

Le lisier frais : évacuation fréquente des lisiers des porcheries. Faisabilité technique et conséquences environnementales

Yannick RAMONET (1), Christophe GUIVARCH (1), Céline DAPPELO (1), Paul ROBIN (2)
Alain LAPLANCHE (3), Nolwenn PRADO (3), Abdeltif AMRANE (3), Jens MEINHOLD (4), Juan C. OCHOA (4)
Yinsheng LI (5), Jean CALLAREC (1)

(1) Chambres d'agriculture de Bretagne, Rond point Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex

(2) INRA, UMR Sol-Agronomie-Spatialisation, 65, rue de St-Brieuc, 35042 Rennes cedex

(3) Sciences Chimiques de Rennes, UMR CNRS 6226 CNRS - ENSCR - Université de Rennes 1, Equipe CIP, ENSCR,
Avenue du Général Leclerc, 35700 Rennes

(4) Anjou-Recherche, Veolia Environnement, 78600 Maisons Laffitte

(5) School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, 2678, QiXin road, Shanghai 201101, P.R.China

porc@ille-et-vilaine.chambagri.fr

avec la collaboration technique de Raymond Derrien, Thierry Leroux, Marcel Merour, Marc Toudic (1)

Le lisier frais : évacuation fréquente des lisiers des porcheries. Faisabilité technique et conséquences environnementales

Le lisier stocké sous les caillebotis des porcheries est la source d'émission d'odeur et d'ammoniac, qui peut conduire à des effets nocifs sur l'éleveur et l'environnement. A la station de Guernevez plusieurs solutions sont testées pour évacuer rapidement les fèces et urines des porcs. Le lisier frais est évacué jusqu'à 6-8 fois par jour. Les systèmes mécaniques utilisent un racleur ou un tapis pour collecter et évacuer les déjections. Un racleur en forme de V est installé dans un couloir constitué de deux faces inclinées vers une gouttière centrale. Ce système permet une séparation solide-liquide et la concentration de la matière sèche et du phosphore dans la fraction solide. Trois systèmes hydrauliques sont évalués : 1/préfosse aménagée par des caniveaux de 1,5 m de large 2/préfosse équipée de petites gouttières 3/sol organisé directement sous forme de gouttières en PVC incorporées dans le béton. De nombreux systèmes sont testés pour obtenir le liquide de chasse : 1/par tamisage du lisier 2/après tamisage, le liquide est aspergé sur un lombrifiltre 3/traitement biologique par boues activées prolongé par filtration par membranes immergées. L'évacuation du lisier de la porcherie par racleur ou système de chasse d'eau est une méthode satisfaisante sur le plan technique. Les résultats montrent que ces systèmes peuvent être utilisés pour traiter les effluents des porcs et recycler l'eau pour évacuer les déjections. L'émission d'ammoniac est réduite. Des études complémentaires vont préciser l'émission de gaz et les conséquences sanitaires de l'évacuation fréquente du lisier frais.

"Fresh slurry": frequent removal of pig slurry from piggeries. Technical feasibility and environmental consequences.

Slurry stored under the animals in the pig slatted floor houses causes odour and ammonia emissions which may have harmful effects on both the stockbreeder and the environment. In the Guernevez experimental station, several tests are carried out on how to get rid of faeces and urines as quickly as possible. Fresh slurry is removed up to 6 to 8 times a day. Pig manure is collected and evacuated through a scraper or a conveyor belt. A V-shaped scraping system made by two inclined surfaces on each side of the central gutter is employed. Such system allows to separate solid matter from liquid thus isolating all dry matter and phosphorus. Three different hydraulic systems are being assessed: 1/ 1.5 m wide gutters are installed in the pit underneath the slatted floor; 2/ the pit is equipped with small gutters; 3/ PVC gutters are integrated into the concrete when laying the floor. Several systems to get the flushing liquid are also being tested: 1/ sieving the manure; 2/ after sieving the fresh liquid manure is sprinkled on vermifilter; 3/ biological treatment through active sludge and membrane filtration.

Slurry removal from the piggery through scraping or flushing systems is a satisfactory method from a technical point of view. Results show that these systems can be employed to treat pig effluents and to recycle water to flush the excreta. Moreover, ammonia emission is reduced. Further studies should be done in order to quantify the gas emission and to assess sanitary consequences of frequent fresh slurry removal.

INTRODUCTION

En France, la très grande majorité des porcs est élevée sur caillebotis, à tous les stades. Les déjections qui traversent le caillebotis sont alors stockées dans le bâtiment d'élevage pendant plusieurs semaines à plusieurs mois. Ce mélange des déjections, auquel il faut ajouter des restes d'aliment, de l'eau de boisson gaspillée ou l'eau de lavage constitue le lisier. Ce produit n'est pas inerte dans le bâtiment. Il se transforme par des processus biologiques. La production de gaz et d'odeurs en élevage porcin est liée à la dégradation des déjections, urine et fèces, produites par les porcs. Le bâtiment d'élevage est le siège d'une partie importante de ces dégradations. Ainsi, lorsque le lisier est stocké temporairement sous les animaux, 25 % de l'azote excrété par le porc dans les urines et fèces est volatilisé sous forme de molécules gazeuses azotées (NH_3 , N_2O) dans le bâtiment d'élevage (CORPEN, 2003). L'élevage produit également une très grande variété de produits mal odorants. Plus de 250 substances peuvent être identifiées dans l'air des porcheries. Certaines sont associées aux nuisances olfactives et peuvent être caractéristiques du mode d'élevage (Begnaud et al., 2004).

La présence de lisier dans les porcheries, contribue également à maintenir une pression sanitaire élevée dans les bâtiments d'élevage. Les virus, bactéries et parasites excrétés par les animaux peuvent survivre dans les lisiers pendant plusieurs semaines (Strauch, 1987). La vidange du lisier, le lavage et la désinfection des salles font partie des mesures préconisées par Madec et al. (1999) dans les élevages à problèmes de dépérissement sévère du porcelet.

Pour diminuer les nuisances associées au stockage des lisiers dans les porcheries, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Le traitement de l'air directement dans le bâtiment d'élevage (Fitamant et al., 2000) ou à l'extraction par lavage d'air (Guingand et Granier, 1996) permet de réduire sensiblement les émissions d'ammoniac ou de poussières. Modifier la composition de l'aliment du porc, ou l'apport d'additifs, conduit à changer la constitution des déjections, et par voie de conséquences l'émission d'ammoniac du bâtiment d'élevage (Canh, 1998 ; Guingand et al., 2005). L'apport d'additifs dans le lisier peut également avoir une action sur la perception olfactive ou l'émission d'ammoniac des porcheries (Guingand et al., 2004).

La conception du bâtiment, et de la préfosse en particulier, affecte également l'émission de gaz et d'odeur du bâtiment d'élevage. De nombreux travaux néerlandais ont porté sur la conception du sol et de la fosse (Aarnink, 1997). Une des conclusions de ces études est que la réduction de la surface de contact entre l'air ambiant et le lisier engendre une réduction de l'émission d'ammoniac des porcheries. Ce résultat milite pour la mise en place d'un caillebotis partiel et d'une préfosse réduite dans les salles d'élevage. En revanche, en France, Guingand (2003) montre que la qualité de l'air ambiant et celle de l'air rejeté dans l'atmosphère sont dégradées avec la mise en place du caillebotis partiel par rapport à un caillebotis intégral. La conception du sol, le mode et la conduite de la ventilation ont un effet direct sur les résultats obtenus.

