

Bilan du fonctionnement d'une filière de traitement des lisiers de porcs à la ferme avec séparation de phases et lagunage anaérobie

**Yves Couton, Laurent Senez, Christine Devroe,
Jean Pierre Lemière, Jean Claude Coquille, Jean Claude Germon**

Les déjections animales sont des sources importantes d'amendements organiques et d'éléments fertilisants pour l'agriculture. En France les bovins produisent 156 millions de tonnes (Mt) de fumier et 64 Mt de lisier par an ; ils sont suivis par les porcins avec 21 Mt de lisier, les ovins avec 15 Mt de fumier et les volailles avec 2 Mt de fumier et 5 Mt de lisier. Ces déjections représentent 1,5 Mt de N, 0,37 Mt de P et 1,45 Mt de K (Théobald, 1997). Les lisiers de porcherie ne représentent qu'une faible part de ces déchets avec 116 000 t de N, 50 600 t de P et 42 000 t de K.

La production porcine en France a augmenté de 50% entre 1980 et 1998 et atteint 27 Millions de porcs produits par an (SCEES, Ministère de l'Agriculture). En même temps le nombre des élevages est passé de 319 000 à 90 000 entre 1979 et 1995, tandis que leur taille s'est fortement accrue. Ils se sont concentrés dans l'Ouest de la France ; la Bretagne regroupe 56% du cheptel au lieu de 46% en 1985. Cette concentration a conduit à des excédents structurels en éléments fertilisants et à des épandages excessifs qui sont sources de nuisances et de pollutions : odeurs, entraînements de nitrates dans les nappes, de phosphore dans les eaux de surface, accumulation de cuivre et de zinc dans les sols (Coppenet et al, 1993).

Pour enrayer ces pollutions, la législation tend à imposer des limites aux quantités épandues. La Directive européenne Nitrates vise à réduire les

apports d'azote à 210 puis à 170 kg N ha⁻¹ dans les zones vulnérables et l'on se place progressivement dans une logique d'équilibre agronomique effectif pour l'ensemble des éléments fertilisants apportés dans les parcelles soumises à épandage (arrêté du 23 décembre 1996, J.O. du 11 janvier 1997).

Pour une gestion rationnelle des lisiers il est indispensable de bien connaître l'ensemble des transformations au cours de leur traitement et de leur stockage, et de prendre en compte les sous produits et les risques de transferts de pollution vers l'atmosphère (IPCC, 1996). S'il existe de nombreuses données sur les méthodes de gestion des lisiers (Burton, 1997), peu de bilans complets ont été effectués sur l'ensemble d'une filière de traitement à la ferme.

Une filière reposant sur une séparation de phases par tamis centrifuge et un stockage en lagunes avant épandage fonctionne depuis plusieurs années pour le traitement des effluents d'une porcherie de la Plaine de Dijon (France). Cette étude a pour but de caractériser l'évolution des éléments fertilisants et polluants à chaque étape, depuis l'évacuation des rejets jusqu'au départ vers l'épandage. On s'est intéressé à l'évolution sur lit drainant des boues de fond de lagune pour permettre leur gestion séparée de la phase liquide. On a évalué les émissions d'ammoniac par bilan et mesuré les dégagements de méthane et de protoxyde d'azote au dessus de ces lagunes.

**Yves Couton,
Laurent Senez,
Christine
Devroe,
Jean Claude
Germon**
INRA-CMSE,
Laboratoire
de Microbiologie
des Sols,
17 rue Sully,
21034 Dijon
Cedex

**Jean Pierre
Lemière,
Jean Claude
Coquille**
ENESAD,
Laboratoire des
Agro-équipements
et des Procédés,
Bd Olivier de
Serre,
21800 Quétigny

