

## MISE AU POINT ET ÉVALUATION DE LA FAISABILITÉ D'UN PROCÉDÉ NATUREL DE TRAITEMENT DU LISIER DE PORCS PAR LE SOL

J.MARTINEZ, F. GUIZIOU

CEMAGREF - 17, avenue de Cucillé, 35044 Rennes Cedex

Un dispositif expérimental de traitement du lisier de porcs basé sur une épuration naturelle par le sol est à l'étude depuis 4 ans sur le site de Plouvorn (29). Il comprend une parcelle aménagée (3280 m<sup>2</sup>) en drainage intégral qui reçoit des épandages intensifs et répétés de lisier de porc, un ensemble de bassins (160, 350 et 450 m<sup>3</sup>) permettant la collecte, le stockage et le traitement des eaux de drainage issues de la parcelle et une parcelle non aménagée permettant in fine une filtration et épuration par le sol. L'objectif de cet essai est de tester en grandeur réelle la faisabilité à l'échelle de la ferme d'un tel procédé et notamment de préciser les performances d'épuration azotée du système sol/eau étudié ici. Cette note présente les principaux éléments de fonctionnement du pilote ainsi qu'un aperçu des résultats du suivi en cours. Entre 1991 et 1994, 3919 m<sup>3</sup>/ha de lisier ont été épandus sur la parcelle, ce qui représente une charge nominale de 980 m<sup>3</sup>/ha/an. Les différents épandages (25 épandages ont eu lieu à ce jour) se déroulent au cours de la période mars/avril à octobre et apportent en moyenne 157 m<sup>3</sup>/ha de lisier chacun, ce qui correspond à une charge azotée de 756 kgN/ha dont 503 kg/ha sont sous la forme ammoniacale (N-NH<sub>4</sub>). Les eaux de drainage quittant la parcelle surdosée présentent de fortes concentrations en nitrates (440 à 828 mg/l enregistrés au cours de la saison de drainage 93/94) ce qui témoigne de l'activité nitrifiante de la parcelle. Les eaux de drainage sont ensuite dénitrifiées séquentiellement en réacteur ouvert après mélange avec un volume prédéterminé de lisier (source de carbone organique). Lors de chaque cycle, la charge azotée dans le réacteur varie entre 10 et 40 kg N. Le taux moyen d'élimination d'azote s'établit à 0,5 à 1 kg N/jour, soit un temps de séjour dans le réacteur pouvant aller de 10 à 60 jours. Les résultats obtenus ont mis en évidence la faisabilité du procédé et notamment le bon déroulement des deux étapes clés : la nitrification par le sol et la dénitrification des eaux de drainage en bassin.

### **Development, evaluation and feasibility assessment of a soil process for treating pig slurry**

A pilot scale study under field conditions for treating pig slurry using natural soil processes is being evaluated for 4 years at the Plouvorn site. The scheme is made up from three main stages, a managed field (3280 m<sup>2</sup>) which allows the total recovery of all the leachate water which percolates through, a system of storage pump reactor (160, 350 et 450 m<sup>3</sup> capacity) for denitrification and a non-managed field for completing treatment. Schematically the process involves the following operations : (i) overdosing the managed field with surplus slurry (ii) collecting and treating the nitrate rich leachate (iii) irrigating the final treated water over other fields. The aim of this experiments is to evaluate the feasibility of such a process and to precise the treatment performances, particularly the nitrogen removal efficiency of the soil/water system utilized. From 1991 to 1994, 3919 m<sup>3</sup>/ha of raw pig slurry were applied to the managed field, which represents a nominal load of 980 m<sup>3</sup> per ha and per year. The spreading campaign took place from march-april to october of each year with individual spreading events averaging an application of 157 m<sup>3</sup>/ha which correspond to a nitrogen load of 756 kg total N per hectare. The drainage water leaving the overdosed field contains high nitrates concentrations (ranging from 440 to 828 mg/l during the last draining season), which demonstrates the nitrifying activity of the soil. The drainage water is subsequently denitrified during batch denitrification cycles (nitrate-nitrogen load varied from 10 to 40 kgN). The average denitrification rate is 0.5 to 1 kg N per day which indicates a retention time of 10 to 60 days. The results conclusively show the solepur process is a promising method.

