

Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies

J.C. Simon¹, F. Vertès², M.L. Decau¹, L. Le Corre²

L'approche globale des flux d'azote mis en jeu à l'échelle de l'exploitation d'élevage bovin ou de la prairie pâturée permet d'identifier les principales sources de variabilité des bilans d'azote. La prise en compte du système d'élevage est nécessaire pour raisonner les risques de lessivage.

RÉSUMÉ

Les flux d'azote en jeu à l'échelle de l'exploitation d'élevage ou de la prairie pâturée sont présentés. La synthèse des principaux résultats expérimentaux obtenus dans l'ouest de la France sur le lessivage de l'azote nitrique sous prairie pâturée montre la diversité des flux et la complexité du cycle de l'azote. En plus de la fertilisation, d'autres facteurs déterminants pour les flux doivent être pris en compte (complémentation, chargement, nature de la végétation présente...). Le chargement, paramètre synthétique, est un bon indicateur du niveau des pertes par lessivage ; au delà de 550 jours/ha/an, les concentrations en nitrate des eaux percolées augmentent rapidement. Diverses pratiques à promouvoir pour réduire les pertes d'azote vers les eaux sont exposées.

MOTS CLÉS

Association végétale, azote, bilan d'azote, chargement, exploitation agricole, fertilisation azotée, gestion des prairies, lessivage, mode d'exploitation, pâturage, prairie, système d'exploitation, système fourrager.

KEY-WORDS

Farm, farming system, forage system, grazing, leaching, nitrogen, nitrogen balance, nitrogen fertilization, pasture, pasture management, plant association, stocking rate, type of management.

AUTEURS

1 : Laboratoire Associé I.N.R.A. de Physiologie et Biochimie Végétale, Esplanade de la Paix, F-14032 Caen cedex.

2 : Station d'Agronomie, I.N.R.A., 4, rue Stang Vihan, F-29000 Quimper.

A la fin des années 80, l'augmentation régulière de la teneur en nitrate des eaux a conduit à intensifier les études concernant l'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux. Compte tenu du manque de références sur les pertes d'azote sous prairies pâturées, un important effort de recherche a été entrepris sur ce thème par divers organismes de recherche européens, en particulier par l'I.N.R.A. dans le grand ouest de la France, domaine traditionnel de la prairie (tableau 1). La prairie pâturée occupe à l'échelle nationale près de la moitié de la Surface Agricole Utile (38,6% en prairie permanente et 10,3% en prairies semées), selon le Recensement Général Agricole de 1989.

Les résultats disponibles à cette époque concernaient essentiellement la prairie fauchée où le lessivage d'azote s'avère faible tant que le niveau de fertilisation azotée demeure compatible avec les capacités d'exportation de la plante (soit environ 400 kg N/ha/an). Une expérimentation menée outre-Manche (RYDEN *et al.*, 1984) abordait le problème en prairie pâturée : ces auteurs mettaient en évidence des pertes très importantes par lessivage, pour un niveau de fertilisation azotée très élevé (420 kg N/ha/an). Il apparaissait donc prioritaire de préciser l'impact de ce mode d'occupation du sol.

Plusieurs dispositifs expérimentaux ont alors été mis en place dans le grand ouest de la France pour mesurer les pertes d'azote nitrique par lessivage sous prairie pâturée :

- en conditions très proches de la pratique agricole sur les sites de Quimper et Scaër (Finistère), de La Jaillièrre (Maine-et-Loire) et du Pin-au-Haras (Orne) ;

- en conditions plus expérimentales sur les sites de Quimper (Finistère) et du Robillard (Calvados).

Dans cet article de synthèse, nous présenterons dans un premier temps **une approche quantitative des flux d'azote mis en jeu dans les systèmes de production où la prairie pâturée occupe une place importante**. Cette analyse repose sur les indicateurs fournis par les bilans d'azote effectués soit à l'échelle globale de l'exploitation, soit à l'échelle de la parcelle prairiale pâturée. Dans un second temps, nous ferons **une synthèse des résultats obtenus sur l'ensemble des dispositifs expérimentaux du grand ouest de la France en mettant en évidence les principaux facteurs qui modulent les pertes d'azote par lessivage**. Ces acquis récents sur les flux d'azote au pâturage apportent un éclairage nouveau sur le cycle de l'azote en prairie dont l'originalité réside dans la présence d'un animal consommateur d'herbe (figure 1). Ces travaux ouvrent diverses perspectives de recherche en terme de modélisation, de prévision des pertes par lessivage et d'ai-