L'évacuation fréquente des lisiers présente une autre voie pour la gestion des déjections dans les bâtiments porcins. Le principe consiste à sortir les déjections des porcs des bâtiments d'élevage une à plusieurs fois par jour. Le procédé mécanique est basé sur l'utilisation de racleurs situés sous les caillebotis. Les systèmes hydrauliques reposent sur l'utilisation d'un liquide de chasse issu du lisier qui aura subi un traitement plus ou moins poussé. Le produit sorti des porcheries est un lisier qui n'est pas totalement transformé par fermentations et constitue un « lisier frais ». La maîtrise technique de ce produit constitue un préalable à l'ouverture de nouvelles voies de valorisation et de recyclage des fractions liquides et solides qui composent les lisiers.

A partir de 1993, des travaux de recherche ont été engagés à la station régionale porcine des Chambres d'agriculture de Bretagne à Guernevez (Saint Goazec, Finistère). L'évacuation du lisier était réalisée hebdomadairement à l'aide d'un lisier tamisé et la conception des préfosses était couplée à des dispositifs de localisation des déjections. Dans ces conditions, avec le recours à un liquide de chasse peu traité, la réduction des émissions d'ammoniac s'est révélée moyenne (EDE de Bretagne, 1998). Un second volet de recherche a été mis en œuvre à partir de 2002 en intégrant d'autres dispositifs de traitement du lisier : lombrifiltration, séparation mécanique et traitement biologique et membranaire. Cela s'est traduit par l'aménagement ou la construction de cinq porcheries d'engraissement et d'un bâtiment de gestation qui fonctionnent chacun avec un système de lisier frais.

L'objectif de cette synthèse est de présenter les techniques qui permettent d'évacuer fréquemment les déjections des porcs des bâtiments d'élevage. L'accent sera plus particulièrement porté sur les installations en place à la station de Guernevez.

1. ÉVACUATION MÉCANIQUE DES DÉJECTIONS

1.1. Raclage

L'utilisation d'un racleur pour évacuer les déjections est une technique connue en élevage. Ce système est notamment utilisé pour évacuer les fumiers quand les porcs sont élevés sur litière (Ramonet et Dappelo, 2003). Lorsque le sol est un caillebotis, le système de raclage installé dans la préfosse entraîne les lisiers hors du bâtiment d'élevage.

Le principe du raclage est constitué d'un rabot tiré par câble ou par chaîne. Une attention particulière doit être portée sur la qualité du sol de la préfosse sur lequel le racleur va être en contact. La qualité du raclage va dépendre de la régularité du sol, en cherchant à obtenir une surface uniforme et lisse pour que le rabot soit au contact le plus étroit possible avec le sol (Vanderholm et Melvin, 1986). Ceci est surtout vrai pour les racleurs avec lame rigide, du fait des risques de blocage liés aux aspérités. Pour améliorer la qualité du raclage, Groenestein (1994) a testé l'effet d'une résine epoxy qui couvrait le sol du couloir raclé. Le fond de fosse du premier bâtiment aménagé à la station de Guernevez est couvert de plaques de trespas, matériau lisse et imputrescible (Guivarch et Callarec, 2005).

Le rabot du racleur est en métal ou possède une lame en caoutchouc. Vanderholm et Melvin (1986) soulignent l'importance du choix des matériaux. Le racleur et le câble d'entraînement sont en contact direct avec le lisier corrosif. On privilégiera l'utilisation de câbles en acier inoxydable.

1.1.1. Racleur à plat

Avec un raclage à plat, le couloir de raclage est placé à l'horizontal. Le mélange urine-fèces est évacué à une fréquence comprise entre 1 et 6 fois par jour (Groenestein, 1994) vers un caniveau de stockage souvent situé dans la salle. La technique du raclage à plat a été choisie pour évacuer fréquemment les lisiers à la station régionale des Chambres d'agriculture de Bretagne à Crécom (Saint Nicolas du Pelem, Côtes d'Armor). Le rabot possède un patin en caoutchouc. Il est installé dans un couloir de raclage de 3,60 m de large.

1.1.2. Racleur en V

Les racleurs en forme de « V » ont été développés afin de faciliter une séparation de phase solide-liquide directement sous le caillebotis. Ce principe de séparation fonctionne depuis au moins 20 ans au Japon (Hamel et al., 2004) et a été transféré aux Etats-Unis à l'Université du Michigan. Ce mode d'évacuation des déjections est également développé en France par la société Prolap dans des bâtiments cunicoles.

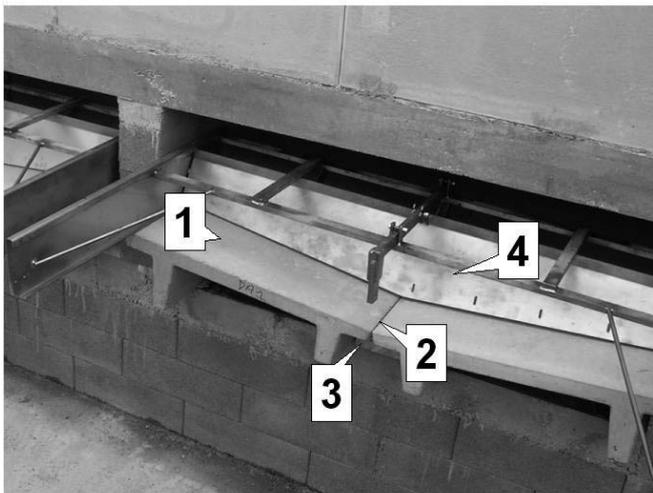


Figure 1 - Fond de fosse en « V » d'un bâtiment à la station de Guernevez. Le fond de fosse est composé de 2 éléments préfabriqués avec une pente transversale de 8 % (1). Ils sont séparés par une fente étroite de 0,5 cm (2).

Une gouttière (3) est installée en dessous de la fente et recueille la fraction liquide des déjections. Les parties solides, qui restent sur le fond de fosse, sont évacuées par un racleur (4)

Pour le porc, le racleur est installé dans une préfosse constituée de 2 pentes transversales avec une inclinaison de 5 % (Guivarch et Callarec, 2005) à 9 % (Pouliot et al., 2005 ; Von Bernuth et al., 2005). Les liquides s'écoulent le long de la pente et sont recueillis dans une gouttière située dans le fond du « V ». Une pente longitudinale sur la longueur du

bâtiment, de 0,4 % à 1 % permet l'écoulement en continu du liquide. A l'université du Michigan, la largeur du couloir de curage est de 2,30 m pour une longueur de 18,1 m.

A la station régionale porcine de Guernevez, un racleur en « V » est installé dans la préfosse d'un module d'engraissement en caillebotis partiel de 60 places. La largeur du couloir de raclage, qui correspond à la largeur de la partie couverte de caillebotis est de 1,35 m. La pente longitudinale permet de recueillir en continu la fraction liquide dans un bout du bâtiment, alors que la fraction solide est évacuée par le racleur à l'autre extrémité du bâtiment. La reprise de la fraction raclée est effectuée dans un bac en acier relevable au tracteur. La fréquence d'évacuation de la partie solide par raclage est comprise entre 3 à 8 fois par jour (Guivarch et al., 2006).

Un second bâtiment utilisant le principe du raclage pour évacuer les déjections a été mis en service à la fin de l'année 2006. Il s'agit d'un bâtiment neuf de 55 places sur caillebotis intégral. La largeur du couloir de raclage est de 2,00 m. Le fond de fosse est constitué d'un complexe d'éléments préfabriqués béton de 4 ou 4,50 m de long sur 1 m de large (Figure 1). L'ensemble forme deux couloirs de raclage. Les éléments préfabriqués reposent sur des longrines disposées selon une pente longitudinale de 1 %. Les deux racleurs sont mus à l'aide d'un même moto-réducteur. La partie raclée est reprise perpendiculairement par un racleur à pelle et montée sur un plan incliné vers un bac de reprise.

