surface :** Les quantités amenées sous forme d'ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) sont conséquentes. Lorsque les apports sont réalisés en surface, comme c'est le cas ici, une partie des ions ammonium peut être volatilisée sous forme d'ammoniac ( $\text{NH}_3^+$ ) après transformation physico-chimique. Cette volatilisation, outre la pollution atmosphérique qu'elle induit, est donc responsable de la diminution de la valeur azotée des lisiers (MOAL et MARTINEZ, 1995). Ainsi, MORVAN *et al.* (1997) rapportent que la volatilisation peut constituer 3 à 85% de l'azote ammoniacal apporté. Ce phénomène se déroule assez rapidement après l'épandage puisque 70% de la volatilisation se déroule au cours des 24 h suivant l'épandage, ce qui est rapide... plus de 90% du phénomène se produisant en 5 jours.

- **La dose d'apport : L'apport a été moins efficace à la dose L1 (0,34) qu'à la dose L2 (0,43),** sans que la différence entre les deux traitements soit significative dans le cadre de ces expérimentations. Ce résultat est cohérent avec les mesures réalisées par MARTINEZ *et al.* (1996) et THOMPSON *et al.* (1990) qui ont montré que le pourcentage de volatilisation de l'ammoniac diminue lorsque la dose ammoniacale apportée au sol augmente.

- **Les conditions climatiques :** Les plus mauvais résultats ( $<$  0,3) sont obtenus pour les apports réalisés à partir du mois de juillet, indiquant le rôle important joué par les facteurs climatiques sur les émissions d'ammoniac, notamment l'effet de la température de l'air (MARTINEZ *et al.*, 1996). Ainsi, les émissions ammoniacales augmenteraient de façon exponentielle au cours des 12 premières heures qui suivent l'épandage pour passer de 5 à 10% de volatilisation à une température comprise entre 0 et 2°C, à des taux supérieurs à 40% au-delà d'une température de l'air de 28°C. Ce seuil de 28°C est très souvent atteint pendant la période estivale en Champagne-Ardenne.

- **Le pH du sol** favorise également la volatilisation. En effet, son rôle prépondérant, souligné par WHITEHEAD et RAISTRICK (1990), GENERMONT (1996), a également été mis en évidence par les travaux de MORVAN (1999). Ce dernier montre que le pH modifie notablement la dynamique de volatilisation en agissant sur la concentration en ammoniac dans la couche de sol superficielle ; le flux cumulé de volatilisation est ainsi multiplié par 2 lorsque le pH passe de la valeur de 6,5 à 7,5. Or, le sol de E1 avait un  $\text{pH}_{\text{eau}}$  de 7,8 et celui de E2, un  $\text{pH}_{\text{eau}}$  de 8.

**Les pertes d'azote ammoniacal par volatilisation diminuent donc fortement la valeur azotée du lisier et induisent une pollution de l'air. Ainsi, il est préférable de fractionner les apports le**

**moins possible et de réaliser les derniers apports avant la fin du mois de juin pour limiter les pertes d'ammoniac.** Une solution pourrait être d'injecter le lisier dans le sol. Mais cette technique est difficile à mettre en œuvre pour la luzerne à cause du risque important de sectionner de nombreux pieds de luzerne, qui pourraient ensuite dépérir.

#### 4. Bilan d'azote d'une luzerne conduite avec des apports réguliers de lisier de porcs

Un bilan entrées/sorties de l'azote dans chacun des traitements de luzerne suivis a pu être établi en considérant i) l'azote exporté de la parcelle par les récoltes de matière sèche de luzerne, ii) les stocks d'azote minéral du sol réellement disponibles pour la plante dans l'horizon de sol 0-60 cm une semaine après les apports de lisier, ainsi que iii) les variations de stocks d'azote minéral présent entre le début et la fin de saison végétative sur 150 cm de profondeur. Les résultats montrent que (tableau 2) :

- globalement, les exportations d'azote dans le fourrage de la luzerne sont croissantes avec l'accroissement de l'apport d'azote ;

- la variation du stock d'azote minéral du sol présent sur 150 cm de profondeur est toujours en diminution, pouvant atteindre 51 kg/ha, même en présence d'apport important de lisier (L2) ;

- malgré les apports d'azote qui ont été réalisés et la variation de stock d'azote minéral pendant la période végétative, la luzerne L2 permet d'exporter de la parcelle 257 kg N/ha/an supplémentaires au minimum ;

- plus l'apport d'azote par le lisier est important, plus l'azote provenant de la fixation symbiotique est réduit (une partie de la différence avec le témoin T0 du bilan entrées-sorties).