## INTRODUCTION

Parmi les différentes approches développées pour traiter les effluents d'élevage et notamment les lisiers de porcs, on distingue d'une part des procédés dits « technologiques » caractérisés le plus souvent par des équipements spécifiques et une combinaison de modules physico-chimiques, chimiques et biologiques et d'autre part des procédés dits « naturels » s'appuyant sur un aménagement du milieu.

Les techniques et stratégies d'aération sont parmi les plus répandues des procédés technologiques, et s'avèrent efficaces, notamment pour la désodorisation des lisiers (BURTON, 1992). Cette technique permet également d'éliminer une partie de l'azote par nitrification-dénitrification (MARTINEZ & BURTON, 1994). Un exemple de filière complète à la ferme comprenant une étape de séparation de phase (floculation-centrifugation) et une étape de traitement biologique de la phase liquide a été décrite par COILLARD et TEXIER (1994). Ces installations performantes, exigent cependant des investissements coûteux. L'élimination des sous-produits obtenus (solide, boue) reste le plus souvent en sus.

Les procédés de traitement naturels se classent eux en deux catégories (KRUZIC, 1994): d'une part ceux basés sur le sol système épurateur, et d'autre par ceux basés sur l'eau. Les systèmes aquatiques (POLPRASERT et al., 1992; SVOBODA & FALLOWFIELD, 1989) visent à favoriser une production de biomasse (algues, macrophytes...). Les aléas de fonctionnement de tels systèmes sont parfois rapportés (SEVRIN-REYSSAC et al., 1994).

Les différentes fonctions du sol système épurateur ont été décrites par CATROUX et al. (1974). On peut citer notamment la filtration, la rétention et la transmission de l'eau, l'aération, la rétention des matières dissoutes. Ces propriétés des sols ont été largement utilisées pour le recyclage d'eaux usées domestiques et d'effluents divers (HO et al., 1990; RUSSEL et al., 1993). Peu d'études décrivent une telle

utilisation pour le recyclage des effluents bruts d'élevage (RITTER & EASTBURN, 1978). La description d'un tel procédé fait l'objet de la suite de cette étude.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Description et fonctionnement du pilote

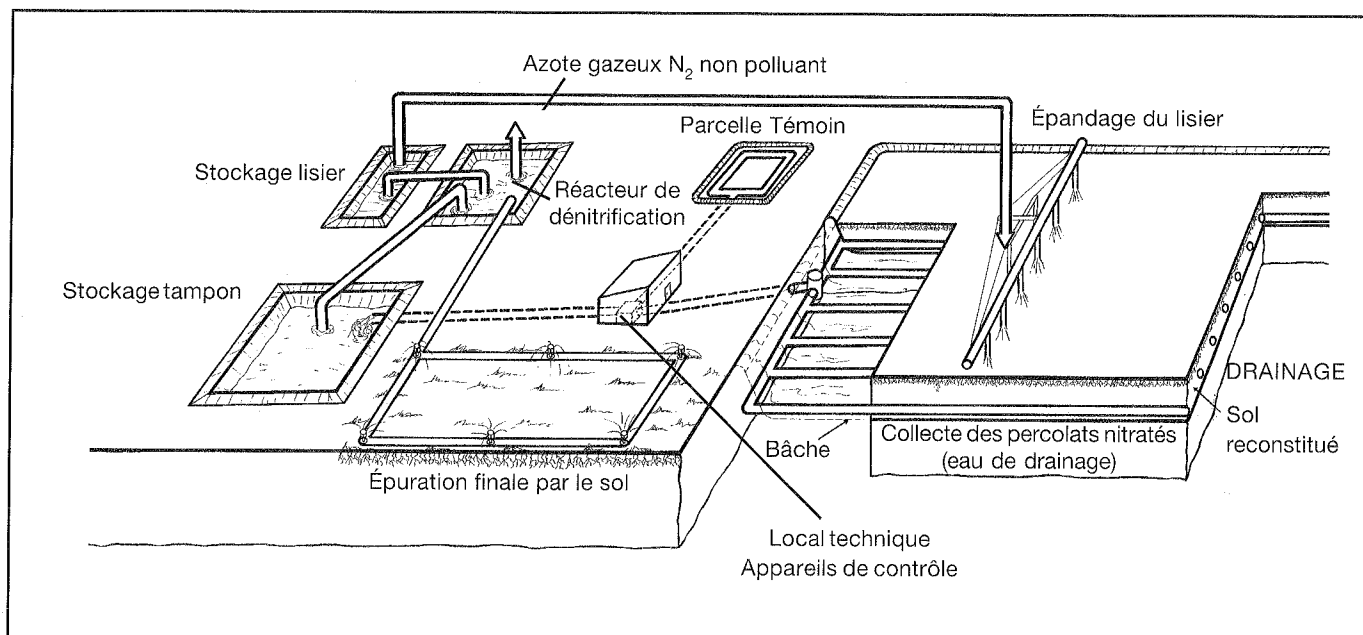
Le pilote se compose (figure 1) :