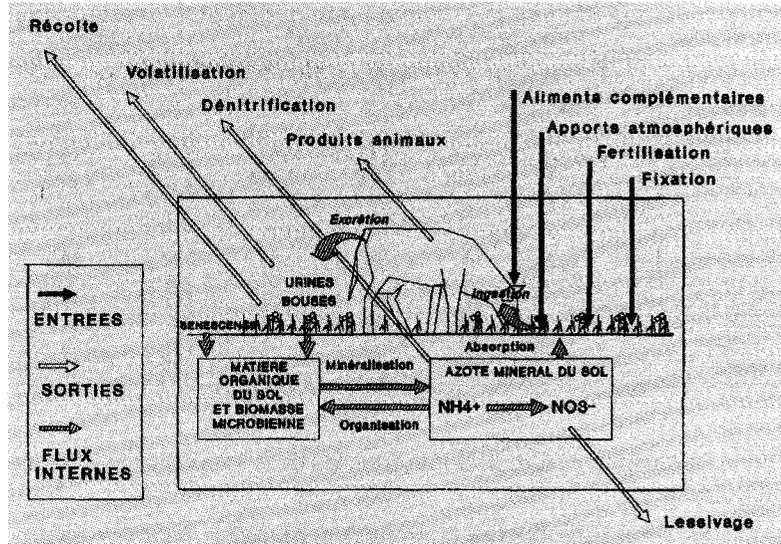
	Prairies permanentes	Prairies semées	SAU régionale (ha)
Bretagne	16	32	1 864 000
Basse-Normandie	62	4	1 412 000
Pays-de-la-Loire	35	10	2 424 000
Poitou-Charentes	21	13	1 817 000

TABLEAU 1 : **Place de la prairie** (permanente ou semée) **dans les assolements du grand ouest de la France** (en % de la SAU).

TABLE 1 : **Place of grasslands** (% useable agricultural area) **in Western France**.

FIGURE 1 : Le cycle de l'azote en prairie pâturée.

FIGURE 1 : The nitrogen cycle in a grazed pasture.



de à la décision pour optimiser la gestion de l'azote dans les systèmes d'élevage herbagers.

Bilans de l'azote à l'échelle de l'exploitation

SIMON *et al.* (1992, 1994 et 1995) ont posé les bases d'une **méthode de calcul du bilan annuel de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole qui repose sur une estimation des entrées et sorties de cet élément à partir de données obtenues par enquête auprès des agriculteurs**. Cette méthode simple et robuste considère l'exploitation comme une boîte noire et ne fait intervenir aucune hypothèse de transformation de l'azote au sein de l'exploitation.

Les diverses entrées d'azote sous forme d'engrais, d'aliments pour les animaux, de déjections animales importées sont quantifiées. La fixation symbiotique est également prise en compte, seule donnée calculée à partir des renseignements fournis sur la production annuelle et sur le taux moyen de légumineuses présentes dans les parcelles concernées (SIMON *et al.*, 1995). Les sorties, sous forme de produits végétaux et animaux ou de déjections exportées, sont soustraites aux entrées afin de déterminer le bilan annuel de l'azote. Le solde du bilan, très souvent positif, est assimilable à un "potentiel polluant". L'azote excédentaire se répartit entre :

- le sol, où il peut se stocker (augmentation du taux de matière organique du sol) ; néanmoins, on observe le plus souvent, pour les prairies de courte durée (1-3 ans) comme pour les sols cultivés, un *statu quo* ou un déstockage (diminution du taux de matière organique) ;

Exploitation	Conventionnelle		Durable		Biologique	
	Bretagne	Normandie	Bretagne	Normandie	Bretagne	Normandie
Nb d'exploitations	24	28	15	16	22	28
Production laitière :						
- /ha SFP/an	7 900	5 570	5 500	5 700	4 600	2 890
- /Vache Laitière	5 810	5 580	6 000	5 580	5 500	3 840
Chargement (UGB/ha)	1,91	1,49	1,40	1,47	1,31	1,17
Assolement (%) :						
- prairie permanente	0	50	10	44	70	68
- graminée pure	51	8	18	2	0	0
- association (RGA/TB)	0	4	35	19	12	11
- maïs ensilage	38	24	15	22	0	1
- céréales	10	13	17	12	0	9
- divers	1	1	5	1	18	11

TABLEAU 2 : Principales caractéristiques des 133 fermes laitières étudiées dans l'ouest de la France.

TABLE 2 : Main characteristics of the 133 dairy farms studied in Western France.

- l'atmosphère, suite aux phénomènes de volatilisation et de dénitrification ;

- les eaux superficielles et profondes, où l'azote peut être entraîné par lixiviation ou ruissellement.

Le tableau 2 présente une synthèse des caractéristiques générales d'environ **130 exploitations laitières enquêtées selon cette méthode, en Bretagne et en Basse-Normandie, pour trois grands choix stratégiques de l'agriculteur : agriculture conventionnelle, autonome (ou durable) et biologique**. Rappelons que l'on entend par développement durable "celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins" (BRUNDTLAND, 1987). Si la caractérisation des deux derniers types est relativement aisée dans la mesure où un tel choix implique l'adhésion à un cahier des charges précis, celle du type conventionnel est beaucoup plus difficile car ce type regroupe des exploitations très disparates. En Bretagne, l'échantillon est constitué de fermes intensives où le niveau de production laitière est élevé ; le système fourrager simplifié est à base de maïs ensilage et de ray-grass anglais recevant une forte fertilisation azotée. En Basse-Normandie, il s'agit de fermes d'élevage très variées dans leurs objectifs et dans le choix des systèmes de production, certaines exploitations pouvant se rapprocher du type "agriculture durable" sans avoir pour autant adhéré officiellement à un cahier des charges précis ; leur niveau de production laitière présente une grande variabilité et le système fourrager est le plus souvent basé sur la prairie permanente plus ou moins fertilisée.

