

Azote et prairie : questions et perspectives

S. Hénin

De nombreuses observations ont montré que, sous cultures annuelles largement fertilisées, on observait souvent des lessivages importants de nitrates. Sous prairie, il était admis que les pertes étaient faibles, du moins pour des prairies fauchées sur sol profond, à 80 cm par exemple (GACHON et TRIBOI, Theix, 1980), et pour des fertilisations de l'ordre de 373 kg/ha/an. Mais des résultats anglais récents montrent que sous pâturage les résultats sont très différents. Le tableau 1 rappelle, à titre d'exemple, les résultats obtenus à Hurley par PARKER (1968). On trouve peu de données aussi complètes dans la littérature ; l'effet du pâturage est particulièrement inquiétant. En effet de nombreuses mesures, effectuées à partir des nappes situées sous prairies, ont fait apparaître des teneurs en nitrate se situant dans les ordres de grandeur suivants : de 1,5 à 15 mg/l (DELOUVÉE, 1980, en Normandie), de 17 à 40 mg/l (FUSTEC, 1986, région toulousaine). Seules les courbes publiées par KOLENBRANDER (1980) pouvaient faire soupçonner que ces résultats étaient optimistes.

Un fait retient particulièrement l'attention, il s'agit des faibles exportations d'azote en systèmes pâturés (SIMON, 1992, ce colloque : Journées A.F.P.F. 1991). Un autre point mérite également d'être médité, ce sont les pertes par voies gazeuses, en particulier sous forme ammoniacale (MC DUFF, ce colloque). Il convient donc de se faire une idée d'ensemble de la situation globale, bien que l'on ne puisse

MOTS CLÉS

Azote, bilan d'azote, drainage, écologie, lessivage, prairie, nitrate.

KEY-WORDS

Drainage, ecology, leaching, nitrate, nitrogen, nitrogen balance, pasture.

AUTEUR

Ministère de l'Environnement, 45, av. G. Mandel, F-75016 Paris.

faire état que d'ordres de grandeur, en considérant les mouvements d'azote sur le territoire national (Rapport du groupe "Activités agricoles et qualité des eaux", 1980) et le bilan biogéochimique de l'azote établi à l'échelle mondiale par SODERLUND et SVENSSON (1976), dans l'hypothèse d'un état stationnaire. Ces dernières données figurent tableau 2.

Exploitations	entrées		sorties				Bilan	Enrichissement du sol
	Fertilisation	Pluies et Fixation	Exportations (récolte)	Lessivage NO ₃	Dénitrification N ₂ ; NO ₂	Volatilisation (NH ₃)		
Ray-grass fauché	420	15	300 (plante)	29	20	0	86	93
Ray-grass pâturé	420	15	29 (produits animaux)	160	40	80	111	112
Ray-grass trèfle blanc pâturé	0	15 + 120	23 (produits animaux)	23	4	10	75	109

TABLEAU 1 : Exemple de bilan d'azote en prairie (kg/ha/an ; PARKER, 1968).

TABLE 1 : Example of nitrogen balance in a pasture (kg/ha/an ; PARKER, 1968).

Gains	Pertes					
	vers l'atmosphère					vers l'océan
	gaz divers				Dénitrification	Lessivage
	NH ₃		NO _x		N ₂ , N ₂ O	NO ₃ ⁻
	émission		émission		émission	émission
	178		74		134	19
	refixé	perdu	refixé	perdu		
	78 %	22 %	78 %	22 %		
194	138	40	58	16	134	19
194	40 + 16 + 134 + 19 = 209					
Il y a donc pratiquement équilibre : les gains, 194, sont équivalents aux pertes, 209, aux imprécisions près des calculs : le bilan N du globe doit être nul.						

TABLEAU 2 : Bilan d'azote pour le globe (en millions de tonnes ; SODERLUND et al., 1976).

TABLE 2 : World nitrogen balance (in 10⁶ tons ; SODERLUND et al., 1976).

Au plan mondial, les entrées sont évaluées à 194.10⁶ tonnes. Il y a émission de 178.10⁶ tonnes de N (NH₃) dont 138.10⁶ retournent au sol sous des formes diverses et 40.10⁶, soit 22% de la quantité émise sous forme gazeuse, s'échappent vers la stratosphère. 74.10⁶ tonnes sont émises sous forme de NO_x dont 58 sont

fixées et 16 (soit 22 % des quantités émises) diffusent vers la stratosphère. La plus grande part, soit $134 \cdot 10^6$ tonnes est émise par suite de dénitrification sous forme de N_2 et N_2O , et $19 \cdot 10^6$ sont lessivés sous forme de nitrate. Le total des pertes comptabilisées est donc de : $(40 + 16 + 134 + 19) \cdot 10^6 = 209 \cdot 10^6$ tonnes, total sensiblement équivalent, compte tenu des imprécisions, aux $194 \cdot 10^6$ tonnes correspondant aux gains.