- d'une parcelle épuratrice initiale, d'une superficie de 3280 m<sup>2</sup>, bâchée et drainée intégralement, sur laquelle ont lieu des épandages intensifs de lisier,
- d'un bassin tampon de 450 m<sup>3</sup> de volume utile où sont stockées les eaux de drainage,
- d'un bassin réacteur de 350 m<sup>3</sup> dans lequel se déroule la dénitrification des eaux nitratées, après apport de lisier (source de carbone organique),
- d'une fosse de stockage du lisier d'une capacité de 160 m<sup>3</sup>,
- d'une parcelle épuratrice finale (800 m<sup>2</sup>), naturelle, irriguée avec l'effluent dénitrifié,
- d'une parcelle témoin de 100 m<sup>2</sup>, bâchée et drainée intégralement, suivant les mêmes façons culturales que la parcelle épuratrice initiale.

Les parcelles épuratrices finale et initiale ainsi que la parcelle témoin sont cultivées avec du ray-grass anglais. Sur la parcelle épuratrice initiale, le couvert végétal de ray-grass est renouvelé à la fin de chaque saison d'épandages.

Le lisier est épandu à l'aide d'une rampe frontale de 38 mètres entraînée par un enrouleur de type OCMIS irrigation. Une pompe (débit 60 m<sup>3</sup>/h), entraînée par la prise de force d'un tracteur, amène le lisier de la fosse de stockage jusqu'à l'enrouleur. Un épandage a lieu toutes les 3 ou 4 semaines, entre mars-avril et octobre-novembre. Deux à trois passages sont nécessaires afin d'apporter 40 à 70 m<sup>3</sup> de lisier sur la parcelle, soit l'équivalent de 120 à 200 m<sup>3</sup>/ha.

Figure 1 - Description et fonctionnement du pilote Solepur



La parcelle épuratrice initiale et la parcelle témoin sont intégralement drainées. Un film polyane 15/100 étanche recouvre le fond et les bords des 2 parcelles. Les drains sont situés à 80 cm de profondeur. Ils sont recouverts de graviers et d'une géomembrane anticollmatage. Ainsi le réseau de drainage est constitué :

- sur la parcelle témoin : de 2 drains de Ø 100, de 10 mètres, avec un interdrain de 5 mètres,
- sur la parcelle épuratrice : de 6 drains de Ø100, de 74 mètres avec un interdrain de 6 mètres,
- d'un ensemble de collecteurs en P.V.C. de 100 mètres.

Les 2 bassins ainsi que la fosse à lisier sont équipés d'une membrane plastique 15/10 étanche et de mires limnimétriques.

Le site comporte un local technique. Divers appareils de mesures et de prélèvements y prennent place :

- un préleveur automatique (ISCO2100) d'échantillons d'eaux de drainage en sortie de drains (1 échantillon toutes les 6 heures, 1 flacon par jour),

- un débitmètre (ISCO 3210) mesurant en continu, le débit (sonde ultrasons) et le volume cumulé drainé,
- un boîtier pH-mètre/rédox mesurant pH et potentiel d'oxydo-réduction dans le bassin réacteur (dénitrification),
- un boîtier conducti-thermomètre mesurant la conductivité et la température dans ce même bassin,
- enfin un pluviomètre mesurant des précipitations en continu.

Toutes ces informations sont enregistrées et stockées sur une centrale de mesure CR2M, avant d'être récupérées et traitées sur ordinateur (PC portable).