Les flux d'azote mis en jeu dans ces trois grands types d'exploitations sont nettement différents comme le montre le tableau 3.

Les chiffres moyens présentés dans les tableaux 2 et 3 cachent **une variabilité importante qui relativise l'intérêt de la typologie assez grossière qui a été retenue**. Il serait vraisemblablement plus intéressant d'affiner la caractérisation des systèmes de production, certains pouvant se retrouver sous plusieurs étiquettes comme cela a été signalé plus haut. Ainsi, certaines exploitations en agriculture biologique rencontrées en Bretagne peuvent être considérées comme

TABLEAU 3 : Bilan de l'azote à l'échelle de l'exploitation pour les 133 exploitations laitières étudiées dans l'ouest de la France.

TABLE 3 : Nitrogen balance on the farm scale (133 dairy farms in Western France).

Exploitation	Conventionnelle		Durable		Biologique	
	Bretagne	Normandie	Bretagne	Normandie	Bretagne	Normandie
Entrées	267	169	176	161	115	31
Engrais	200	119	47	80	0	4
Aliments	64	41	51	43	18	7
Fixation	0	7	62	28	85	20
Divers	3	2	16	10	12	0
Sorties	61	41	45	40	30	25
Lait	47	27	26	30	24	16
Viande	8	5	6	6	4	4
Cultures	6	9	13	4	2	5
Solde Bilan	+ 206	+ 128	+ 135	+ 121	+ 77	+ 6
Sorties/Entrées	23%	32%	29%	25%	26%	81%

intensives et présentent des bilans supérieurs à certaines exploitations conventionnelles très herbagères où les niveaux de production sont modérés. **Par ailleurs, le contexte pédoclimatique interfère dans cette typologie**, une situation favorable à la croissance de l'herbe pouvant conduire à des niveaux élevés de production herbagère en dépit de faibles niveaux d'intrants azotés. De tels exemples ont pu être observés en Basse-Normandie où il n'est pas rare, en terres alluviales fertiles et bien approvisionnées en eau, d'obtenir une excellente production d'herbe sans azote : par exemple, en prairie permanente à *Lolium perenne*, le sol peut fournir jusqu'à 150 kg N/ha/an à la prairie. A titre de comparaison, en sol granitique plus séchant du Finistère, cette fourniture est nettement inférieure, entre 50 et 80 kg N/ha/an.

Ces réserves étant faites, on remarque dans le tableau 3 que les flux d'azote diffèrent fortement entre types d'exploitations et que les excédents sont extrêmement variables :

- **les excédents les plus élevés (200 kg N/ha/an) sont observés dans les exploitations conventionnelles de Bretagne** où le système fourrager repose sur le maïs ensilage et sur les prairies semées de ray-grass recevant une forte fertilisation azotée (200 à 250 kg N/ha/an) ; ce fort niveau d'excédent s'explique par **un net déséquilibre entre les entrées d'azote pour assurer les besoins alimentaires du troupeau** (via les engrais minéraux et les concentrés) **et les sorties** (via le lait et la viande) qui sont faibles en proportion ;

- **les exploitations conventionnelles de Normandie et durables, où la sole prairiale est dominante** (plus de 60% de la SAU), **sont modérément excédentaires** (environ 130 kg N/ha/an) ; les trois types d'exploitation correspondants sont comparables tant au niveau des performances zootechniques (5 500 à 5 700 l de lait/ha/an) qu'à celui des flux globaux d'azote en jeu ; dans les exploitations durables, les engrais minéraux sont remplacés en partie par la fixation symbiotique du trèfle blanc cultivé en association avec le ray-grass anglais ;

- **les excédents sont faibles dans les exploitations biologiques ; les fermes biologiques bas-normandes se distinguent** de toutes les autres catégories par des niveaux de production peu élevés, qu'ils soient ramenés à l'animal (moins de 4 000 l lait/VL/an) ou à la surface (moins de 3 000 l lait/ha SFP/an) ; elles se singularisent éga-

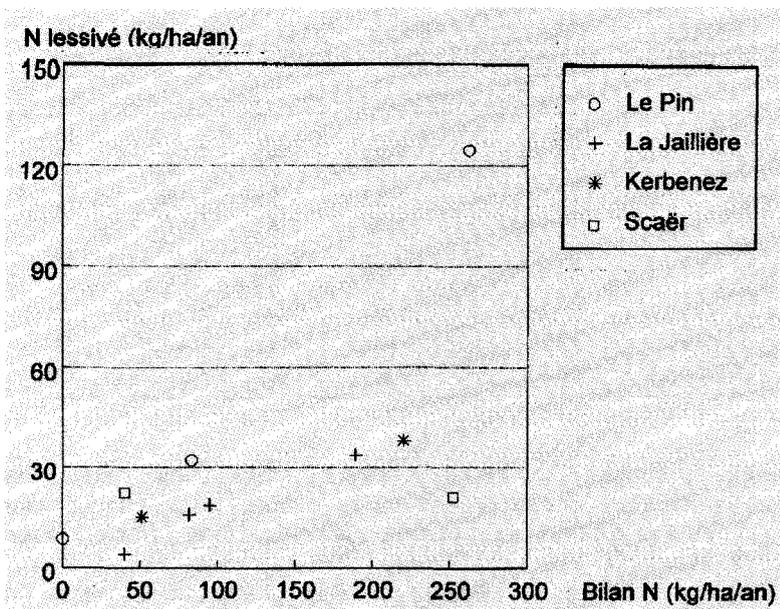


FIGURE 2 : Bilan annuel moyen de l'azote à l'échelle de la parcelle et lessivage annuel moyen mesuré.

