

Rôle de l'azote et du phosphore dans la pollution animale

L. AUDOIN *

Résumé: En dépit d'une certaine dispersion des données, l'auteur a pu établir les caractéristiques moyennes des déjections animales et dresser un bilan des rejets d'azote et de phosphore en provenance de l'élevage, afin de le comparer aux autres apports. L'azote est présent, à l'origine, essentiellement sous forme ammoniacale à l'état dissous, tandis que le phosphore est sous forme inorganique particulaire.

L'azote ammoniacal, toxique pour la faune aquatique, peut, si les conditions sont favorables, s'oxyder en nitrites et en nitrates, composés indésirables susceptibles d'affecter la santé des consommateurs.

Le phosphore et les composés azotés excédentaires par rapport aux besoins de la fertilisation des sols sont, en outre, responsables de la dégradation de la qualité des eaux superficielles, en provoquant leur eutrophisation.

MOTS-CLÉS : Azote - Déjections animales - Phosphore - Pollution - Toxicité.

INTRODUCTION

La maîtrise de la qualité des eaux implique une bonne connaissance des origines de leur pollution, des mécanismes qui transforment ces eaux et des effets de cette pollution sur le milieu.

En ce qui concerne les nutriments comme l'azote et le phosphore ils ont, ainsi que l'a montré Hénin en France (14), des origines diverses, parmi lesquelles l'agriculture et l'élevage.

Ils sont, entre autres, responsables de l'augmentation en nitrates des eaux et du phénomène d'eutrophisation des eaux superficielles.

Aux difficultés techniques et économiques relatives aux rejets localisés, s'ajoute celle inhérente au caractère diffus d'une partie des rejets. Cette pollution diffuse met en jeu des phénomènes complexes, dont certains sont incontrôlables, avec notamment des transferts d'éléments entre l'eau, le sol et l'atmosphère.

Cet article décrira d'abord, certaines **caractéristiques des déjections animales**. Il précisera ensuite **l'importance de l'apport des nutriments** dans la pollution et

* Chef du Service Technique Générale. Direction des Grands Travaux, Société d'Aménagement Urbain et Rural (SAUR), «Challenger», 1, avenue Eugène-Freyssinet. 78064 Saint-Quentin-en-Yvelines Cedex, France.

l'environnement, l'état initial des composants chimiques (azote, phosphore) et leur évolution dans les déjections animales. Il établira ensuite les effets de la pollution sur le milieu naturel et décrira le phénomène d'eutrophisation.

CARACTÉRISTIQUES DES DÉJECTIONS ANIMALES

La composition des déjections animales est directement liée à l'alimentation et à la digestibilité des aliments ingérés de sorte que, pour les animaux à alimentation constante, on peut établir une composition théorique approximative des rejets (Tableau I).

TABLEAU I

Calcul théorique de rejet à partir de l'aliment distribué et de l'eau de boisson ingérée
(13)

Composants	Quantité ingérée par jour (en g)	Digestibilité (en %)	Quantité rejetée par jour (en g)	Composition du lisier (en g/l)
MST *	2 500	85	375	75
M Org *	2 000	85	300	60
NTK *	68	45 **	37,5	7,5
P ₂ O ₅	20	50	10	4,6
K ₂ O	30	50	15	3,63

* MST = matière sèche totale
M Org = matière organique
NTK = Azote total Kjeldalh

** Coefficient de rétention urinaire

Volume rejeté par jour : 5 litres

70 % de l'eau est ingérée en moyenne, avec des extrêmes l'été ou en cas de fuite des abreuvoirs

Selon les cas, ces rejets peuvent être soit diffus dans le cas de l'élevage en plein air, qui s'applique principalement aux bovins et ovins, soit localisés dans les cas d'élevages hors sol, principalement celui des porcs et des volailles.

Dans ce deuxième cas on distingue :

a) les produits liquides tels que :

– le lisier : urine, fèces, pertes d'aliments avec eau de lavage et éventuellement des eaux de pluie ;

– le purin : liquide d'égouttage dans les stabulations avec litière ;

b) les produits solides comme :

- les fumiers : fèces avec litière (paille, sciure, feuilles, fougères) ;
- les fientes de volailles ;
- les crottes de lapins.

La production et les caractéristiques des déjections (Tableaux II et III) varient beaucoup d'un élevage à l'autre en fonction de nombreux facteurs tels que l'espèce animale, l'alimentation et les rations alimentaires, le type d'élevage, la technique d'évacuation des déjections hors des locaux de stabulation, les conditions de stockage des produits et leur évolution.

TABLEAU II
Production journalière de déjections
par différentes espèces animales
(13)

Espèces animales	Catégories d'animaux	kg/j	Poids vif (en ‰)
Bovins	Vaches laitières	45	7 à 8
	Bovins de boucherie	15 à 25	6 à 7
	Veaux	7 à 14	7 à 10
Ovins		3 à 6	7 à 8
Porcins	Porcelets	0,5 à 1	12
	Porcs post-sevrage	3	11
	Porcs à l'engraissement	5 à 12	11
	Porcs adultes	12 à 20	8
Volailles	Poules pondeuses	0,15 à 0,20	9
	Poulets de chair	0,13	7
	Dindes	0,55	7
Lapins		0,15 à 0,25	11
Chevaux		35	9

L'examen des tableaux entraîne les remarques suivantes :

– Les différences selon la référence peuvent avoir pour origine une confusion dans le mode d'expression des résultats (P ou PO_4 au lieu de P_2O_5) : on trouvera en annexe une terminologie relative au mode d'expression des résultats.

– La production journalière spécifique de déjections apparaît relativement constante, représentant environ 9‰ du poids vif de l'animal.

– Le phosphore est essentiellement contenu dans les fèces, où P_2O_5 représente 36‰ de la teneur en cendres (Tableau II).

Pour pouvoir apprécier la quantité totale de fumier il faut ajouter le poids de la paille, qui représente environ 2 à 4 t/t du poids vif des animaux qui le produisent.

Il en résulte pour les bovins une moyenne de 40 kg/j par animal, soit une production annuelle voisine de 20 fois leur poids vif (Tableau III).

TABEAU III
Caractéristiques des déjections
(en kg/t de produit)

Espèces animales	Produits	Réf. bibliographiques	Matière sèche	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Porcs	Urine	9	22 à 40	3 à 5	0,1 à 1	4 à 5	
	Fèces	9	180 à 280	5 à 7	4 à 6	3 à 5	
		21	245	7,6	8,5	5,4	
	Lisier moyen	21	80	4,3	4,1	2,4	
		13	82	6,3	7,1	2,8	
		5	49	4,3	3,8	2,7	
		15	65	5,7	5,3	3,1	
		3	52	4,8	3,9	2,4	
	Lisier soupe	13	73 à 136	7,7 à 12,1	5,9 à 11,5	2,6 à 4,0	
		maïs humide	13	35 à 102	6,1 à 7,7	4,4 à 8,8	1,9 à 2,9
			13	(24,5 à 78)	2,7 à 7,1	1,3 à 6,5	1,3 à 3,1
		lactosérum	13	42	3,2	2,7	3,0
		Lisier décanté (surnageant)	13	(5,15 à 10)	1 à 2,5	0,22 à 0,44	0,7 à 2,2
			13	250	4,7	4,52	5,5
	Fumier	20	272	4,5	2,1	—	
Bovins	Urine	9	70 à 80	8 à 10	traces : 0,1	14 à 15	
	Bouses	9	160 à 170	3 à 4	2 à 2,5	1 à 2	
		21	200	5,6	4,1	4,3	
	Lisier	1	120 à 150	4 à 6	1,5 à 2	5,5 à 7	
		21	80 à 90	4 à 4,5	1,6 à 1,85	4,7	
	Vaches laitières	13	133	5,7	2,3	4,9	
	Taurillons	13	185	5,2	3,1	2,7	
	Veaux boucherie	19	—	3	1,2	2	
		Fumier	21	130 à 260	3,2 à 6,5	1,8 à 4	4 à 15
	13		250	5,8	4,5	9	
	20		180	3,4	1,3	—	
	Purin	21	—	4 à 5	0,1 à 0,25	5,7	
Ovins	Fumier	13	274	5,5	1,6	12,3	
		20	384	8,2	2,1	—	
Caprins	Fumier	13	476	6,1	5,2	5,7	
Chevaux	Fumier	20	326	6,7	2,3	—	
Volailles	Fientes	16	250 à 400	10 à 30	10 à 30	5 à 9	
	Fumier	13	520	11	10	7	
		11	420	20	23	—	
		21	460	22	17,4	12,5	
Poules pondeuses	Fientes	13	258	10,5	10,4	7,2	
		19	—	10 à 15	8 à 15	6 à 8	
Lapins	Crottes	2	260	2,7	10	11,6	

IMPORTANCE DE L'APPORT DES NUTRIMENTS DANS LA POLLUTION

Les productions spécifiques exprimées en azote et en P_2O_5 permettent de dresser le bilan annuel des rejets provenant de l'élevage (Tableau IV).