1.2. Tapis roulant

Un tapis roulant circulant sous les caillebotis permet de récupérer et sortir du bâtiment d'élevage les déjections des porcs. Ce procédé est commun dans les élevages de poules pondeuses où les fientes sont récupérées sur des tapis placés sous les cages d'élevage (Itavi, 2001). En production porcine, l'utilisation d'un tapis pour l'évacuation des déjections est couplée à une méthode de séparation liquide-solide. Les tapis utilisés par Marchal et al. (1995) en post-sevrage et Pouliot et al. (2006) dans une salle de gestation sont perforés. Seuls les fèces restent sur le tapis alors que les urines s'écoulent au travers du tapis. Avec ces différents systèmes, l'écoulement de la fraction liquide est continu et s'effectue par gravité. Dans les différents essais le tapis roulant est mis en fonctionnement de 8 fois par jour à 5 fois par semaine (Marchal et al., 1995 ; Pouliot et al., 2006). La technique du tapis roulant n'a pas trouvé, pour le moment, de développement industriel dans les élevages porcins en France.

1.3. La séparation de phase

L'utilisation de tapis roulants ou de racleurs en forme de « V » permet d'obtenir deux phases très différentes dont les compositions sont données dans le tableau 1. Avec les racleurs, le taux de matière sèche (MS) moyen de la phase solide s'élève à 27,9 % à 33,7 % contre 2,5 à 4 % de MS pour la fraction liquide (Guivarch et al., 2006 ; Pouliot et al., 2005).

L'intérêt premier de ces techniques est de concentrer dans une fraction réduite de l'effluent une partie majeure des

Tableau 1 - Composition moyenne des fractions récupérées par raclage et tapis

	Type évacuation	Stade	Fraction solide						Fraction liquide					
			MS (%)	MO (%)	N total (%)	N-NH ₄ (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	MS (%)	MO	N total (%)	N-NH ₄ (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Guivarch et al., 2006	Racleur Fond en V	Engraissement Caillebotis partiel	27,9	23	1,1	0,34	1,05	0,83	4,0	2,9	0,51	0,39	0,15	0,34
Pouliot et al., 2005	Racleur Fond en V	Engraissement Caillebotis intégral	33,7	28,64	1,60	0,405	1,446	1,006	2,5	1,4	0,60	0,502	0,107	0,495
Marchal et al., 1995	Tapis	Post-sevrage	25,02		1,23		1,17	0,84	2,35		0,46		0,06	0,35
Pouliot et al., 2006	Tapis	Truie gestante	28,16	22,42	1,13	0,185	0,174	0,394	0,42	0,15	0,217	0,174	0,009	0,10

Tableau 2 - Répartition solide/liquide lors de la séparation de phase, et partie récupérée dans la fraction solide

	Type évacuation	Stade	Part de la fraction solide après raclage (% du volume total des déjections)	Part des éléments récupérés dans la fraction solide (% de la quantité totale recueillie)			
				MO	N	P	K
Guivarch et al., 2006	Racleur Fond en V	Engraissement Caillebotis partiel	29,82 %	78	22	75	52
Pouliot et al., 2005	Racleur Fond en V	Engraissement Caillebotis intégral	43,90 %	94 ± 0,9	66 ± 6	91 ± 3,8	60 ± 4,5
Pouliot et al., 2006	Tapis	Truie gestante	8,20 %	93	31	94	25

éléments rejetés par les porcs. Dans les essais avec racleur en « V », la fraction solide représente 29,8 % (Guivarch et al., 2006) à 43,9 % (Pouliot et al., 2005) de la masse totale des déjections. Cette partie concentre cependant 75 à 91 % du phosphore et 22 à 66 % de l'azote (Tableau 2). La conception du fond de fosse - pente des parois -, le type de racleur ou le stade physiologique considéré expliquent les différences d'efficacité des racleurs observées entre les essais. Les résultats obtenus jusqu'à présent à la station de Guernevez, l'ont été dans une porcherie où le racleur est installé dans un bâtiment en caillebotis partiel. Dans ce bâtiment, les porcs réalisent une partie des déjections sur le gisoir, favorisant ainsi le mélange des urines avec les fèces directement sur le sol plein. Ce mélange limite l'efficacité d'une séparation ultérieure simple des différentes phases du lisier.

2. EVACUATION HYDRAULIQUE DES DEJECTIONS

2.1. Principe de fonctionnement

Le principe d'évacuation des déjections avec un système hydraulique est analogue à celui d'une chasse d'eau. Les déjections produites par les animaux sont évacuées du bâtiment d'élevage à l'aide d'un liquide. En élevage, on n'utilisera généralement pas d'eau : les volumes à utiliser seraient très élevés et demanderaient à être stockés ou traités par la suite. On utilise le lisier pour la chasse, ou plutôt une phase liquide provenant du lisier. Pour mettre en place le procédé, deux éléments sont à travailler : l'aménagement du sol d'une part, l'obtention du liquide et le système utilisé pour la chasse d'autre part.

2.2. Aménagement du sol et de la préfosse

2.2.1. Caniveaux simples

La construction de murets en parpaing dans la préfosse permet d'organiser la fosse en chenaux qui vont autoriser l'agencement d'un système de chasse. A la station de Guernevez les caniveaux, de 1,5 m de large, sont séparés par des murets de 20 cm de hauteur. Le sol possède une pente de 0,5 % pour favoriser l'écoulement des lisiers. Ce type de système ne remet pas en cause la conception du bâtiment d'élevage et peut s'adapter dans une porcherie existante avec un minimum d'aménagement (Callarec, 2004). Un réservoir de 1,5 m³ est installé au bout de chaque caniveau. Il permet de stocker le liquide nécessaire au rinçage d'une surface de 24 m² de caniveaux (1,5 m de large pour 16 m de long) qui recueillent le lisier de 36 porcs. L'opération de chasse est répétée 4 à 6 fois par jour. Une vitesse du liquide de 0,8 m/s à 1 m/s est recherchée pour obtenir un bon nettoyage du sol (Nicholson et al., 1996 ; Jones et Collins, 1996).

2.2.2. Caniveaux sous les caillebotis

Le principe consiste en la pose de caniveaux ondulés de section en forme de « V » ou semi-circulaire dans les pré-fosses, sous le caillebotis. La largeur des caniveaux est classiquement comprise entre 20 et 40 cm. La pente des caniveaux, de chaque côté du canal peut être comprise entre 40° et 80°. Ce type d'aménagement est difficile à réaliser directement dans le bâtiment d'élevage. Il nécessite un développement industriel qui garantit la régularité des caniveaux ainsi qu'une surface parfaitement lisse au produit. Différents matériaux, métal ou béton essentiellement, sont utilisés pour la réalisation des caniveaux.

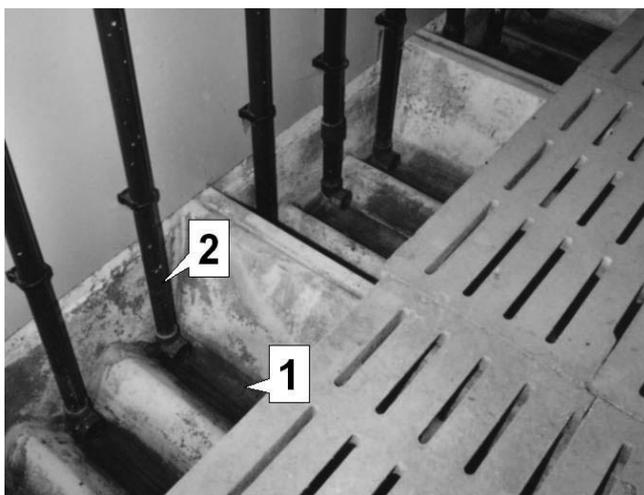


Figure 2 - Caniveaux "Igimax".

Les caniveaux (1) parcourent toute la longueur du bâtiment. Les éléments préfabriqués en béton ont une largeur de 1 m et servent de support pour les caillebotis. Le liquide de chasse est apporté à l'extrémité de chaque caniveau par des conduites (2).