Présentation de l'installation - démarche expérimentale

■ Porcherie

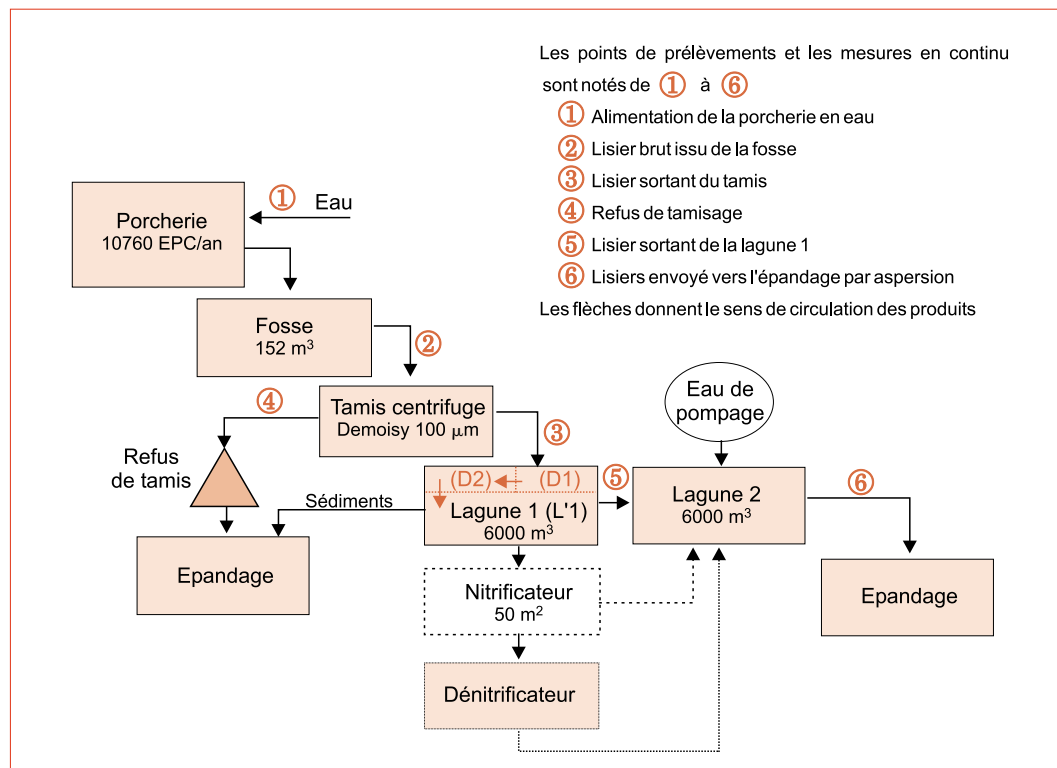
La porcherie, associée à une exploitation de grande culture, assure la sélection, la production de reproducteurs, le naissage et l'engraissement. Sur la base des équivalences de 0,2 porc à l'engrais pour un porcelet et de 5 pour un verrat ou une truie (CORPEN, 1996), les rejets de la porcherie sont ceux d'un élevage engraisseur produisant 10760 porcs charcutiers par an.

■ Filière de traitement (figure 1)

Deux bassins étanches de 3177 m² et 6000 m³ chacun (Lagunes L1 et L2), sont disposés en série. A partir de l'automne 1997, le premier a été divisé en trois parties de 424 m² et 670 m³ pour les deux premières (décanteurs D1 et D2) et de 2124 m² et 4066 m³ pour la troisième (Lagune L'1), avec un passage par surverse d'un bassin à l'autre. Deux fois par an, au printemps et en d'été, les lisiers liquides sont épandus par aspersion. En fin d'été les boues de décantation du bassin L1 sont épandues sur d'autres parcelles.

L'installation comporte une unité expérimentale de nitrification-dénitrification de l'azote étudiée par ailleurs (Senez et al, 1999).

Figure 1. - Schéma de la filière de traitement



Les porcs sont élevés sur caillebotis. Les urines, les fèces et les eaux de lavage sont recueillies dans une fosse de 152 m³, profonde de 3,3 m. Deux fois par semaine, après une recirculation forcée pour remettre les dépôts en suspension, les lisiers homogénéisés sont évacués vers un tamis rotatif (Demoisy, Beaune, France) de 6,2 kW, muni d'une grille de 100 µm. Les matières solides séparées sont compostées sur place. Le liquide tamisé descend par gravité jusqu'à la première lagune.

■ Méthodes d'études des flux et des bilans

Bilan des produits entrant dans la porcherie

En plus de la consommation d'eau, les quantités d'éléments apportés par les aliments ont été calculées à partir des quantités et des compositions indiquées par l'éleveur et le fournisseur.

Lisiers produits et traités sur le tamis

Les performances du tamis ont été évaluées lors de 4 journées complètes réparties sur l'année, à partir des variations de volume dans la fosse, des

mesures des flux liquides en sortie du tamis et des pesées des refus séparés. Les volumes envoyés en lagunes ont été calculés à partir du temps de fonctionnement et du débit moyen du tamis. Les lisiers ont été échantillonnés et analysés une fois par semaine dans la fosse et en sortie du tamis.

Les masses des éléments rejetés ont été obtenues par le produit des concentrations et des volumes. La volatilisation d'ammoniac sous la porcherie et dans la fosse, a été évaluée par la différence entre la quantité d'azote excrété par les animaux, estimée à 70 % de l'azote ingéré (CORPEN, 1996), et l'azote mesuré dans les rejets en sortie de fosse.

Suivi de la première lagune entre mars 96 et mars 97

Les volumes de lisier sortant de la lagune L1 ont été évalués à partir de relevés limnimétriques dans les bassins L1 et L2. La composition des lisiers en sortie de la lagune L1 a été déterminée trois fois par semaine.

Les mesures de flux ont été complétées par l'évaluation des quantités d'éléments retenus dans la phase liquide et les sédiments de la lagune en fin d'hiver (1er février 1996) et en été (25 juillet 1996) (Senez et al 1997). Les volumes ont été évalués à partir des niveaux de liquide, et des relevés du fond du bassin et de l'interface liquide/sédiments à l'aide de sondes adaptées. Une centaine d'échantillons ont été prélevés à chaque date, à deux profondeurs dans le liquide et à une profondeur dans les sédiments. La quantité d'azote immobilisée dans les sédiments est la moyenne de 3 estimations utilisant les quantités de chacun des éléments P, Cu et Zn, retenues par décantation sur un an et les ratios respectifs N/P, N/Cu et N/Zn mesurés sur les sédiments.