## 1.2. Le site, le sol.

La station pilote Solepur se situe dans le nord-ouest de la commune de Plouvorn, à 800 m au nord-ouest de la ferme de Kéroignant. Le substrat de la parcelle est constitué par les micaschistes de la Penzé. Il s'agit d'un sol brun faiblement lessivé à texture limon moyen sableux. Les principales caractéristiques du sol de départ sont présentées au tableau 1.

**Tableau 1** - Caractéristiques physico-chimiques du sol de la parcelle Solepur (\*)

	Horizon (cm)		
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
Capacité échange CEC (meq/100 g)	8,4	7,9	7,5
pH	5,9	5,2	5,1
Argile (%)	14,1	13,2	17,5
Limon (%)	63,4	59,4	50,7
Sable (%)	22,5	27,4	31,8
Azote total (‰)	1,76	1,39	0,71
Carbone total (‰)	18,2	13,8	7,1
C/N	10,4	10,1	10,0
Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Dyer (ppm)	361	221	51
Potassium (K <sub>2</sub> O) échangeable (ppm)	416	286	216
Cuivre (EDTA) échangeable (ppm)	2,8	2,2	1,3
Zinc (EDTA) échangeable (ppm)	2,7	2,3	0,8

(\*) sol de départ (mars 1991) un an après installation de la parcelle

## 1.3. Le lisier

Avant chaque épandage, le lisier provenant de l'exploitation d'élevage naisseur-engraisseur située à proximité du pilote, est apporté sur le site, et stocké dans la fosse de 160 m<sup>3</sup> prévue à cet effet. Au cours des 25 épandages réalisés à ce jour, le pilote a été alimenté en lisier brut complet. Lors des épandages, un protocole de prélèvement bien établi, permet de réaliser un échantillon représentatif destiné aux différentes analyses. Celui-ci est constitué par une succession de sous-échantillons prélevés à intervalles réguliers (en cours d'épandage) à la sortie de la rampe. Sur environ 30 litres de lisier prélevés lors de chaque passage de la rampe, un échantillon moyen de 1 litre est réalisé pour subir différentes analyses (matières sèches -MS-, matières minérales -MM- matières organiques -MO-, l'azote sous toutes ses formes, carbone organique, phosphore, potassium, cuivre, zinc). Le lisier épandu sur la parcelle est un lisier d'engraisement dont la teneur en matière sèche atteint fréquemment 9 à 11% au cours des deux dernières campagnes d'épandage (1993, 1994). La charge carbonée s'établit en moyenne à 25 kg de carbone par m<sup>3</sup>, et la demande chimique en oxygène (DCO)

se situe entre 50 et 150 kg/m<sup>3</sup> de lisier brut. La charge azotée s'établit en moyenne à 3,2 kg/m<sup>3</sup> pour l'azote ammoniacal et à 4,8 kg/m<sup>3</sup> pour l'azote total kjeldahl.

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Épandages sur la parcelle

On totalise actuellement quatre années consécutives d'épandages intensifs sur la parcelle aménagée en mars 1990 (tableau 2). Lors de chaque épandage, on apporte en moyenne 157 m<sup>3</sup>/ha de lisier, ce qui correspond à une charge azotée de 756 kgN/ha (dont 503 kgN/ha sont sous la forme ammoniacale), et à une charge carbonée de l'ordre de 3800 kg de carbone. Au cours des derniers épandages (mai, juin, juillet 1994) des apports allant jusqu'à 20 tonnes de DCO/ha ont été réalisés.

Depuis le début de l'essai, le réacteur sol épure donc en moyenne 2,7 m<sup>3</sup> de lisier/hectare/jour.

