
Traitement des déjections animales (lisiers) en France : bref aperçu

José Martinez

La Bretagne est l'un des pôles principaux de la production animale en Europe. Située au cœur de l'industrie française de production de porcs et de volailles : cette région produit plus de 50 % des porcs français (figure 1), et 41 % des volailles, pour 7 % de surface agricole utile. Cette situation explique que, dans certaines zones, la production d'azote excède les besoins des exploitations.

■ La directive communautaire sur les nitrates

La directive du Conseil du 12 décembre 1991 (JOCE n° L 375/1, 31.12.91) concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles, vise à réduire la pollution des eaux provoquée ou induite par les nitrates à partir de sources agricoles et à prévenir toute nouvelle pollution de ce type. Elle a été retranscrite en droit français par les décrets du 27 août 1993 (zones vulnérables) et du 4 mars 1996 (programmes d'actions).

Elle s'appuie sur la définition des zones vulnérables à la pollution par les nitrates d'origine animale ou minérale. Ces zones sont, pour la plupart définies ; la Bretagne en fait partie.

Dans les zones vulnérables, un programme d'action est arrêté : il définit les règles obligatoires auxquelles doivent satisfaire l'utilisation des fertilisants organiques et minéraux et les pratiques agricoles qui y sont associées. Elles portent principalement sur l'équilibre de la fertilisation, les périodes d'interdiction d'épandage et les capacités de stockage. Ces règles sont élaborées localement. Ces programmes d'actions sont en cours d'élaboration. Au terme du premier programme quadriennal d'action, la quantité d'azote

contenue dans les effluents d'élevage épandus ne devra pas dépasser 210 kg par ha et par an. Cette limite ne pourra pas dépasser 170 kg au terme du deuxième programme.

■ Le régime des installations classées

En France, toute activité susceptible de générer un impact sur l'environnement relève d'un régime dit des « installations classées pour la protection de l'environnement » (loi n° 76.663 du 19 juillet 1976) et/ou au « régime de déclaration ». Mis en place dans le secteur industriel, il a été étendu initialement aux élevages hors-sol (porcs, volailles, ...), puis en 1993 aux élevages bovins.

L'importance de l'activité détermine la procédure qui est essentiellement administrative. Dans ce cadre, l'éleveur doit apporter la preuve que son installation ne générera pas de nuisances dommageables à l'environnement. A titre d'exemple, un élevage de plus de 450 places de porcs relève de « l'autorisation » (avec enquête publique), entre 50 et 450 places de la « déclaration ».

■ Le programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole

Ce programme résulte d'un accord général passé entre la profession agricole et les ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement. Approuvé en octobre 1993, il vise à la maîtrise des pollutions provenant des élevages (installations et pratiques d'épandage). Il bénéficie d'un programme de financement qui fait appel à la contribution des éleveurs, des Agences de l'eau, de l'État et des collectivités territoriales. Il a été conçu comme un outil financier et non régle-