Evolution des boues de fond de bassin sur lit drainant

En novembre 1997, des sédiments issus du bassin L1 ont été placés en une couche de 26 cm d'épaisseur sur un lit drainant de graviers siliceux recouvert d'un géotextile. Les liquides percolés ont été recueillis. Au départ et tous les 3 mois durant 1 an, les sédiments ont été pesés, homogénéisés, échantillonnés puis redéposés.

Emissions de gaz à effet de serre au dessus du bassin

Les émissions de méthane (CH_4), de gaz carbonique (CO_2) et de protoxyde d'azote (N_2O) ont été mesurées par suivi de l'enrichissement de l'atmosphère pendant une heure dans des enceintes flottantes de $0,177 \text{ m}^2$ de section, posées à la surface du lisier et maintenues en équilibre avec la pression extérieure. Une série de mesures a été réalisée en avril 1997 sur le bassin L1, puis les 4 et 17 septembre, et 28 octobre 1998, sur les trois bassins D1, D2 et L'1 issus de la division du bassin L1, à raison de 3 répétitions à chaque date. Les seuils de dégagement mesurables par cette méthode sont de $4 \text{ mg N-N}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ et de $50 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ de CO_2 ou de CH_4 .

Analyses

Les analyses des lisiers et des sédiments ont été réalisées par notre laboratoire selon des protocoles classiques utilisés pour les analyses de sols et de déchets organiques, ou directement par le Laboratoire d'Analyses des Sols de l'INRA (Arras, France). La concentration des gaz a été mesurée à l'aide d'un microchromatographe équipé d'une détection catharométrique.

Résultats et discussions

Flux de lisier et d'éléments rejetés par la porcherie (tableau 1)

Au cours de l'année la consommation moyenne d'eau a été de $52,3 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ et la production moyenne de lisier de $47,0 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$, soit 90 % du volume d'eau consommé. En été la production de lisier demeure constante ($47,7 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$) tandis que la consommation d'eau monte à $59,5 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$. Le rejet moyen de $1,6 \text{ m}^3$ de lisier par porc produit est nettement supérieur à la valeur de $0,8 \text{ m}^3$ habituellement retenue. Les lisiers sont peu concentrés avec $33,7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ de matière sèche (MS) en moyenne.

La charge de ces effluents en MS est de $575 \text{ t} \cdot \text{an}^{-1}$. La matière organique rejetée correspond à 643 t de DCO (Demande Chimique en Oxygène), soit 60 kg par porc produit ou 40 kg de matière oxydable¹ avec un ratio DBO_5/DCO de 50 %. Cette quantité est 30 % plus faible que celle de 58 kg de matière oxydable par porc produit évaluée d'après Héduit (1990), et laisse penser que l'économie des aliments dans cette porcherie est mieux gérée que la moyenne nationale.

1. Matière oxydable : $(\text{DCO} + 2 \text{ DBO}_5) / 3$.

Tableau 1. – Evaluation sur un an des principaux éléments ou produits consommés par la porcherie et rejetés dans les lisiers (avant tamisage). Les quantités en entrée sont évaluées à partir des données fournies par l'éleveur : les quantités rejetées sont issues des mesures réalisées.⁽¹⁾ en m³ pour l'eau consommée et le lisier produit. ▼

	Quantités de produits			Ratios (%) Rejets / Consom- mation
	à l'entrée de la porcherie (t) ⁽¹⁾	rejetés dans les lisiers (t) ⁽¹⁾	rejetés par porc produit (kg) ⁽¹⁾	
Eau (entrée) et lisier (sortie)	19082	17162	1,59	90
Matière sèche	2103	575,3	53,5	27
DCO		643	60	
N Kjeldahl	65,1	40,6	3,77	62,4
dont N - NH ₄ ⁺		22		
P	16,8	14,2	1,32	84,5
K		15,5	1,44	
Ca	26	26,8	2,49	
Mg		4,03	0,37	
Na		3,88	0,36	
Cu	0,213	0,328	0,030	
Zn	0,337	0,821	0,076	

Les lisiers en sortie de fosse de collecte entraînent 40,6 t.an⁻¹ d'azote soient 62,5% des apports par les aliments. Avec une estimation de 45,5 t.an⁻¹ d'azote excrété, soit 30 % des apports, la volatilisation d'ammoniac sous les bâtiments serait de 4,9 t N.an⁻¹, ou 11% de la quantité excrétée. Cette perte a lieu surtout en été, comme l'indique le suivi des rejets sur l'année (tableau 2) ; elle est faible en comparaison de la valeur de 25 % retenue par le CORPEN (1996), en raison vraisemblablement de la faible teneur en N-NH₄⁺ (1,3 g l⁻¹), du pH peu élevé (7,4), et du court temps de séjour du lisier (4 jours au maximum). Le rejet d'azote par porc produit en sortie de bâtiment est de 3,77 kg, valeur proche de la référence de 3,5 kg (CORPEN 1996) et de l'estimation de Dourmad et al (1999) de 4,12 kg N excrété par porc en tenant compte de la volatilisation.

Le rejet dans les lisiers de 14,2 t de phosphore par an ou 1,32 kg par porc produit est en accord avec les moyennes de 1,31 et 1,34 kg proposées par le CORPEN (1996) et par Poulsen et al (1999). Ces 14,2 t correspondent à 84,5 % du phosphore des aliments, valeur très élevée en regard des valeurs

habituelles de 64 à 70% (Poulsen et al 1999) et laisse penser à une surestimation due à l'échantillonnage ou plus vraisemblablement à un défaut d'évaluation des entrées : le même problème se pose pour les bilans de calcium (tableau 1). Chaque porc produit rejette aussi 1,44 kg de potassium.

