

Dimensionnement de systèmes biologiques pour le recyclage et la valorisation des effluents au sein des élevages de porcs

Paul ROBIN (1), Philippe MORAND (2), Daniel CLUZEAU (2), Anne-Marie POURCHER (3), Bernadette PICOT (4), Aurélie ESCANDE (4), Jacques HAURY (5), Brigitte LANDRAIN (6)

(1) INRA, UMR1069, IFR CAREN, 35000 Rennes

(2) Université Rennes 1/CNRS, UMR 6553 EcoBio, IFR CAREN, Station Biologique, 35380 Paimpont

(3) CEMAGREF, UR GERE, 35000 Rennes

(4) Université Montpellier 1, UMR 5569 Hydrosociences, 34000 Montpellier

(5) UMR INRA/Agrocampus Ouest 985, 35000 Rennes

(6) Chambres d'Agriculture de Bretagne, Station Expérimentale de Guernevez, 29520 Saint-Goazec

Paul.Robin@rennes.inra.fr

Dimensionnement de systèmes biologiques pour le recyclage et la valorisation des effluents au sein des élevages de porcs

Le traitement des effluents solides, liquides et gazeux en élevage de porcs remet en cause la durabilité des élevages s'il devient trop coûteux. Si l'épandage est une des formes de recyclage, il ne suffit plus à la protection de l'environnement dans certaines zones à risque spécifique. En outre, le développement des filières non alimentaires ouvre de nouvelles pistes de valorisation plus intensives (en tonnes effluent/ha) que l'épandage, notamment pour réduire la consommation d'intrants des élevages ou des filières, améliorer leur impact environnemental, valoriser les savoir-faire des filières d'élevage. Les travaux expérimentaux et de modélisation de la lombrifiltration et du lagunage à macrophytes conduits depuis 2003 à la station porcine de Guernévez fournissent les informations nécessaires au dimensionnement de systèmes qui accroissent l'efficacité du recyclage de l'eau et des nutriments. Les questions scientifiques spécifiques au dimensionnement fiable, à long terme, de systèmes biologiques de recyclage des effluents sont exposées.

Design of biological systems for recycling and value-enhancing of animal effluents within pig farms

Treatment of solid, liquid, and gaseous effluents of pig farms reduces their sustainability when its cost becomes too high. While spreading is one of the ways of recycling, it is no longer sufficient for environmental protection in regions with specific risks. Moreover, the development of non-food production and transformation chains may offer new ways of more intensive recycling (in tons effluent/ha) compared to spreading, e.g. to reduce the global inputs of animal production systems, reduce their environmental impact, enhance the value of know-how in animal production. Experiments and modelling studies on vermifiltration and macrophyte lagooning conducted since 2003 at the experimental station of Guernévez give the required information for the design of biological systems that enhance the recycling efficiency of water and nutrient reuse. Specific questions related to a long-term reliable design of such systems are discussed.

INTRODUCTION

Si le porc peut servir de modèle pour des études de nutrition humaine, on peut imaginer qu'après la nutrition, l'élevage de porcs serve de modèle pour améliorer le recyclage de l'eau utilisée et des nutriments excrétés ou non consommés dans les zones à forte densité. L'effluent d'élevage provient de l'excrétion d'animaux sains et du lavage des bâtiments. Son caractère polluant résulte des doses appliquées par hectare et d'un déficit d'hygiénisation ou de recyclage par des productions végétales. La dimension de ce système/modèle est intéressante pour tester des technologies, évaluer des besoins en termes de gestion des risques et des compétences, évaluer les impacts techniques de filières non-alimentaires émergentes.

Le concept d'empreinte écologique (Rees, 1992) montre clairement que si l'amélioration du niveau de vie des populations, *via* une hausse des flux d'aliments, de matériaux et d'énergie par habitant, se fait au détriment des ressources naturelles, alors le développement de la société n'est pas durable. En revanche, si cette amélioration conduit à *diminuer les prélèvements* dans les milieux naturels, à *augmenter les productions* issues du recyclage, ainsi que les quantités de matière et d'énergie produites par hectare d'exploitation agricole, alors la durabilité est envisageable.