José Martinez

Cemagref
17 av. de Cucillé
35044 Rennes Cedex
France

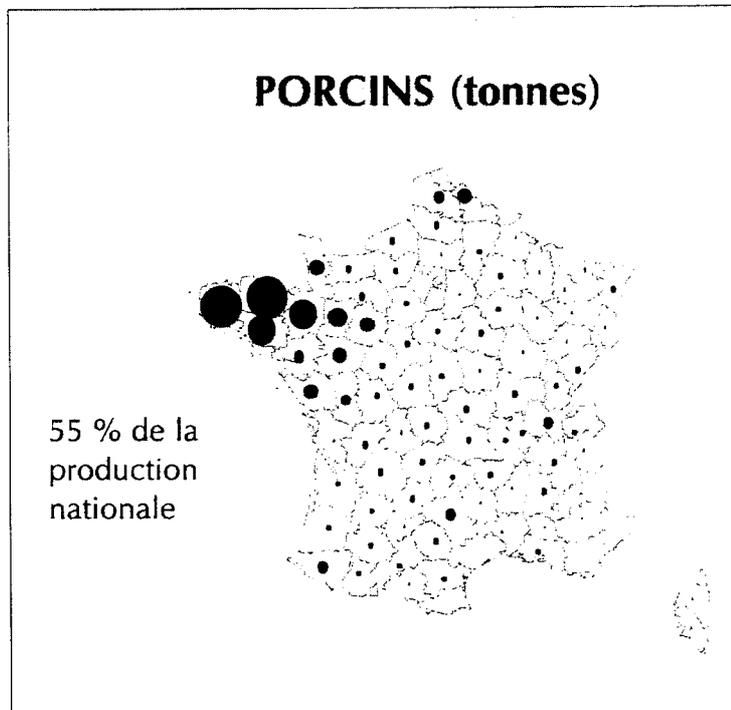


Figure 1. - Localisation de la production de viande de porc (d'après AGRESTE, Statistiques agricoles annuelles, 1994).

mentaire. Parallèlement, l'État a arrêté les dispositions relatives à l'intégration du secteur de l'élevage dans le champ d'intervention des Agences de l'eau (arrêté du 2 novembre 1993) : la redevance pollution à laquelle sont déjà assujetties les industries. Cette redevance est liée à la taille de l'exploitation et s'appuie sur un niveau de pollution résiduelle calculée.

Dans le cadre de ce programme, ont été définies des zones en excédent structurel, où la production d'azote d'origine animale est supérieure à 170 kg par ha. Quarante-deux cantons ont ainsi été classés en Bretagne (figure 2).

Dans ces zones, ont été élaborés des programmes de résorption qui s'appuient sur quatre axes.

1. - Utilisation optimale sur les surfaces agricoles. La fertilisation des céréales au printemps, des pâturages et des légumes sera développée.
2. - Réduction à la source de la production d'azote par la voie alimentaire. Par exemple, la modification du régime alimentaire des porcs (biphase) permettrait de réduire de 16 % la teneur en azote dans les excréments.
3. - Exportation de déjections et sous-produits. Il s'agit surtout du fumier de volailles. Le séchage est recommandé pour réduire les coûts de transport.

4. - Traitement du lisier et des boues de stations d'épuration. Plusieurs stratégies de traitement ont été définies et recommandées sur la base des connaissances actuelles et des process existants.

■ La place du traitement

Dans le contexte réglementaire et financier qui vient d'être décrit et concerne au premier rang la Bretagne, les agriculteurs sont conduits à accepter, appliquer et développer les pratiques agricoles qui minimisent la pollution résiduelle. Dans les zones en excédent de production, le traitement est une des voies obligatoires pour résoudre les problèmes rencontrés. Le chapitre qui va suivre présente quelques-unes des stations et des procédés de traitement qui ont été développés et évalués en France ces dernières années pour traiter le lisier de porc.

Principales stations de traitement : les processus physiques et chimiques

■ Séparation des matières fécales et de l'urine

La séparation des matières fécales et de l'urine sous le caillebotis des porcheries a été évaluée dans un bâtiment pilote de traitement aménagé par le Cemagref-Rennes (Marchal *et al.*, 1995). Cette séparation permet une réduction des émissions d'ammoniac gazeux et des odeurs. La partie solide des excréments est enlevée de la porcherie une à trois fois par jour. Elle a la composition moyenne suivante : matière sèche (MS) 25 % ; matière organique (MO) 20,8 % ; azote total 1,2 % ; phosphore total 1,1 % ; potassium total 0,8 %, et se composte naturellement. La partie liquide, qui est épandue sur des pâturages et des cultures, a la composition suivante : TS 2,3 % ; MO 1,3 % ; N 4 % ; P 0,1 % ; K 0,3 %. Différents équipements mécaniques ont été testés pour optimiser l'efficacité de la filtration. La maille moyenne optimale du tamis est de 800 µm. Les quantités et les emplacements (dans l'enclos) des urines et des matières fécales ont été évalués pour déterminer la position et la dimension du système de filtration. Après trois ans de recherche, cette station de séparation installée à la ferme fonctionne bien, et améliore la gestion des déchets animaux. Elle peut être considérée comme un prétraitement à un processus plus complet. Ce procédé mis au point et validé scientifiquement par le Cemagref a été transféré à une entreprise qui est chargée de la commercialisation de cet équipement auprès des agriculteurs (SCAM SARL, Concarneau, France).