Les quantités de cuivre et de zinc de 328 et 821 kg.an⁻¹ (30 g Cu et 76 g Zn par porc produit) mesurées dans les lisiers sont très grandes

Tableau 2. – Evolution des rejets d'azote journaliers en sortie de fosse de collecte sous les animaux au cours de l'année. ▼

Période de mesure	N rejeté par les lisiers (kg. Jour ⁻¹)
1 ^{er} mars - 31 mai	115,3
1 ^{er} juin - 31 août	96,5
1 ^{er} septembre - 31 novembre	105,8
1 ^{er} décembre - 28 février	127,6
année	111,25

par rapport aux estimations des quantités apportées, tirées des concentrations indiquées mais non vérifiées pour les aliments. Les teneurs moyennes de ces métaux dans les lisiers sont respectivement de 570 et 1427 mg kg⁻¹ MS. Elles sont en accord avec les concentrations moyennes de 850 et 1120 mg kg⁻¹ MS relevées par Germon et al (1979) sur un ensemble de 48 élevages, mais sont sensiblement supérieures aux concentrations moyennes de 360 et 500 mg considérées comme représentatives des pratiques actuelles en Grande Bretagne par Nicholson et al (1999). En absence de rétention par les animaux, les concentrations en cuivre et zinc dans les aliments, calculées à partir de nos mesures, seraient respectivement de 156 et 390 mg kg⁻¹ de MS, valeurs élevées mais en accord avec les concentrations moyennes de 159 et 356 mg kg⁻¹ de MS déterminées sur les aliments de croissance dans la même enquête de Nicholson et al (1999). Le problème de l'utilisation du cuivre et du zinc en élevage porcin est connu depuis longtemps (Coppenet, 1974) ; la question est posée aux zootechniciens, de savoir s'il est possible de réduire ces apports sans préjudice sanitaire.

■ ***Devenir des différents éléments à chaque étape de la filière***

Matière organique et fertilisants majeurs

Le tableau 3 résume l'évolution des éléments à chaque étape du traitement et les quantités rejetées dans les différentes phases liquides, solides et gazeuses sur une année.

Le tamis centrifuge traite de 20 à 27 m³ de lisier par heure ; le débit moyen de 22,4 m³.h⁻¹ est important en raison de la faible charge du lisier. Le tamis retient 42,9% de la matière sèche et 28% de la DCO mais seulement 5,4% de l'azote (4,8% de l'azote excrété) et 9,1% du phosphore. Le refus de tamisage à 75% d'humidité est facilement compostable, sans odeurs excessives, et utilisable comme un fumier.

Au 1^{er} février 1996, la lagune L1 contient 4036 m³ de liquide reposant sur 1463 m³ de sédiments ; l'ensemble représente 438 t de MS, 208 t de DCO, 17,6 t de N et 18,2 t de P. Entre le 1^{er} février et le 25 juillet, 212 t de DCO sont entrées dans le bassin, 41 t en sont sorties, le stock a augmenté de 90 t, et 81 t ont donc été épurées ; l'abattement de DCO s'effectue donc à 47% par épura-

tion et à 53 % par décantation. Sur l'ensemble de l'année le bassin a reçu 462 t de DCO tandis que 76 t en sont sorties vers la lagune L2 ou l'épandage. Si le taux de décantation de 53% est extrapolable, ce sont 205 t de DCO qui s'accumulent dans les boues, ou 32 % de la DCO rejetée par la porcherie, et 181 t qui sont épurées, ou 28,1% de la DCO excrétée, correspondant à 156 g m⁻².j⁻¹ de DCO éliminée ou 57 kg.m⁻².an⁻¹. Cette efficacité est en accord avec les charges de 100 à 400 g.m⁻².j⁻¹ de DCO habituellement appliquées aux lagunes (Pearson, 1996).

La lagune L1 a reçu 38,4 t d'azote en un an et 24,5 t en sont sorties avec le lisier liquide. En prenant comme traceurs P, Cu et Zn, on peut évaluer à 6,3 t l'azote décanté. Le défaut de bilan de 7,6 t de N est attribué essentiellement à la volatilisation d'ammoniac dans ce milieu constamment anaérobie. Cette perte d'azote ammoniacal est de 6,55 g.m⁻².j⁻¹ et est supérieure à celles rapportées par Shilton (1996) de 1,53 g.m⁻².j⁻¹, ou par Sommer et al (1996) de 4,15 g.m⁻².j⁻¹. Les émissions de NH₃ sont certainement plus importantes en été en raison de la température plus élevée et de la remontée du pH de 7,5 le 1^{er} février à 8,1 le 25 juillet.

La somme des émissions d'ammoniac sous la porcherie et au dessus des bassins (11 et 17% de l'azote excrété) correspond à la moyenne de 28% retenue par le CORPEN (1996) pour les élevages naisseurs-engraisseurs. Elle représente une perte de 1,16 kg N par porc produit, valeur sensiblement inférieure à celle de 1,8 kg N donnée par Iserman (1990) pour le stockage des lisiers en général.

