

Indicateurs pour la gestion de l'azote dans les systèmes de culture incluant la prairie temporaire de fauche

P. Loiseau, A. El Habchi, F.X. de Montard, E. Tribouï*

Dans les régions d'élevage de moyenne montagne, les rotations traditionnelles entre prairies temporaires et céréales se justifient de deux points de vue : d'une part le retournement des prairies fournit de grandes quantités d'azote qui sont utilisables par une culture annuelle ; d'autre part, il est souvent nécessaire de retourner les anciennes prairies temporaires à cause d'une diminution de leur productivité au cours de leur vieillissement. Ces deux aspects de la rotation sont interdépendants : le système de culture est conçu pour alternativement stocker et reminéraliser un volant d'azote et de minéraux.

La clé pour le développement de nouveaux systèmes de cultures fourragères à la fois productifs et propres pour l'environnement se situe dans la compréhension et le pilotage de la dynamique de l'azote dans le système sol-peuplement à l'échelle pluri-annuelle. Dans la suite, des exemples seront pris en moyenne montagne granitique du Massif-Central à propos de la fétuque élevée cultivée en vue de la fauche. Les essais à moyen et à long termes pris comme support sont le dispositif des cases

* Avec la collaboration technique de R. DELPY et E. VILLENEUVE.

MOTS CLÉS

Azote, bilan d'azote, fertilisation minérale, fertilisation raisonnée, lisier, lysimètre, prairie de fauche, prairie temporaire, système de culture.

KEY-WORDS

Cropping system, hay meadow, ley, lysimeter, mineral fertilization, nitrogen, nitrogen balance, rational fertilization, slurry.

AUTEURS

I.N.R.A., Station d'Agronomie de Clermont-Ferrand, 12, avenue du Brézet, F-63039 Clermont-Ferrand cedex.

lysimétriques de Theix (1968-1991) consacré à l'étude des bilans d'azote dans les systèmes de culture fourragers, et une expérimentation implantée au domaine de Bourg-Lastic (1986-1991) consacrée à la dynamique de l'azote au cours de la carrière de la fétuque élevée.

Bilan annuel de l'azote dans la prairie temporaire

1. Productivité des apports d'azote sur fétuque élevée au cours de sa carrière

Le dispositif des cases lysimétriques de Theix permet un calcul de la productivité de l'azote apporté par le lisier ou les engrais minéraux dans des conditions d'apports sensiblement constants. On y observe l'effet cumulé de la gestion des fumures. L'exemple de la deuxième prairie (semée fin 1975 après une orge puis un blé et retournée en mars 1981) met en évidence un effet important de l'âge de la prairie sur sa réponse aux apports azotés : A0 étant l'année du semis, on observe de A1 à A4 une diminution de l'azote récolté à apports égaux (figure 1a).

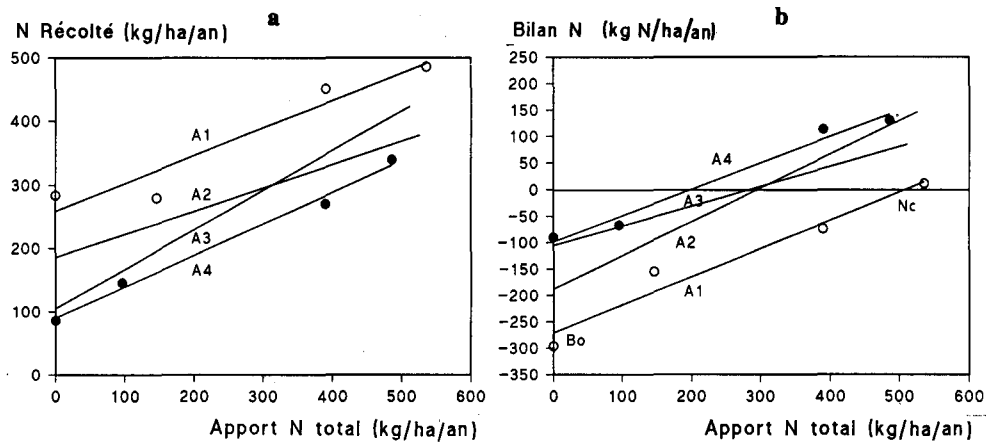


FIGURE 1 : Selon l'âge de la prairie et la fertilisation, a) azote récolté, b) bilan annuel apparent de l'azote (N apporté - N récolté - N lixivié) (fétuque élevée, cases de Theix, moyenne de deux rotations (1976-1980 et 1984-1987) ; A1 : 1 an après le semis, Bo : bilan aux apports nuls, Nc : apport critique qui annule le bilan).

FIGURE 1 : Depending on sward age and fertilization : a) nitrogen uptake, b) yearly apparent N balance (N application - N uptake - N leaching) (tall fescue, Theix lysimetres, mean of 2 rotations : 1976-1980 and 1984-1987, A1 : year after sowing, Bo : balance with no N applied, Nc : critical application, levelling the balance).

Cependant, le coefficient marginal d'utilisation apparent de l'azote apporté (CAU) est semblable en A1 et A4 avec des valeurs respectives de 43 et 50%. La diminution de la récolte d'azote à apports égaux est à relier essentiellement à la chute des récoltes d'azote à l'apport nul : l'azote fourni par le sol, ainsi estimé, diminue de 259 à 90 kg N/ha/an entre A1 et A4. La chute de fertilité du sol peut avoir deux origines : d'une part une résorption de l'effet précédent, c'est à dire une diminution de la minéralisation brute dans le sol, d'autre part un effet positif de l'âge de la prairie sur la demande en azote du sol. L'augmentation de la demande en azote du sol est probablement liée à celle des apports de carbone par la litière racinaire (WHITEHEAD, 1970). L'évolution du système sol-peuplement devient moins économique et pousse au retournement de la prairie.