FIGURE 2 : Mean yearly nitrogen balance (field scale) and mean yearly nitrogen leaching.

lement **par une très grande efficacité d'utilisation de l'azote** (exprimée par le rapport "entrées N / sorties N") : 80%, au lieu de 25 à 30% pour les autres catégories d'exploitations, mais avec des quantités d'azote en jeu faibles tant en entrées qu'en sorties.

Pour les deux régions considérées, on n'observe **pas de relation significative entre le niveau de production laitière** (exprimé en l lait/ha SFP/an) **et le solde de bilan**. Les conditions pédoclimatiques n'y sont pas limitantes pour la production d'herbe et **l'optimisation technique de l'éleveur intervient pour une grande part dans l'importance de l'excédent**. Il semble que **les grands choix stratégiques influencent moins ce résultat que les choix tactiques ponctuels** dont certains peuvent fournir des éléments de référence extrapolables et intéressants.

Bilans de l'azote à l'échelle de la parcelle et prédiction des risques de lessivage

Si les bilans moyens à l'exploitation présentent une gamme de variation comprise entre 0 et 200 kg N/ha/an, **les bilans effectués au niveau parcellaire mettent en évidence une amplitude de variation beaucoup plus large** : depuis des bilans négatifs (indiquant un éventuel déstockage d'azote à partir du compartiment organique du sol, ou une mauvaise estimation de certains termes du bilan) jusqu'à des bilans fortement excédentaires atteignant 400 kg N/ha/an.

Cette plus forte variabilité peut s'expliquer par la diversité de gestion de l'azote au niveau parcellaire. L'agriculteur est en effet amené à intégrer des contraintes qui peuvent faire sortir ses choix stratégiques du cadre d'une fertilisation raisonnée. Divers exemples peuvent illustrer ces pratiques dangereuses : parcelles "poubelles", parcelles d'exercice où séjournent les animaux en période hivernale, etc. Cette hétérogénéité, dont le principe est bien connu mais dont la caractérisation précise est difficile, aboutit à une forte diversité des bilans parcellaires et au fait qu'**un bilan d'azote faible à l'échelle d'une exploitation peut cacher des risques de pollution localement très élevés**. Cette considération est l'une des bases du bilan "BASCULE" (BENOIT, 1992), qui somme les bilans parcellaires en excluant ceux qui sont négatifs ou nuls, pour reconstituer le bilan à l'exploitation comme indicateur de risque global.

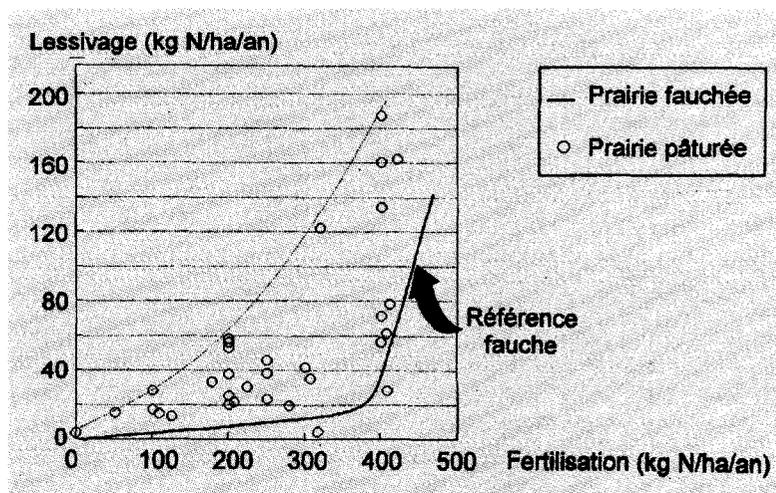
La figure 2 illustre, pour quelques sites expérimentaux de l'ouest (Bretagne, Normandie et Pays-de-la-Loire), la relation existant entre le bilan annuel moyen de l'azote à l'échelle de la parcelle et le lessivage annuel moyen mesuré. Indiquons que, selon les essais, le lessivage de l'azote a été estimé avec différents outils : la parcelle drainée (La Jaillière, Scaër), le lysimètre (Kerbernez) et les bougies poreuses (Le Pin-au-Haras).

Pour cette zone géographique où la pluviométrie est moyenne à forte (exception faite du site de La Jaillière), on observe la tendance suivante : **le lessivage augmente avec le solde du bilan azoté parcellaire, ce qui confirme la pertinence de cet indicateur pour estimer un risque de pollution nitrique**, du moins si la durée des expérimentations est suffisante pour intégrer une inévitable variabilité climatique interannuelle. On se reportera pour plus ample information à FARRUGGIA *et al.* (dans ce même numéro).