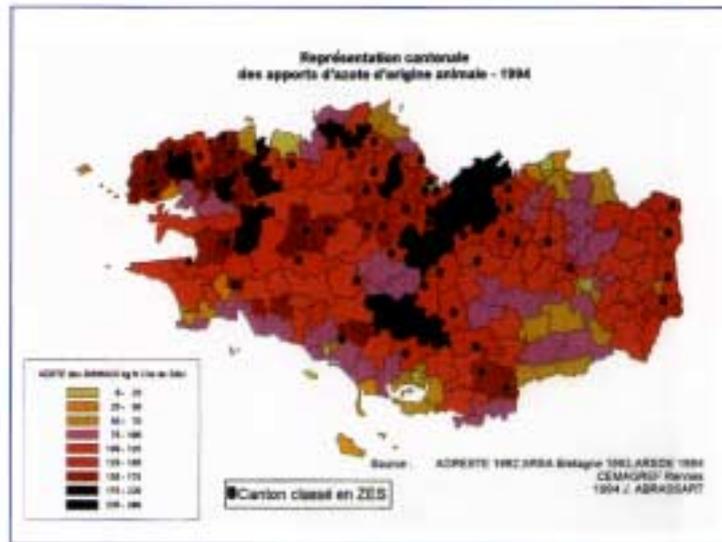
■ **Le processus de séchage SIRVEN**

Dans ce processus, le lisier porcin brut est d'abord macéré, brassé et homogénéisé dans des cuves (Viel, 1994). La température du lisier atteint 100 °C grâce à un échangeur de chaleur. A ce stade, l'énergie requise pour chauffer vient de l'eau chaude recyclée, à partir de la condensation de vapeur provoquée par le séchage du lisier. Le lisier est maintenu à 100 °C durant quatre heures dans des cuves, ce qui permet la résorption des gaz et de la mousse. Après cette opération, les gaz sont piégés et neutralisés en tant que co-produits utiles. Le lisier chaud est alors transféré dans un séchoir. Il est épandu en fines couches sur des disques rotatifs et s'évapore en l'espace de quatre minutes ; la matière organique sèche est détachée des disques. La vapeur d'eau produite à ce stade traverse un « purificateur », et les derniers composants volatils sont neutralisés. Une fois traitée, cette eau est compressée et conduite dans les disques du séchoir. Durant sa condensation, elle restitue l'énergie de vaporisation, ce qui fait que le séchage du lisier est peu coûteux. Le système complet peut travailler en continu et avec une charge maximum de 15 à 24 m³/jour de lisier.

Principales stations de traitement : les processus biologiques

■ **Biotraitement par lagunage intensif**

Le but du système proposé était de développer un biotraitement *in situ* pour le lisier porcin, avec le minimum de manutention de la part de l'agriculteur. Une station de démonstration a été installée dans la région parisienne (De la Noüe *et al.*, 1995). Le système de lagunage intensif consiste en une série de lagunes à algues, à daphnies, et à « poissons nettoyeurs de fond » sur une zone de 2 100 m² pour un volume de 3 600 m³. La performance du système a été évaluée dans des conditions hivernales avec du lisier porcin décanté, en mesurant l'élimination de N-NH₄⁺ et de P-PO₄³⁻, le pH, la température, l'oxygène de l'eau, la biomasse des algues, et la production de daphnies. Les résultats ont montré que de faibles températures (< 5° C) ne permettraient pas une production de biomasse importante (0,41-0,68 g masse sèche/m²/jour). L'ammoniac et l'azote disparaissent pratiquement (98 % sont éliminés), mais la teneur en phosphate ne change pas beaucoup. Cependant, dès que la température augmente au printemps (mars), la perte en azote, qui dépend de la biomasse des algues, va augmenter (avec une biomasse d'algues quatre fois plus élevée, la perte en azote est huit fois plus élevée). La productivité des algues augmente à 3,5 g de masse sèche/m²/jour. On peut cependant en tirer une conclusion pratique : les



lagunes ne devraient pas être imperméabilisées avec du plastique, mais devraient être simplement en terre, pour que les sédiments puissent jouer un important rôle de tampon.

Figure 2. – Charge en azote d'origine animale par canton (d'après Abrassart et Soulard, 1996).