2. Lixiviation de l'azote au cours de la carrière de la prairie

La lixiviation des nitrates sous prairie est presque uniquement fonction de leur âge. Elle est forte en A0 où elle dépend essentiellement des dates d'installation : 84 à 105 kg N-NO₃/ha/an. Par la suite, on peut compter une perte de 1 à 10% des apports en A1 et de 0 à 2% des apports pour les âges plus élevés, soit 0 à 21 kg N en A1 et 0 à 13 kg en A2 ou A3 dans les conditions de l'essai. Ces chiffres, faibles, sont en bon accord avec BARRACLOUGH et al. (1983) qui donnent 1,5 et 5,4% pour des apports respectifs de 250 et 500 kg N/ha/an.

3. Bilan apparent de l'azote au cours de la carrière de la prairie

Le bilan apparent de l'azote est défini comme la somme algébrique des apports par les fumures et des exportations par les récoltes et les eaux de drainage. Les échanges gazeux d'azote sont négligés. A cette approximation près, le bilan apparent est une mesure de l'accumulation d'azote dans le sol.

Les bilans annuels apparents sont grossièrement des fonctions linéaires croissantes des apports (figure 1b). Ils sont caractérisés par Bo, le bilan (négatif) aux apports nuls, et Nc, l'apport critique qui annule le bilan apparent du sol. Au cours du vieillissement de la prairie, on observe une augmentation de Bo de -271 à -99 kg N/ha/an et une diminution de Nc de 429 à 195 kg N/ha/an entre A1 et A4. En revanche, le taux d'accumulation des apports dans le sol ne varie pas systématiquement en fonction de l'âge.

Il en résulte qu'à fertilisation constante, le bilan annuel du sol s'améliore avec l'âge de la prairie : l'azote apporté est de plus en plus stocké dans le sol. Sur l'exemple de la prairie recevant chaque année sous forme minérale 390 kg N/ha/an, la courbe du bilan cumulé apparent du sol en fonction des apports cumulés est parabolique (figure 2). C'est dire que la part des nouveaux apports destinée à être stockée dans le sol augmente avec le temps, mesuré par le cumul des apports déjà effectués.

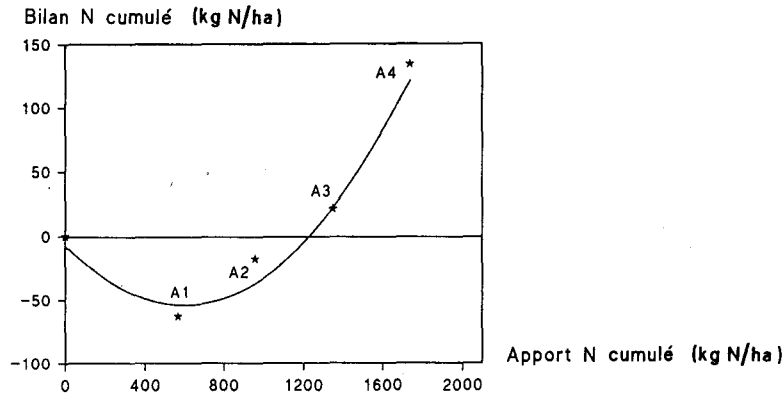


FIGURE 2 : Dynamique du stockage apparent de l'azote dans le sol sous prairie en fonction de son âge : bilans annuels cumulés depuis le semis (cases de Theix, rotation n° 2 (1976-1980), fétuque élevée recevant une fumure azotée minérale de 170 kg N/ha en A0, puis 390 kg N/ha/an à partir de A1).

FIGURE 2 : Variation with the age of the sward of the apparent storage of nitrogen in a soil under ley : cumulated yearly balances from sowing (tall fescue ley receiving 170 kg N/ha mineral N in A0, 390 kg/ha from A1 onwards).

La constante de proportionnalité pourrait être variable mais il reste que, dans certaines conditions de culture à fumure constante, le sol sous prairie fauchée peut devenir avec le temps un gouffre à engrais azotés.

Minéralisation de l'azote au retournement

Les quantités minéralisées lors du retournement sont difficiles à apprécier. En effet, en présence d'une culture suivante, on ne fait qu'estimer la minéralisation nette à travers le bilan apparent du sol. Elle se situe entre 42 et 103 kg N selon les précédents de fertilisation (tableau 1).

Un moyen de mieux approcher la minéralisation brute est de mesurer la lixiviation en sol nu. Les chiffres obtenus dans les cases de Theix varient de 205 à 307 kg N. Ils montrent un effet important des précédents de fumure : le précédent lisier, apporté auparavant à de faibles doses annuelles, fournit un supplément de minéralisation de 90 à 100 kg N alors que les précédents apports d'azote minéral ne fournissent aucun supplément par rapport au témoin sans fumure (tableau 1).