TABLEAU IV

*Récapitulatif des rejets en nutriments
par les déjections animales : exemple de la France*

Espèces animales	Rejets spécifiques (en g/j par tête *)		Population (en millions)	Flux annuel (en milliers de tonnes)	
	N	P_2O_5		N	P_2O_5
Vaches laitières	250	95	10,3	940	360
Autres bovins	100	55	13,5	490	270
Porcs	50	40	12,5	230	185
Ovins	35	15	13	170	70
Volailles	1,6	1,4	200	120	100
Totaux				1 950	985

* à titre de comparaison

1 équivalent habitant = 12 à 15 g N/j

1 équivalent habitant = 7 à 9 g P_2O_5 /j

Ce bilan ne tient pas compte des apports liés aux écoulements des silos de stockage de fourrage qui représentent 20% de la masse de produit stocké. Sont également exclus les animaux familiers : 20 millions de chiens et de chats, dont la moitié en région parisienne (voir à ce sujet l'article de Parizot dans le présent volume).

On peut noter une nette prédominance de la production des bovins. Mais toutes ces déjections ne sont pas récupérables, en particulier celles émises directement au pâturage qui représentent au moins la moitié de la production.

Le Tableau V, emprunté à Hénin (14), montre que les apports dus à l'élevage sont proches de ceux des engrais, ces derniers ayant une légère tendance à la baisse (Tableaux V et VI).

Il est important de souligner que l'essentiel du phosphore circulant dans le milieu naturel provient des rejets domestiques et de l'élevage. En revanche 99% de celui apporté par les engrais reste fixé dans le sol.

ÉTAT INITIAL DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE

Azote

L'azote provient :

– des urines où il est présent sous forme d'urée, d'acide urique et d'autres métabolites ;

TABLEAU V

Importance des apports de diverses origines : exemple de la France
(en millions de tonnes/an)
(14)

Origine	N	P ₂ O ₅
Minéralisation des matières organiques du sol	3,0	—
Engrais minéraux	2,0	2,0
Apport atmosphérique	0,5	—
Eaux usées domestiques	0,2 *	0,17 **
Déjections d'élevage	2,0	0,8
Fixation symbiotique et non symbiotique	1,3	—
Origine industrielle	0,1	0,09
Importation-exportation des produits agricoles (valeur négative)	0,1	0,05

* ajouter les rejets en provenance des M. Org. compostées (0,08 Mt)

** dont 50 % dus aux détergents

TABLEAU VI

Inventaire des consommations d'engrais en 1983
(en millions de tonnes)

Régions géographiques	N	P ₂ O ₅
France	2,320	1,679
Europe	10,873	5,796
Amérique du Nord	11,264	5,185
Pays de l'OCDE	23,139	12,892

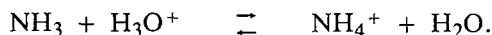
Source : Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE)

— des fèces, sous forme de protéines alimentaires non dégradées et de microflore intestinale ;

— des pertes d'aliments.

Dans les lisiers il se présente essentiellement sous forme dissoute, la proportion pouvant varier selon les animaux. Elle est de 85 à 90 % dans le cas des lisiers de porcs, et légèrement moindre pour les bovins.

Du point de vue chimique, il s'agit d'azote organique essentiellement particulaire ou d'azote ammoniacal dissous. Le pourcentage d'azote ammoniacal varie selon l'âge du lisier et son origine ; il est compris entre 70 et 90 % pour les porcs, entre 50 et 60 % pour les bovins, et entre 40 et 70 % pour les volailles. La forme ionisée NH₄⁺ est en équilibre avec la forme moléculaire NH₃ à l'état de gaz dissous, selon la relation suivante :



Une élévation du pH déplace l'équilibre vers la gauche.

Phosphore

L'origine du phosphore est fécale à près de 90 %. Il est surtout présent sous forme de minéraux peu solubles. Dans le cas des lisiers de porcs par exemple, la forme particulaire représente 87 % du phosphore, dont 73 à 80 % de minéral et 7 à 12 % d'organique. Parmi les 13 % dissous, la part minérale est de 10 %, tandis que la part organique est de 3 % (8).

ÉVOLUTION DES COMPOSÉS AZOTÉS ET DU PHOSPHORE DANS LE MILIEU

Les déjections animales peuvent avoir trois destinations différentes :

- un retour direct au sol lorsque les bêtes sont au pâturage ;
- l'épandage sur des terres agricoles ;
- le rejet direct dans les eaux superficielles après ou sans traitement.

Il peut en résulter, pour les composés présents au départ, les milieux récepteurs suivants :

– l'**atmosphère** pour les composés azotés, en particulier NH_3 , principalement lors de l'épandage ou du retour direct ;

– le **sol** dans le cas du retour direct et de l'épandage et, par voie de conséquence, les **eaux souterraines** ;

– les **eaux superficielles** dans le cas du rejet direct, consécutif soit au débordement des fosses à lisiers ou des fosses à purin, soit au lavage des aires de manœuvre ou des salles de traite, et au lessivage du sol sur les terres agricoles ou sur les pâturages en cas de fortes pluies ou en période de crue (17).

Composés azotés

Les composés azotés présents à l'origine sous les formes organique et ammoniacale entrent dans le cycle de l'azote schématisé dans les Figures 1 et 2.

Ils évoluent ensuite de façon diverse selon le milieu récepteur.

Dans l'atmosphère

La masse totale d'ammoniac dans l'atmosphère est de 30.10^6 tonnes, soit une teneur moyenne de 6 ppb.

En Europe, l'émission totale d'ammoniac due à l'élevage est évaluée à $5,2.10^6$ t/an. Elle provient :

– de la fermentation des produits organiques notamment dans les fumiers (pertes de 30 % de l'azote initial) et les lisiers sur les sites de stockage ;

– de l'épandage des lisiers et des fumiers (ou du rejet direct des déjections sur le sol), les pertes pouvant varier selon le pH du sol, la température, la charge initiale