En France, la société Celtys a développé, en partenariat avec les Chambres d'agriculture de Bretagne, un produit préfabriqué en béton qui répond aux caractéristiques précitées (Figure 2). Ce matériel, commercialisé sous le nom de Igimax, est installé dans une porcherie d'engraissement de la station de Guernevez. Les éléments sont installés avec une pente longitudinale de 0,5 %.

Le liquide de rinçage peut être apporté dans chaque gouttière par des descentes avec électrovannes (Callarec, 2004, 2005). Il existe également la possibilité de déverser de manière rapide le liquide de chasse par un déversoir qui est constitué d'un bac avec déport de charge (Puybasset, 2005).

2.2.3. Gouttières dans le sol

L'intégration des gouttières dans la structure du sol modifie de manière importante le mode de gestion des déjections en porcherie. Dans cette conception, le sol est composé de gouttières en plastique, de 10 cm de largeur pour 15 cm de hauteur, noyées dans le béton du sol. Les gouttières sont ouvertes au niveau du sol par une fente de 2,4 cm de large. Le système, initialement développé par la société Luseti en Italie, est commercialisé en France sous le nom de Caliclean par la société Socobati.

Cette conception ne fait plus appel à un caillebotis installé au-dessus d'une préfosse. Les gouttières sont disposées parallèlement les unes aux autres environ tous les 20 cm. Dans ces conditions d'installation, la partie pleine représente 88 % de la surface totale du sol, contre 12 % pour les ouvertures. Dans un premier temps, les gouttières en plastique étaient fixées sur le sol, puis le béton coulé sur place. Le produit est aujourd'hui proposé sous forme d'éléments préfabriqués dans lesquels les gouttières en plastique sont intégrées.

Le sol peut être mis en place avec une pente de 1 à 2 % (Navarotto et al., 2000 ; Ramonet, 2003). Pour des raisons expérimentales, le bâtiment construit à la station de Guernevez possède un sol plat. Les déjections sont évacuées par le passage d'un liquide pulsé par des injecteurs situés dans chacune des gouttières. La fréquence d'évacuation des déjections est de 2 (Navarotto et al., 2000) à 5 fois par jour (Ramonet et Laude, 2005).

A Guernevez, la pose du sol à plat a été un choix réalisé en concertation avec le constructeur du système pour faciliter le lavage du bâtiment. Ce choix entraîne une stagnation de liquide dans les gouttières après le passage du liquide chasse d'eau. Les échanges entre le liquide en stagnation et l'air ambiant dans le bâtiment d'élevage ont été importants pendant la période de mesure réalisée en été. Les températures élevées ont favorisé une perte d'eau que nous avons évaluée à 1120 litres pour une période de 19 jours, soit 2,4 litres/heure. En tenant compte des températures mesurées dans l'air ambiant, de l'hygrométrie et des surfaces d'échanges, nous avons estimé que la perte d'eau pouvait s'expliquer par une évaporation dans les gouttières. Ce phénomène n'est pas observé dans le bâtiment en période hivernale.

2.3. Type de liquide

Le liquide utilisé pour la chasse est issu du lisier. Les volumes à utiliser sont très variables entre les essais. Hoeskema et al. (1992) estiment qu'il est nécessaire d'apporter un volume de liquide de chasse équivalent à 27 fois celui des déjections à évacuer. Jones et Collins (1996) recommandent un apport de 15 litres/porc/jour pour le porcelet à 56 litres/porc/jour pour le porc à l'engrais. Les recommandations vont fortement dépendre de la densité animale dans le bâtiment, mais également de l'aménagement du fond de fosse, de la pente du sol.

En élevage porcin, le liquide utilisé pour évacuer les déjections provient, plus ou moins directement, du lisier lui-même. Le système le plus simple consiste à utiliser directement le lisier sans transformation préalable. Ce mode de fonctionnement est utilisé notamment pour des truies gestantes, le lisier brut servant de liquide de chasse (Poilvet, 2006). Oosthoek et al. (1990) utilisent en liquide chasse d'eau la phase liquide du lisier après aération, puis sédimentation. Plusieurs autres techniques sont disponibles ou en cours de mise au point à la station de Guernevez pour obtenir un liquide en chasse d'eau "épuré" à partir du lisier.

2.3.1. Grille de séparation simple

Le passage de l'effluent issu d'une chasse d'eau sur une grille permet une séparation simple en deux fractions. Cette technique est aujourd'hui développée de façon systématique dans les élevages équipés du Caliclean. Pour éviter de bou-

cher les tuyaux d'injection ou les gouttières disposées dans le sol, il apparaît nécessaire d'utiliser une fraction du lisier débarrassé d'une partie des particules solides. En élevage, un système grille-puisard est installé dans chaque salle pour éviter le mélange de lisier de plusieurs bandes de porcs.

L'effluent, constitué du mélange des déjections et du liquide chasse d'eau, passe sur une grille dont la largeur des fentes est de 1 mm. La grille est installée avec une pente de 53°. Le passage du mélange déjection-liquide de chasse sur la grille permet une séparation sommaire en deux fractions. Dans les élevages de production où ce système est mis en place, la partie qui traverse la grille est récupérée dans un puisard et est utilisée pour les chasses suivantes. La fraction qui s'écoule sur la grille est alors évacuée vers la fosse à lisier (Ramonet et Laude, 2005). Dans le bâtiment de Guernevez, ces deux fractions peuvent être récupérées séparément afin de mesurer les volumes et réaliser des échantillons représentatifs.

La grille permet une séparation de phase. Le taux de matière sèche de la partie liquide, utilisée pour les chasses suivantes est de 5,3 % en moyenne (Tableau 3). Il s'élève à 8,7 % pour la partie récupérée dans le puisard qui contient les éléments qui n'ont pas traversé la grille. La teneur en P_2O_5 est supérieure dans la fraction la plus riche en MS. Une partie de la fraction liquide est utilisée pour rincer les particules les plus grossières restées sur la grille, et se retrouve mélangée à la fraction « solide ». Le passage du lisier sur la grille permet d'obtenir un liquide suffisamment fluide pour être utilisable en chasse d'eau.

Tableau 3 - Composition des fractions recueillies après passage sur la grille du Caliclean. Moyennes obtenues sur 3 séries de mesure d'une durée de 12 à 15 jours chacune.

	MS (%)	N ammoniacal (kg/m ³)	N total (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)
Liquide	5,30 ± 0,26	4,00 ± 0,26	4,93 ± 0,32	1,93 ± 0,35	3,40 ± 0,17
Refus de grille	8,68 ± 0,29	2,70 ± 0,41	5,03 ± 0,35	2,55 ± 0,39	2,85 ± 0,13

Tableau 4 - Caractéristiques physico-chimiques du lisier frais avant et après traitement (conditions d'opération non optimisées).

Paramètre	Lisier frais	Lisier après centrifugation	Lisier après traitement biologique
MES (g/l)	7,31 ± 2,4	0,95 ± 0,2	0
DCO totale (g/l)	11,8 ± 3,8	7,2 ± 1,4	0,31 ± 0,02
DCO soluble (g/l)	3,9 ± 0,5	3,7 ± 0,7	0,30 ± 0,09
N-total (g/l)	1,3 ± 0,2	1,1 ± 0,2	0,08 ± 0,005
N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	< 0,01	< 0,01	< 0,001
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
P-PO ₄ ⁻ (mg/l)	220 ± 35	65 ± 10	35 ± 5

MES : Matières En Suspension

DCO : Demande Chimique en Oxygène

2.3.2. Traitement du lisier et filtration membranaire

Le liquide utilisé en chasse peut provenir d'une station de traitement des lisiers. Après passage sur un tamis la partie liquide de l'effluent est aérée (Hoeskema et al., 1992). Alors que la teneur en ammonium dans l'effluent en sortie de porcherie s'élève à 200 mg/l, elle est de 2 mg/l dans le liquide en sortie de réacteur, utilisé pour la chasse. Dans le même temps, la concentration en nitrate passe de 7 à 150 mg/l. L'intérêt de la technique consiste à utiliser un liquide débarrassé de l'essentiel de la matière organique des déjections et dont la teneur en ammoniac est faible afin de limiter l'émission d'ammoniac gazeux dans l'ambiance de la porcherie.