■ **Processus en aérobiose**

La station pilote de Caulnes

Le système de traitement de Caulnes (Goriaux-Pérais *et al.*, 1995), consiste en un réacteur d'aération de 80 m³ qui fonctionne sur un cycle d'aération et des périodes d'anoxies. Cette unité expérimentale a été mise en place avec la collaboration du Cemagref-Rennes et du Cemagref-Lyon. Le système d'aération utilise des diffuseurs fines bulles en forme de dômes placés au fond d'un réservoir circulaire d'une capacité de 80 m³. Le réacteur d'aération est alimenté par du lisier brut ou par du lisier séparé. La charge nominale était de 3,6 m³/jour (ce qui équivaut à la production journalière, la durée de séjour dans le réacteur est ainsi de 22 jours). Le principal objectif était ici de maximiser l'efficacité de l'élimination d'azote : on aboutit à éliminer 63 % de l'azote du lisier brut, et à 73 % de l'azote du lisier séparé. L'azote ammoniacal a été éliminé à 97 %. (tableau 1). Pour une exploitation de 200 truies plus des porcs à l'engraissement, le coût total a été estimé à 6-7 ECU/ m³ de lisier traité.

L'unité de traitement CAL

L'utilisation de techniques de traitement est particulièrement importante dans des zones d'élevage intensif, mais ceci est aussi valable dans d'autres régions de France. L'unité de production de la Coopé-

rative Agricole Lauragaise (CAL) à La Pomarède près de Castelnaudary, dans le sud-ouest de la France, avec ses 1 100 truies, a une ferme de faible surface (35 ha de terres en herbe). L'exploitation a dû essayer un nouveau système de traitement et de gestion du lisier de porc permettant (1) une utilisation agronomique des effluents traités, sur la surface exploitée et (2) l'enlèvement des déchets solides des effluents traités (Coillard et Texier, 1994). Le traitement consiste en deux phases principales : une phase de séparation par « floculation-centrifugation » suivie d'un traitement biologique de « nitrification-dénitrification » de la phase liquide. Le processus a été mis en place en janvier 1993. Après six mois, le fonctionnement était bien maîtrisé pour les deux phases. Les objectifs avaient été atteints, à savoir que l'on arrivait à un effluent traité contenant seulement 0,120 kgN/m³ et 0,08 kg P₂O₅/m³, alors que la réglementation locale exigeait 0,525 kgN/m³ et 0,267 kg P₂O₅/m³ d'effluent traité pour une production de 35 m³/jour (tableau 2). Ces résultats ont été obtenus en été, mais ils doivent être confirmés durant l'hiver. Les résidus solides du traitement sont utilisés par l'agriculteur comme apport organique. Les coûts de fonctionnement s'établissent à 4 ECU/m³ de lisier brut traité. Mais ils pourront certainement être réduits en optimisant la dose de floculant utilisée pendant la première phase, et la consommation d'énergie pour l'aération, qui sera contrôlée par une sonde Redox à Ag/AgCl avec des seuils fixés à 0 et 150 mV. L'investissement total représente 0,5 million d'ECU. Si ce nouveau procédé est accepté comme étant techniquement satisfaisant, il a aussi un impact financier considérable sur l'élevage des porcs dans une zone où le cheptel de porcs n'est pas aussi concentré que dans d'autres régions de la France.

La station Pilote OTV

Dans cette unité, conçue par une entreprise privée, le lisier brut est d'abord séparé par centrifugation. A ce stade, on obtient un résidu solide de 30 à 32 % de MS, qui est ensuite composté puis exporté. Des additifs (polyélectrolites) peuvent améliorer l'efficacité du processus de séparation. La fraction liquide passe par une phase biologique, qui inclut une nitrification-dénitrification par un processus de boue liquide activée. Cette phase se déroule dans un réacteur alternant anoxie et aérobie, pour permettre successivement la nitrification, puis la dénitrification, et l'élimination du carbone. Un clarificateur prend le relais et sépare les boues et le liquide surnageant. Les boues sont recyclées en repassant dans le réacteur anoxie/aérobie ou dans la centrifugeuse. Un troisième stade de décoloration et de purification finale

est ensuite utilisé pour le liquide final surnageant. Le tableau 3 montre les résultats et particulièrement les caractéristiques des effluents traités. Le processus élimine 93 % de la demande chimique en oxygène (DCO), 80 % du phosphore total et 93 % de l'azote total. Cependant, la concentration résiduelle de l'effluent final ne permet pas le rejet direct dans les eaux superficielles, comme l'entreprise l'aurait souhaité à l'origine.