Le concept d'« ingénierie écologique » (Mitsch, 1993) a été mobilisé ici pour expérimenter un mode d'élevage de porcs qui maximise le recyclage de l'eau et des nutriments. Une succession de productions biologiques, qui s'inspire du fonctionnement des écosystèmes, vise à transformer *tous* les nutriments et polluants potentiels en augmentant l'efficacité des surfaces et des nutriments. Ce type d'association est déjà pratiqué en France et à l'étranger (par exemple Sevrin-Reyssac, 1999) mais sans bouclage des flux. Ce concept facilite l'adaptation à des territoires variés et le recyclage agricole des coproduits. Les organismes vivants présents dans les ateliers sont soit importés (plantes mises en place et récoltées à l'instar des cultures de plein champ), soit issus d'une colonisation naturelle de l'atelier en raison de conditions favorables à leur prolifération (lombriciens, plancton, flore et faune sauvages). Ces organismes ont deux fonctions, celle d'*agent* des transformations et celle d'*indicateur* des conditions de milieu. L'originalité de nos résultats réside dans le recyclage de l'eau.

L'objectif de cet article est de présenter ces résultats et de discuter les questions spécifiques sous-jacentes au dimensionnement et à l'optimisation de systèmes biologiques lorsque l'objectif est de maximiser le recyclage d'effluents qui seraient produits ou importés dans des élevages de porcs.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Historique

L'idée générale du projet développé à Guernévez (France, Finistère) vient de deux évidences : les animaux ont un rôle majeur dans le recyclage des nutriments au sein des écosystèmes ; les élevages consomment des flux d'eau et de

nutriments importants en regard de leurs seules productions alimentaires, avec une efficacité assez faible : la masse de coproduits est nettement supérieure à celle des produits.

Par conséquent, si l'on doit développer les productions végétales pour satisfaire des besoins croissants des sociétés en aliments, énergie, matériaux, molécules, alors les animaux peuvent avoir une place de choix dans la transformation des végétaux et le retour au sol des nutriments contenus dans les coproduits et déchets. Par ailleurs, si l'on doit développer les productions animales pour accompagner une demande alimentaire croissante, alors ces productions doivent être plus efficaces en termes de consommation d'eau et d'occupation de l'espace pour le recyclage des nutriments excrétés. Les échanges régulés avec le milieu extérieur doivent permettre une préservation de la biodiversité, sans altération majeure du fonctionnement des écosystèmes récepteurs des flux.

Une perspective de concrétisation est née en 1999 lors du foisonnement de propositions préalable au lancement du programme « Porcherie Verte ». Elle a été matérialisée en 2003 grâce à la motivation de M. Bouché, INRA Montpellier, et J. Callarec, Chambres d'Agriculture de Bretagne et grâce au soutien des collectivités territoriales. Puis c'est à la faveur de divers programmes d'échanges franco-chinois initiés depuis 2003 par M. Roustan (INSA Toulouse) que des collaborations françaises se sont tissées pour conduire aux résultats présentés ici.

La figure 1 schématise le dispositif utilisé. L'eau sert de vecteur des nutriments. Les chasses d'eau sont issues d'un bassin qui stocke les pluies hivernales en vue de l'évaporation estivale. L'élevage de porcs est suivi par un tamisage, puis un atelier d'animaux saprophytes, ici des lombriciens épigés (*Eisenia andrei* et *Eisenia foetida*), puis des ateliers de macrophytes flottants ou enracinés. L'eau est recyclée continuellement en sorte que si des éléments étaient excrétés sans être exportés, leurs concentrations augmenteraient rapidement.