L'eau résiduaire des stations de traitement biologique pourrait également être utilisée pour la chasse. Cet effluent constitue le dernier produit issu d'un traitement biologique du lisier. Il est habituellement irrigué dans des parcelles proches de la station de traitement. La composition moyenne de l'eau résiduaire laisse apparaître une teneur en matière sèche réduite à 6 à 8 g/litre pour une teneur en azote ammoniacal de 0,01 à 0,05 g/litre (Levasseur, 2006).

Une phase plus poussée consiste à traiter le lisier avec un système biologique couplé à une filtration membranaire. Un prototype est installé depuis 2006 à la station de Guernevez par la société Véolia.

Le principe du réacteur biologique consiste à associer simultanément différentes techniques : (i) le lisier frais, (ii) une séparation liquide solide par centrifugation et (iii) finalement un traitement du lisier par voie biologique couplée à une séparation par membranes (Biosep®). Le système biologique est couplé avec un module de filtration par membranes pour séparer le liquide traité des bactéries. L'intérêt premier d'une séparation membranaire est qu'il permet l'hygiénisation de l'effluent traité par les microorganismes. Les pores de la membrane ont un diamètre moyen de 0,2 micron, ce qui assure une rétention des particules solides, bactéries et certains pathogènes.

Dans ce système, les caractéristiques physico-chimiques du lisier frais résultent des conditions de réalisation de la chasse d'eau (volume et fréquence) ainsi que du poids du porc. Le tableau 4, présente les premiers résultats sur les caractéristiques moyennes du lisier frais, du lisier après centrifugation et du lisier après traitement biologique. La séparation liquide/solide par centrifugation permet un taux élevé de réduction des MES (matières en suspension) compris entre 88 à 90 %. Ceci induit une réduction de 30 à 45 % de la DCO totale (Demande Chimique en Oxygène), de 13 à 18 % de l'azote total (dont 60 % d'azote ammoniacal et 35 % d'azote organique) et de 60 à 78 % du phosphore total (Tableau 4).

Le traitement biologique permet une élimination de 92 % de l'azote total. Concernant la fraction organique, elle est réduite presque en sa totalité, environ 95 %. Le phosphore et les MES sont éliminés avec un taux de 45 % et 100 % respectivement. D'autre part, la gestion du flux d'air dans le module de filtration a permis l'annulation des lavages de la membrane. Finalement, les concentrations des com-

posants odorants dans le liquide traité dans le Biosep® sont très faibles et du même ordre de grandeur que les concentrations de l'atmosphère ambiante. Il n'y a donc quasiment plus de composés odorants dans le liquide traité.

Se basant sur l'ammoniac, il semble que le principe de la chasse permette de diminuer le flux émis par la salle traitée. En effet, des analyses en continu et en batch montrent une réduction nette comprise entre 50 et 60 % des émissions d'ammoniac de la porcherie traitée par rapport à une porcherie témoin. Pour les TMA (triméthylamine) cette réduction est de 40 % et entre 50 à 90 % pour les acides gras volatils. Bien que les bilans d'abattement global du procédé soient très positifs, une phase d'optimisation est en cours de validation à Guernevez.

2.3.3. Lombrifiltre

La lombrifiltration est une technique récente, proposée initialement par l'Université de Santiago du Chili pour traiter les eaux usées urbaines par l'utilisation de vers de terre (Bouché et Soto, 2004). La lombrifiltration consiste à élever des vers de terre sur un support organique arrosé par un liquide chargé de matières organiques. L'intérêt de ce système réside dans l'adsorption rapide au sein du filtre de l'ammoniac et des odeurs présents dans le lisier frais avant de recycler l'eau, la simplicité de gestion pour des éleveurs habitués à la surveillance d'animaux, l'ouverture de nouvelles voies de valorisation des nutriments excrétés (lombricompost, faune lombricienne). Son adaptation pour le traitement des eaux des bâtiments d'élevage a été étudiée à Guernevez grâce à des partenariats diversifiés de 2003 à 2005 (Callarec et al., 2006, Li et al., 2006). Le dispositif a été complété par une succession de quatre bassins de lagunage (Morand et al., 2005) permettant à la fois de valoriser les nutriments excrétés par la production de végétaux aquatiques et de poursuivre la réduction des concentrations en éléments dans l'eau (jusqu'à moins de 5 mg N total/l, Hamon et al., 2006). Ces mesures confirment les observations réalisées par Levasseur et al. (2003), sur le niveau élevé d'abattement sur la fraction liquide.

Le schéma de principe du lisier frais avec lombrifiltre est présenté sur la figure 3. L'effluent obtenu en sortie de porcherie d'engraissement, constitué du mélange des déjections et du liquide chasse d'eau, passe sur un tamis qui retient l'essentiel de la fraction solide (Tableau 5). La fraction liquide récupérée après tamisage a été soit recyclée directement en porcherie (5 jours par semaine), soit envoyée sur le lombrifiltre (2 jours par semaine). Le liquide récupéré après tamisage ou passage sur le lombrifiltre est utilisé pour les chasses d'eau suivantes.

Le lombrifiltre est constitué d'une couche de plaquettes forestières épaisse de 0,80 m environ, sur laquelle on apporte initialement une litière (matière organique contenant une population abondante de vers de terre de type épigés : *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida* notamment). L'ensemble est posé sur un caillebotis qui laisse s'écouler les liquides qui auront traversé le substrat (Li et al., 2006).

Tableau 5 - Composition des solides et liquides après tamisage et lombrifiltration

	C total (g.kg ⁻¹ brut)	matière organique (%MS)	NH ₄ -N (g.kg ⁻¹ brut)	N organique (g.kg ⁻¹ brut)	N total (g.kg ⁻¹ brut)	P (g.kg ⁻¹ brut)	K (g.kg ⁻¹ brut)
Solide après tamis ^a	86	96	0,5	2,1	2,6	0,42	1,2
Liquide après tamis ^a	5,6	68	0,52	0,40	0,92	0,21	0,79
Liquide fosse après lombrifiltre ^b	3,2	52	0,08	0,06	0,14	0,08	0,36
Solide lombrifiltre ^b	106	26	0,14	2,1	2,2	0,94	1,1