D'après les résultats obtenus avec la station pilote, le coût d'une unité, pour une capacité de 100 000 m³/an, est estimé à 5-6 ECU/m³ de lisier. Ce coût inclut l'entretien, les coûts de main-d'œuvre et les additifs. Le transport du lisier et l'amortissement de l'équipement ne sont pas compris dans cette estimation. L'investissement total pour une unité d'une capacité de 100 000 m³/an, et employant trois personnes, a été estimé à 5 millions d'ECU.

L'unité pilote AGROCLAR

Le système Agroclar destiné au lisier animal comprend trois phases distinctes :

- (1) un prétraitement physique par tamisage pour enlever la matière organique grossière,
- (2) un traitement physico-chimique qui utilise des floculants pour enlever la charge organique et le phosphore,
- (3) un traitement biologique, comprenant une activation des boues liquides et une aération longue, qui permet l'élimination de carbone et d'azote.

L'unité a été développée en France par l'entreprise Bioarmor et avait un seul réacteur de 700 m³ de capacité. L'unité pilote évaluée dans les Côtes d'Armor a été conçue pour traiter 24 m³ de lisier dilué par jour (ce qui représente 6 m³ de lisier brut frais). L'investissement pour cette unité expérimentale a été de 300 000 ECU, auxquels s'ajoutent 15 000 ECU/an de coût de fonctionnement. Les principales caractéristiques de l'effluent traité sont présentées dans le tableau 4.

■ Processus basé sur l'utilisation du sol Installation de percolation-infiltration

On peut réaliser un traitement de percolation-infiltration sur place dans la ferme, pour le lisier de porcs, à l'aide d'équipements peu onéreux utilisant des graviers pour enlever le carbone et l'azote (Couton *et al.*, 1995). Une étude de laboratoire, utilisant des colonnes aérées contenant des graviers calcaires, a montré que la DBO résiduelle (demande biochimique

en oxygène) et l'azote dans un effluent issu d'un lagunage, pouvaient être éliminés de façon efficace. Après une phase initiale de développement et d'adaptation du film biologique, le taux de nitrification atteint 86 g/m² de section transversale par jour, quand la concentration initiale en azote (sous forme d'ammoniac) est de 1 g/l. Ce taux est suffisant pour convertir tout l'ammoniac en nitrate. Pour une concentration plus élevée, de 3,2 g de N (sous forme d'ammoniac) par litre, le taux de nitrification atteint 258 g/m²/jour, mais l'effluent de la colonne contient 0,52 g/l d'azote sous forme d'ammoniac résiduel. Des incubations *in vitro* avec un effluent traité en colonne ont montré que les nitrates produits sont rapidement dénitrifiés quand des éléments solides de lisiers porcins sont ajoutés comme source de carbone. Le taux de dénitrification est proportionnel à la quantité de carbone ajouté. Une unité de pré-développement de traitement du lisier dans une exploitation (50 m² de surface de graviers et 1,4 m de profondeur) a complètement nitrifié 52 g d'azote/m²/jour avec un apport de 60 l/m². Pour un taux d'apport plus élevé de 100 l/m²/jour, le taux de nitrification initial a augmenté jusqu'à 72 g d'azote/m², mais ce taux était insuffisant pour éliminer tout l'ammoniac durant la phase initiale de fonctionnement.

Le procédé SOLEPUR

La capacité du sol à purifier les lisiers de porcs a été évaluée sur cinq ans, en utilisant une station de traitement isolée au niveau hydrologique. C'est le procédé appelé « SOLEPUR ». Il implique trois opérations : (1) un surdosage de lisier dans une parcelle aménagée, (2) la collecte et le traitement des eaux de percolation riches en nitrates, (3) l'irrigation d'autres champs avec l'eau dénitrifiée. L'équipement comprend : (1) un champ (3 280 m²), sur lequel on applique le lisier, équipé pour permettre la récupération totale des eaux de drainage, percolant à travers une culture de ray-grass (*Lolium perenne*) ; (2) une série de réacteurs de pompage/stockage pour la dénitrification ; (3) un champ d'épandage pour une épuration finale pour le sol.