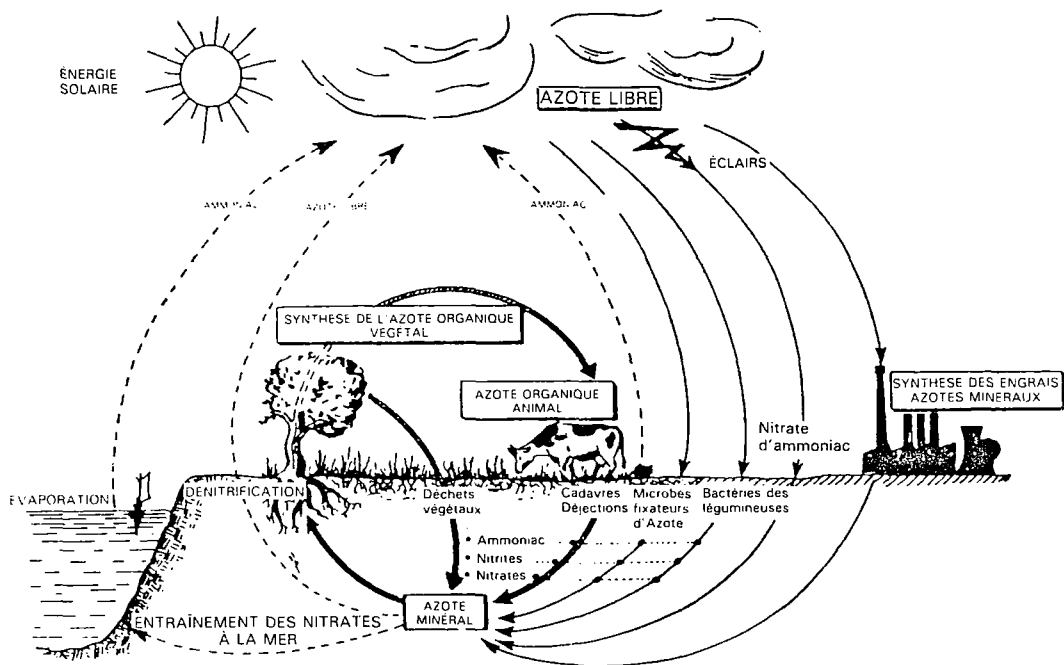


FIG. 1
Cycle de l'azote
(12)

du sol et la technique d'apport ; c'est ainsi que l'on note jusqu'à 60 à 100 % de pertes lors de l'épandage de fumier, 50 % pour des fientes de poules, 15 à 20 % pour le lisier de porcs en aéro-aspersion ;

– de certaines installations de traitement de lisier, notamment les bassins de traitement aérobie thermophile à forte charge, ou les installations de stockage aéré ayant pour but la désodorisation.

La majeure partie de cet ammoniac retombe directement avec les précipitations atmosphériques. Il peut aussi donner naissance à des composés tels que du sulfate d'ammonium.

A ces émissions directes d'azote sous forme NH_3 , viennent s'ajouter celle d'azote moléculaire N_2 consécutive à la dénitrification ainsi que celle des composés oxydés intermédiaires tels que N_2O , également formés lors de la nitrification et de la dénitrification (voir ci-après).

Dans le sol

Le sol se comporte vis-à-vis des éléments qu'il reçoit comme un système épurateur relativement complexe qui réunit des phénomènes physiques, hydrodynamiques, physico-chimiques et biologiques (Fig. 3).

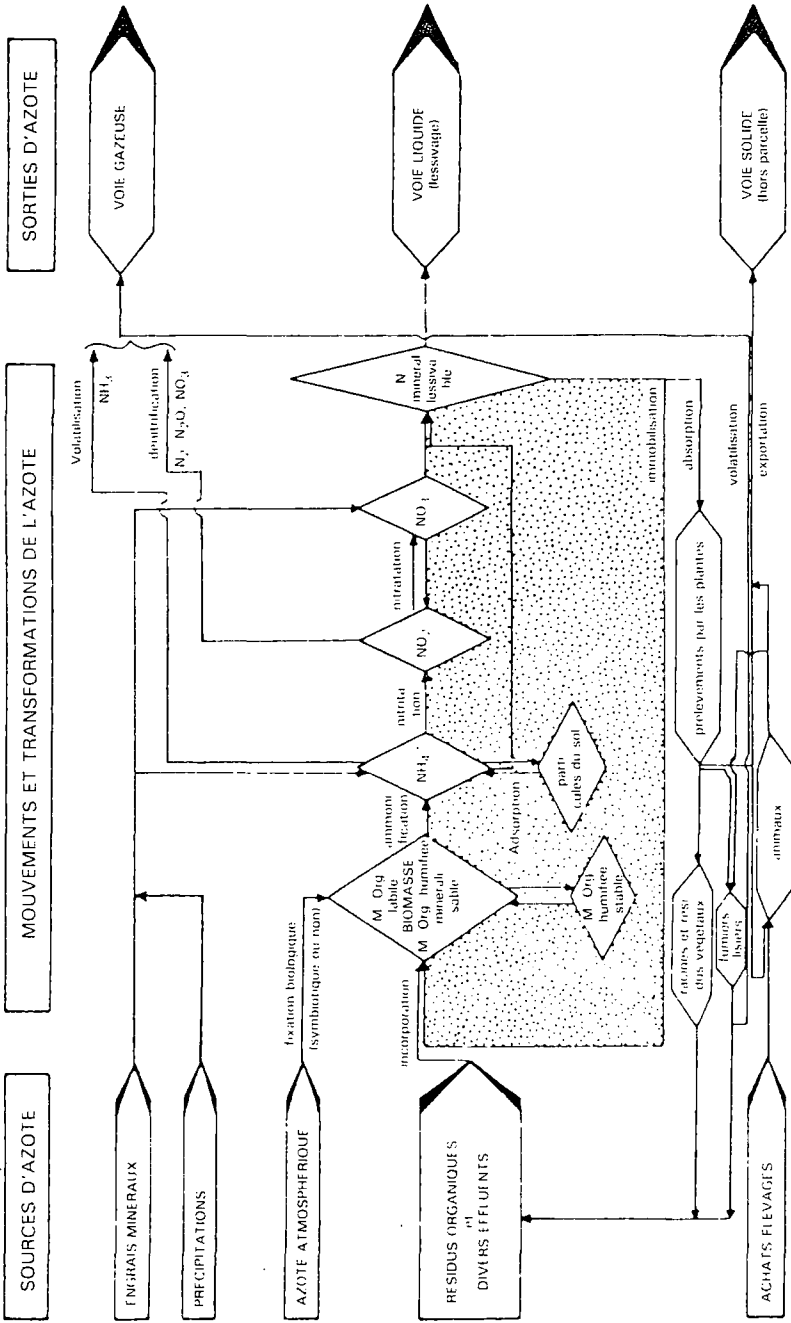


FIG. 2
Schéma simplifié du cycle de l'azote
(14)

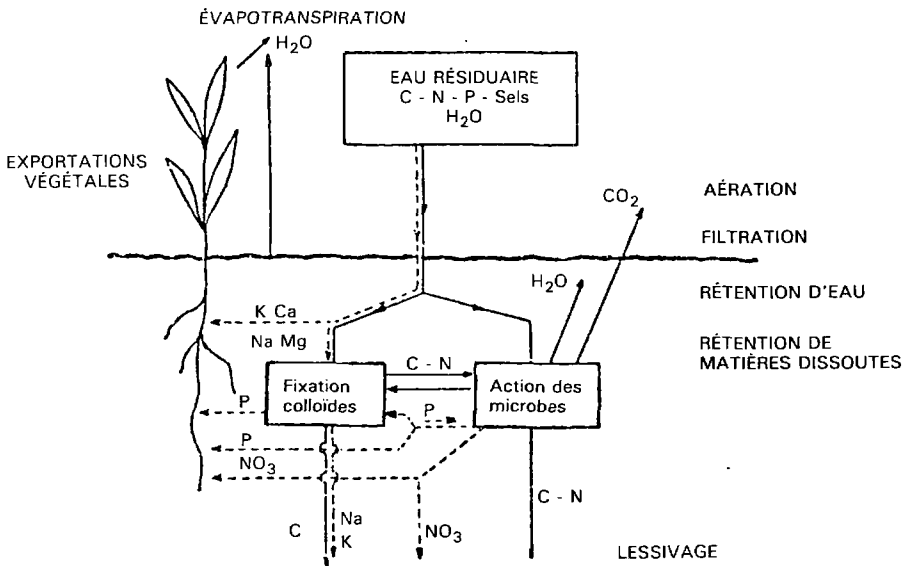


FIG. 3

Les différentes fonctions du sol Système épurateur

(6)

(le cheminement des minéraux est représenté par un trait en pointillé)

Nous distinguerons la transformation des composés, leur stockage dans le sol, l'utilisation par les plantes, les pertes.