Si l'on considère la situation française, toujours avec l'hypothèse d'un état stationnaire, il faut prendre en compte tous les mouvements d'azote sur le territoire et tenter de les classer par processus d'évolution. On constitue ainsi trois groupes :

— 1/ Trois millions de tonnes de N (NO_3) proviennent de la minéralisation de la matière organique des sols. L'hypothèse de base implique que cette valeur caractérise le phénomène brut et que la valeur nette soit nulle, donc qu'il se réorganise la même quantité d'azote.

— 2/ Il est difficile d'évaluer la masse d'azote impliquée dans le cycle végétation-décomposition-minéralisation, végétations permanentes (forêt, prairie), organes végétaux morts (racines, parties aériennes) ; ce pourrait être de l'ordre de 1 500 000 tonnes.

— 3/ Dans les deux premiers cas, l'azote évolue dans le même milieu. Les problèmes de bilan concernent le passage de cet élément, sous une forme ou sous une autre, d'un milieu à un autre ; c'est à partir du sol que ces mouvements sont pris en compte. Il est un postulat qui exprime une réalité difficilement contestable : il retourne à l'atmosphère autant d'azote qu'il en vient, soit par cheminement direct sol-atmosphère, soit par un itinéraire plus compliqué sol-eau-atmosphère, l'eau pouvant être continentale ou marine. On dispose de fort peu de données concernant notre territoire, il faut donc procéder par approximations :

- a/ L'azote des déjections animales a été évalué à 2,6 millions de tonnes (Mt) auxquelles on peut ajouter 0,3 Mt pour les déjections humaines, soit au total 2,9 Mt. Une fraction de 30 % de cette masse est volatilisée sous forme de NH_3 , soit 0,87 Mt. Les évaluations au niveau mondial montrent que 22 % partent vers la haute atmosphère, soit $0,87 \times 0,22 = 0,19$ et la différence 0,69 Mt retourne au sol.

- b/ Concernant les pertes vers la haute atmosphère, et comme l'évaluation des NO_x paraît en relation avec celle de NH_3 , en se référant aux proportions des données mondiales, les quantités seraient de $0,87 \times 74/178 = 0,36$ Mt de NO_x dont, suivant les mêmes évaluations mondiales, 22 % iraient aussi dans la haute atmosphère, soit $0,36 \times 0,22 = 0,08$, la différence (0,28 Mt) retournant au sol.

- c/ Il faut également tenir compte du transport dans l'eau qui a été évalué à 1,2 Mt. Mais les lits de rivières sont plus ou moins dénitrifiants et l'on peut évaluer

à 0,4 Mt la quantité de N qui s'échappe sous forme de N₂ ou de N₂O et peut-être d'autres molécules non encore identifiées. On retiendra dans cette tentative sommaire d'évaluation une perte vers l'atmosphère de 0,4 Mt.

- d/ D'où, en résumé (en millions de tonnes) :

	a	b	c	total
- vers la haute atmosphère	0,19	0,08	0,4	0,67
- retombées au sol	0,69	0,28	-	0,97

- e/ Les apports aux sols sont évalués à 1,9 Mt par fixation biologique, symbiotique, et à 2,5 Mt sous forme d'engrais, soit 4,4 Mt au total.

Si l'on soustrait de cette quantité (4,4) les pertes vers l'atmosphère sous des formes diverses (0,67) et vers les océans sous forme de nitrate (0,8), il reste 2,93 Mt que l'on doit considérer comme éliminées par dénitrification dans divers milieux où les conditions sont particulièrement favorables à ce processus microbien.

Le tableau suivant donne des résultats de mesures de dénitrification effectuées par divers auteurs dans différentes conditions (FUSTEC, 1986) :

Typologie	Fertilisation (kg/ha/an)	Dénitrification (kg/ha/an)
Terres cultivées	100 - 150	10 - 25
Sols irrigués	120	40
Sols irrigués	200	61
Sols irrigués	335	64
Prairies fauchées	220	20
Prairies fauchées	420	40
Ripisylves	0	85
Ripisylves	100	384
Horticulture	-	225
Rizières	-	400