**Tableau 2** - Bilan des épandages et des apports sur la parcelle Solepur

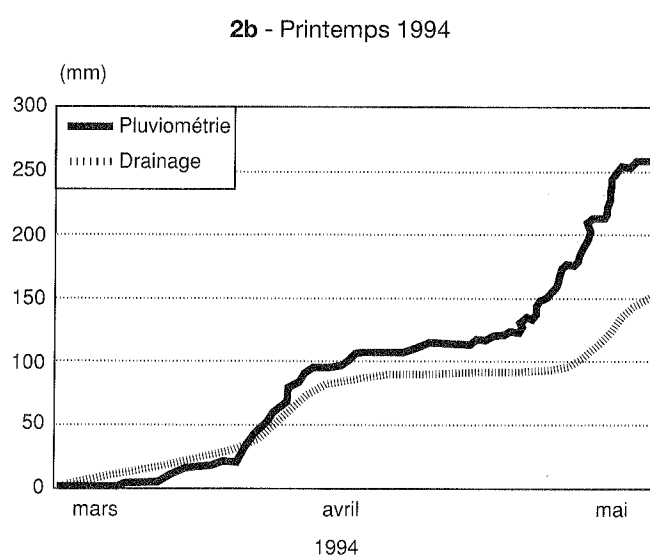
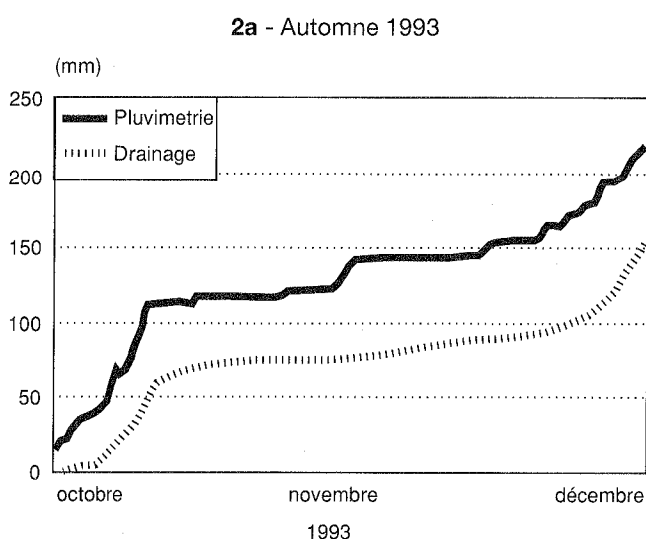
Année	Volume total de lisier épandu (m <sup>3</sup> /ha)	Azote ammoniacal apporté (kg/ha)	Azote total apporté (kg/ha)
1991	1436	3259	5001
1992	793	2632	3907
1993	964	3355	4934
1994	726	3326	5052
<b>Total</b>	<b>3919</b>	<b>12572</b>	<b>18894</b>

## 2.2. Drainage

La figure 2 illustre le fonctionnement de la parcelle drainée en début et en fin de saison de drainage (1993/1994).

Dès que le sol retourne à la capacité aux champ en septembre-octobre, la parcelle restitue les 3/4 du cumul de précipi-

tations (figure 2a). La deuxième période étudiée (mars, avril, mai, 1994; figure 2b) présente quant à elle un chevauchement des deux courbes au cours des mois de mars/avril puis un décrochement à partir du mois de mai lorsque l'évaporation augmente. Sur cette deuxième période, le coefficient de drainage s'établit à 57%.

**Figure 2** - Courbe des cumuls de précipitations et de drainage

## 2.3. Qualité des eaux de drainage

Les eaux de drainage collectées en sortie de la parcelle aménagée présentent un aspect limpide et clair. Le tableau 3 présente la composition moyenne de ces eaux établie sur une période de cinq mois (octobre 1993 à février 1994). Les valeurs en DCO et DBO sont très faibles, ce qui témoigne de l'efficacité du filtre sol recevant des lisiers dont la DCO atteint 150 000 mg O<sub>2</sub>/l.

Ces eaux sont par contre fortement chargées en nitrates, atteignant un pic à 828 mg/l au cours du mois de décembre 1993. La concentration moyenne en nitrates des eaux de drainage augmente régulièrement au fur et à mesure que s'accumulent les épandages. On ne décèle par contre jamais de phosphates si ce n'est à l'état de traces. Les valeurs des différents paramètres analysés et notamment l'azote nitrique, le potassium et le calcium, sont supérieures à la composition chimique des eaux de drainage issues de parcelles agricoles cultivées (ARLOT et al., 1991).