Transformation

a) Minéralisation de l'azote organique

Sous l'action de la microflore du sol l'azote organique est transformé partiellement et progressivement en azote ammoniacal NH_4 . Ce phénomène appelé ammonification est influencé par la nature du substrat, le type de sol (pH), le climat (température, humidité) et la présence défavorable de certains métaux lourds (Tableau VII).

b) Assimilation

Beaucoup de micro-organismes du sol utilisent l'azote ammoniacal pour synthétiser des protéines et constituer ainsi de nouvelles cellules.

La réduction des nitrates en azote ammoniacal appelée «réduction assimilative», est également possible dans certaines conditions. Cette opération, réalisée par des bactéries et des végétaux supérieurs, permet l'utilisation des nitrates pour la biosynthèse de protéines. La lyse des micro-organismes ainsi formés conduit par la suite à une transformation de l'azote organique protéique par minéralisation ou humification.

TABLEAU VII

*Pourcentage de minéralisation de l'azote organique
selon les engrais utilisés et la nature des sols traités
(7)*

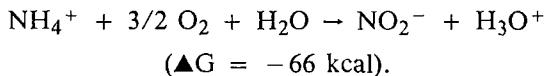
Type d'engrais	Pourcentage de minéralisation de l'azote organique dans les sols *				
	Lester	Downs	Webster	Harps	Okoboji
Lisier à épandage					
Centerville	10	4	$\frac{1}{-}$	11	11
Muscatine	36	43	$\frac{58}{-}$	49	56
Davenport	16	15	$\frac{19}{-}$	23	16
McGregor	24	21	28	51	17
Fumier					
Poulets	60	21	54	61	$\frac{67}{-}$
Porcins	42	16	37	49	$\frac{52}{-}$
Chevaux	25	21	34	37	36
Vaches	31	$\frac{13}{-}$	44	36	51
Engrais vert					
Tiges de maïs	-7	-18	-11	12	$\frac{-3}{-}$
Résidu de soja	37	$\frac{3}{-}$	38	10	$\frac{32}{-}$
Luzerne	79	$\frac{50}{-}$	$\frac{97}{-}$	86	94
Sciure	-303	-363	$\frac{-687}{-}$	-360	-663

* Quantité totale d'azote minéralisé dans les sols traités par engrais organiques = $\frac{\text{azote minéralisé dans le sol non traité}}{\text{azote organique rajouté dans l'engrais}} \times 100$

c) Nitrification

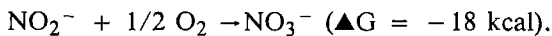
L'oxydation de l'azote ammoniacal NH_4^+ en nitrates s'effectue en deux étapes principales sous l'action de micro-organismes autotrophes différents qui utilisent du carbone minéral pour la synthèse de nouvelles cellules (18):

La nitritation, réalisée par des bactéries nitreuses (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*), donne naissance à des nitrites. L'équation simplifiée de cette opération peut s'écrire:



En réalité, il y a formation de composés intermédiaires tels que NH_2OH , N_2O , NO , etc.

La nitratisation, réalisée par des bactéries nitriques (*Nitrobacter*), consiste à oxyder les nitrites en nitrates selon la formule simplifiée suivante (Fig. 4):



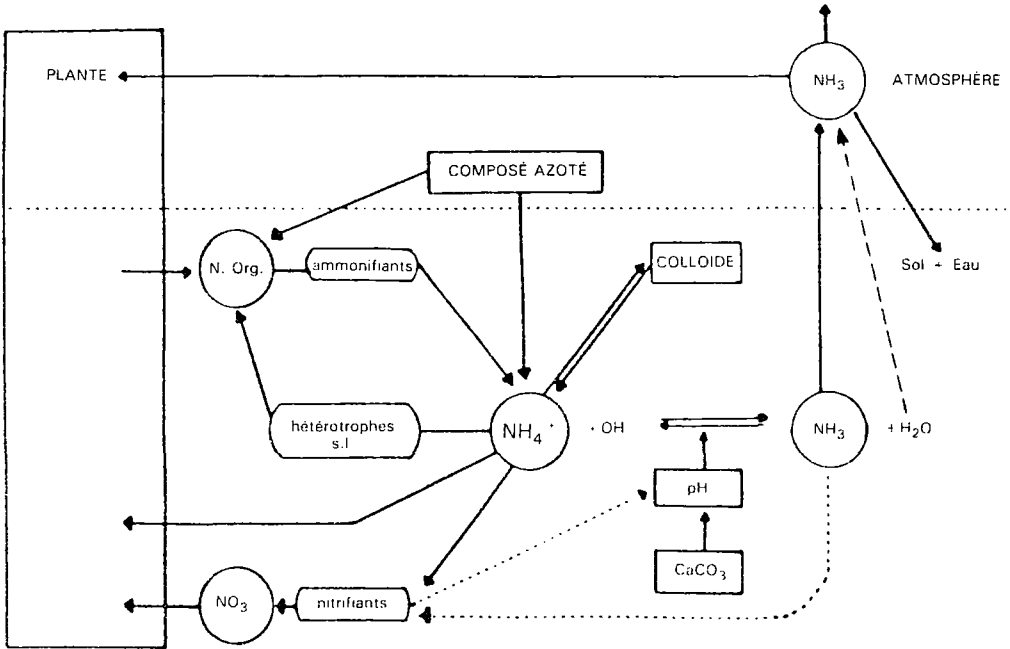


FIG. 4
Origine et devenir de l'azote ammoniacal
Principales interactions
(6)

La nitrification est influencée par :

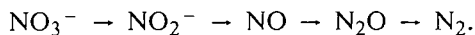
- l'aération, car les germes sont aérobies stricts ;
- la concentration en azote ammoniacal, qui peut être inhibitrice si le pH est trop alcalin, car c'est en fait la forme NH_3 qui est influente ;
- le pH, qui doit être voisin de 8 ;
- l'alcalinité, qui doit être suffisante pour compenser la baisse de pH consécutive à la réduction de NH_4^+ ;
- la température, et par suite le climat.

Dans les zones tempérées, la vitesse de nitrification est, en moyenne, deux fois plus faible en hiver.

d) Dénitrification hétérotrophe

Outre la réduction assimilative précédemment citée, les nitrites et les nitrates formés antérieurement peuvent être réduits progressivement en azote moléculaire N_2 qui retourne à l'atmosphère.

Cette transformation est réalisée par des bactéries hétérotrophes qui utilisent du carbone organique pour leur synthèse et l'oxygène des nitrates pour leur respiration, en l'absence d'oxygène atmosphérique (on dit alors qu'on est en anoxie). Elle est réalisée par étapes successives :



Outre la nécessité de l'absence d'oxygène O_2 , la dénitrification est influencée par le pH (dont l'optimum se situe à 8), la température (dont l'optimum est voisin de 25°C), et la présence de carbone organique (un rapport C/N ≥ 3 est nécessaire pour une dénitrification optimale).

Ainsi que nous l'avons signalé plus haut, cette dénitrification, préférable bien entendu à la migration de NO_3^- vers la nappe souterraine, n'en constitue pas moins une perte d'azote sous les formes N_2 et N_2O .

e) Volatilisation

Il s'agit du phénomène déjà cité conduisant à une perte de NH_3 dans l'atmosphère.