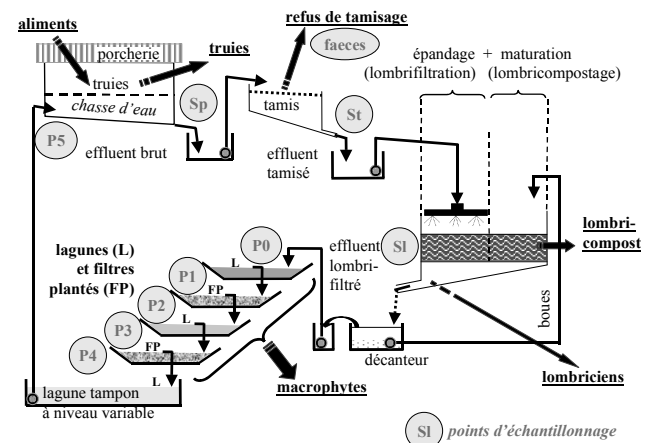


Figure 1 - Schéma du dispositif de recyclage.

1.2. Dispositif expérimental

1.2.1. Entrées et sorties

Les nutriments entrent dans le système *via* l'aliment et sortent *via* divers produits solides : animaux, végétaux, composts. Les éléments atmosphériques tels que l'azote et le carbone retournent à l'atmosphère ou sont fixés dans la matière organique à la

faveur des transformations biologiques. L'eau de boisson et de lavage est insuffisante pour compenser l'évaporation (Li et al., 2008). Elle doit être complétée par la collecte d'eau de pluie. Compte tenu du climat océanique, la collecte de pluie sur les lagunes peut excéder les besoins d'évaporation lors des années pluvieuses. Le bassin de stockage déborde alors vers une parcelle d'infiltration sauf si une partie du dispositif est couverte.

1.2.2. Equipements

Le bâtiment de dimensions 12x5 m abrite 30 truies gestantes renouvelées par moitié et un verrat. Elles sont logées sur caillebotis. Un système de chasse par 2 bacs basculants de 400 L chacun assure l'évacuation des déjections toutes les 4 h (soit 160 L.jour⁻¹.truie⁻¹).

Le tamis est de type tamis vibrant avec une grille de maille 0,6 mm et un débit voisin de 100 L.min⁻¹. Le lombrifiltre occupe 40 m². Il est composé de plaquettes forestières (0,5 m d'épaisseur) posées sur un caillebotis inox de maille 0,01 m installé sur une surface bétonnée. La population lombricienne est comprise entre 10 000 et 40 000 vers.m⁻². L'arrosage et l'entretien de la porosité sont assurés par un matériel spécifique (Lombrimat®, Electroland, 29). Trois quarts de la surface servent à l'apport de lisier frais, un quart sert à la rétention des boues du décanteur.

Les lagunes à macrophytes flottants (ex : *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides*, *Pistia stratiotes*; 40 et 45 m²: ces macrophytes sont tous des espèces invasives potentielles) alternent avec des filtres plantés de macrophytes enracinés (ex : *Phragmites australis*, *Glyceria aquatica*; 95 et 160 m²). Le bassin de stockage occupe 100 à 180 m² selon le niveau d'eau.

1.2.3. Automatisation et gestion des ateliers

Un automate met en route les équipements en fonction des niveaux d'eau et de l'heure. Une partie des opérations est déclenchée manuellement (entretien de la porosité du lombrifiltre, récolte des macrophytes ou du lombricompost).

1.3. Mesures

1.3.1. Flux

Le volume de chasse est fixé par le basculement des bacs. Les masses de macrophytes récoltées sont pesées.

1.3.2. Concentrations

Les concentrations des plantes (N, P, K) ont été analysées avec des méthodes standard (Agrilabo, Morlaix). Les concentrations dans l'eau (N, P, K) ont été analysées avec des méthodes simplifiées (Hach Lange).

Les concentrations en germes indicateurs de contamination microbienne (*E. Coli*, enterococci, *Clostridium perfringens*) ont été mesurées par dénombrement après incubation.