La minéralisation brute est supérieure de 100 à 235 kg à la minéralisation nette estimée par le bilan en présence d'une culture suivante. Ceci met en évidence, dans un contexte de minéralisation nette, l'existence d'une forte immobilisation de l'azote

Indicateurs de gestion de l'azote dans des systèmes de culture

Précédent	Prairie temporaire				Cultures annuelles			
	T	L	N	LN	T	L	N	LN
Type d'apport N *								
Dose d'apport N (Moyenne annuelle sur 19 ans)	0	90	223	309	0	100	140	239
SOL NU								
Minéralisation brute (1)	205	291	209	307	125	210	127	204
SOUS CEREALE								
Minéralisation nette (2)	103	56	42	83	99	111	35	19
Lixiviation	80	127	98	134	69	94	109	113
Apport	0	107	150	257	0	107	70	177
Organisation en présence de la culture (1)-(2)	102	235	167	224	26	99	92	185

* Forme de l'apport : L : lisier, N : ammonitrate, T : témoin sans apport
 (1) mesurée par la lixiviation en sol nu au retournement de 1988
 (2) mesurée par le bilan apparent du sol au retournement de 1981

TABLEAU 1 : Minéralisation de l'azote au retournement : influence du précédent prairie temporaire et du régime antérieur de fumure (en kg N/ha/an).

TABLE 1 : Mineralization of nitrogen after ploughing up : influence of the ley as preceding crop and of previous fertilization (kg N/ha/yr)

en présence d'une culture. De plus, l'immobilisation est favorisée par les précédents apports de fumure organique ou minérale.

La minéralisation brute derrière précédent prairie est supérieure de 80 à 100 kg N à celle derrière un précédent de système de cultures annuelles. Mais l'organisation nette apparente et la lixiviation de l'azote sous une même culture présentent des schémas identiques, que le précédent soit prairial ou non : elles sont liées linéairement à l'azote minéral disponible estimé par la somme de la minéralisation brute et des apports de l'année (figure 3) :

$$N \text{ Lixivié} = 60,3 + 0,134 N \text{ Disponible} \quad (r^2 = 0,71 ; n = 8)$$

$$N \text{ Organisé Apparent} = -8,0 + 0,469 N \text{ Disponible} \quad (r^2 = 0,81 ; n = 8)$$

On note qu'il existe une lixiviation théorique minimum en sol travaillé indépendante du précédent. Elle est de 60 kg N/ha/an (intervalle de confiance de 33 à 88). En outre, la forme minérale des apports tend à aggraver la lixiviation par rapport aux apports de lisier (figure 3a).

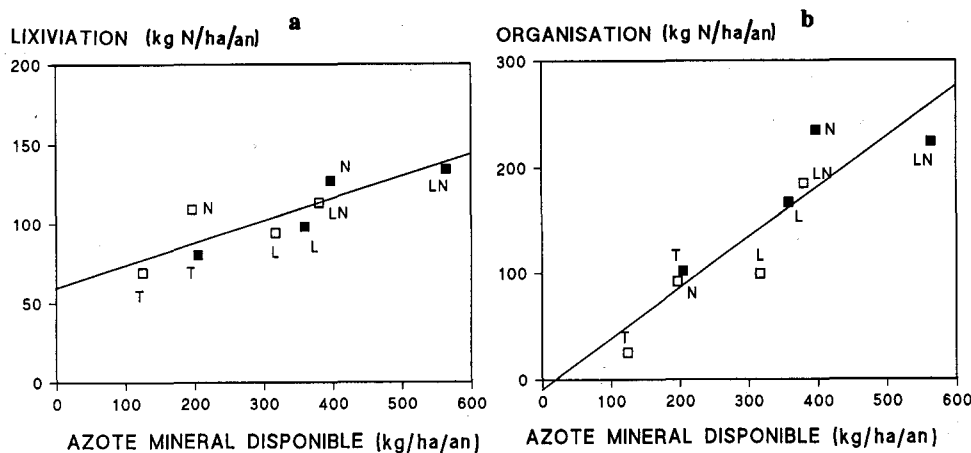


FIGURE 3 : Dynamique de l'azote sous céréale après retournement de la prairie en fonction de l'azote minéral disponible estimé par la somme des apports et de la minéralisation brute : a) lixiviation, b) organisation nette apparente (points noirs et blancs : respectivement avec ou sans précédent prairie ; T, L, N, LN : cf. tableau 1).

FIGURE 3 : Variation of soil N under a cereal crop after ploughing up of a ley, according to available mineral N estimated by summing applications and gross mineralization : a) leaching, b) apparent net organization (black and white points : respectively with and without ley as preceding crop ; T, L, N, LN : cf. table 1).

Bilan de l'azote au cours de la rotation

1. Bilan apparent

Au cours d'une rotation incluant la prairie temporaire, le bilan apparent cumulé de l'azote connaît alternativement des phases de plus grande accumulation sous la prairie âgée de plus d'un an, et de plus forte libération de l'azote entre le retournement et la nouvelle prairie de 1 an (figure 4). Mais l'évolution générale du bilan dépend avant tout de la fertilisation (figure 5). L'effet de la prairie temporaire dans la rotation sera examiné par comparaison avec un système de cultures annuelles conduit avec les mêmes types d'apports azotés.

Le bilan apparent du sol calculé sur 19 ans est assez voisin sur les deux systèmes (figure 6a). Dans le système de culture avec prairie temporaire, le sol fournit en moyenne 126 kg N/ha/an et stocke 49% des apports. Le système de cultures annuelles donne 103 kg N/ha/an et stocke 41% des apports (tableau 2). Un bilan du sol nul est obtenu pour des apports voisins de 256 et 253 kg N/ha/an dans les deux systèmes. Les bilans du sol sont égaux dans les deux systèmes pour un apport de 270 kg N. Ce n'est qu'aux apports supérieurs à cette dose moyenne annuelle

que la présence de la prairie temporaire améliore le bilan azoté apparent du sol par rapport aux seules cultures annuelles.