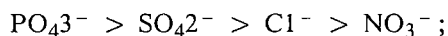
Stockage

Le stockage des composés dans le sol est important, car il permet d'en différer l'utilisation ou la transformation ultérieure à une période plus favorable. Il revêt les formes suivantes :

- la **rétenion de l'azote organique particulaire** par effet de filtration des déchets solides ;

- la **rétenion de l'eau** chargée en composés azotés dissous qu'elle renferme, par capillarité, dans les micropores du sol qui dépendent de la nature de celui-ci, du travail effectué et des facteurs climatiques ;

- l'**adsorption** de NH_4^+ par les colloïdes électro-négatifs du sol (argiles, complexes ferro- et ferrisiliciques, acides humiques) et celle généralement faible des formes oxydées NO_2^- et NO_3^- sur les sites positifs qui retiennent préférentiellement d'autres anions dans l'ordre suivant :



- l'**humification**, conséquence de l'assimilation, autrement dit l'immobilisation sous forme de cellules vivantes impliquant un rapport C/N > 20 à 25 , soit, de préférence, un apport de fumier ou, dans le cas du lisier, un épandage sur le sol chargé en matières organiques (paille et tiges abandonnées sur le sol).

Utilisation par les plantes

Les plantes prélèvent dans le sol la quantité d'azote nécessaire à leur croissance, principalement sous sa forme NO_3^- , bien que certains végétaux comme le riz préfèrent la forme NH_4^+ .

Cette consommation qui constitue une véritable épuration varie selon les besoins des plantes et les cultures ainsi que le montrent les tableaux ci-après (Tableaux VIII et IX).

TABLEAU VIII
Concentrations en N, P₂O₅, K₂O
des principales cultures de plein champ
 (3)

Cultures	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	*	**	
Plantes sarclées			
Betteraves sucrières			
racine		0,22	0,12
vert		0,40	0,18
plante entière	0,50		0,7
Betteraves fourragères			
racine		0,15	0,09
vert		0,30	0,10
plante entière	0,20		0,4
Pommes de terre			
tubercule		0,32	0,16
plante entière	0,43		0,6
Topinambours			
tubercule		0,50	0,15
			0,5
Cultures industrielles			
Pois de conserverie			
grain		1,10	0,30
fane et cosse		0,40	0,15
Lin roui		0,5	0,4
Chicorée-endive			
racine		0,20	0,17
			0,6
Cultures maraîchères			
Laitues		0,22	0,10
Epinards		0,50	0,16
Asperges		0,32	0,10
			0,12
Oléagineux			
Colza			
grain		3,7	1,5
paille + silique		0,8	1,0
plante entière	6		1,5
Tournesol			
grain		3,5	1,3
paille + capitule		0,9	0,35
plante entière	3		5,0
Lin			
grain		3,5	1,5
			1,0
Céréales			
Blé			
grain		1,9	1,0
paille		0,5	0,25
plante entière	3		1,2
Orge			
grain		1,5	0,85
paille		0,5	0,2
plante entière	2,5		1,2

TABLEAU VIII (suite)

Cultures	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Céréales (suite)	*	**	
Avoine			
grain		1,8	0,9
paille		0,6	0,4
plante entière	2,5		1,7
Seigle			
grain		1,4	1,0
paille		0,45	0,3
Maïs			
grain		1,5	0,75
épis par q de grain		1,7	0,9
paille		0,7	0,2
plante entière	2,5		1,8
Plantes fourragères			
Herbes vertes de prairie (20 UF/q)		0,6	0,2
Foin de prairie permanente		2,0	0,6
Foin de prairie temporaire		2,25	0,6
Foin de luzerne		2,7	0,8
Maïs fourrager		0,35	0,14
Choux fourrager		0,4	0,07

* Chiffres à prendre pour le calcul des besoins en azote des cultures

Source : Pratz J. (1970). — La fertilisation raisonnée. Ministère de l'Agriculture

** Chiffres à prendre pour le calcul des exportations des cultures

Source : Gachon L. (1974). — Réflexion sur l'utilisation des engrais. Ministère de l'Agriculture

NB : Les valeurs ci-dessus sont sujettes à variations en fonction de la fumure et surtout de l'année. Elles représentent des moyennes dans les conditions culturales normales

TABLEAU IX

Exportations moyennes des principales cultures
(en kg/ha)
(19)

Culture	Rendement	N	Exportations	
			P ₂ O ₅	K ₂ O
Blé, avoine, orge, seigle	50 q/ha	135	65	95*
Maïs grains				
— sans exportation des tiges	70 à 100 q/ha	100	50	50
— avec exportation des tiges		200	80	150
Maïs fourrage	12 t/ha de MS	170	65	170
Pommes de terre	50 t/ha	150	50	210
Prairie temporaire	10 t/ha de MS	380	100	230
Betteraves sucrières (avec exportations des verts)	50 t/an	180	100	300

* Chiffre très élevé, Hébert (1974) indique 35 kg

Elle n'est malheureusement que temporaire dans les zones de monoculture où il est recommandé d'avoir recours à des cultures du type engrais verts pendant l'intersaison.

Pertes dans le sol

En dehors des pertes vers l'atmosphère sous les formes NH_3 , N_2 et N_2O qui sont préjudiciables uniquement sur le plan économique, les pertes dans le sol sont constituées essentiellement par la migration de nitrates non consommés vers les nappes souterraines.

Ces pertes peuvent être consécutives à :

- un apport excessif par rapport aux besoins comme cela est le cas notamment dans les régions d'élevage hors sol intensif ;
- des pratiques agricoles inadaptées : apport sur le sol nu, mauvais choix de la période, labourage violent favorisant l'infiltration directe ;
- la nature du sol (perméabilité trop élevée) ;
- de mauvaises conditions climatiques.

Dans les eaux superficielles

En l'absence de traitement avant rejet

L'évolution des composés azotés est fonction de l'état du milieu et du flux polluant apporté par les déjections :

- si le milieu récepteur est déjà pollué, et pratiquement dépourvu d'oxygène dissous, la seule évolution possible conduit à une ammonification partielle de l'azote organique en azote ammoniacal avec perte éventuelle de NH_3 vers l'atmosphère ;
- si le milieu récepteur est peu ou pas pollué et que le flux polluant est excessif par rapport à sa capacité d'oxygénation, l'évolution est la même que dans le cas précédent ;
- si, au contraire, le flux polluant est compensé par un pouvoir auto-épuration suffisant, les composés azotés évolueront de façon similaire à celle décrite précédemment, c'est-à-dire : minéralisation de l'azote organique, assimilation de l'azote ammoniacal par les micro-organismes, nitrification, assimilation des nitrates formés par les plantes aquatiques avec les effets secondaires éventuels de l'hypertrophisation (voir ci-après) et dénitrification éventuelle dans les zones peu ou pas oxygénées consécutive à une stagnation ou à un apport de pollution carbonée.

En présence d'un traitement avant rejet

Le Tableau X donne un résumé des traitements les plus connus. Il existe, bien entendu, un bon nombre de combinaisons possibles de divers traitements ayant des actions complémentaires.

L'évolution dans le milieu récepteur est elle-même complémentaire de celle obtenue au cours du traitement.

On remarque que seuls le *strippage* (procédé consistant à extraire un composé volatil dissous par entraînement dans un courant gazeux, air, vapeur d'eau, etc.), la précipitation et le traitement aérobie sont capables de diminuer fortement les rejets d'azote.