On pourrait effectuer le calcul de la dénitrification pour l'ensemble du territoire, malheureusement les typologies sont trop imprécises pour attribuer des valeurs spécifiques aux divers modes d'occupation des sols. La seule approche raisonnable est de vérifier comment on aboutit à une évaluation compatible avec les ordres de grandeur. D'après les données du tableau et celles d'autres auteurs (GERMON (1985), RYDEN), il semble que l'on puisse admettre, dans des milieux ne présentant pas des conditions physiques particulièrement favorables à la réduction des nitrates, une

perte moyenne annuelle de 20 kg/ha/an, soit pour 50.10^6 ha de terre non urbanisés en France, 1 million de tonnes d'azote. Il reste encore à localiser les situations particulièrement favorables d'où 1,93 million de tonnes peuvent être émis. Le tableau suivant (Inventaire de la France, Chambres d'Agriculture, 1981) rassemble les surfaces où des conditions très favorables à la dénitrification peuvent exister :

Typologie	Surfaces (Millions d'ha)
1/ Lits majeurs des rivières (évalués)	2,7 - 5,4
2/ Sols à drainer	3,5
3/ Sols irrigués	1,5
4/ Peupleraies, jardins, étangs, roselières	1,0
Total	8,7 - 11,4

En divisant les 1,93 million de tonnes par 8,7 millions d'hectares, on trouve pour ces sites une perte de 222 kg/ha/an ; pour une surface de 11,4 millions d'hectares, la perte calculée est de 170 kg/ha/an. Ces chiffres sont compatibles avec les résultats des mesures ou évaluations dont on dispose. Il se produit également une dénitrification dans les nappes captives, le phénomène y est particulièrement intense (LANDREAU et MARIOTTI, 1989) mais la circulation de l'eau y étant relativement lente, la perte totale doit être peu importante (peut-être 0,2 Mt).

Il faut d'ailleurs insister sur un fait : dans les sols relativement horizontaux, la quantité d'azote dénitrifiable ne peut provenir que de la minéralisation ou des apports d'engrais ; les chiffres dont on dispose montrent un certain parallélisme entre apport de nitrate et dénitrification. Par contre, dans les zones basses traversées par les eaux drainant en subsurface, les quantités de nitrate peuvent être beaucoup plus considérables et la dénitrification peut alors atteindre des valeurs considérables, ces zones basses de bordure de rivière se comportant comme des réducteurs.

Ces résultats montrent que : 1/ les retombées aériennes dues à des transferts peuvent être localement responsables de surfertilisation, 2/ les zones humides parfois susceptibles de fournir régulièrement des fourrages sont des lieux d'épuration des eaux ; elles doivent être préservées et le territoire aménagé de manière à ce qu'elles puissent pleinement jouer leur rôle.

Il faut maintenant changer le postulat de base (imaginer un régime variable) et admettre que le milieu peut s'enrichir comme le montrent les résultats de PARKER (1968) ou s'appauvrir en azote (SIMON, TRIBOÏ et al., ce colloque) quand l'herbage est labouré ou même insuffisamment fertilisé.

Concernant l'enrichissement, il existe un résultat très intéressant rarement cité : à Rothamsted, en 200 ans sans fertilisation, la teneur en azote sur les 22 cm super-

ficiels est passée de 0,11 % à des valeurs comprises entre 0,25 et 0,35 %. Mais ces valeurs ont été atteintes à partir de 150 ans, ce qui signifie que pendant 50 ans l'état du système était bien stationnaire (W. RUSSEL, 1973) ; cette hypothèse est donc légitime. Ces données montrent qu'il se manifeste une fixation pour des apports qui spontanément enrichissent le sol de 50 kg de N environ par an, ce qui à l'équilibre implique des pertes équivalentes.

Quand on passe d'une terre labourée à la prairie, on peut, pendant un certain temps du moins, constater une amélioration de la qualité des eaux. La végétation continue agit en réduisant le volume du drainage et en fixant une partie de l'azote grâce aux mucilages racinaires et aux débris végétaux. Ces deux fonctions doivent être considérées simultanément mais séparément (HÉNIN, 1990). Le mécanisme d'enrichissement du sol a été bien montré au cours de ce colloque, et par un rapport de LOISEAU et SALETTE (1990). En sol pauvre mais renfermant de la matière organique de C/N élevé (supérieur à 20 d'après les études en grande culture), une part importante d'azote est fixée par le sol ; le coefficient d'utilisation est faible, il augmente à mesure que le sol s'enrichit puis décroît quand les disponibilités dépassent l'appétitude à la fixation et les besoins de la végétation. Dans une certaine mesure, c'est cette végétation qui règle le phénomène, étant capable d'exporter plus d'azote qu'il n'en est apporté, ou d'en laisser une partie disponible lorsque ses besoins de croissance et d'enrichissement sont saturés ; parallèlement, les pertes par drainage augmentent. Ces dernières dépendent en outre des stades de la végétation et des potentiels saisonniers de croissance.