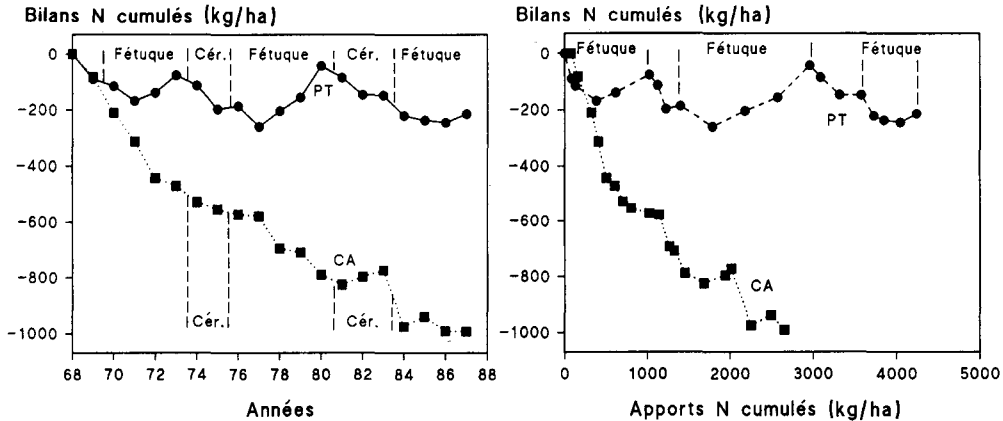


FIGURE 4 : Bilans cumulés de l'azote dans la rotation avec alternance de prairies et de céréales (PT). Comparaison avec un système de cultures annuelles (CA). Les deux rotations reçoivent une fumure azotée minérale.

FIGURE 4 : Cumulated balances in the rotation with alternating leys and cereals (PT). Comparison with a system of annual crops (CA). Both rotations receive mineral N fertilizer.

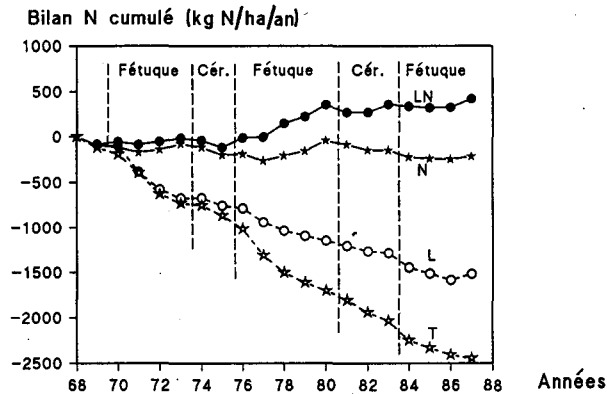


FIGURE 5 : Forme générale des bilans cumulés de l'azote dans une rotation incluant la prairie temporaire : influence du régime de fertilisation (T, L, N, LN : cf. tableau 1).

FIGURE 5 : General form of cumulated N balances in a rotation including leys : influence of fertilization (T, L, N, LN : cf. table 1).