TABLEAU X
Evolution de l'azote au cours des traitements

Traitement réalisé	Effet sur les composés azotés
Stockage aéré en vue de la désodorisation de lisier, stockage et maturation de fumier	Minéralisation partielle de l'azote organique, pertes de NH_3 par volatilisation avec pollution de l'atmosphère
Séparation des déchets solides par tamisage, décantation, centrifugation	Élimination partielle de l'azote organique particulaire soit moins de 15 % de NTK
Séparation après coagulation préalable	Optimisation de l'élimination de l'azote particulaire soit 15 à 35 % de NTK selon l'âge et la qualité du lisier
Strippage de l'ammoniac avec récupération d'un composé ammoniacé	Élimination de 70 à 95 % de NH_4^-
Précipitation d'un complexe ammoniaco-magnésien avec séparation de la phase solide	Élimination de 70 à 95 % de NH_4^+
Traitement biologique anaérobie (méthanisation) sans séparation de la phase solide	Minéralisation de l'azote organique, faible assimilation de NH_4 , élimination de NTK limitée aux pertes de NH_3 dans le biogaz
Traitement biologique aérobie à moyenne et forte charge (stabilisation thermophile) sans séparation de la phase solide	Minéralisation de l'azote organique, assimilation de NH_4 , élimination limitée aux pertes dans l'atmosphère
Traitement biologique aérobie à faible charge avec séparation de la phase solide	Minéralisation, assimilation-désassimilation, nitrification-dénitrification plus ou moins poussée selon l'optimisation du potentiel redox

Phosphore

Le cycle global du phosphore (Fig. 5) est beaucoup plus simple que celui de l'azote car il n'y a pas d'échange avec l'atmosphère.

Dans le sol

La rétention du phosphore dans le sol est généralement bonne pour les raisons suivantes :

- la part dissoute est faible à l'origine ;
- l'ion phosphorique à charge négative est fixé sur les complexes argilo-humiques par l'intermédiaire d'ions calcium.

Ainsi le phosphore assimilable par les plantes reste bloqué dans l'attente des périodes de végétation.

Les pertes par lessivage vertical avec entraînement vers les nappes phréatiques restent donc limitées (Fig. 6).

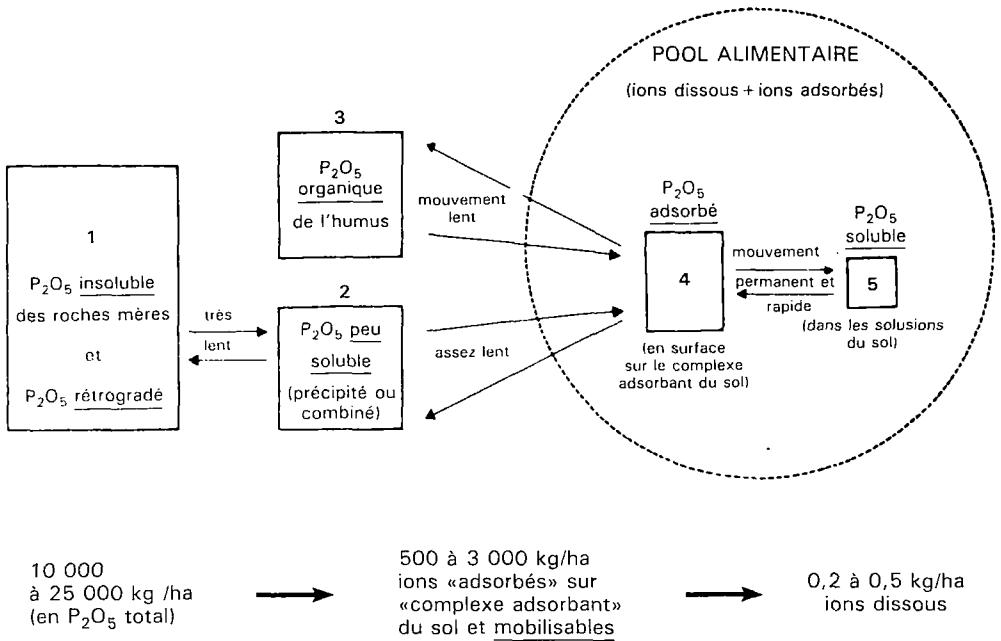


FIG. 5
Le cycle du phosphore
 (4)

Dans les eaux superficielles

Du fait de sa forme particulière, la fraction de phosphore entraîné dans les eaux de ruissellement par érosion du sol peut être importante. En revanche, les pertes par débordement des fosses à lisier et à purin sont plus limitées tant qu'il n'y a pas remise en suspension des sédiments.

Dans le milieu aquatique, l'évolution dépend de l'état du milieu. Les phosphates sont tantôt incorporés aux sédiments du fait de l'assimilation par la microfaune et par les plantes, d'une part, et des interactions physico-chimiques, d'autre part, tantôt relargués dans la phase aqueuse sous l'influence de facteurs physiques (turbulence), physico-chimiques (température, pH, redox) et biologiques (anaérobiose, lyse bactérienne).

La part dissoute étant faible, les traitements de lisier qui incluent une séparation de la phase solide conduisent à une élimination du phosphore généralement supérieure à 70%. Ce rendement peut être accru moyennant une précipitation des orthophosphates solubles à l'aide de sel de fer, d'aluminium ou de calcium.

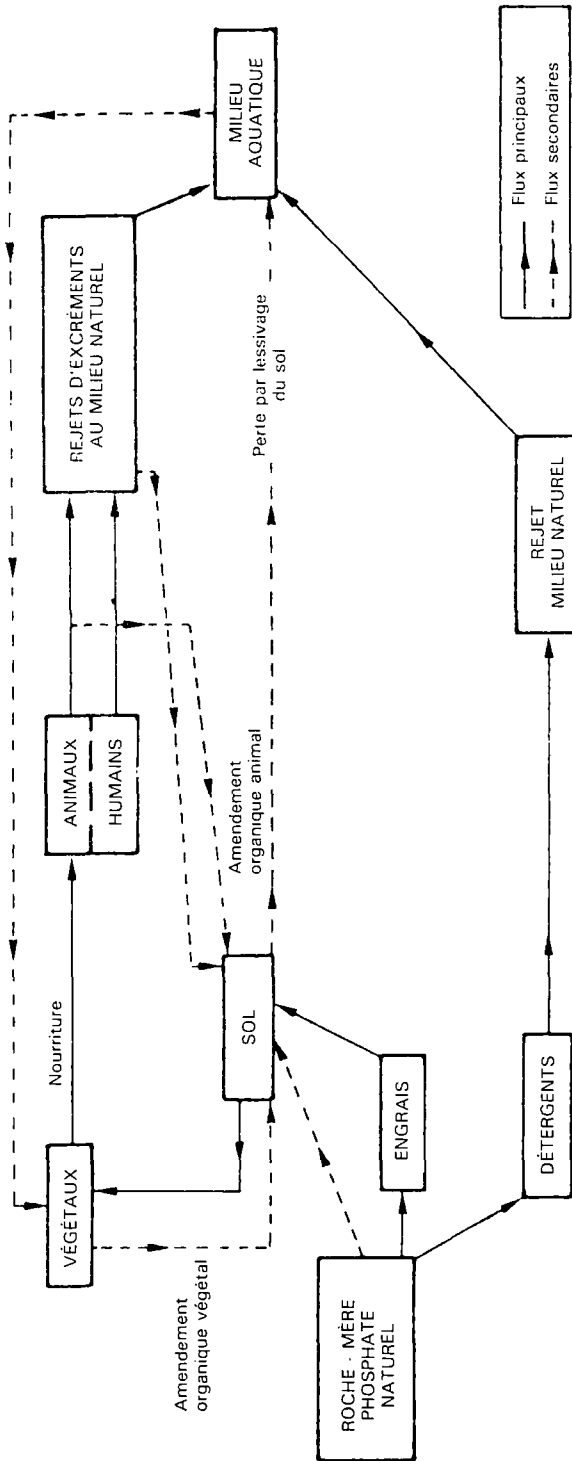


FIG. 6
Résumé des différentes formes du phosphore dans le sol
(12)

EFFETS DE LA POLLUTION SUR LE MILIEU : TOXICOLOGIE DES PRODUITS AZOTÉS

Azote organique

L'azote organique ne présente pas de toxicité.

Ammonium

La toxicité de l'ion ammonium ou de son dérivé NH_3 est très marquée vis-à-vis du poisson pour lequel la dose mortelle est voisine de 1 mg/l pour NH_4^+ et de 0,025 mg/l pour NH_3 .