Il s'agissait, au cours de cette étude, d'évaluer sur une période de cinq ans la faisabilité et les performances de ce procédé, et de déterminer les conditions optimales de fonctionnement. De 1991 à 1995, 4 931 m³/ha de lisier brut de porcs ont été appliqués sur le champ équipé, ce qui représente une charge nominale de 986 m³/ha/an. Ce procédé a réduit la DCO (demande chimique en oxygène) du lisier de porcs de 99,9 %, a éliminé 99,9 % du phosphore, et environ 90 % de l'azote. L'effluent final est un lessivat dilué à très fai-

	Concentration dans le lisier brut (mg/l)	Concentration dans l'effluent (mg/l)	Réduction %
DCO	78 306	49 676	37
DBO ₅	28 526	5 622	80
TKN	5 080	2 033	63
NH ₄ ⁺	3 187	97	97
K ⁺	1 702	1 951	0

Tableau 1. - Performances globales de la station expérimentale de Caulnes (d'après Goriaux-Perais, Serrand, Coillard, 1995).

Tableau 2. - Performances globales de l'unité expérimentale CAL (étape biologique) (d'après Coillard et Texier, 1994).

	Concentration dans le lisier brut (mg/l)	Concentration dans l'effluent (mg/l)	Réduction (%)
DCO	9 380	1 850	80
DBO ₅	4 265	70	98
TKN	1 290	120	90
NH ₄ ⁺	1 055	21	98
NO ₂ - NO ₃	-	102	-
Total P	88	36	60
Trace éléments :			
K ⁺	2 110	2 169	-
Cl ⁻	825	895	-

Tableau 3. - Performances globales de la station expérimentale OTV (d'après Porc Magazine n° 233, 1991)

	Concentration dans le lisier brut (mg/l)	Concentration dans l'effluent (mg/l)
DCO	80 000 - 100 000	400 - 2 000
DBO ₅	30 000 - 40 000	< 40
TKN	7 000 - 8 000	30
NH ₄ ⁺	-	< 8
Total P	2 800 - 3 200	10 - 20

	Concentration dans le lisier brut (mg/l)	Concentration dans l'effluent (mg/l)
DCO	50 000	160
DBO ₅	20 000	40
TKN	5 000	30
NH ₄ ⁺	4 000	10
NO ₂	-	1
NO ₃	-	20

Tableau 4. - Performances globales de la station expérimentale AGROCLAR (d'après Porc Magazine n° 231, 1991).

ble concentration en matière organique, mais avec des niveaux élevés de nitrates, à cause de l'oxydation de l'azote du lisier dans le sol (tableau 5). Le niveau d'efficacité de la nitrification a été montré de façon satisfaisante, à la fois par des profils de l'azote minéral dans le sol, et par l'analyse en continu des eaux quittant la parcelle drainée, montrant des concentrations en nitrates allant jusqu'à 1 500 mg/litre.

Par la suite, l'élimination de l'azote du lessivage riche en nitrates est réalisée par des phases de dénitrification en « batch » : on ajoute (à des taux de 1/20^e à 1/100^e en volume) du lisier brut de porcs, apportant le carbone nécessaire à la dénitrification biologique, à un volume de 150 à 250 m³ d'eau de lessivage, représentant une charge en azote de 10 à 40 kg. Des tests parallèles en laboratoire ont montré l'importance du rapport C/N·NO₃⁻ dans l'efficacité du processus d'élimination de l'azote des nitrates, et démontré la faisabilité d'une dénitrification semi-continue. Il a été confirmé qu'un rapport C/N - NO₃ de 3 est

Tableau 5. - Performances globales de l'installation au champ SOLEPUR (d'après Hao, Martinez, Svoboda, 1996).

	Concentration dans le lisier brut(mg/l)	Concentration dans l'effluent (mg/l)
DCO	76 000	49
DBO ₅	-	3
TKN	5 225	7,3
NH ₄ ⁺	3 450	0,4
NO ₂	-	0,1
NO ₃	-	134
Total P	1 750	0,2

nécessaire au succès d'une séquence complète de dénitrification. Ces résultats permettent de conclure que le procédé « SOLEPUR » est un système de traitement du lisier à la fois simple et efficace.