La décantation dans la lagune permet de retenir 82% du phosphore rejeté. Au facteur de dilution près dû à la pluviométrie, le potassium et le sodium traversent le bassin et y sont peu retenus (tableaux 3 et 4).

A la sortie de la lagune le lisier destiné à l'épandage ne contient plus que 12% de la matière organique initiale, 53,3% de l'azote et 9% du phosphore mais 89% du potassium (tableau 3). Calculée sur la base d'une fertilisation de 100 kg d'azote ammoniacal par hectare, la dose appliquée apporte en même temps 7,5 kg de P et 57 kg de K : dans ces conditions le phosphore n'est plus un facteur limitant l'épandage, ce qui n'est pas le cas

Tableau 3. – Devenir de la matière organique et des éléments fertilisants rejetés pendant une année au cours des différentes étapes de traitement. (* : quantités faisant l'objet de mesures directes). ▼

	DCO		Azote Kjeldahl		Phosphore		Potassium	
	t	%	t	%	t	%	t	%
Excrétion par les animaux	643*	100	45,5	100	14,2*	100	15,5*	100
Pertes sous l'élevage			4,9	10,8				
Rejet en sortie des bâtiments	643*	100	40,6*	89,2	14,2*	100	15,5*	100
Rétention sur le tamis	181*	28,1	2,2*	4,8	1,3*	9,1	0,9*	5,8
Décantation dans la lagune	205*	31,9	6,3	13,8	11,6	81,7	0,8	5,1
Elimination ou épuration dans la lagune	181	28,1	7,6	16,7				
Lisier envoyé à l'épandage	76*	11,8	24,5*	53,8	1,3*	9,1	13,8*	89

Tableau 4. – Concentrations moyennes des éléments totaux contenus dans le lisier en sortie de porcherie au cours de l'année et dans le liquide surnageant de la lagune à deux dates d'échantillonnage. ▼

	Concentrations (mg.l ⁻¹)		
	en sortie de porcherie	dans le liquide surnageant en lagune	
		1 ^{er} février	25 juillet
NTK dont	2402	1460	1370
N-NH ₄ ⁺	1302	1210	1150
P	841	90	90,7
K	900	670	692
Ca	1567	152	87
Mg	235	17	18
Na	227	173	212
Cu	19,4	3,53	1,65
Zn	47,9	3,21	3,48

2. Rapport d'adsorption du sodium :

$$RAS = [Na^+] / ([Ca^{++} + Mg^{++}] / 2)^2.$$

du potassium. La salinité de la phase liquide peut poser des problèmes pour la stabilité structurale des sols, d'autant plus que le rapport d'adsorption du sodium², de 5 à 10, est supérieur au seuil de risque fixé à 2 (Catroux et al, 1974).

Devenir du cuivre et du zinc

La rétention du cuivre et du zinc par les refus de tamis est faible (8 et 10 % ; tableau 5) alors que ceux-ci représentent 43% de la matière sèche. La décantation de ces métaux est importante dans la lagune où ils sont retenus à 82% comme le phosphore. Leur teneur moyenne dans les boues est

de 462 mg.l⁻¹ pour Cu et de 1098 mg.l⁻¹ pour Zn, soit respectivement 1893 et 4544 mg.kg⁻¹ MS. Dans le surnageant de la lagune les concentrations moyennes en Cu et Zn sont de 2,59 et 3,37 mg.l⁻¹, dont 0,90 et 1,36 mg sont solubles alors que le lisier issu du tamis n'en contenait respectivement que 0,13 et 0,23 mg.l⁻¹. Cela marque une solubilisation au cours de l'évolution anaérobie dans le bassin. Avec 100 kg d'azote ammoniacal par ha les lisiers issus de la lagune apportent 216 et 281 g de Cu et Zn, quantités beaucoup plus faibles que celles épandues avec les effluents bruts (Nicholson et al, 1999).

Tableau 5. – Devenir du cuivre et du zinc à chaque étape du traitement du lisier sur une année. ▼

	Cuivre		Zinc	
	kg	%	kg	%
Rejet dans le lisier	328	100	821	100
Rétention sur le tamis	25,4	7,7	85	10,3
Décantation dans la lagune	271	82,6	670	81,6
Lisier laguné envoyé à l'épandage	32	9,7	66	8,0

■ Evolution des sédiments du fond de bassin sur lit drainant

Les boues prélevées en fond de lagune en novembre 1997 sont très liquides, mais, protégées de la pluie, elles se ressuient rapidement ; le taux de matière sèche passe de 10,1 % à 30,8 % dans les trois premiers mois. Sans protection par la suite, elles continuent à se déshydrater pour atteindre 57,3% de matière sèche au bout de 6 mois (tableau 6). Elles sont alors manipulables et bien stabilisées ; leur minéralisation continue lentement, sans émanation de fortes odeurs. Leur valeur fertilisante est importante avec 4% de N, 6,3% de P, 3% de Mg et 10% de Ca par rapport à la matière sèche. Les éléments les plus solubles, K et Na, ont été lessivés avec l'eau de percolation (65% et 60%). Les éluats, riches en sels sont recyclés vers la lagune. Les teneurs en cuivre et en zinc sont très grandes et augmentent avec la minéralisation de la matière organique pour atteindre en 6 mois 2047 mg Cu.kg⁻¹ MS et 3678 mg Zn.kg⁻¹ MS. Elles sont supérieures aux limites retenues pour les boues d'épuration qui sont respectivement de 1000 et 3000 mg.kg⁻¹ MS pour Cu et Zn (décret 97-1133, JO du 10 décembre 1997).