**Tableau 3** - Composition moyenne des eaux de drainage au cours de la saison 93-94

Paramètre	Moyenne (mg/l)	Mini-maxi
DCO	48	30-75
DBO	2,9	0,5-7
NO <sub>3</sub>	657	440-828
NO <sub>2</sub>	0,04	0-0,31
NH <sub>4</sub>	0,67	0,28-1,23
PO <sub>4</sub>	0,02	0-0,1
P total	0,03	0-0,2
N total Kjeldahl	4,5	2-6,1
Ca	194	171-220
K	55	45-67
Cl	277	232-310
SO <sub>4</sub>	97	70,122

**Tableau 4** - Composition moyenne de l'effluent dénitrifié épandu sur la parcelle d'épuration finale

Paramètre	Mini-maxi
Nitrates (mg/l)	0,1
Nitrites (mg/l)	0-1
Ammonium (mg/l)	40-100
DCO (mg O <sub>2</sub> /l)	100-800

Les eaux de drainage sont ensuite mélangées à un volume de lisier déterminé et dénitrifiées. Cet apport faible de lisier (1 à 5% du volume à traiter) augmente néanmoins la concentration en azote ammoniacal du mélange, ainsi que la DCO (tableau 4).

### 3. DISCUSSION

Compte-tenu de la nature «visqueuse» du lisier de porcs et des apports importants de matières organiques, le risque de colmatage du sol et des drains à la suite d'épandages répétés était réel. Les résultats présentés dans cette note ou décrits par ailleurs (DEVLOO, 1994), témoignent du bon fonctionnement de la parcelle épuratrice qui maintient voire améliore son potentiel de nitrification, et du réseau de drainage qui n'a pour l'instant subi aucune altération.

Au cours des quatre premières années de suivi, les épandages intensifs (doses de 100 à 200 m<sup>3</sup>/ha/épandage) ont été réalisés à des rythmes mensuels au cours de la saison favorable (printemps/été). Une gestion automatisée de ce type de parcelle épuratrice pourrait passer par une installation d'épandage sur poste fixe qui permettrait une alimentation continue de la parcelle.

La faisabilité du protocole actuel, comprenant des épandages en surdose et des façons culturales appropriées, est démontrée au cours de cette étude, et représente d'ores et déjà un acquis intéressant.

La composition des eaux de drainage quittant la parcelle surdosée, et notamment leur faible teneur en DCO rend compte des capacités de filtration et de rétention du sol : l'abattement en DCO, MS, MES atteint quasiment 100%. Il s'agit là aussi d'une caractéristique propre au procédé Solepur, qui transforme un effluent brut -le lisier- en un effluent limpide -l'eau-.

Le rendement d'élimination en azote peut être estimé en comparant la composition du lisier épandu sur la parcelle qui s'établit en moyenne sur les 4 années de suivi à 4,8 kg d'azote total kjeldahl par m<sup>3</sup> de lisier apporté, avec la teneur en azote des eaux de drainage (principalement sous la forme N-NO<sub>3</sub>), qui fluctue entre 0,1 et 0,2 kg N par m<sup>3</sup> d'eau drainée. L'abattement apparent de la parcelle en azote se situe donc entre 96 et 98%. Le même calcul effectué en considérant les apports globaux d'azote dus au lisier et le lessivage total aboutit à un abattement apparent de 95%.

Au cours d'une dizaine de séquences de dénitrification portant sur des volumes de 200 à 300 m<sup>3</sup> d'eau de drainage,

ce qui représente des quantités d'azote de l'ordre de 10 à 40 kg, on a pu enregistrer des rendements de dénitrification en bassin compris entre 90 et 100%. Ce rendement est toutefois à minorer compte tenu de l'ajout du lisier qui permet certes à la dénitrification de se dérouler, mais qui apporte également de l'azote (ammoniacal et organique), qui lui n'est pas éliminé. Le rendement corrigé de dénitrification en bassin se situe alors selon les séquences entre 60% et 70%.

Ces résultats signifient que 95% au moins de l'azote apporté par le lisier est transformé au cours de la première étape du procédé, c'est à dire au niveau de la parcelle. Une première ébauche de bilan azoté a montré une réorganisation-fixation dans le sol de l'ordre de 30% (MARTINEZ, 1994), et des exportations par le ray-grass atteignant 10% de l'azote apporté. Le défaut de bilan qui en découle, de l'ordre de 50%, ne peut donc s'expliquer que par une élimination d'azote gazeux vers l'atmosphère. Ces fuites azotées gazeuses peuvent avoir deux origines principales, d'une part l'émission d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) consécutivement aux épandages (MOAL, 1994), d'autre part la production d'azote moléculaire (N<sub>2</sub>) ou d'oxydes d'azote (N<sub>2</sub>O) au cours d'une dénitrification dans le sol. Lors de la saison d'épandages 1993, les émissions d'ammoniac ont été systématiquement mesurées et représentaient 10% de l'azote apporté. Il semble donc que la dénitrification par le sol qu'elle soit biologique ou chimique est bien le processus principal d'élimination d'azote du système Solepur. La maîtrise de ce processus de dénitrification naturelle par le sol est certainement une voie à approfondir (CHEVERRY, 1992).