Conclusion

1 - L'application de la législation, existante ou proposée, a créé une pression environnementale importante sur l'agriculture d'élevage. La nécessité d'un programme d'action pour éviter les pollutions est à présent reconnue et admise.

2 - De nombreuses options de traitement ont été évaluées à l'échelle de l'exploitation agricole, et permettent un changement dans le mode de gestion des déjections animales. La plupart des procédés conçus en France visent à éliminer les éléments minéraux (azote, phosphore), pour ajuster la production d'effluents avec les capacités du plan d'épandage.

3 - Rendre plus attractive pour les agriculteurs l'utilisation non polluante des lisiers animaux par recyclage dans les itinéraires techniques des cultures, implique de mettre l'accent sur la mise au point de formes de traitement facilitant leur manutention et la conservation des éléments nutritifs sous une forme plus fiable.

4 - Le coût réel pour l'exploitant de la plupart des procédés de traitement disponibles n'est pas facile à déterminer actuellement, car on ne dispose que des données issues d'unités expérimentales, et pas de stations de traitement conçues et fabriquées industriellement. De plus, les constructeurs vantent les faibles coûts de fonctionnement de leurs procédés, mais oublient de mentionner les coûts d'entretien et d'amortissement.

Remerciements

Je tiens à remercier M. J. Abrassart pour son aide dans la préparation de cette communication, et notamment pour l'élaboration des cartes ; et M. G. Le Bozec pour ses rappels sur les problèmes de réglementation dans les élevages. □

Résumé

La gestion efficace des déjections animales est devenue un défi important dans la plupart des régions d'Europe à production animale intensive, à cause d'une réglementation plus stricte au niveau de l'environnement. En France, et particulièrement en Bretagne, on a maintenant identifié, en application à la directive européenne sur les nitrates, et grâce au programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole (le PMPOA), les zones ayant des excès en éléments nutritifs. Ce programme est mis en place par différents partenaires, parmi lesquels les responsables de l'Agriculture et de l'Environnement et les agences de l'eau. Afin de résoudre la plupart des problèmes, des codes de bonnes pratiques agricoles ont été définis, et ceux-ci devraient être strictement appliqués par les agriculteurs. Les objectifs principaux sont de contrôler les odeurs et le ruissellement des lisiers, de s'assurer d'un volume de stockage suffisant et de terres disponibles (pour respecter les périodes d'épandage), et d'épandre le lisier à des doses conformes aux règles agronomiques. Dans certains cas cependant, le traitement du lisier est la seule solution. A part des techniques bien au point comme le traitement aérobique, on a vu apparaître durant les cinq dernières années un grand nombre de nouvelles idées de traitement, basées sur des processus naturels et simples (le lagunage), ou sur des processus de séchage du lisier par des opérations de brassage et de chauffage, et de compression des gaz (Sirven). La plupart des processus évalués sont des processus biologiques, avec une phase de séparation (prétraitement). Une brève description de certains de ces procédés est présentée dans cet article, et leurs performances respectives sont évaluées.