Sans ces métaux, ces résidus de fond de bassin, séchés sur lit, constituent un excellent fertilisant organique dont la gestion séparée de la phase liquide devrait permettre de valoriser le phosphore en excès. Cette gestion ne sera possible que si l'on parvient à réduire fortement l'utilisation de Cu et Zn dans l'alimentation.

■ Emissions de gaz au dessus des bassins

En 1997, une mesure ponctuelle a permis d'évaluer un flux de 57,8 g CH₄ m⁻² j⁻¹ dans un biogaz

contenant 70% de méthane. En supposant cette mesure représentative on a calculé que les émissions de méthane pouvaient être de 66 t en un an. La même année on a évalué l'épuration biologique à 181 t de DCO dans la lagune ; avec un ratio C/DCO de 0,375 et une teneur de 70% de méthane dans le biogaz on peut estimer les émissions de méthane à 63 t.an⁻¹ corroborant l'évaluation précédente. Les mesures faites en 1998 sur chacun des bassins D1, D2 et L'1 à 3 dates (tableau 7) confirment cet ordre de grandeur : les émissions extrapolées à l'année seraient de 52,5 t de CH₄. Une telle extrapolation nécessite d'être confirmée par des mesures sur une année complète.

Ces estimations des flux annuels de 63 t et 52,5 t de CH₄ permettent d'évaluer les émissions de méthane par porc produit à 5,9 kg et à 4,9 kg. Ces valeurs sont très proches de celle de 10 kg par place de porcherie et par an, proposée actuellement par l'I.P.C.C. (1996), soit 5,9 kg par porc en utilisant un rapport de 1,7 entre le nombre de porcs charcutiers produits et la population instantanée recensée³.

3. En 1997, la population porcine permanente en France était de 15,4 10⁶ animaux pour 25,8 10⁶ porcs charcutiers produits.

Tableau 6. – Composition des sédiments de fond de lagune après 6 mois de conservation sur lit de séchage (MH : Matière Humide ; MS : Matière Sèche). ▼

Matière sèche : 573 g.kg ⁻¹ MH	Matière organique : 431 g.kg ⁻¹ MS
---	---

Eléments majeurs (g.kg ⁻¹ MS)		Eléments traces (mg.kg ⁻¹ MS)	
N total	39,3	Cu total	2047
P total	62,9	Zn total	3678
Ca total	103	Cd total	2,5
Mg total	30,7	Cr total	21,3
K total	5,2	Hg total	0
Na total	1,1	Ni total	20
Fe total	9,4	Pb total	9,9
S total	10,3	Se total	8,8

Tableau 7 : émissions de méthane au dessus des bassins de stockage du lisier. ▼

Bassins	Dates	Emissions de CH ₄		% CH ₄ dans le biogaz
		kg CH ₄ .j ⁻¹	t.an ⁻¹	
D1 (424 m ² , 670 m ³)	04/09/98	104,4		73
	17/09/98	97,6		70
	28/10/98	102,8		68
	moyenne	101,6	37,1	70
D2 (424 m ² , 670 m ³)	04/09/98	16,8		66
	17/09/98	18,7		64
	28/10/98	56,8		73
	moyenne	30,8	11,2	68
L'1 (2124 m ² , 4066 m ³)	04/09/98	12,9		45
	17/09/98	10,1		45
	28/10/98	11,7		48
	moyenne	11,6	4,3	46

Les émissions de méthane sont beaucoup plus importantes dans le premier bassin (D1), avec 70,5 % du total. C'est sur ce bassin qui reçoit la matière organique non stabilisée et où se dépose la plus grande partie des matières solides, que le gaz produit est le plus riche en méthane (70%) alors que celui de la lagune L'1 en contient moins de 50 %. L'augmentation de la production de gaz dans le bassin D2 entre septembre et fin octobre est la conséquence d'un transfert de sédiments dans ce second bassin à partir du premier (D1) ; elle montre l'importance de la gestion des boues dans la production de méthane. Cependant la baisse de température de 20,7 à 14,7°C dans le décanteur D1 et de 18,7 à 11,6°C dans la lagune L'1 ne se traduit pas par une diminution attendue de la production de méthane, ce qui peut traduire un décalage entre le fonctionnement de la microflore et les variations climatiques.

Les flux journaliers moyens lors de ces mesures sont respectivement de 240, 73 et 5,4 g m⁻² j⁻¹ de CH₄ sur les bassins D1, D2 et L'1 et sont à comparer aux valeurs de 22,1 g m⁻² j⁻¹ mesurées par Safley et al (1989) au dessus de bassins de lisier de 1,5 à 3 m de profondeur, et à celles de 17 à 35 g.m⁻³ j⁻¹ données par Martinez et al (1995). Avec un temps de séjour maximum de l'ordre de 2 semaines, la forte production du bassin D1 montre la possibilité de récupérer 37 t de méthane à partir d'une surface de 424 m². Piccinini (1996) cite une installation fonctionnelle de même taille

et dont le coût est amorti en 4 ans. Une telle récupération est nécessaire du point de vue de l'environnement et peut être intéressante au plan énergétique.