Parmi les polluants émergents, les perturbateurs endocriniens peuvent être considérés en élevage. Leur concentration a été évaluée par dilution croissante, sur des cultures de cellules sensibles à la présence de substances interagissant avec le récepteur des estrogènes. Les concentrations en 17 β-estradiol ont servi de référence (E₂-eq/L).

1.4. Modélisation des flux de nutriments

Un modèle statique a été développé en utilisant les concentrations moyennes sur une période de 3 mois sans changement de configuration ni de gestion (Landrain et al., 2009). Les coefficients calibrés sur cette période ont ensuite été utilisés dans un modèle

dynamique, basé sur un bilan de masse au pas de temps journalier qui utilise en entrée les observations de pluie, d'évapotranspiration potentielle et l'effectif de porcs de la salle d'élevage et calcule les niveaux d'eau, les concentrations et l'accumulation de C, N, P, K dans les macrophytes et les matières organiques, les pertes gazeuses.

2. RESULTATS

2.1. Evolution des concentrations

2.1.1. N, P, K

La Figure 2 montre la diminution régulière des concentrations pour une période de 3 mois sans changement de saison ou de configuration, tandis que le Tableau 1 montre la variabilité des concentrations au cours de neuf mois de mesures.

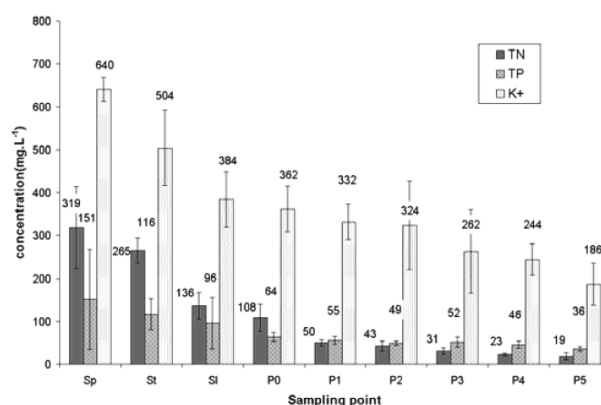


Figure 2 - Concentrations en N, P, K dans le dispositif au cours d'une période stable (moyennes août à octobre 2008). Les barres indiquent l'écart type. (d'après Morand et al., 2009).

Les concentrations moyennes varient fortement au niveau de la porcherie (Tableau 1) en raison des variations d'effectifs et d'aliments consommés. Puis la variabilité décroît avec les concentrations.

Tableau 1 - Concentrations moyennes (août 2008 – avril 2009) et variabilité observées sur 4 saisons.

	MS (g/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
Sp	4,1 (±1,2)	351 (±92)	143 (±85)	682 (±96)
St	3,7 (±1,4)	499 (±555)	111 (±36)	627 (±172)
Sl	2,3 (±0,4)	302 (±395)	97 (±40)	457 (±128)
P0	1,9 (±0,3)	118 (±64)	66 (±14)	434 (±107)
P1	1,7 (±0,3)	112 (±125)	58 (±12)	417 (±109)
P2	1,4 (±0,4)	68 (±32)	50 (±10)	372 (±108)
P3	1,3 (±0,5)	48 (±24)	52 (±9)	326 (±113)
P4	1,4 (±0,3)	35 (±22)	51 (±11)	297 (±81)
P5	1,1 (±0,5)	21 (±7)	38 (±7)	221 (±62)

Les concentrations sont relativement plus élevées pour le phosphore et le potassium, montrant ainsi que les fortes charges imposées par l'élevage conduisent rapidement à une saturation des sites ayant pu absorber ces éléments, et en conséquence à un relèvement des teneurs dans l'eau. Néanmoins la quantité totale présente dans l'eau en circulation reste négligeable en regard des quantités générées

par la porcherie. Par conséquent, la stabilité des concentrations à un niveau faible sur plusieurs mois dans le bassin de stockage (Tableau 1, P5) montre que les éléments excrétés sont nécessairement retenus et exportés par le fonctionnement biologique des compartiments. Pour le potassium, les quantités exportées *via* les plantes récoltées restent nettement inférieures au déficit entre deux niveaux. Il est donc probable que tous les éléments, notamment le potassium, sont retenus dans tous les compartiments (productions animales, végétales et de matières organiques « mortes »).