Cette tendance n'apparaît plus quand on remplace les valeurs moyennes par les résultats correspondant aux diverses années de mesure pour un même traitement et pour un même site. Cette forte

FIGURE 3 : Influence du niveau de fertilisation azotée sur les pertes d'azote nitrique par lessivage : comparaison de la prairie fauchée et de la prairie pâturée.

FIGURE 3 : Relationship between nitrogen fertilization and nitrate leaching. Effect of the type of management : cutting and grazing.



variabilité s'explique en grande partie par l'impact des conditions météorologiques sur les divers flux d'azote au niveau de la prairie :

- dans le sol : influence de la température et de l'humidité du sol, des alternances sécheresse - humidité..., sur les phénomènes de minéralisation et d'organisation ;

- dans la plante : variabilité des conditions de croissance et donc des exportations d'azote par le couvert prairial ;

- dans les eaux : variabilité des précipitations, de la consommation d'eau par la prairie, du bilan hydrique et finalement du drainage.

La variabilité qui s'exprime pleinement à ce niveau d'approche montre les difficultés que l'on rencontre pour prédire les pertes d'azote par lessivage. Il importe donc de préciser la nature et le rôle des différents facteurs à l'origine de cette variabilité afin de mieux comprendre et prévoir le phénomène de lessivage au pâturage. Cette analyse est développée dans l'article suivant (VERTÈS *et al.*, même numéro) à la lumière des derniers résultats expérimentaux. Auparavant, nous présenterons une synthèse des principaux acquis sur le lessivage de l'azote nitrique sous prairie pâturée, dans l'Europe de l'ouest.

Lessivage d'azote sous prairies pâturées

1. Synthèse des résultats obtenus dans l'Europe de l'ouest

Les résultats expérimentaux publiés actuellement sur les pertes par lessivage sous prairies de graminées pures pâturées sont assez cohérents entre eux (figure 3, d'après RYDEN *et al.*, 1984 ; STEELE *et al.*, 1984 ; GARWOOD *et al.*, 1986 ; SCHOLEFIELD *et al.*, 1988 ; SHERWOOD *et*

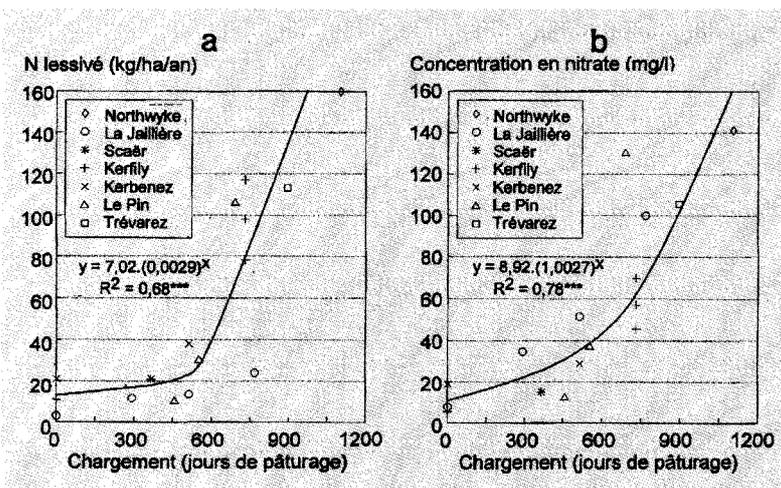


FIGURE 4 : Relation entre chargement et lixiviation exprimée en quantité d'azote lessivé (a) ou en concentration en nitrate des eaux percolées (b), pour divers sites d'étude en Europe de l'ouest.

FIGURE 4 : Relationship between stocking rate and leaching : a) amount of N leached, b) nitrate concentration in leaching water, for various experimental sites in Western Europe.

RYAN, 1990 ; DECAU et SALETTE, 1994 ; OWENS *et al.*, 1994 ; MACDUFF *et al.*, 1989 ; VERTÈS *et al.*, 1994 ; SIMON, 1995...). Comparativement à la courbe de réponse observée en fauche, les pertes d'azote nitrique au pâturage apparaissent dans l'ensemble plus élevées : elles demeurent modérées (moins de 40 kg N/ha/an) pour un niveau de fertilisation azotée inférieur à 200 kg N/ha/an. Elles atteignent dans certaines situations 60 kg N/ha/an pour un apport de 200 kg N/ha/an. Au delà, elles ont tendance à augmenter fortement mais une grande diversité de réponse apparaît entre auteurs, ce qui met en évidence que le niveau de fertilisation azotée n'est pas le seul facteur explicatif du niveau de pertes de nitrate.