La tolérance est de plusieurs grammes pour l'homme dans le cas d'ingestion directe avec notamment des risques de lésions du tube digestif. L'inhalation d'ammoniac à une dose relativement élevée (de 4000 à 5000 ppm) entraîne l'ulcération des muqueuses voire un œdème des poumons. Mais les concentrations dans l'eau n'atteignent pas ces seuils élevés (Tableau XI).

TABLEAU XI

*Concentrations limites en produits azotés requises
pour préserver la qualité des eaux
(en mg/l)*

Paramètre	Alimentation humaine		Nutrition du poisson			
	VG *	CMA **	VI ***	Salmonidés VG *	Cyprinidés VI ***	VG *
NH_3	0,05	0,5	0,025		0,025	
NH_4^+	0,05	0,5	1	0,04	1	0,2
NO_3^-	25	50		3		6
NO_2^-		0,1		0,01		0,03
NTK		1				

* VG = valeur guide

** CMA = concentration maximale admissible

*** VI = valeur impérative

Nitrates et nitrites

L'absorption directe de nitrites et de nitrates par l'alimentation peut avoir des effets néfastes sur la santé (10, 11).

Ils proviennent soit des aliments en cas notamment de surfertilisation, soit de l'eau utilisée pour la boisson et la cuisson des aliments.

Un apport excessif d'azote sur le sol peut donc avoir une double répercussion par le biais de l'eau et des légumes (Tableau XII).

A défaut de pouvoir dissocier la toxicité directe des nitrates de celle induite par sa transformation *in vivo*, les recommandations FAO/OMS fixent pour l'adulte la

TABLEAU XII

Quelques valeurs de concentration en nitrates et nitrites dans les aliments
(en mg/kg)

Aliments	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
Carottes	200	0,8
Céleris – radis	2 300	0,5
Epinards	1 800	2,7
Betteraves	2 700	6
Salades	1 000	–
Viandes salées	208	50
Charcuterie	75 à 180	–

dose journalière admissible (DJA) à 3,65 mg NO₃⁻/kg de poids.j ce qui correspond pour un homme de 70 kg à 255 mg/j de NO₃⁻. La DJA pour les nitrites est de 0,09 mg NO₂⁻/kg de poids.j.

La cause prépondérante d'intoxication chez l'adulte provient des aliments absorbés (180 à 200 mg/l), alors que chez le nourrisson c'est l'eau de reconstitution du lait, une concentration supérieure à 50 mg/l étant jugée dangereuse. Elle provoque chez ce dernier l'apparition de méthémoglobinémie, consécutive à l'augmentation du taux de méthémoglobine dans le sang.

La méthémoglobine est une hémoglobine dont le fer s'est oxydé de l'état ferreux à l'état ferrique sous l'action des nitrites et qui a ainsi perdu le pouvoir de transfert de l'oxygène vers les tissus. Il en résulte un phénomène de cyanose avec apparition des signes cliniques suivants : céphalées, vertiges, polypnée, asthénie ; la mort survient par anoxie cellulaire pour un taux de 60 à 75 % de méthémoglobine. Chez l'adulte l'effet de ces signes cliniques est plus insidieux, car ils comprennent également une hypertension primaire et secondaire.

Chez les animaux les cas d'intoxication alimentaire sont dus à l'ingestion de fourrage pour les ruminants et à l'eau de boisson pour les porcs et les volailles. On a constaté notamment une toxicité aiguë pour le bétail avec de l'eau contenant 500 ppm de nitrates ou une nourriture contenant plus de 1,5 % de nitrates, et pour 125 ppm et 0,5 %, une intoxication chronique avec dyspnée, vasodilatation, avortement et diminution de la production lactée.

Nitrites et nitrosamines

Les composés N-nitrosés (nitrosamines et nitrosamides), qui se forment par réaction des composés organiques azotés (amines, amino-acides, ammoniums quaternaires, protéines, collagène, créatinine, etc.) avec les nitrites, se sont révélés cancérigènes chez l'animal, provoquant des tumeurs notamment du foie, de l'œsophage, du rein, de l'estomac et du système nerveux.

Ces composés se forment *in vivo* en deux étapes :

– les nitrates sont réduits en nitrites par la flore buccale, cette réaction étant favorisée par l'ion thiocyanate présent dans la salive et le suc gastrique, et inhibée par l'acide ascorbique qui peut servir d'antidote ;

– au niveau de l'intestin, certaines espèces bactériennes de la flore intestinale (*Escherichia coli*, *Clostridium*, *Lactobacillus*) sont susceptibles de catalyser la formation de composés N-nitrosés.

En milieu aquatique, la flore microbienne en présence de diméthylamine et de nitrites sert d'intermédiaire à la formation de nitrosamines.

LE PHÉNOMÈNE D'EUTROPHISATION

Le terme **eutrophisation** est utilisé pour désigner les changements provoqués dans un écosystème aquatique, par un enrichissement en fertilisants.

L'eutrophisation s'applique à l'ensemble des eaux superficielles, ses répercussions sur les eaux stagnantes étant nettement plus marquées en raison des résultats cumulatifs des principaux effets.

Mécanismes de l'eutrophisation

Les mécanismes de ce phénomène sont chronologiquement et schématiquement les suivants :

– prolifération de la biomasse végétale du plan d'eau s'accompagnant d'une activité photosynthétique très forte, avec deux effets secondaires : la saturation en oxygène durant le jour, le niveau de celui-ci baissant pendant la nuit jusqu'à franchir le seuil critique pour certaines espèces, et l'augmentation du pH due à l'absorption de CO_2 avec déplacement de l'équilibre $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3$ et dépassement du seuil de toxicité ;

– dégradation microbienne de cette masse végétale, avec la consommation de l'oxygène du milieu et la production possible d'ammoniac par réduction fermentative de nitrites et d'hydrogène sulfuré toxique pour les poissons.

Effets de l'eutrophisation

Les effets globaux

- modification de la flore avec accroissement des risques d'envasement ;
- modification de la faune entraînant notamment la disparition des espèces les plus fragiles telles que les salmonidés ;
- baisse de l'intérêt social et touristique de l'eau (pêche, activités nautiques) ; et
- altération de la valeur utilitaire de l'eau avec notamment des difficultés croissantes pour la rendre potable.

L'azote et le phosphore sont, bien entendu, tous les deux concernés. Une comparaison de la demande et de l'apport (Tableau XIII) permet toutefois de constater que les apports naturels en phosphore sont ceux qui satisfont le moins la demande. De plus, les apports en phosphore sont, dans l'ensemble, plus faciles à maîtriser.

Les phénomènes d'eutrophisation apparaissent pour des concentrations en phosphore de 10 mg P/m³ sous forme assimilable ou de 200 à 300 mg N/m³ d'azote inorganique.

TABLEAU XIII

Demande et apport en éléments par les végétaux d'eau douce

Eléments	% dans le tissu végétal = demande	% dans l'eau naturelle = apport	Rapport demande /apport
Phosphore	0,08	0,000001	80 000
Azote	0,7	0,000023	30 000
Carbone	6,5	0,0012	5 000
Silice	1,3	0,00065	2 000
Potassium	0,3	0,00023	1 300
Autres			1 000

Les autres effets

– au cours de la stérilisation de l'eau potable, NH_4 consomme du chlore et produit des chloramines qui donnent à l'eau un goût désagréable ;

– la nitrification de l'azote ammoniacal consomme de l'oxygène (4,2 mgO_2/mgN) ;

– les conséquences économiques d'un excès de fertilisation, au-delà d'une dépense immédiate inutile, sont une surproduction agricole et une détérioration de la qualité des produits entraînant une difficulté croissante de leur commercialisation.

CONCLUSIONS

Les déjections animales contribuent de façon non négligeable à la détérioration de la qualité des eaux sous des formes diverses.