Evidemment pour tenir compte de toutes ces éventualités, il faut adapter la conduite du troupeau ; lors de ce colloque, plusieurs orateurs en ont fait état : le Président BARON, J. SÉBILLOTTE, M. BENOIT. Il s'agit de charges et de responsabilités nouvelles qui s'ajoutent à bien d'autres. Différents auteurs ont montré que les problèmes de l'azote dans les prairies étaient beaucoup plus complexes que dans bien d'autres situations agricoles. Le résultat de ces Journées est à l'honneur de l'Association Française pour la Production Fourragère (A.F.P.F.) et de ses animateurs ; il faut espérer que les organismes scientifiques et techniques retiendront cet enseignement pour mieux adapter leurs programmes de recherche aux problèmes que pose le maintien de la qualité de l'environnement, la prairie pouvant de ce point de vue jouer un rôle important sur lequel il convient d'insister. Les surfaces en herbe apportent dans le paysage une note de couleur et de vie grâce aux animaux qui pâturent. A côté de cet aspect, il faut tenir compte de leur rôle dans la rétention de l'azote, du moins quand le sol est bien pourvu. Enfin c'est, avec la forêt, un mode d'occupation des terres compatible avec l'existence de systèmes dénitrifiants. Or la seule façon d'abaisser la teneur en nitrate des eaux polluées est d'assurer la dénitrification, en leur faisant traverser des sites réducteurs. Evidemment, il peut se produire du NO_2 ; un thème de recherche capital est aussi de définir les conditions

dans lesquelles la dénitrification est limitée à la production de N₂. Le fonctionnement du cycle de l'azote dans la prairie est donc bien un problème majeur pour le maintien de la qualité de l'environnement.

Exposé de conclusion des 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

- DELOUVÉE (1980) : *Rapport du Groupe "Activités agricoles et qualité des eaux"*, Ministère de l'Environnement, Vol. 1, Paris.
- FUSTEC E. (1986) : *Rapport final Convention de recherche 87.190. SRETIE*, Ministère de l'Environnement, Paris.
- GACHON, TRIBOI (1980) : *Rapport du groupe "Activités agricoles et qualité des eaux"*, Ministère de l'Environnement, Paris.
- GERMON J.C. (1985) : *Rapport de synthèse. SRETIE*, Ministère de l'Environnement.
- HÉNIN S. (1990) : *C.R. Acad. Agri.*, Paris.
- KOLENBRANDER G.J. (1980) : *Rapport du groupe "Activités agricoles et qualité des eaux"*, Ministère de l'Environnement, vol. II, Paris.
- LANDREAU A., MARIOTTI A. (1989) : *Rapport BRGM. SRETIE*, Ministère de l'Environnement.
- LOISEAU P., SALETTE J. (1990) : *C.R. Contrat 87371 SRETIE*, Ministère de l'Environnement.
- PARKER J.G.W. (1968) : *Fertilisants et Agriculture*, n°93, Paris.
- RUSSEL W. (1973) : *Soils conditions and plant growth*, 10^e édit., Longmans, Londres.
- 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.
- SODERLUND R., SVENSSON B.H. (1976) : "The global nitrogen cycle", *Ecological Bulletin N.F.R.*, 22, p. 23.

RÉSUMÉ

Certaines observations donnaient à penser que le lessivage d'azote sous prairie était peu important ; ceci n'est vrai que pour des fertilisations d'intensité moyenne. Au-delà, si il y a pâturage, les pertes peuvent devenir très importantes alors qu'elles restent acceptables si l'herbe est exportée (exploitation par fauche).

Ces faits conduisent à s'interroger sur le bilan de l'azote, à évaluer les pertes par voies gazeuses et en solution. Les zones humides en bordure de rivière présentent une efficacité dénitrifiante élevée ; elles doivent donc être protégées. La lutte contre les pollutions par l'azote nécessite un aménagement du territoire où la prairie, surtout en zones humides, joue un rôle important.

SUMMARY

Nitrogen and pastures : problems and prospects.

Certain observations lead to the belief that little leaching occurred under pastures ; this is true only in the case of moderate fertilizer dressings. Higher dressings, if there is grazing, may lead to considerable losses, which on the contrary remain reasonable if the herbage is removed (mown pastures).

This leads to questions about the balance of nitrogen and to the assessment of losses in the form of gaseous and dissolved N. Wet lands near river banks have high de-nitrifying capacities ; they should therefore be protected. The fight against nitrogen pollution requires that a major role be reserved to pastures, especially to the wetter ones.