2.1.2. Indicateurs de contamination microbienne

Les indicateurs de contamination microbienne sont un élément important dans la décision de recycler l'eau vers certaines parties de l'élevage. Tous les indicateurs diminuent dans des proportions importantes (10 000 fois). Cette diminution est beaucoup plus forte qu'avec un traitement classique (10 fois, Pourcher et al., 2008) ce qui rend le dispositif intéressant pour le recyclage d'eaux collectées dans différentes zones de l'élevage. Il conviendrait toutefois de s'assurer que les filtres plantés conduisent à une destruction de *C. perfringens* et non simplement à son stockage.

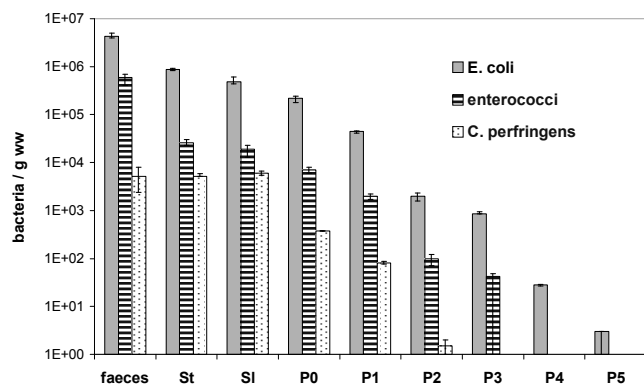


Figure 3 - Concentrations en *E. coli*, enterococci (décroissance régulière) et *C. perfringens* (diminution dans les filtres plantés surtout) dans le dispositif. Les barres indiquent les valeurs extrêmes (d'après Morand et al., 2009).

2.1.3. Perturbateurs endocriniens

L'eau n'étant pas rejetée dans le milieu aquatique, les perturbateurs endocriniens ne présentent pas un risque environnemental dans ce type de dispositif.

Les observations montrent une décroissance régulière entre la sortie de porcherie (1011 ng E₂-eq/L) et le bassin de stockage (2 ng E₂-eq/L). L'amplitude de la décroissance s'avère intéressante pour élaborer des stratégies de mesures adaptées à ce type de polluant émergent, utilisables dans le milieu naturel, et pour détecter de façon précoce les perturbations induites sur des animaux qui viendraient s'alimenter dans le milieu, voire identifier d'éventuels indicateurs.

2.2. Production de biomasse

La production de biomasse est faible en hiver et forte en été. Elle atteint un niveau voisin de 20 t matière sèche par hectare et par an. La production hebdomadaire atteint 30 t plantes fraîches par hectare dans les lagunes en été. Cela permet une exportation élevée des nutriments mais oblige à des récoltes fréquentes et un usage local en raison de la forte teneur en eau des plantes (95%).

Azolla filiculoides a été testée en complément d'alimentation à volonté (1 kg/porc/j), sur quatre porcs de l'infirmerie.

Les porcs n'ont pas présenté de signes cliniques particuliers et les indices de consommation par rapport à la matière sèche sont restés comparables à ceux de quatre porcs témoins nourris sans azolla. Par contre les croissances ont été réduites du fait d'une moindre consommation de matière sèche totale.

2.3. Charges en eau et nutriments

Pour une année et par place de truie, nous estimons la consommation d'eau à 58 m³ et les productions de C, N, P, K à respectivement 88, 19, 6,1, et 27 kg.place⁻¹.an⁻¹.