Un paramètre plus synthétique comme le chargement, exprimé en nombre de jours de pâturage par hectare et par an, semble mieux expliquer le niveau des pertes par lessivage. Le nombre de jour de pâturage (JP) est calculé de la façon suivante :

$$JP = \text{nombre de jours de présence} \times \text{équivalent UGB} \times \text{nombre d'animaux}$$

Nous avons rassemblé figure 4 l'ensemble des résultats pour lesquels ce paramètre pouvait être calculé. Le lessivage est exprimé soit en kg N/ha/an (figure 4a), soit en mg NO₃/l (figure 4b). On peut remarquer qu'**il existe une bonne corrélation entre chargement et lessivage** que ce dernier soit exprimé en quantité ou en concentration. Le coefficient de détermination (R²) est néanmoins plus élevé lorsque le lessivage est exprimé en concentration.

Quand le nombre de jours de pâturage est inférieur à 500 - 550/ha/an, les concentrations en nitrate sont inférieures à 50 mg/l. Au delà, elles augmentent rapidement pour atteindre de très fortes valeurs au voisinage de 700 jours de pâturage.

2. Effet du mode de conduite sur les pertes par lessivage

Diverses expérimentations menées avec des bovins viande (DECAU et SALETTE, 1994) mettent en évidence que **l'introduction d'une fauche dans le calendrier de pâturage, en vue de produire du foin ou de l'ensilage, conduit à réduire notablement les pertes par lessivage** (tableau 4). Dans les conditions expérimentales rencontrées, l'introduction d'une fauche sur une prairie de graminée pure recevant 250 kg N/ha/an conduit à réduire le nombre de jours de pâturage sur

TABLEAU 4 : **Effet du mode de conduite** (introduction d'une fauche dans le calendrier de pâturage) **sur le lessivage d'azote nitrique** (La Jaillière, 1991-1995).

TABLE 4 : **Effect of the type of management** (cutting or grazing) **on nitrate leaching** (La Jaillière, 1991-1995).

Mode d'exploitation	Fertilisation azotée (kg/ha/an)	Chargement (jours pâturage/ha/an)	N lessivé (kg/ha/an)	Concentration moyenne de l'eau (mg NO ₃ /l)
Fauche	250	0	3	8
Pâturage	125	510	13	51
Pâturage	250	765	24	101
Pâturage + fauche	250	290	11	35

Prairie	Chargement (jours pâturage/ha/an)	Drainage (mm)	N lessivé	
			(kg N/ha/an)	(mg NO ₃ /l)
Ray-grass anglais	0 (fauche)	572	23	
	515*	572 - 628	38	19
Association	0 (fauche)	551	14	
	500*	625	15	14

* calcul à partir des heures de séjour sur la parcelle expérimentale (animaux sortis la nuit).

la parcelle (290 contre 765) et à diviser par 3 la concentration en nitrate des eaux percolées. On peut remarquer par ailleurs sur ce même tableau que, pour un niveau de fertilisation azotée moitié moindre (125 kg N/ha/an), le simple régime pâture conduit à un lessivage d'azote nitrique supérieur à celui du système fauche - pâture (250 kg N/ha/an). Sur cette parcelle où la fertilisation azotée est moins intensive, le chargement critique est atteint (510 jours/ha/an) et la concentration des eaux percolées se situe au niveau du seuil de potabilité.

3. Intérêt des associations graminées - trèfle blanc

L'utilisation de prairies mixtes à base de graminées et de trèfle blanc est souvent présentée comme une alternative intéressante pour limiter les pertes par lessivage en prairie pâturée. Les quelques résultats expérimentaux obtenus sous ce type de prairies, sans fertilisation azotée, mettent généralement en évidence des pertes modérées : 10 à 20 kg N/ha/an dans la majorité des cas (RYDEN *et al.*, 1984 ; SMITH *et al.*, 1990 ; SIMON, 1993 ; OWENS *et al.*, 1994...).

Le tableau 5 expose les résultats obtenus sur les parcelles pâturées équipées de lysimètres sur le site de Quimper. Dans cette expérimentation, **les pertes d'azote nitrique par lessivage sont modérées : elles apparaissent légèrement plus faibles sous association que sous ray-grass**. Ce niveau inférieur de pertes peut s'expliquer en partie par les phénomènes de régulation observés sous association au niveau des pissats : diminution du taux de trèfle et de la fixation symbiotique sur les surfaces touchées (voir l'article suivant).

En règle générale, le niveau inférieur de pertes sous association peut s'expliquer par des chargements moins élevés car la productivité de ces prairies est plus faible. Une grande prudence s'impose, trop peu de résultats étant actuellement disponibles. Certains auteurs signalent en effet une forte augmentation du lessivage dans le cas de taux de trèfle blanc très élevés. Dans le dispositif lysimétrique, les taux de trèfle des années prises en compte ici sont respectivement de 40, 10, 20 et 40% de 1990 à 1993.

TABLEAU 5 : Lessivage d'azote nitrique sous association graminée - trèfle blanc (0N) et sous ray-grass anglais (250N) pâturés par des génisses (Quimper, 1991-1994).

TABLE 5 : Nitrate leaching under a grass/clover sward (no N) and under a pure perennial ryegrass sward (250 N), both grazed by heifers (Quimper, 1991-1994).