L'augmentation des quantités d'azote exporté par les luzernes qui reçoivent de l'azote du lisier de porcs est consécutive à l'augmentation

TABLEAU 2 : Bilan azoté (kg N/ha) des traitements T0, L1 et L2 pour chaque année d'exploitation des luzernes (A1 et A2) des 2 expérimentations (E1 et E2).

TABLE 2 : *Nitrogen balance* (kg N/ha) calculated for the two successive years of the lucerne crop (A1 and A2) in both trials (E1 and E2), in the 3 treatments (T0, L1 and L2).

	Année de récolte A1			Année de récolte A2		
	T0	L1	L2	T0	L1	L2
Expérimentation 1	1992			1993		
Apport N lisier retrouvé dans le sol	0	82	204	0	106	266
Exportation N fourrage luzerne	547	555	557	509	542	544
Variation du stock N min. du sol*	- 24	- 46	- 41	- 31	- 29	- 21
Bilan (N fixé ou fournit par le sol)	- 523	- 427	- 312	- 478	- 407	- 257
Différence avec le témoin		- 96	- 211		- 71	- 221
Expérimentation 2	1993			1994		
Apport N lisier retrouvé dans le sol	0	98	245	0	94	236
Exportation N fourrage luzerne	586	568	637	467	509	587
Variation du stock N min. du sol*	- 13	- 11	- 4	- 50	- 45	- 51
Bilan (N fixé ou fournit par le sol)	- 573	- 459	- 388	- 417	- 370	- 300
Différence avec le témoin		- 114	- 185		- 47	- 117

\* Ecart entre l'azote présent en début et en fin de campagne d'exploitation de la luzerne, sur 150 cm de profondeur

de production de matière sèche engendrée par les apports de lisier, puisque la teneur en protéines pondérée n'est pas considérée comme significativement différente entre les traitements (tableau 1). Compte tenu du fait que la variation du stock d'azote minéral du sol (0-150 cm) n'est pas significativement différente entre les traitements, ces mesures démontrent qu'il y a absorption de l'azote minéral apporté par le lisier, en lieu et place de l'azote fourni par la symbiose avec *Rhizobium meliloti*. Cette absorption préférentielle est réalisée en plus de l'azote fourni par la minéralisation du sol au cours de la période végétative, dont les traitements témoin ont également bénéficié.

En effet, dans des conditions pédoclimatiques proches, JUSTES et al. (2001) ont montré qu'un sol nu de même type était capable de minéraliser près de 140 kg N/ha/an, alors que la quantité d'azote qui manque aux bilans de chaque traitement est au minimum de 250 kg N/ha/an pendant la seule période végétative. La contribution de la fixation symbiotique à l'alimentation azotée de la luzerne diminue donc fortement lorsque des apports exogènes d'azote sont réalisés. Ces résultats indiquent que **la luzerne assure sa nutrition azotée à la fois par la fixation d'azote symbiotique et l'assimilation d'azote minéral**, l'importance de chaque part dans l'exportation d'azote total dans le fourrage **dépendant de l'âge de la luzerne** (FISHBECK et PHILLIPS, 1981 ; HEICHEL et al., 1981), **de facteurs environnementaux** (WERY et al., 1986) **et du génotype** (VIANDS et al., 1981). On peut ajouter que cet équilibre dépend, pour la plante, d'un coût énergétique différent qu'elle tente de minimiser en permanence, d'où un intérêt accru pour l'absorption de NO<sub>3</sub> (SALSAC et al., 1984).

Ce bilan permet également de confirmer les résultats déjà montrés par FISHBECK et PHILLIPS (1981) et HEICHEL et al. (1981) selon lesquels la quantité d'azote exportée lors de l'exploitation d'une luzernière par les récoltes de fourrages est moins importante en seconde année d'exploitation qu'en première, à production de matière sèche identique. Ces auteurs justifient ce constat par l'âge de la plante. Néanmoins, des facteurs anthropiques tels que la compaction des sols par les engins de récolte, ayant comme incidence une diminution de la circulation de l'air et de l'eau dans le sol, peuvent également justifier une fixation et/ou une minéralisation d'azote moins importantes. Il faut donc être attentif aux conditions d'exploitation de la luzerne (THIEBEAU, 2001).