### CONCLUSION

Après une phase encourageante d'étude en laboratoire (BERTRAND et al., 1991), un pilote de terrain en grandeur réelle basé sur le procédé Solepur a été installé et est en cours de suivi. Les résultats succincts présentés dans cette note confirment le bon fonctionnement du pilote et notamment du sol système épurateur. Le prototype de première génération mis en place dans le Finistère devait permettre d'éprouver la faisabilité d'une telle approche mais également de déceler les améliorations techniques à apporter à la fois pour l'installation et le fonctionnement d'un tel procédé à la ferme. A condition de bien maîtriser les mécanismes de fonctionnement, les procédés naturels tels que Solepur ont leur place dans l'éventail de techniques de traitement qui seront proposées aux éleveurs. De grands pays producteurs de porcs tels que les Etats-Unis se sont d'ailleurs orientés vers des systèmes de gestion simple des lisiers basés sur le lagunage et l'irrigation (LANGEOIRE, 1994; WESTERMAN et al., 1983).

### REMERCIEMENTS

Cette étude est réalisée en partenariat et avec le soutien financier du Conseil Général du Finistère ainsi que du Conseil Régional de Bretagne (Bretagne Eau Pure). Marcel BERTRAND, le concepteur du procédé Solepur, a quitté le CEMAGREF appelé à d'autres fonctions. Nous sommes heureux de lui rendre hommage ici pour sa contribution au thème d'étude peu prisé des déjections animales et pour avoir eu le privilège de travailler sous sa direction.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARLLOT M.-P., BLANCHARD F., CHEVRIER T., LINARD N. 1991. Rapport n° R32 959, Ministère de l'Environnement, Paris.
- BERTRAND M., DESPLANCHES F., WALTER J.F., YON L., 1991. Informations Techniques du CEMAGREF, 81, note 4.
- BURTON C.H., 1992. J.agric.Engng Res., 53, 249-272.
- CATROUX G., GERMON J.-C., GRAFFIN P., 1974. Ann.agron., 25, 179-193.
- CHEVERRY C., 1992. C.R.Acad.Agric.Fr., 78, 57-64.
- COILLARD J., TEXIER C., 1994. Journées Rech.Porcine en France, 26, 141-150.
- DEVLOO O., 1994. Mémoire ITA-ENESA Dijon, 47p.
- HO K., HONG S., JIM C., 1990. Res.Rep.Env.Sci.Tech.Cungham Univ.Korca, 8, 32-38.
- KRUZIC A.P., 1994. Water Environment Research, 66, 357-361.
- LANGEOIRE G. 1994 Communication personnelle.
- MARTINEZ J., 1994. In: Proceedings of the European cooperative research network on animal waste management, seventh consultation, Bad Zwischenahn, Germany, 17-20 may 1994 (sous presse).
- MARTINEZ J., BURTON C.H., 1994. Informations Techniques du CEMAGREF, 94, note 4.
- MOAL J.F., 1994. Journées Rech.Porcine en France, 26, 117-122.
- POLPRASERT C., KESSOMBOON S., KANJANAPRAPIN W., 1992. Wat.Sci.Tech., 26, 2381-2384.
- RITTER W.F., EASTBURN R.P., 1978. J.Water Pollut.Control Fed., 144-150.
- RUSSELL J.M., COOPER R.N., LINDSEY S.B., 1993. Bioresource Technology, 43, 41-46.
- SEVRIN-REYSSAC J., COMBRES C., LAUX S., TEXIER C., 1994. Journées Rech.Porcine en France, 26, 123-134.
- SVOBODA I.F., FALLOWFIELD H.J., 1989. Wat.Sci.Tech., 21, 277-287.
- WESTERMAN P.W., BURNS J.C., KING L.D., OVERCASH M.R., EVANS R.O., 1983. In: Project Summary, EPA-600/S2-83-004, Cincinnati, USA.