Bibliographie

- AGRESTE, 1995. La Bretagne au premier rang (Brittany in the first rank). *In La Statistique Agricole*, n° 16, 11-20.
- ANONYME, 1991. Traitement du lisier. Pour 21 centimes du kilo vif, le pilote d'Yffiniac conduit à l'épuration (Slurry treatment. The pilot plant at Yffiniac achieves purification for 21 centimes per kilo). *Porc Magazine*, n° 231, 232-234.
- ABRASSART, J., SOULARD, B., 1996. Modélisation et cartographie régionales des apports de nutriments agricoles au milieu naturel. Cas de la Bretagne de 1955 à 1994 (Modelling and regional mapping of nutrient from agricultural origin to soils. A case study of nitrogen in Brittany from 1955 to 1994). *In Colloque Interceltique d'Hydrologie et de Gestion des Eaux-Bretagne 96*. INSA de Rennes, France 8-11 juillet 1996.
- ARZUL, G., MAGUER, J. F., 1990. Influence of pig farming on the copper content of estuarine sediments in Brittany, France. *Marine Pollution Bulletin*, 21, 9, 431-434.
- BERTRAND, M., 1994. De la production à l'épandage: la gestion des lisiers de porc (From production to spreading : the management of pig slurry). *Bulletin Technique d'Information (BTI)*, 14, 53-71.
- COILLARD, J., TEXIER, C., 1994. Le traitement à la ferme des lisiers de porcs excédentaires. Une étude de cas, l'unité de traitement de la Coopérative Lauragaise (Farm treatment of surplus pig slurry. A case study of the treatment unit at Coopérative Lauragaise). *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 141-150.
- COUTON, Y., BOIRAN, M., DEVROE, C., SENEZ, L., GERMON, J. C., LEMIERE, J. P., COQUILLE, J. C., 1995. Epuration de l'azote des lisiers de porcs par nitrification et dénitrification dans un procédé rustique d'épuration dérivé des lits bactériens (Removal of nitrogen from pig slurry by nitrification and denitrification in a traditional treatment process based on fixed bed technology). *Journées Rech. Porcine en France*, 27, 359-366.
- De la NOÛE, J., SEVRIN-REYSSAC, J., MARIOJOULS, C., MARCEL, J., SYLVESTRE, S., 1995. Biotreatment of swine manure by intensive lagooning during winter. *Bioresource Technology*, 50, 213-219.
- DOURMAD, J. Y., AUMAITRE, A., 1990. New trend in pig production in France. *Pig News and Information*, 11, 39-42.
- EC Directive 91/676/EEC related to the protection of water against pollution caused by nitrates from agricultural sources.

- HAO, X., MARTINEZ, J., SVOBODA, I., 1996. Nitrogen removal from the leachate of SOLEPUR treated pig slurry. *European Water Pollution Control*, 6, (4), 31-36.
- GORIAUX-PERAI, M. I., SERRAND, P., COILLARD, J., 1995. Traitement biologique du lisier de porc par aération fines bulles: suivi du pilote de Caulnes (Biological treatment of pig slurry by aerating with diffusers: trials at the Caulnes pilot plant). *Rapport de fin de contrat. Programme Bretagne Eau Pure*, 42 p.
- MARCHAL, P., WALLIAN, L., GROUSSARD, P., 1995. Evaluation d'un système de séparation fèces-urines en élevage porcin Evaluation of a system to separate out urine in pig houses). *Journées rech.Porcine en France*, 27, 351-358.
- VIEL, L., 1991. Le lisier s'épure à Andel. *Agrocliar : clair comme de l'eau de roche? (Slurry purification at Andel. Agrocliar as clear as ground water?)*. *Porc Magazine*, n° 233, 89-94.
- VIEL, L., 1994. Procédé Sirven: la longue marche en avant (The Sirven process : the long road ahead). *Porc Magazine*, n° 270,
- VOERMANS, J. A. M., VERDOES, N., DEN HARTOG, L. A., 1994. Environmental impact of pig farming. *Pig News and Information* 15, n° 2, 51-54.

De formation chimiste et biologiste (maîtrise de chimie et biologie appliquée), José Martinez a obtenu son DEA agrochimie à l'Institut national polytechnique de Toulouse et un doctorat de l'université spécialité agrochimie préparé au centre d'études nucléaires de Cadarache (service de radioagronomie).

Au début de son activité dans la recherche, José a travaillé sur les tests de phytotoxicité de nouvelles molécules au laboratoire des herbicides de l'INRA Dijon, après avoir réalisé la synthèse organique d'une série de 27 phéylcarbanilates. Son travail de thèse a été consacré à l'étude de transferts d'azote dans le système sol-plante-eau à l'aide notamment des techniques de traçage isotopique ¹⁵N.

Il a effectué ensuite un séjour post-doctoral à l'INRA de Bordeaux (station d'agronomie) qui a abouti à la rédaction d'une synthèse sur les essais de longue durée sur la fertilisation phosphatée.

Depuis son arrivée au Cemagref, il développe des travaux de recherche finalisée vers la mise au point de solutions techniques économiquement satisfaisantes pour réduire la pollution liée aux déjections animales produites par les élevages intensifs. Outre les études sur les procédés de traitement, ses recherches sont également orientées vers la connaissance et la maîtrise des émissions gazeuses liées aux effluents d'élevage (NH₃, CH₄, CO₂,...) ainsi que l'effet d'épandages de lisiers sur la qualité des sols et de la ressource en eau.