## Conclusion

Avec les préoccupations liées à la protection de l'environnement vis-à-vis des nitrates, et les difficultés rencontrées par de nombreuses régions pour maîtriser la lixiviation des nitrates dans les eaux de drainage, la culture de luzerne trouve, grâce à sa capacité à absorber préférentiellement l'azote minéral du sol et sur une profondeur importante, un nouvel atout (JUSTES et al., 2001 ; THIEBEAU et al., 2001).

Les résultats que nous obtenons montrent cependant que, si des apports de lisier de porcs peuvent être réalisés, il est préférable de les fractionner le moins possible (apporter 74 m<sup>3</sup>/ha plutôt que 2 fois

37 m<sup>3</sup>/ha) afin d'optimiser l'utilisation de l'azote par la luzerne et de minimiser les pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac. Par ailleurs, il faut absolument éviter de réaliser des apports de lisier en été si on les épand en surface, puisque les températures élevées de cette saison conduisent à diminuer fortement l'efficacité de l'azote total apporté, en augmentant la volatilisation ammoniacale par rapport aux apports de printemps. Les apports d'effluents devraient donc être limités aux 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> repousses de luzerne, ce qui permettrait à la luzerne de disposer d'une repousse supplémentaire pour absorber l'azote minéral disponible dans l'horizon 0-30 cm avant la fin de la campagne d'exploitation. Cette conduite aurait l'avantage de limiter les risques de lixiviation des nitrates en profondeur pendant la période de drainage hivernal, notamment en seconde année d'exploitation de la luzerne.

Enfin, même si la luzerne possède cette faculté exceptionnelle d'absorber préférentiellement l'azote minéral du sol avant de fixer l'azote de l'air, **prenons garde de ne pas l'utiliser pour justifier l'agrandissement d'élevages, ce qui détournerait sa capacité naturelle à fixer l'azote de l'air**, alors que sa culture doit plutôt permettre l'économie d'intrants azotés (THIEBEAU, 2001).

Accepté pour publication, le 2 juillet 2004.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEAUDOIN N., DENYS D., MULLER J.C., MONBRUN M.D. (1992) : "Influence d'une culture de luzerne sur le lessivage du nitrate dans les sols de Champagne crayeuse", *Fourrages*, 129, 45-57.
- CARLOTTI (1992) : *Recueil des bases de préconisations de la fertilisation azotée des cultures*, CORPEN, Ministère de l'Agriculture et Ministère de l'Environnement, Mission Eau-Nitrates, 136 p.
- COULMIER D. (1990) : *Contribution à la modélisation de la production de la luzerne : mise en œuvre et validation d'un modèle de simulation dans le cadre de l'activité déshydratation en Champagne-Ardenne*, thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 103 p.
- CRUZ P., LEMAIRE G. (1986) : "Analyse des relations de compétition dans une association de luzerne (*Medicago sativa* L.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.). I. Effets sur les dynamiques de croissance en matière sèche", *Agronomie*, 6, 8, 727-734.
- FISHBECK K.A., PHILLIPS D.A. (1981) : "Combined nitrogen and vegetative regrowth of symbiotically-grown alfalfa", *Agron. J.*, 73, 975-978.