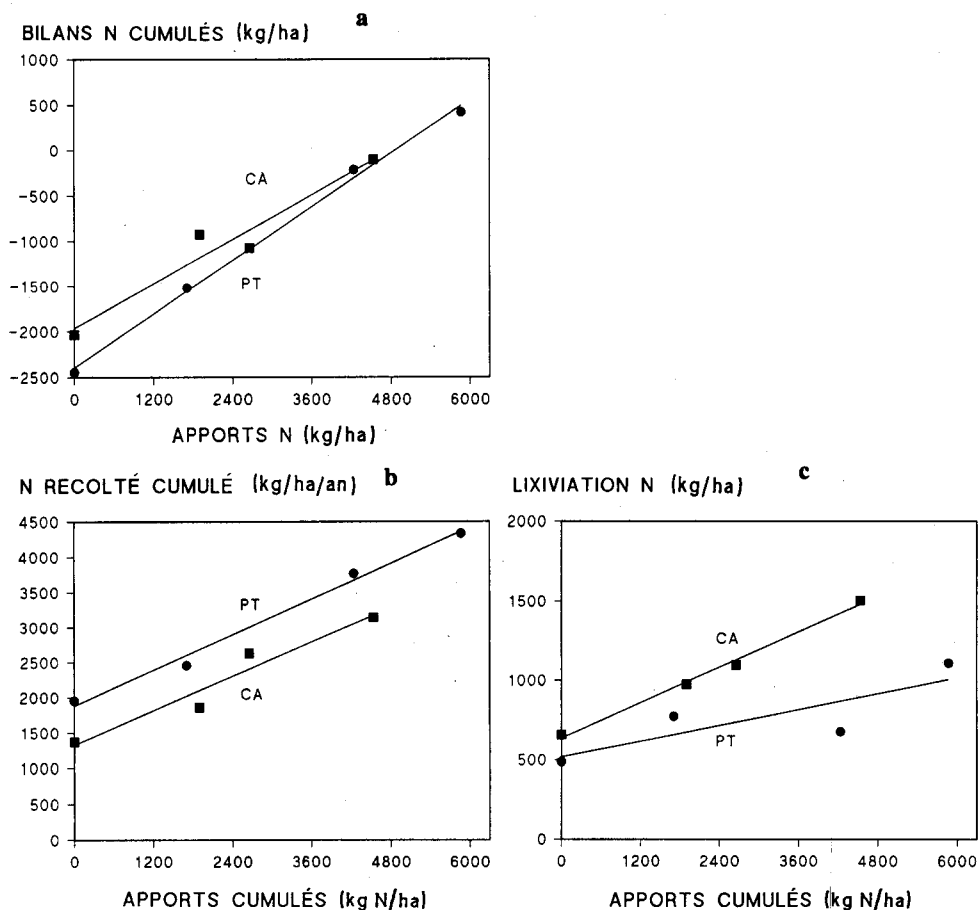


FIGURE 6 : Flux de l'azote sur une période de 19 ans en fonction des apports. Comparaison d'une rotation incluant la prairie temporaire (PT) avec un système de cultures annuelles (CA), a) bilans, b) récolte et c) lixiviation d'azote.

FIGURE 6 : Nitrogen flow during a period of 19 years according to dressings. Comparison of a rotation with ley (PT) with a system of annual crops (CA), a) N balances, b) N uptake, c) N leaching.

2. Termes moyens du bilan apparent

A apport azoté égal, la récolte d'azote est supérieure en présence de prairie (figure 6b) mais le taux moyen de recouvrement des apports dans la récolte (42 %) est semblable à celui des cultures annuelles (41 %). La plus grande quantité d'azote apparemment fournie par le sol à la culture dans la rotation avec prairie résulte

Système	Avec prairie	(r ²)	Sans prairie	(r ²)
Bilan sol	0,493 A - 126,0	(0,99)	0,409 A - 103,3	(0,94)
Récolte	0,423 A + 99,0	(0,99)	0,407 A + 69,8	(0,94)
Lixiviation	0,083 A + 27,2	(0,70)	0,185 A + 33,4	(0,99)

TABLEAU 2 : Termes du bilan de l'azote dans les systèmes de culture en fonction des apports (A) (moyennes annuelles calculées sur 19 ans ; niveaux d'apports entre 0 et 295 kg N/ha/an).

TABLE 2 : Elements of the nitrogen balance in the cropping systems according to dressings (A) (yearly means calculated on a 19-year period ; dressings between 0 and 295 kg N/ha/yr)

d'abord de l'allongement moyen de la période d'activité de la végétation et non d'une augmentation de la fertilité du sol.

Les pertes d'azote par lixiviation sont fortement diminuées par la présence de la prairie, et d'autant plus que les apports sont importants (figure 6c). Le taux moyen de lixiviation des apports est de 8%, contre 19% en l'absence de prairies temporaires (tableau 2). Dans l'expression de la lixiviation en fonction des apports, le terme constant représente la lixiviation de l'azote minéralisé issu du sol. De même, dans l'expression du bilan apparent, le terme constant représente la minéralisation du sol. Le rapport entre ces deux constantes donne un taux apparent de lixiviation de l'azote minéralisé de 21,6% avec prairie et de 32,3% en leur absence.

Au total, le système de rotation incluant la prairie temporaire rentabilise apparemment les apports de façon identique au système de cultures annuelles. La prairie temporaire apporte essentiellement une réduction des pertes par lixiviation au profit de la rétention par le sol. L'aptitude moyenne particulière du sol à mieux organiser l'azote minéral est attribuable à la seule phase prairiale : on a vu que l'organisation lors des cultures intercalaires de céréales était une fonction identique des quantités d'azote minéral disponibles quel que soit le précédent.

3. Approche du bilan réel

En l'absence de mesures sur les échanges gazeux d'azote, les bilans sont seulement approchés. La mesure des stocks d'azote dans le sol en fin d'essai doit nous renseigner sur les bilans réels.

En fait, cette approche suppose une précision des mesures difficile à réaliser : de petites erreurs sur la densité du sol ou les teneurs en azote du sol correspondent à de fortes erreurs absolues sur les quantités d'azote. Surtout, il est délicat de définir les quantités de sol à comparer selon les traitements : il est faux de comparer

des quantités d'azote dans des profondeurs égales de sol si les traitements agissent aussi sur le tassement.

C'est donc sous des réserves importantes qu'il faut prendre la comparaison des bilans approchés par les flux avec les bilans "réels" mesurés par les stocks d'azote du sol sur 20 cm (tableau 3). Il en ressort que le **stockage dans le sol de l'azote apporté est nettement plus faible en bilan réel qu'en bilan approché**. Dans l'hypothèse où aucune accumulation n'aurait lieu en dessous de 20 cm de profondeur, les pertes gazeuses d'azote des fumures pourraient être notables pour tous les systèmes de culture et tous les apports.

Système de culture *	N total sol 1988 (kg/ha)	Apports N 1968-1988 (kg/ha) (1)	Bilan apparent des apports (kg/ha)		Bilan réel (kg/ha) (4)	Pertes estimées (kg/ha) (%)	
			(2)	(3)		(5)	(6)
CA	3 651	0	- 2 033	0	0	-	-
CA	4 403	1 903 (L)	- 926	1 107	752	355	19
CA	4 030	2 654 (N)	- 1 075	958	379	579	22
CA	4 336	4 537 (LN)	- 100	1 933	685	1 248	28
PT	4 116	0	- 2 445	0	0	-	-
PT	4 447	1 709 (L)	- 1 518	927	331	596	35
PT	4 527	4 239 (N)	- 214	2 231	411	1 820	43
PT	4 972	5 867 (LN)	422	2 023	856	1 167	20

* CA : système de cultures annuelles ; PT : alternance de prairies et de céréales
 (2) estimé par les flux N mesurés pendant 19 ans
 (3) différence au témoin des bilans apparents
 (4) différence au témoin des stocks N en 1988
 (5) = (3) - (4)
 (6) = 100 x (5) / (1)

TABLEAU 3 : **Approche du bilan réel de l'azote au cours de la rotation** (Horizon de 0 à 20 cm).