Conclusion

Les travaux de recherche sur les flux d'azote au pâturage développés par l'I.N.R.A. dans le grand ouest de la France (Bretagne, Pays-de-la-Loire, Basse-Normandie) mettent en évidence la complexité du cycle de l'azote en prairie pâturée et les difficultés rencontrées pour maîtriser les flux d'azote vers les eaux. Face à la diversité des situations rencontrées, on comprend qu'il n'est pas possible de proposer une "recette" passe-partout. La multiplicité des flux montre que la maîtrise de la fertilisation azotée n'est qu'un aspect du problème. Certains flux tout aussi importants sont conditionnés par la conduite du troupeau (complémentation de l'alimentation, chargement) mais aussi par la nature de la végétation présente (taux de légumineuses).

Néanmoins, d'un point de vue pragmatique, il est possible de relever un certain nombre de pratiques à promouvoir et de préciser quelques pistes de recherche pour réduire très sensiblement ces pertes ; elles concernent la maîtrise de la fertilisation des prairies et de la conduite des prairies et du troupeau.

■ Limiter les pertes par la maîtrise de la fertilisation des prairies

- **Mieux ajuster la fertilisation azotée minérale** : La fertilisation minérale des prairies a trop longtemps été basée sur des essais fauchés qui n'intègrent pas la présence de l'animal dont on mesure aujourd'hui le poids prépondérant dans le système. Cette prise en compte peut conduire à revoir à la baisse les niveaux de fertilisation pratiqués. A titre d'exemple, dans le département du Finistère, la fertilisation moyenne des prairies en ray-grass pur a diminué de 100 à 150 kg N/ha/an entre la fin des années 80 et aujourd'hui, sans changement notable de niveau de production animale sur les surfaces concernées.

- **Limiter, voire supprimer, les apports d'azote en automne** : Il conviendrait de supprimer les apports de fertilisation en automne s'ils sont excessifs par rapport à la capacité d'absorption de la prairie au cours de la période hivernale. La prairie ne doit pas servir d'exutoire aux excédents de déjections animales.

Ces deux premiers points peuvent être mis en pratique rapidement.

- **Prendre en compte la minéralisation de l'azote du sol** : Cette prise en compte nécessite des avancées significatives sur le plan des connaissances, ce domaine étant encore mal connu sous prairies avec animaux.

- **Valoriser les déjections maîtrisables sur prairie** : Une valorisation éventuelle des lisiers, fumiers et purins sur prairie pose plus de problèmes d'un point de vue sanitaire pour le bétail (voire d'appétence

pour l'herbivore consommateur d'herbe) que d'un point de vue strictement agronomique ; néanmoins, les agronomes doivent approfondir les connaissances sur l'utilisation de fumiers compostés en prairie.

■ Limiter les pertes par la maîtrise de la conduite des prairies et du troupeau

- **Maîtriser le chargement animal** : Il convient de ne pas pratiquer des chargements animaux trop élevés ; dépasser 500 à 550 jours de pâturage par hectare et par an conduit à dépasser la norme des 50 mg de nitrate par litre dans les eaux percolées.

- **Alterner pâture et fauche** : Quand cela est possible, il est intéressant d'insérer une fauche (foin ou ensilage) dans le calendrier de pâturage. Cette pratique a pour effet de diminuer très nettement les pertes d'azote vers les eaux.

- **Recourir aux associations graminées - légumineuses ?** : Les travaux concernant les associations doivent être poursuivis, les connaissances actuelles relatives à leur impact sur la qualité de l'eau étant encore insuffisantes. Néanmoins, si les résultats actuels se confirment, le recours aux associations graminées - trèfle blanc pourrait être bénéfique dans les contextes favorables, sous réserve de pouvoir maîtriser le taux de légumineuse s'il est trop élevé.

- **Eviter de laisser les animaux stationner sur des parcelles d'exercice en hiver** : Cette pratique, qui consiste à laisser à disposition du troupeau une parcelle proche de la stabulation durant la période hivernale, conduit à un chargement animal généralement élevé et à une dégradation (voire une destruction) du couvert prairial. Les pertes d'azote par lessivage sont très élevées.

Pour autant que certaines pratiques s'avèrent intéressantes pour l'environnement, elles ne doivent pas être considérées isolément en faisant abstraction du reste du système. Les mesures agri-environnementales concernant la prairie pâturée doivent être raisonnées en tenant compte du contexte dans lequel elles sont envisagées, faute de quoi les effets escomptés pourraient ne pas être à la hauteur des espérances. **La gestion de l'azote des prairies doit en effet être intégrée à la fois au niveau du système fourrager et du système d'élevage. La réponse parcellaire est incomplète.** Le raisonnement doit s'appuyer sur d'autres contraintes liées au système d'exploitation. Une telle intégration a été tentée en développant un modèle de simulation des flux d'azote adapté aux prairies pâturées (AzoPât). Ce modèle, qui est le fruit d'une collaboration entre agronomes et zootechniciens, est présenté dans ce numéro de *Fourrages* (DELABY *et al.*, DECAU *et al.*).