A ce titre, elles constituent avec l'ensemble des pollutions d'origine agricole l'un des thèmes principaux de réflexion au niveau de la Communauté Européenne. A l'échelon national, également, les ministres de l'Agriculture et de l'Environnement ont mis en place depuis 1984 un dispositif de coordination des diverses actions dans ce domaine : le Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates (CORPEN).

Ce programme d'action comporte plusieurs volets, parmi lesquels :

- la pratique d'une fertilisation raisonnée ;
- un meilleur épandage avec notamment des stockages de lisiers ;
- un développement des échanges ;
- le traitement des excédents avec exportation des nutriments vers des zones déficitaires ;
- une réelle adaptation de la densité de l'élevage aux capacités locales d'exportation des nutriments par les cultures.

ROLE OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN POLLUTION OF ANIMAL ORIGIN. - L. Audoin.

Summary: Despite some variability in the data, the author has been able to establish the average characteristics of animal wastes, and to formulate an overall view of nitrogen and phosphorus wastes originating from livestock, in order to compare them with other wastes. Nitrogen is originally present mainly in the form of dissolved ammonia, whereas phosphorus is present in inorganic particles.

Ammonium nitrogen is toxic for the aquatic fauna and, in favourable conditions, can be oxidised into nitrates and nitrites, which are undesirable constituents, capable of affecting the health of consumers.

Phosphorus and nitrogen compounds in excess of the requirements for soil fertilisation are responsible, among other things, for degrading the quality of surface water, leading to eutrophication.

KEYWORDS: Animal wastes - Environmental pollution - Nitrogen - Phosphorus - Toxicity.

*
* *

FUNCIÓN DEL NITRÓGENO Y DEL FÓSFORO EN LA CONTAMINACIÓN ANIMAL. - L. Audoin.

Resumen: Pese a cierta dispersión de los datos, el autor ha podido establecer las características medias de las deyecciones animales, así como un balance de los residuos de nitrógeno y fósforo procedentes de la ganadería con objeto de compararlo con otros aportes. Originalmente, el nitrógeno se encuentra presente sobre todo en forma amoniacal, en estado disuelto, mientras que el fósforo se encuentra en forma inorgánica particular.

Si las condiciones son favorables, el nitrógeno amoniacal, tóxico para la fauna acuática, puede oxidarse en nitritos y nitratos, que son compuestos nocivos capaces de afectar la salud de los consumidores.

Además, el fósforo y los compuestos nitrogenados excedentes respecto a las necesidades de fertilización de los suelos son responsables de la degradación de la calidad de las aguas superficiales al provocar su eutroficación.

PALABRAS CLAVE: Deyecciones animales - Fósforo - Nitrógeno - Polución - Toxicidad.

*
* *

Annexe

TERMINOLOGIE – SYMBOLES – UNITÉS

Azote total Kjeldalh (en abrégé NTK): il comprend l'azote organique et ammoniacal et exclut les formes oxydées (nitrites et nitrates), contrairement à l'azote global NGL qui comprend toutes les formes de l'azote.

Azote ammoniacal : il existe sous deux formes :

1) **ion ammonium** NH_4^+ qui est exprimé tantôt en masse d'azote (en abrégé N.NH₄), tantôt en masse de NH_4^+ avec la correspondance : teneur en NH_4^+ = teneur en N.NH₄ × 1,28.

2) **gaz ammoniac** NH_3 exprimé souvent en masse de NH_3 , mais parfois en masse d'azote N.NH₃ dans les bilans avec la correspondance : teneur en NH_3 = teneur en N.NH₃ × 1,21.

Nitrates : exprimés tantôt en ions nitrates (NO_3^-), tantôt en azote nitrique N.NO₃ : teneur en NO_3^- = teneur en N.NO₃ × 4,42.

Nitrites : exprimés tantôt en ions nitrites NO_2^- , tantôt en azote nitreux N.NO₂ : teneur en NO_2^- = teneur en N.NO₂ × 3,28.

Phosphore total : exprimé tantôt en P, tantôt en anhydride phosphorique P_2O_5 , tantôt en ions phosphates PO_4^{3-} :

– teneur en P_2O_5 = teneur en P × 2,29 ;

– teneur en PO_4^{3-} = teneur en P × 3,06.

Orthophosphates : phosphates sous la forme ortho exprimés tantôt en P.PO₄, tantôt en PO_4^{3-} .

*
* *

BIBLIOGRAPHIE

1. ANON. (1978). – L'épandage des eaux résiduaires sur terrain agricole. Agence de l'Eau, Seine-Normandie, *Cah. tech.*, **8**, 64 p.
2. AUBART C. (1982). – Digestion anaérobie des déchets d'élevages. Etudes biotechnologiques et recherches sur quelques mécanismes microbiologiques. Tomes I et II. Inst. Nat. Polytech. Lorraine, Nancy, 214 p.
3. AUDOIN L. (1986). – Unité de traitement centralisé de lisiers de porcs. Ministère de l'Agriculture, agence Loire-Bretagne, 105 p.
4. BENNETON J.B. (1986). – Eutrophisation des plans d'eau. Inventaire des principales sources de substances nutritives azotées et phosphorées. *Tribune du CEBEDEAU*, **506**, **508**, **509**, **510**.
5. BERTRAND M. (1985). – Méthode d'estimation de la valeur fertilisante des lisiers de porcs. CEMAGREF, Rennes, 37 p.
6. CATROUX G., GERMON J.C. & GRAFFIN PH. (1974). – L'utilisation du sol comme système épurateur. *Ann. Agron.*, **25** (2-3), 179-193.
7. CHAE Y.M. & TABATABAI M.A. (1986). – Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. *J. environ. Qual.*, **15** (2), 193-198.
8. COILLARD J. (1990). – Le traitement des lisiers de porcs excédentaires. *Courants*, **4**, 40-48.
9. COPPENET M. (1974). – L'épandage du lisier de porcherie ; ses conséquences agronomiques. *Ann. Agron.*, **25** (2-3), 403-423.
10. DUCHENIN J., DUFILS J. & PARIS M. (1988). – Nitrates et santé. *Tech. Sci. munic.*, **4**, 181-191.
11. FOULHOUZE R. (1988). – Nitrates et eaux d'alimentation. *Tech. Sci. munic.*, **4**, 171-176.

12. GROS A. (1987). – Engrais. Guide pratique de la fertilisation. La Maison rustique, Paris, 441 p.
 13. HEDUIT M. (1989). – Les déjections animales. *In* Qualité de l'environnement et productions animales (R. Rosset, éd.). Informations techniques des Services vétérinaires, Ministère de l'Agriculture, *SNVIMA*, **108-111**, 189-209.
 14. HENIN S. (1980). – Activités agricoles et qualité des eaux. Tomes I et II. Ministère de l'Agriculture – Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, Paris, 350 p.
 15. JAMBOU M. (1977). – Les lisiers de porcherie – Caractéristiques – Effets sur les sols et les eaux de drainage. Ministère de l'Agriculture. *Bull. tech. info.*, **321**, 337-343.
 16. LAUZANNE R. DE (1988). – La valorisation des effluents d'élevage. Une meilleure protection de l'environnement. *L'eau, l'industrie et les nuisances*, **124**, 55-59.
 17. MAHIEU B. (1980). – L'épuration des eaux usées dans le sol. Quelques exemples dans le département du Var. Laboratoire de géologie dynamique appliquée, 110 p.
 18. MARTIN G. (1979). – Le problème de l'azote dans les eaux. Edition technique et documentation, Paris, 279 p.
 19. PERIGAUD S. & MOREAUX J.M. (1977). – Agriculture – Elevage et environnement. Ministère de l'Agriculture. *Bull. tech. info.*, **321**, 350-381.
 20. PHELIPPOI S. (1975). – L'eutrophisation des lacs (synthèse bibliographique). Association Française pour l'Etude des Eaux (AFEE), Paris, 118 p.
 21. VOORBURG J.H. (1977). – Utilisation of manure by land spreading. CEE, 5672 E, Luxembourg, 732 p.
-