TABLE 3 : *Real nitrogen balance during the rotation : an approach* (soil depth 0 to 20 cm).

Peut-on se passer de la rotation ?

La prairie temporaire fauchée épure remarquablement les eaux de drainage. Néanmoins, les risques pour l'environnement réapparaissent après son retournement. Une limitation de ces risques passe par la diminution de la fréquence des retournements et l'allongement de sa durée de vie. Dans la mesure où le rôle de précédent de la prairie perd de son intérêt dans une évolution des systèmes de culture herbagers vers le tout herbe, la question se pose aussi de maintenir le plus longtemps possible la prairie dans un état productif. Ceci suppose un maintien de l'espèce semée, mais surtout de la productivité des apports azotés. Or une telle stabilité n'est pas obtenue dans des situations analogues à celles de la figure 1 où,

en dépit d'un maintien du coefficient d'utilisation (marginal) de l'azote, on observe à apport égal une diminution des quantités récoltées en fonction de l'âge de la prairie.

Un dispositif expérimental a été installé à Bourg-Lastic pour vérifier les comportements de la fétuque constatés à Theix. Un moyen de pérenniser la valorisation des apports a été recherché dans l'intensification des apports azotés. L'optique est non seulement annuelle mais à l'échelle de temps du système de culture. Le protocole expérimental permet d'établir les courbes de réponse de la fétuque élevée aux apports annuels en fonction de son âge et de l'intensité de la fumure pendant les années antérieures. A la différence des données de Theix, le dispositif dissocie les effets immédiats et à terme des niveaux d'apports.

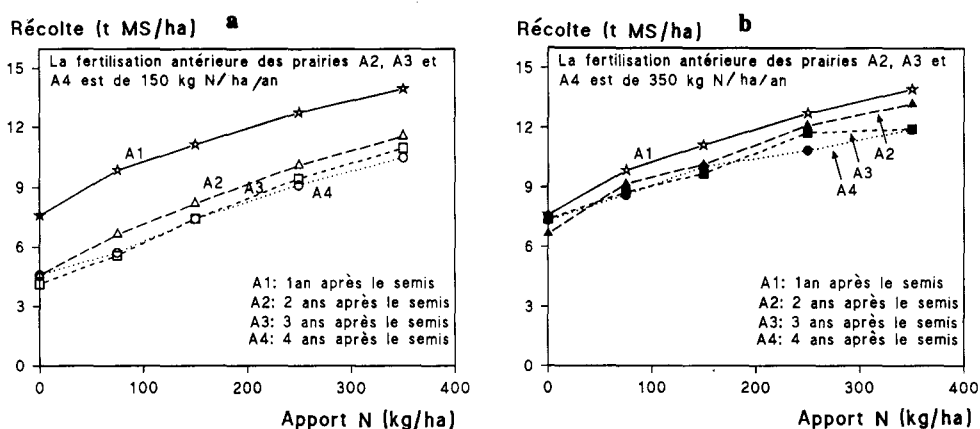


FIGURE 7 : Productivité de la fétuque élevée en fonction de l'azote apporté et de l'âge de la prairie, a) système de culture faiblement intensifié, b) système de culture intensifié (Bourg-Lastic, courbes établies pendant la même année climatique 1990).

FIGURE 7 : Tall fescue pasture yield according to N applied and sward age, a) slightly intensified cropping system, b) heavily intensified system (Bourg-Lastic, curves drawn for the same climatic year, 1990).

Les courbes des récoltes de matière sèche obtenues pendant la même année climatique 1990 montrent un effet net de l'âge (figure 7a). Comme à Theix, l'homothétie des courbes par translation sur l'axe des apports montre que l'âge conditionne les quantités d'azote fournies par le sol aux parties récoltées (GARSTANG, 1978). A la différence des résultats de Theix, la diminution n'est pas régulière avec l'âge. Les différences significatives se produisent uniquement de A1 à A2. GARSTANG (1978) et GAILLARD (1985) signalent des diminutions plus tardives entre A2 et A3. Selon GARWOOD et TYSON (1978), les "années de disette" de la prairie surviennent à des âges encore plus avancés (A5 à A8).

Un deuxième résultat essentiel est que l'effet négatif de l'âge est compensable par l'intensification passée de la fumure azotée (WHITEHEAD, 1970). Ainsi, les prairies âgées produisent plus à apport constant lorsqu'elles ont reçu pendant les années antérieures 350 (figure 7b) au lieu de 150 kg N/ha/an (figure 7a). L'utilisation d'engrais marqué montre que la fumure passée n'améliore pas la production par le biais de reliquats d'azote minéral apporté (WHITEHEAD, 1984), mais par la constitution d'un pool d'azote organique potentiellement très minéralisable (CHICHESTER et al., 1975). La fertilisation contribue elle-même à améliorer le taux de minéralisation de ce pool organique (SORENSEN, 1982). Les meilleures performances des prairies intensifiées sont donc attribuables à une participation accrue de la minéralisation à la croissance des parties récoltées.