Accepté pour publication, le 10 novembre 1997.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENOIT M. (1992) : "Un indicateur des risques de pollution azotée nommé "BASCULE" (Balance Azotée Spécialisée des systèmes de Culture de l'Exploitation)", *Fourrages*, 129, 95-110.
- BRUNDTLAND G.H. (1987) : *Our common future*, The world commission on Environment and Development, Oxford University Press, 383 p.
- DECAU M.L., SALETTE J. (1994) : "Reducing nitrate leaching from grassland by manipulating grazing/cutting regimes and rate of N fertilizer", *15th Gen. Meet. of Europ. Grassl. Fed.*, Workshop proceedings, Wageningen, 6-10 june 1994, 213-217.
- GARWOOD E.A., RYDEN J.C., TYSON K.C. (1986) : "Nitrogen losses from drained grassland", *Occasional symposium 20, Brit. Grass. Soc., Grassland manuring*, 70-74.
- MACDUFF J.H., JARVIS S.C., ROBERTS D.H. (1989) : "Nitrate leaching under grazed grassland : measurements using ceramic cup samplers", *Fertilization and the environment*, Eds Merckx R., Vereecken H. & Vlassak K., Leuven University Press, Leuven, 72-78.
- OWENS L.B., EDWARDS W.M., VAN KEUREN R.W. (1994) : "Groundwater nitrate levels under fertilized grass and grass-legume pastures", *J. Environ. Qual.*, 23 (4), 752-758.
- RYDEN J.C., BALL P.R., GARWOOD E.A. (1984) : "Nitrate leaching from grassland", *Nature*, vol. 311, n°5981, 50-53.
- SCHOLEFIELD D., GARWOOD E.A., TITCHEN N.M. (1988) : "The potential management practices for reducing losses of nitrogen from grazed pastures", *N efficiency in agriculture soils*, Ed. Jenkinson D.S. & Smith K.A., Elsevier Applied Science, 220-229.
- SHERWOOD M., RYAN M. (1990) : "Nitrate leaching under pastures", *Nitrates, Agriculture, Eau*, Ed Calvet, 323-333.
- SIMON J.C., LE CORRE L. (1992) : "Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole : méthodologie ; exemples de résultats", *Fourrages*, 129, 79-94.
- SIMON J.C. (1993) : "Conduite des associations : maîtrise du taux de trèfle blanc et des risques de pollution nitrique", *Fourrages*, 135, 481-497.
- SIMON J.C., LE CORRE L., VERTÈS F. (1994) : "Nitrogen balances on a farm scale : results from dairy farms in north west of France", *Proc. 15th Gen. Meet. Europ. Grassl. Fed., Wageningen* (June 6-9), *Grassland and Society*, Ed. L. 't Mannetje, J. Frame, Pays-Bas, 429-433.
- SIMON J.C. (1995) : "Lessivage de l'azote nitrique et des cations accompagnateurs. Une situation de référence : le climat atlantique très pluvieux", *C. R. Acad. Fr.*, 81, n°4, 55-70.
- SIMON J.C., VIVIER M., MANTEAUX N., YAOUANC A., FLIPO I., LEVEAU J.M., F. GUAIS (1995) : *Les exploitations herbagères de Basse Normandie et l'environnement : Estimation de l'excédent d'azote par la méthode du bilan apparent*, Brochure éditée par le G.I.S. APEX (INRA, Université de Caen, Chambres d'Agriculture bas-normandes et Lycée du Robillard), 37p + annexes.
- SMITH R.V., JORDAN C., STEEN R.W.J., TAGGART P.J., LAIDLAW A.S., STEWART D.A. (1990) : *Nitrogen input/output budgets for grazed grassland site in Northern Ireland*, Proc. 1st ESA Congr., Paris (5-7 déc.), S5, 21 p.

- STEELE K.W., JUDD M.J., SHANNON P.W. (1984) : "Leaching of nitrate and other nutrients from a grazed pasture", *New Zealand J. of Agric. Res.*, vol 27, 5-11.
- VERTÈS F., SIMON J.C., LE CORRE L. (1994) : "Nitrate leaching under pastures : study of the consequences on soil-plant system in a lysimeter experiment, *Proc. 15th Gen. Meet. of the Europ. Grassl. Fed.*, June 6-9, Wageningen; *Grassland and Society*, Ed. L. 't Mannetje and J. Frame, 466-470.

SUMMARY

Nitrogen flows in grazed pastures. I- Balances on the farm scale and nitrate leaching under pastures

After a general presentation of the importance of nitrogen flows both on the whole-farm scale and on the scale of separate fields, this paper synthesizes the main experimental results obtained in Western France regarding the leaching of nitrogen from grazed pastures. These studies show the diversity of nitrogen flows, the complexity of the nitrogen cycle in those systems, and the management difficulties encountered for the control of nitrate leaching. The control of nitrogen fertilization appears to be only one aspect of the problem, as other flows such as animal feed complementation, stocking rate, sward type, etc. have also to be taken into account. A synthetic parameter such as stocking rate (expressed as number of grazing days per hectare per year) seems to be a good indicator of nitrate leaching. Below 550 grazing days/ha/yr, the nitrate concentration in leached water is below the limit (50 mg/l) fixed for suitability for drinking. Above 550 grazing days/ha/yr, there is a rapid increase in nitrate concentration. Several practices to reduce nitrate leaching are described.