Les émissions de N₂O se sont avérées toujours nulles dans ce milieu sans oxygène dissous, ce qui confirme les estimations de Chadwick et al (1997) alors que d'autres méthodes de traitement, comme les litières aérées (Groenstein et al, 1996) ou les bassins avec aération intermittente (Béline 1998), peuvent être des sources importantes de ce gaz.

Conclusion

Cette étude montre qu'une filière de traitement des lisiers intégrant des procédés simples précédant l'épandage, tels qu'une séparation de phases sur tamis centrifuge et un stockage en lagunes, conduit à une modification importante de leur composition qui doit être prise en compte pour la gestion de l'épandage. Plutôt que de se baser sur la seule composition moyenne des effluents rejetés, il apparaît possible d'améliorer cette gestion par la prise en compte des émissions gazeuses et par une gestion séparée des liquides issus du lagunage et des produits solides récupérés par tamisage et par décantation.

L'abattement de la charge organique est très important puisqu'il ne reste plus que 12 % de la matière organique initiale en sortie de lagune : cet

abattement se répartit en quantités égales entre le tamis, la décantation et les biotransformations. Les produits issus du tamisage sont facilement compostables et valorisables. Par contre les fermentations en lagunes sont à l'origine d'importantes émissions de méthane qui doivent être récupérées, si possible à des fins énergétiques, pour éviter leur contribution à l'effet de serre.

L'élimination de l'azote est moindre puisque 53 % demeurent dans la fraction liquide envoyée à l'épandage. Cependant 14 % décantent dans les boues et doivent être pris en compte dans les bilans azotés. La volatilisation d'ammoniac avant épandage est importante (28 %) et illustre le besoin de méthodes susceptibles de réduire ces émissions polluantes. On peut intensifier le traitement de l'azote par des traitements de nitrification-dé-nitrification (Senez et al, 1999), mais d'autres éléments

apparaissent alors en excès tels que le potassium.

Le phosphore peut être récupéré en grande partie (82%) dans les boues de fond de bassin avec d'autres fertilisants (Mg, Ca, N). Ces sédiments peuvent être séchés sur lits et sont alors faciles à conditionner. Ils ont une intéressante valeur fertilisante, mais ils ne pourront être valorisés que si l'on parvient à réduire de façon drastique leurs concentrations en cuivre et en zinc.

La présentation de cette filière rustique de traitement du lisier a permis d'en préciser les capacités et les limites, et de souligner les besoins d'amélioration de son fonctionnement ; elle apporte des éléments qui doivent contribuer à une gestion plus rationnelle des déjections animales à l'échelle de l'exploitation agricole. □

Résumé

Un bilan des éléments rejetés par une porcherie engraisant près de 11000 porcs par an, et de leur devenir avant épandage, a été réalisé sur les lisiers soumis à un tamisage centrifuge puis à un stockage en lagune anaérobie. Ces rejets par porc produit sont respectivement de 3,77 ; 1,31 et 1,44 kg de N, P, et K, et de 30 et 76 g de Cu et Zn.

La volatilisation d'ammoniac est évaluée à 28% de l'azote excrété : 11% à partir du bâtiment et 17% au dessus de la lagune. Les émissions de méthane par la lagune sont estimées entre 4,9 et 5,9 kg par porc produit. Une importante décantation dans la lagune permet de recueillir 82% de P, Cu, et Zn rejetés, 32% de la DCO et 13,8% de l'azote excrété, dans des sédiments manipulables après séchage sur lit. Les transformations dans la lagune produisent un lisier partiellement épuré plus facile à gérer par épandage que le lisier initial ; la filière peut être encore améliorée.

Abstract

A balance of waste elements from a piggery producing nearly 11000 growing pigs per year and their transformation before landspreading was determined on liquid manures subjected to centrifugal sieving and storage in an anaerobic lagoon. This effluent contains 3.77, 1.31 and 1.44 kg of N, P and K, respectively and 30 and 76 g of Cu and Zn per growing pig produced.

Ammonia volatilization accounts for 28 % of excreted nitrogen : 11 % from the piggery and 17 % from the lagoon. The estimated methane emissions from the lagoon were between 4.9 and 5.9 kg per pig produced. After decantation in the lagoon, 82 % of the rejected P, Cu and Zn, 32 % DCO and 13.8 % of excreted N, can be collected in a manageable sediment after drying on a sand bed. The transformations in the lagoon produce a partially purified liquid that is easier to use than the initial manure. The purifying system can be further improved.

Remerciements :

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier de l'ADEME et de la Région Bourgogne. Il a fait l'objet de présentations lors du Congrès Ramiran 98, du colloque " Production porcine et Environnement " organisé par le Cemagref en mars 1999, et lors des journées de Recherches Porcines de février 2000.