La baisse de productivité avec l'âge a été attribuée à l'apport de débris racinaires immobilisant l'azote (WHITEHEAD, 1978). La revue bibliographique de PETROVIC (1990) montre bien que l'accumulation de matière organique est une fonction de l'âge des gazons. Le rôle de l'intensification des fumures azotées dans la réduction de l'immobilisation de l'azote apporté a été montré en prairies permanentes (LOISEAU, 1991). De même, une intensification raisonnée de la fertilisation azotée des prairies semées limite les chutes de production lors du vieillissement en limitant l'immobilisation.

Les prairies pérennes fauchées de moyenne montagne offrent la possibilité d'utiliser sans danger de lixiviation la fertilisation azotée dans un but d'amélioration de la fertilité azotée des sols. Dans un tel objectif, un raisonnement des apports devrait être calé sur le critère N_c , la dose qui annule le bilan apparent. Les apports supérieurs à N_c sont susceptibles d'être utilisés dans le sol pour améliorer ultérieurement le cycle du carbone et de l'azote. Au contraire, les apports inférieurs à N_c épuisent le sol et, surtout, bloquent un volant supplémentaire d'azote qui se trouve immobilisé par l'accumulation du carbone.

La mesure de N_c suppose d'établir les courbes de réponse aux apports azotés. Un diagnostic plus aisé est fourni par l'existence d'une relation entre N_c et le bilan en absence d'apport (B_0), dont la valeur absolue est pratiquement égale à la récolte en absence d'apport (N_0) (absence de lixiviation). Il suffit donc de mesurer N_0 et d'appliquer la relation entre N_0 et N_c , soit pour 7 cas étudiés à Theix (figure 8) :

$$N_0 = 0,54 N_c - 21 \quad r^2 = 0,90, \text{ avec } N_0 \text{ et } N_c \text{ en kg N/ha/an}$$

Le raisonnement s'applique de la même façon aux prairies permanentes dont 7 cas sont reportés figure 8. Un diagnostic plus pratique serait fourni par une caractérisation du niveau de nutrition minérale de la prairie. La relation entre N_c et le niveau de nutrition d'après la loi de dilution de SALETTE et LEMAIRE est à l'étude à Bourg-Lastic.

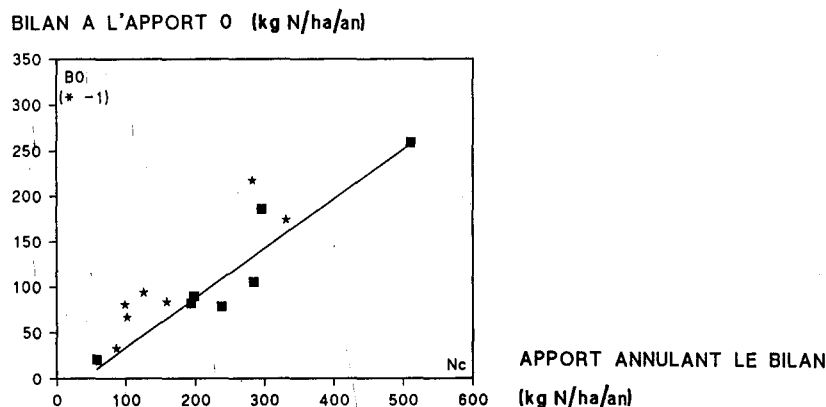


FIGURE 8 : Relation entre le bilan à l'apport nul (Bo) et la dose critique qui annule le bilan de l'azote (Nc) (carrés : fétuque élevée à Theix ; étoiles : prairies permanentes des Monts-Dore, de la plaine du Lembron et du plateau des Dômes).

FIGURE 8 : Relationship between the balance with no N applied (Bo) and the critical dressing, levelling the N balance (Nc) (squares : tall fescue in Theix ; stars : permanent pastures in Monts-Dore, Lembron lowlands and Dômes uplands).

Conclusion

Une adaptation des systèmes de culture à base de prairies temporaires semble préconisable dans une perspective conciliant le respect de l'environnement et la productivité des engrais. Elle consiste à raisonner la gestion des fertilisations azotées non plus seulement sur un objectif annuel de production mais dans un objectif de pérennisation des performances de productivité, propre à allonger la carrière des prairies. L'expérimentation montre que le "vieillissement" des peuplements fauchés de fétuque élevée en moyenne montagne n'est pas inéluctable et dépend plus de leur gestion que de leur âge. En particulier, un niveau suffisant d'apports azotés semble indispensable pour les graminées pures fauchées. Dans le contexte d'une moindre intensification, le taux croissant d'immobilisation de l'azote avec l'âge pourrait être compensé aussi en partie par l'association de la fétuque avec le trèfle blanc (ARNAUD et NIQUEUX, 1986).