^aéchantillons prélevés au cours de la deuxième semaine d'expérimentation

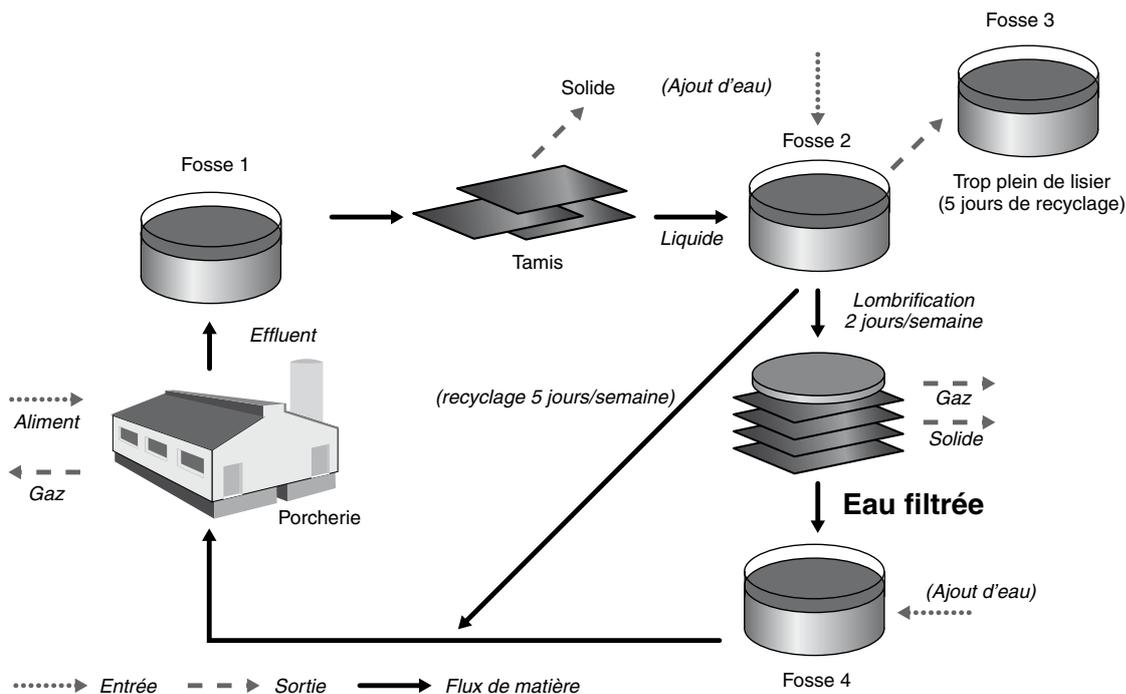
^béchantillons prélevés en fin d'expérimentation

Le choix du substrat, l'abondance de la population de lombriciens, le rythme d'aspersion avec le lisier frais tamisé (quantité totale apportée par semaine, fréquence d'aspersion, quantité par aspersion), ont fait l'objet d'une mise au point importante. Il est ainsi apparu qu'une concentration insuffisante en oxygène dans le liquide d'aspersion ou un excès d'eau de plusieurs heures dans le lombrifiltre avait pour conséquence de tuer les vers de terre. Le colmatage de la porosité peut résulter soit de l'apport excessif de matière organique fraîche, soit de l'accumulation des matières organiques digérées.

Le suivi simultané de la population de vers, des flux et stocks de matière liquide ou solide ainsi que des émissions gazeuses de la porcherie et du lombrifiltre a fait l'objet d'une mise au point méthodologique dans le but d'aider à la mise au point technique du système et d'éviter un procédé qui augmenterait les pollutions gazeuses.

Après 4 semaines de suivi, la densité de vers de terre s'échelonnait entre 12000 et 20000 individus par m² en surface (0-30 cm), soit nettement plus sur l'ensemble du profil, pour une biomasse comprise entre 1 et 1,5 kg/m². En l'espace de 4 semaines, la biomasse a augmenté de 79 % à 225 % (Li et al., 2006). Le lombrifiltre retient et transforme les composés organiques et minéraux apportés par le liquide en raison de l'intense activité biologique de la microflore et de la macrofaune. Une augmentation importante des pertes d'eau, de carbone et d'azote du système, par rapport à une porcherie classique est observée, avec une diminution de plus de 50 % de l'émission d'ammoniac sans transfert de pollution sous forme de N₂O.

L'évaluation sanitaire des systèmes d'obtention des liquides doit être envisagée. A notre connaissance, il n'existe pas de données précises sur la teneur en agents potentiellement pathogènes dans les liquides utilisés en chasse. Ce travail

**Figure 3** - Schéma de principe du lombrifiltre couplé à la porcherie.

Le liquide filtré par le lombrifiltre est réutilisé pour évacuer par chasse d'eau les déjections des porcs.

doit être poursuivi à la station de Guernevez à la suite des travaux de mise au point des différentes techniques.

3. EVACUATION FREQUENTE DES DEJECTIONS ET EMISSION D'AMMONIAC

La diminution des émissions d'ammoniac des porcheries est un des premiers critères recherchés par la mise en place de systèmes d'évacuation des lisiers des porcheries. La formation de l'ammoniac résulte principalement de la dégradation de l'urée présente dans l'urine. L'hydrolyse de l'urée est catalysée par l'uréase, enzyme produite par les microorganismes contenus dans les fèces (Guinand, 1996). Les travaux conduits aux Pays-Bas suggèrent que les systèmes d'évacuation fréquente des déjections permettent de réduire de 50 à 70 % les émissions d'ammoniac des porcheries (Hendriks et Van de Weerdhof, 1999)

Les différentes techniques utilisées pour évacuer fréquemment les déjections des porcs permettent une réduction des émissions d'ammoniac comparativement à une porcherie témoin (Figure 4). Avec des systèmes de raclage, Groenestein (1994) mesure une émission d'ammoniac comprise entre 6,7 et 7,3 g NH₃/jour/porc. L'émission d'ammoniac est réduite de 12 à 27 % par rapport aux références hollandaises avec stockage du lisier sous caillebotis. Cette réduction est plus prononcée aux autres stades de l'élevage, pour atteindre 76 % pour les porcelets. Belzile et al. (2006) observent une réduction de l'émission d'ammoniac de l'ordre de 50 % avec des systèmes de raclage par rapport à un caillebotis intégral. En revanche, ils ne mesurent pas d'effets des différents pro-

tole de curage : gratte conventionnelle vidangée tous les 2-3 jours ou racler en forme de V avec séparation de phase. Groenestein (1994) souligne que si le raclage élimine bien les fèces et urine, il a aussi pour effet d'étaler les déjections. La surface d'échange entre les déjections et l'air ambiant se trouve augmentée, l'urée résiduelle est rapidement décomposée, et l'ammoniac facilement volatilisé.

Les niveaux d'émission d'ammoniac mesurés par Hoeskema et al. (1992) dans des bâtiments équipés de chasse d'eau s'élèvent de 2 à 5 g NH₃/porc/jour pour des porcs à l'engrais, soit une réduction de 60 à 70 % comparativement au caillebotis intégral avec stockage du lisier dans la préfosse. La réduction de l'émission d'ammoniac atteint le niveau de 74 % dans les essais de Navarotto et al. (2000) entre un sol composé de gouttières de type Caliclean comparativement à un sol plein nettoyé quotidiennement. De même Nicholson et al. (1996) observent pendant le printemps une réduction de 37 à 50 % de l'émission d'ammoniac de porcheries utilisant un système de chasse. En revanche, l'émission d'ammoniac n'est pas significativement différente entre les deux types de bâtiments au cours de l'été et de l'hiver. Les niveaux de ventilation influencent le niveau d'émission.

Les mesures réalisées à Guernevez avec le système Caliclean en fin d'engraissement montrent que l'émission d'ammoniac s'élève à 8,5 et 10,5 g NH₃/porc/jour respectivement pour des porcs de 85 et 104 kg. En 2003, Guinand mesurait sur l'ensemble de la période d'engraissement de porcs sur caillebotis intégral une émission d'ammoniac moyenne de 10,1 g NH₃/porc/jour. Plusieurs facteurs peuvent expliquer le niveau d'émission observé dans ces premiers essais à Guernevez, l'âge et le poids des porcs en particulier, les émissions d'ammoniac étant généralement plus élevées en fin d'engraissement comparativement au début de l'engraissement. La pose du sol à plat favorise également la stagnation du liquide et favorise les échanges d'ammoniac avec l'air ambiant.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les systèmes d'évacuation fréquente des déjections des porcheries sont nombreux. Ils se distinguent tant par le mode d'évacuation des déjections (raclage, hydraulique), que par l'aménagement du fond de fosse nécessaire pour réaliser la concentration des effluents avant évacuation ou par la diversité des produits obtenus. Les aménagements à développer doivent tenir compte des impératifs techniques propres au système d'évacuation lui-même (pente du sol, largeur et aménagement des gouttières, matériaux à utiliser). Les exigences environnementales conduisent les éleveurs à trouver des solutions pour la gestion des déjections. Les systèmes d'évacuation fréquente des déjections peuvent alors trouver une justification autre que celle initialement proposée. Il ne s'agit plus seulement d'améliorer la qualité de l'air ambiant ou de réduire la pression sanitaire. Certains modes d'évacuation des déjections se présentent comme une première phase de valorisation des nutriments excrétés ou de traitement des lisiers avant épandage. Il s'agit par exemple de la séparation de phase réalisée par les racleurs en «V» qui conduit à l'obtention de deux produits qui peuvent être gérés