Bibliographie

- BÉLINE, F., 1998. *Etude des transferts d'azote par nitrification/dénitrification (N_2 , N_2O , NH_3) au cours du traitement aérobie et du stockage du lisier de porc*. Essais avec ^{15}N . Thèse Université de Perpignan, 153 p.
- BURTON, C.H., 1997. *Manure management*. Lister & Durling Prs, Flitwick, Bedford, UK, 181 p.
- CATROUX, G., GERMON, J.C., GRAFFIN, P., 1974. *L'utilisation du sol comme système épurateur*. Annales Agronomiques, n° 25, p 179-193.
- CHADWICK, D.R., SNEATH, R.W., PHILLIPS, V.R., PAIN, B.F., 1999. *Methane and nitrous oxide emissions from UK agricultural livestock*. In : Ramiran 98, 8th International Conference on Management Strategies for Organic Waste Use in Agriculture. Martinez J., Maudet M.N. ed., Cemagref, Antony, France, p. 279-292.
- COPPENET, M., 1974. *L'épandage du lisier de porcherie. Ses conséquences agronomiques*. Annales Agronomiques, n° 25, p. 403-423.
- COPPENET, M., GOLVEN, J., SIMON, J.C., LE CORRE, L., LE ROY, M., 1993. *Evolution chimique des sols en exploitations d'élevage intensif : exemple du Finistère*. Agronomie, n°13, p. 17-83.
- CORPEN, 1996. *Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porcs*. Ministère de l'Agriculture & Ministère de l'Environnement, Paris, 23 p.
- DOURMAD, J.Y., SÈVE, B., LATIMIER, P., BOISEN, S., JONGBLOED, A.W., FERNANDEZ, J., VAN DER PEET-SCHVERING, C., JONGBLOED, A.W., 1999. *Nitrogen consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark*. Livestock Production Science, n° 58, p. 261-264.
- GERMON, J.C., DUTHION, C., COUTON, Y., GROSSMAN, R., GUENOT, L., MORTIER, J., 1979. *Landspreading of liquid pig manure 3-1 Survey of the pig farms in the Bresse*. In : Effluents from livestock, Gasser J.K.R., ed. App. Sci. Publ. London, p. 80-95.
- GROENESTEIN, C.M., VAN FAASSEN, H.G., 1996. *Volatilization of nitrous oxide and nitric oxide in deep litter systems for fattening pigs*. Journal of Agricultural Engineering Research, n° 65, p. 269-274.
- HÉDUIT, M., 1990. *Estimation de la part relative de chaque secteur d'activité dans l'atteinte à la qualité de l'eau*. In : Production porcine et environnement, ITP ed. Paris, 67 p.
- IPCC, 1996. *Revised guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Reference manual*, n°4, p. 13.
- ISERMAN, K., 1990. *Ammonia emissions from agriculture as part of the nitrogen balance and method of reduction*. In : Ammoniak in der Umwelt. Hartung J. et al (eds), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, Germany, p. 1-76.
- MARTINEZ, J., GUIZIOU, F., GUEUTIER, V., 1995. *Emissions de méthane au cours du stockage des déjections animales*. Dossier de l'environnement de l'INRA, n° 10, p. 17-22.
- NICHOLSON, F.A., CHAMBERS, B. J., WILLIAMS, J. R., UNVIN, R. J., 1999. *Heavy metal contents of livestock feed and animal manures in England and Wales*. Bioresource Technology, n° 70, p. 23-31.
- PEARSON, H.W., 1996. *Expanding the horizons of pond, technology and application in an environmentally conscious world*. Water Science & Technology, n° 33, p. 1-9.
- PICCININI, S., 1996. *Biogas recovery from pig slurry : simplified systems. Proceedings from EU-funded concerted action workshop*. C.H. Burton (ed), SRI, Silsoe, Bedford, UK.
- POULSEN, H.D., JONGBLOED, A.W., LATIMIER P., FERNANDEZ, J., 1999. *Phosphorus consumption utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark*. Livestock Production Science, n° 58, p. 251-259.
- SAFLEY, L.M., WESTERMAN, J., WESTERMAN, P.W., 1989. *Anaerobic lagoon biogas recovery systems*. Biological Wastes, n° 27, p. 43-62.

SENEZ, L., COUTON, Y., LEMIÈRE, J.P., COQUILLE, J.C., GERMON, J.C., 1999. *Bilan de fonctionnement d'une installation de traitement du lisier de porc à la ferme intégrant un système de nitrification-dénitrification*. Rapport ADEME, Angers, Fr, 65 p.

SENEZ, L., COUTON, Y., LEMIÈRE, J.P., COQUILLE, J.C., GERMON, J.C., 1997. *Etude d'une filière de traitement du lisier à la ferme comportant un dispositif pilote d'épuration de l'azote*. Rapport ADEME, Angers, Fr, 44 p.

SHILTON, A., 1996. *Ammonia volatilisation from a piggery pond*. Water Science & Technology, n° 33, p. 183-189.

SOMMER, S.G., SIEBBESEN, E., NIELSEN, T., SCHOERING, J.K., OELSEN, J. E., 1996. *A passive flux for measuring ammonium volatilisation from manure storages facilities*. Journal of Environmental Quality, n° 25, p. 241-247.

THÉOBALD, O., 1997. *Recyclage des éléments nutritifs issus de déchets et de sous produits en agriculture : perspectives et contraintes*. Rapport ADEME, Angers, Fr, 8 p.