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.,
"Maîtrise de la fertilisation et protection de l'environnement",
les 25 et 26 mars 1991.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNAUD R., NIQUEUX M. (1986) : "Forces et faiblesse du trèfle blanc en moyenne montagne", *Fourrages*, 106, 45-66.
- BARRACLOUGH D., HYDEN M.J., DAVIES G.P. (1983) : "Fate of fertilizer nitrogen applied to grassland. I. Field leaching results", *J. Soil Sci.*, 34, 483-497.
- CHICHESTER F.W., LEGG J.O., STANFORD G. (1975) : "Relative mineralization rates of indigenous and recently incorporated ¹⁵N-labelled nitrogen", *Soil Sci.*, 120, 6, 455-460.
- GAILLARD B. (1975) : "La fertilisation azotée des prairies", *C.R. Forum Fourrages de l'Est*, 160-170.
- GARSTANG J.R. (1978) : "The transition of a ley to a permanent grass cover the 10 years following reseeded", *Brit. Grassld. Soc. Occ. Symp. n° 10, Changes in sward productivity*, H.A. Charles et R. Haggard Ed., 31-40.
- GARWOOD E.A., TYSON K.C. (1978) : "Productivity and botanical composition of a grazed rye grass/white clover sward over 24 years as affected by soil conditions and weather", *Brit. Grassld. Soc. Occ. Symp. n° 10, Changes in sward productivity*, H.A. Charles et R. Haggard Ed., 41-46.
- LOISEAU P. (1991) : "Fourniture par le sol et utilisation de l'azote minéral dans les prairies de moyenne montagne volcanique", *Agronomie*, 9, 965-972.
- LOISEAU P., GRIGNANI C. (1991) : "Etats de l'azote organique et devenir de l'azote apporté sous les prairies de moyenne montagne", *Agronomie*, 11, 143-150.
- PETROVIC A. M. (1990) : "The fate of nitrogenous fertilizers applied to turfgrass", *J. Env. Qual., review and analyses*, 19, 1, 1-14.
- SORENSEN L.H. (1982) : "Mineralization of organically bound nitrogen as influenced by plant growth and fertilization", *Pl. and Soil*, 65, 51-61.
- WHITEHEAD D.C. (1970) : "The role of nitrogen in grassland productivity", *CAB Bull.*, 48, 202 p, p 75.
- WHITEHEAD D.C., DAWSON K.P. (1984) : "Nitrogen, including ¹⁵N-labelled fertilizer nitrogen, in components of a grass sward", *J. Appl. Ecol.*, 21, 983-989.

RÉSUMÉ

L'aptitude du sol à fournir de l'azote minéral diminue avec l'âge des prairies temporaires de fauche (fétuque élevée) recevant des apports constants d'azote. La lixiviation d'azote représente 84 à 105 kg N/ha/an l'année du semis, seulement 1 à 10% des apports l'année suivante, et presque rien au delà. A apports constants, des quantités d'azote croissantes sont stockées dans le sol au fil des ans. Le renouvellement de la prairie apparaît alors nécessaire.

La minéralisation mesurée par la lixiviation en sol nu après le retournement représente 205 à 307 kg N/ha/an en fonction des apports précédents de lisier ; les apports précédents d'azote minéral sont sans influence. Elle dépasse de 80 à 100 kg N les quantités minéralisées sous un précédent de culture annuelles. En présence de la céréale suivante, le taux de lixiviation de l'azote minéral disponible est de 13% et le taux d'organisation de 47%. Le précédent prairial ne modifie pas ces taux mais seulement la quantité d'azote minéral disponible.

Sur une période de 19 ans de rotation prairie temporaire/céréales, le bilan apparent du sol s'annule pour des apports azotés moyens de 256 kg N/ha/an. Le sol organise apparemment 49% et perd 8% des apports contre respectivement 41% et 19% dans une rotation exclusivement à base de cultures annuelles. Mais des pertes supplémentaires ressortent du bilan réel calculé à partir des mesures de l'azote du sol entre 0 et 20 cm.

La diminution des récoltes d'azote dans la fétuque élevée à apport constant d'azote se produit soit régulièrement, soit uniquement entre l'année suivant le semis et les années ultérieures. Pour un niveau d'apport donné, la production d'une prairie âgée dépend de la fertilisation qu'elle a reçue dans son plus jeune âge. Une intensification raisonnée des apports est capable de prolonger la carrière de la prairie et de diminuer la fréquence des retournements. Un raisonnement pluri-annuel des fumures azotées est proposé conciliant la rentabilisation des apports et la qualité des eaux de drainage.

SUMMARY

Indicators for the management of nitrogen in cropping systems including hay leys

The mineral nitrogen supplying capacity of the soil diminishes with increasing age of hay leys (tall fescue) receiving constant dressings of N fertilizer. Nitrogen leaching amounts to 84 to 105 kg N/ha/annuum in the sowing year, only 1 to 10% in the following year, and practically nil later on. Under constant dressings, increasing amounts of N are stored in the soil as years go by. It appears then necessary to renovate the pasture.

Mineralization, as measured by leaching from a bare soil after ploughing up amounts to 205-307 kg N/ha/yr according to the amounts of slurry previously applied ; previous applications of mineral N are without influence. It is higher by 80 to 100 kg N to the amounts mineralized after a preceding annual crop. Under a subsequent cereal crop, leaching of the available mineral N amounts to 13%, and organization to 47%. These proportions are not changed after a preceding ley, only the total available nitrogen is more abundant.

As measured on a period of 19 years of a ley-cereal rotation, the apparent N balance levels out for average dressings of 256 kg N/ha/yr. Apparently, 49% of the applied N gets organized in the soil, and 8% leaches out ; these figures are respectively 41% and 19% when the rotation includes annual crops only. Supplementary losses do occur however, when the real balance is calculated from soil N measurements between 0 and 20 cm.

Nitrogen uptake in a tall fescue ley with constant N fertilizer dressings decreases either regularly, or only between the year following sowing and the subsequent years. For a given level of application, the yield of an older ley depends on the dressings given in the earlier years. With a rational intensification of fertilizer application, it is possible to lengthen the productive life of the sward and to plough up less frequently. A multi-year plan of N fertilization is put forward, conciliating profitable dressings and the quality of drainage waters.