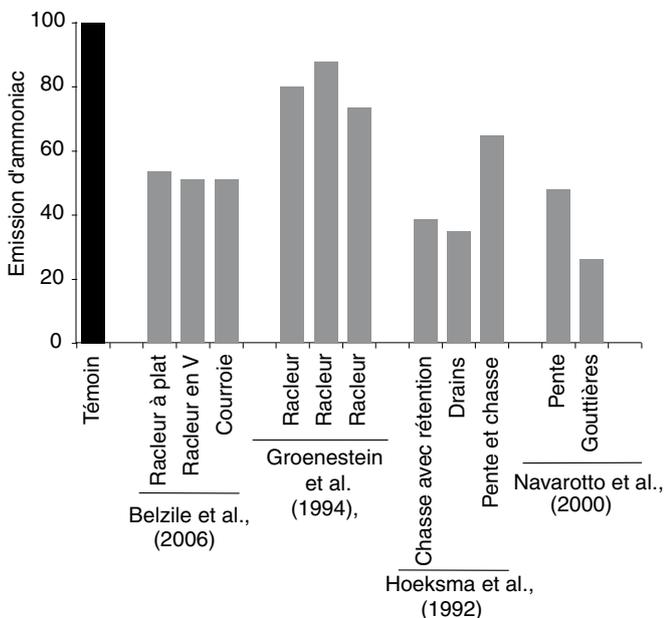


Figure 4 - Emission d'ammoniac de bâtiments d'engraissement équipés de systèmes d'évacuation fréquente des déjections, d'après Belzile et al. (2006), Groenestein et al. (1994), Hoeksma et al. (1992) et Navarotto et al. (2000).

Pour chacune des études, le niveau 100 correspond au niveau d'émission d'ammoniac observé dans le bâtiment témoin.

de manière autonome en vue d'une valorisation énergétique ou agronomique (Callarec et al., 2006). Pour les élevages déjà engagés dans le traitement des lisiers, l'eau résiduaire issue du traitement biologique peut être réutilisée comme liquide chasse d'eau. Un traitement plus poussé de cette eau résiduaire (Biosep, lagunage) permet de diminuer davantage le risque sanitaire de la réintroduction du liquide dans les porcheries. Depuis la mise en service à Guernevez des bâtiments qui utilisent un système de recyclage, il n'y a pas eu d'incident sanitaire pouvant être lié à ces techniques.

La plupart des systèmes d'évacuation fréquente des lisiers à la station régionale porcine de Guernevez sont au point sur le plan technique. Quelques modalités pratiques restent cependant à confirmer pour que ces techniques trouvent un développement conséquent en élevage. Il s'agit notamment du vieillissement du matériel (nombreuses pompes pour les systèmes de type chasse d'eau, usure des câbles et du racleur en métal), ou de leur mise en place dans des bâtiments existants. L'absence de stockage de lisier dans les porcheries réduit la hauteur nécessaire pour le sol et sa pré-fosse. Certains systèmes peuvent alors se révéler intéressants dans des projets de rénovation lorsque la hauteur du bâtiment est réduite, transformation de poulailler en porcherie par exemple (Puybasset, 2005).

Si les premiers résultats montrent que le niveau des émissions d'ammoniac est réduit, il reste cependant à le préciser sur du long terme, et pour chaque type de bâtiment. Les performances environnementales des filières de type « lisier frais » seront à comparer aux autres modes de gestion des déjections : épandage et traitement. L'analyse du cycle de vie (ACV) permet de comptabiliser les ressources utilisées et les émissions avec leur impact potentiel sur l'environnement. A partir d'un projet d'éleveurs, Lopez-Ridaura et al. (2007) montrent ainsi que la performance environnementale du transfert de lisier avec épandage est meilleure que celle du traitement, les émissions gazeuses et l'utilisation d'énergie étant inférieures. La méthode de l'ACV appliquée aux systèmes d'évacuation

fréquente des déjections permettrait de considérer à la fois les ressources utilisées pour le fonctionnement des racleurs et des chasses (énergie et besoin en eau en particulier) et les émissions de polluants depuis le bâtiment d'élevage jusqu'à l'épandage des produits issus de ces filières.

Actuellement, la mise en place de systèmes d'évacuation fréquente des déjections dans un bâtiment d'élevage présente un surcoût à l'installation comparativement à un système classique de type caillebotis intégral avec stockage temporaire sous les porcs (Ramonet et al., 2005 ; Pouliot et al., 2006). Une phase d'industrialisation des systèmes d'évacuation des lisiers va s'accompagner d'une diminution des coûts de construction et d'installation. L'évaluation économique complète de ces systèmes doit aussi prendre en compte d'une part l'augmentation des performances de production attendues par l'amélioration des conditions d'ambiance dans le bâtiment d'élevage. D'autre part, pour les élevages engagés vers le traitement total ou partiel des lisiers, l'évacuation fréquente des déjections peut constituer une première étape au traitement ou améliorer ses conditions de réalisation.

Plus qu'un système de gestion des effluents en élevage, l'évacuation fréquente des lisiers s'envisage dans une réflexion globale de l'atelier porcin. Ce type d'aménagement trouve sa place depuis une amélioration de la qualité de l'air ambiant jusqu'à la prise en compte des exigences environnementales de l'exploitation.

REMERCIEMENTS

Les études conduites à la station régionale de Guernevez ont eu le soutien financier du conseil régional de Bretagne, des conseils généraux de Bretagne, de Porcherie Verte, de l'Europe (dossier FEOGA présage n°9602 «Bâtiment Porc Demain»), du PRA (E00-01, E03-03) et du P2R « eau ». Le projet d'ultrafiltration est cofinancé par la communauté européenne, Projet LIFE ZNP,LIFE04 ENV/FR/337.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarnink, A.J.A. 1997. Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 175 p.
- Begnaud F., Pérès C., Murat C., Lebest J., Berdagué J.L., 2004. Mise en place de nouvelles méthodes de caractérisation des atmosphères de porcherie. Journées Rech. Porcine, 36, 39-46.
- Belzile M., Godbout S., Lemay S.P., Lavoie J., Lachance I., Pouliot F., 2006. Impact de la séparation fèces-urine sous caillebotis sur la qualité de l'air ambiant en porcherie. Journées Rech. Porcine, 38, 21-26.
- Bouche M.B., Soto P., 2004. An industrial use of soil animals for environment: the treatment of Organically Polluted Water by Lumbrifiltration. XIVth International Colloquium On Soil Zoology And Ecology, University of Rouen – Mont Saint Aignan, France, August 30 to September 3, 1-13.
- Callarec J., Robin P., Bouché M., Morvan T., 2005. Rapid removal of pig slurry and technical feasibility of recycling treated flushed liquid. Porcherie Verte. International workshop on pork production. May 25-27, 2005. Paris.
- Callarec, J., 2004. Lisier frais. Transformer l'existant. Atout Porc Bretagne, 2004, 25, 22-23.
- Callarec J., Guivarch C., Larour G., Landrain B., Ramonet Y., Jégou, J.Y., Robin P., Li Y.S., 2006. Bâtiment porc demain (Année 3) Expérimentation sur des modèles de porcheries respectant bien-être et environnement. Rapport d'étude, Chambres d'agriculture de Bretagne, 92 p.
- Canh, 1998. Ammonia emission from excreta of growing-finishing pigs as affected by dietary composition. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 163 p.
- Corpen, 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. Juin 2003. 41 p.
- EDE de Bretagne, 1998. Le lisier frais. Bilan des pertes d'azote suite à la vidange précoce et au tamisage du mélange fèces-urine. Rapport d'étude, EDE de Bretagne, ENSCR 48 p.