- GENERMONT S. (1996) : *Modélisation de la volatilisation d'ammoniac après épandage de lisier sur parcelle agricole*, thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Laboratoire d'Aérodologie, Toulouse, 257 p.
- HEICHEL G.H., BARNES D.K., VANCE C.P. (1981) : "Nitrogen fixation of alfalfa in the seeding year", *Crop Sci.*, 21, 330-335.
- JUSTES E., THIEBEAU P., CATTIN G., LARBRE D., NICOLARDOT B. (2001) : "Libération d'azote après retournement de luzerne : un effet sur deux campagnes", *Perspectives Agricoles*, 264, 22-28.
- JUSTES E., THIEBEAU P., AVICE J.C., LEMAIRE G., VOLENEC J.J., OURRY A. (2002) : "Influence of summer sowing dates, N fertilization and irrigation on autumn VSP accumulation and dynamics of spring regrowth in alfalfa (*Medicago sativa* L.)", *J. Exp. Bot.*, 53, 366, 111-121.
- LEMAIRE G., CRUZ P., GOSSE G., CHARTIER M. (1985) : "Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière sèche d'un peuplement de luzerne (*Medicago sativa* L.)", *Agronomie*, 5, 685-692.
- MARTINEZ J., MOAL J.F., CAUDAL M.C., GUIZIOU F. (1996) : "Emission d'ammoniac après épandage de lisier : quantification et maîtrise", *Ingénieries*, EAT, 5, 43-52.
- MOAL J.F., MARTINEZ J. (1995) : "Emission d'ammoniac après épandage de lisier : le problème", *Ingénieries*, EAT, 1, 53-60.
- MORVAN T. (1999) : *Quantification et modélisation des flux d'azote résultant de l'épandage de lisier*, thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6, 157p.
- MORVAN T., LE HOUEYOU B., MARTINEZ J., HACALA S. (1997) : "La valorisation des effluents d'élevage", *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Lemaire G. et Nicolardot B. éd., *Les Colloques de l'INRA*, Paris, 83, 233-254.
- MULLER J.C., DENYS D., THIEBEAU P. (1993) : "Présence de légumineuses dans la succession de cultures : luzerne et pois cultivés purs ou en association, influence sur le dynamique de l'azote", *Matières organiques et agricultures*, Congr. GEMAS/COMIFER, Decroux J. et Ignazi J.C. éd., 83-92.
- SALSAC L., DREVON J.J., ZENGBE M., CLEYET-MAREL J.C., OBATON M. (1984) : "Energy requirement of symbiotic nitrogen fixation", *Physiol. Vég.*, 22, 4, 509-521.
- SPALLACCI P., CEOTTO E., PAPINI R., MARCHETTI R. (1996) : "Lucerne as a "nitrate scavenger" for silty soil manured with pig slurry", *Book of abstracts 4<sup>th</sup> ESA Congr.*, 492-493.
- THIEBEAU P. (2001) : "En absorbant l'azote minéral du sol, la luzerne permet de réduire les fuites de nitrates", *Réussir Lait/Elevage*, 134, 121-122.
- THIEBEAU P., JUTES E., VANLOOT P. (2001) : "Filière luzerne en France : des atouts en faveur de l'environnement", *Perspectives Agricoles*, 266, 32-36.
- THOMPSON R.B., PAIN B.F., LOCKYER D.R. (1990) : "Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland", *Plant and Soil*, 125, 109-117.
- VIANDS D.R., BARNES D.K., HEICHEL G.H. (1981) : "Nitrogen fixation in alfalfa : responses to bidirectional selection for associated characteristics", *USDA Technical Bull.*, 1643, 24p.
- WERY J., TURC O., SALSAC L. (1986) : "Relationship between growth, nitrogen fixation and assimilation in a legume (*Medicago sativa* L.)", *Plant and Soil*, 64, 17-29.
- WHITEHEAD D.C., RAISTRICK N. (1990) : "Ammonia volatilization from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils", *J. Soil Sci.*, 41, 387-394.

SUMMARY

**Effects of pig slurry on the production of lucerne and the dynamics of soil nitrogen**

Lucerne is a forage crop which can both utilize the symbiotic nitrogen of *Rhizobium meliloti* and take up mineral nitrogen from the soil. It is sometimes used to re-cycle excess nitrogen from pig slurry. We studied the effect on the dynamics of soil nitrogen of spreading pig slurry on a crop of lucerne, in order to find out if the nitrogen-leaching potential had not increased.

Two rates (37 and 74 m<sup>3</sup>/ha) of pig slurry application were compared to a control without slurry (T0). Each year the slurry was applied in 3 dressings, one after each lucerne cut. In a year with normal weather, the dry matter production of lucerne was slightly, but significantly, larger on the plots with slurry than on the control, but with similar protein contents. The dynamics of soil nitrogen showed that the lucerne crop took up, in a cycle of 42 days between cuts, most of the nitrogen made available by the application of slurry. Nevertheless, the index of availability of the slurry nitrogen, calculated by the balance of nitrogen between a date one day before and 7 days after the application, was only 39% on average. The lowest values were found for summer application and the lower rate ; this can be explained by NH<sub>4</sub> volatilization, favoured by high temperatures and dry conditions. These gaseous losses could be avoided by omitting the third dressing, applied in summer. This would also decrease the excess nitrogen in the top 0-30 cm layer of the soil occurring at the end of the year and thus avoid an increase in nitrogen leaching during the subsequent winter.