- Fitamant D., Guingand N., Laplanche A., Delzescaux D., 2000. Étude d'un procédé de désodorisation des émissions des bâtiments par l'ozone. Journées Rech. Porcine en France, 32, 67-75.
- Groenestein C.M., 1994. Ammonia emission from pig houses after frequent removal of slurry with scrapers. XII world congress on Agricultural Engineering. Milano, 543-550.
- Guingand N., 1996. L'ammoniac en porcherie, ITP éd. Paris, 35 p.
- Guingand N., 2003. Influence de la mise en place de caillebotis partiel et de la taille de la case sur les émissions d'ammoniac et d'odeurs en engraissement. Journées Rech. Porcine, 35, 15-20.
- Guigand N., Boulestreau A.L., Juin S., Maupertuis F., 2004. Utilisation d'additifs en porcherie. Effet sur l'émission d'odeurs et d'ammoniac en engraissement. TechniPorc, 27, 2, 25-32.
- Guingand N., Demerson L., Broz J., 2005. Incidence de l'incorporation d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs charcutiers sur les performances zootechniques et l'émission d'ammoniac. Journées Rech. Porcine, 37, 1-6.
- Guingand N., Granier R., 1996. Étude de filières de désodorisation de l'air extrait de porcherie d'engraissement. Journées Rech. Porcine, 28, 217-224.
- Guivarch C., Callarec J., 2005. Procédé du lisier fais avec racleur dans une porcherie existante. Rapport d'étude, Chambres d'agriculture de Bretagne, juin 2005, 24 p.
- Guivarch C., Callarec J., Quillien J.P., 2006. Racleur en "V": validation de la technique de séparation urine-fèces à l'aide d'un racleur séparateur sous caillebotis. Rapport d'étude, Chambres d'agriculture de Bretagne, 27 p.
- Hamel D., Pouliot F., Leblanc R., Godbout S., Von Bernuth R.D., Hill J., 2004. Évaluation technico-économique d'un système de séparation liquide-solide des déjections à la source dans un bâtiment porcin et les impacts sur l'environnement. Rapport d'étape. CDPQ, Ste-Foy, Québec, Canada.
- Hamon G., Crenn K., Morand P., 2006. Mise en place d'un prototype de lagunage à macrophytes pour l'épuration d'effluents d'élevage de la Station Porcine Expérimentale de Guernevez des Chambres d'Agriculture de Bretagne. Rapport CREBS, 100 p.
- Hendriks H.J.M., Van de Weerdhof, A.M., 1999. Dutch Notes on BAT for Pig and Poultry Intensive Livestock Farming. Information Centre for Environmental Licensing, P.O. Box 30732, NL-2500 GS The Hague, The Netherlands.
- Hoeskema P., Verdoes N., Oosthoek J., Voermans J.A.M., 1992. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. Livestock Production Science, 31, 121-132.
- Itavi, 2001. Les déjections avicoles. Sciences et Techniques Avicoles, Hors Série, Septembre, 27-33
- Jones, D.D., Collins, E., 1996. Recirculation systems for manure removal. PIH063. University of Wisconsin.
- Levasseur P., Turpin O., Janvier R., Robin I., 2003. Déshydratation du lisier de porc aéré sur lit de séchage planté de roseaux. Journées Rech. Porcine en France, 35, 41-46.
- Levasseur P., 2006. Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement. Institut Technique du Porc, 68 p.
- Li Y.S., Robin P., Cluzeau D., Bouché M., Qiu J.P., Laplanche A., Hassouna M., Callarec J., Dappelo C., 2006. Reuse of wastewater from piggery using vermifiltration : study on an experimental farm. Environmental Technology (soumis).
- Lopez-Ridaura S., Van Der Werf H., Paillat J.M., Le Bris B., 2007. Transférer ou Traiter ? Evaluation environnementale de deux modes de gestion du lisier excédentaire par Analyse de Cycle de Vie, Journées Rech. Porcine, 39, 7-12.
- Madec F., Eveno E., Morvan P., Hamon L., Albina E., Truong C., Huet E., Cariolet R., Arnaud C., Gestin A., 1999. La maladie d'amaigrissement du porcelet en France. 1- Aspects descriptifs, impact en élevage. Journées Rech. Porcine, 31, 347-354.
- Marchal P., Wallian L., Groussard P., 1995. Evaluation d'un système de séparation fèces-urines en élevage porcin. Influence des choix technologiques sur la composition des produits. Journées Rech. Porcine, 27, 351-358.
- Morand P., Robin P., Hamon G., Qiu J.P., Bouche M., Cluzeau D., Callarec J. 2005. Extensive treatments for a piggery with minimal pollution. Poster. Fourth Inter-celtic colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Guimaraes (Portugal). 11-14/07/2005.
- Navarotto P., Bonazzi G., Fabbri C., Guarino M., 2000. New systems of manure removal to reduce gas emission in existing pig housing. p. 381-384. In: F. Sangiorgi (ed.), Technology transfer - Proceedings of the 9th International Conference of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture - RAMIRAN 2000, Gargnano, Brescia (Italy), 6-9 September 2000.
- Nicholson, R., Cumby, T. R., Kay, R.M., 1996. The use of stratified aeration of pig slurry to reduce gaseous emissions. ADAS report no. WA 0602 Silsoe Research Institute report.
- Oosthoek J., Kroodsma W., Hoeskema P., 1990. Ammonia emission from dairy and pig housing systems. Dans "Odeur and ammonia emission in livestock farming" Nielsen V.C., Vooburg J.H., L'Hermite P., Eds, Elsevier Applied Science, London, 59-66.
- Pouliot F., Godbout S., Dufour V., Von Bernuth R.D., Hill J., 2005. Évaluation de l'efficacité d'un système de séparation fèces-urine sous caillebotis en engraissement : bilan de masse et caractérisation des sous-produits. Journées Rech. Porcine, 37, 45-50.
- Pouliot F., Dufour V., Godbout S., Leclerc B., Larose L.A., Trahan M., 2006. Évaluation d'un système de courroie permettant de limiter le mélange fèces-urine sous le caillebotis chez la truie en gestation : bilan de masse et caractérisation des sous-produits. Journées Rech. Porcine, 38, 13-20.
- Poilvet, D., 2006. Le lisier des gestantes est recyclé. Réussir Porc, Sept 2006, 96-98.
- Puybasset A., 2005. Pas de lisier sous les porcs avec Igimax. Réussir Porc, Sept 2005, 96-99.
- Ramonet Y., 2003. Gisoir drainant. Pour un sanitaire irréprochable. Atout Porc Bretagne, 17, 34-35.
- Ramonet Y., Dappelo C., 2003. L'élevage des porcs sur litière – Une diversité des systèmes en engraissement. Journées Rech. Porcine, 35, 1-6.
- Ramonet Y., Laude J., 2005. Le gisoir drainant : Une technique d'évacuation régulière des lisiers en élevage porcin. Rapport d'étude. Chambres d'agriculture de Bretagne. 67 p.
- Strauch, D., 1987. Hygiene of animal waste management. In: D. Strauch (Editor), Animal production and environmental health. World Animal Science B6, Elsevier, Amsterdam, 155-202.
- Vanderholm D., Melvin S., 1986. Scraper Systems for Removing Manure From Swine Facilities, PIH105, University of Wisconsin.
- Von Bernuth R.D., Hill J.D., Henderson E., Godbout S., Hamel D., Pouliot, F., 2005. Efficacy of a liquid/solid isolation system for swine manure. Transaction of the ASAE, 48(4), 1537-1546.