La capacité des différents ateliers à exporter des nutriments est considérable (Tableau 2) car l'eau et les nutriments y sont moins limitant que dans des cultures et rotations traditionnelles.

L'azote est soit retenu soit volatilisé. Le phosphore et le potassium sont retenus dans les plantes et les matières organiques produites sur le dispositif. Les plantes peuvent être réutilisées sur l'élevage en alimentation, paillage, compostage ou méthanisation, en vue de réduire la consommation d'aliment des animaux ou en vue d'exporter des engrais et amendements organiques riches en carbone stable, dans la perspective de relever les teneurs en matière organique de sols déficitaires en apports organiques et se rapprocher ainsi des teneurs observées dans les régions d'élevage.

Tableau 2 - exportations (densités de flux) calculées à partir du tableau 1

	C	N	P	K
	tonnes exportées/ha.an			
lombrifiltre & tamis	263	14	13	66
décanteur	58,4	53,7	9,1	6,7
lagune 1	35,4	2,1	2,8	6,0
filtre 2	28,2	8,3	1,5	8,5
lagune 3	18,6	7,4	-0,7	17,1
filtre 4	-5,4	1,4	0,1	3,1
bassin 5	17,0	1,6	1,5	8,6

2.4. Modélisation

La modélisation statique (Figure 4) permet de situer le niveau de concentration des différents ateliers et d'y adapter les productions les plus faciles à valoriser localement.

Elle n'est pas suffisante pour le dimensionnement du dispositif. Celui-ci doit prendre en compte le ralentissement hivernal des productions qui se traduit par une accumulation d'éléments dans les compartiments. Cette accumulation ne doit pas conduire à des conditions toxiques lors du redémarrage au printemps.

C'est pourquoi une modélisation dynamique est apparue nécessaire pour le dimensionnement des ateliers. Elle permet non seulement d'adapter les volumes de stockage aux conditions de pluie et d'évapotranspiration, mais aussi d'adapter les surfaces de productions végétales à l'exportation des éléments stockés en période froide en plus des éléments apportés en continu par la porcherie.

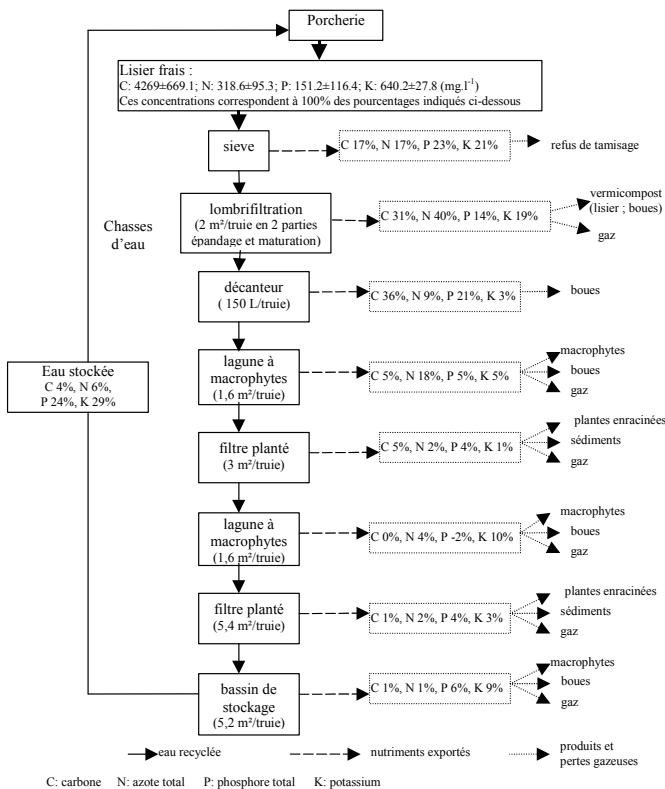


Figure 4 - Répartition du carbone et des nutriments, calculée sur la période d'août à octobre 2008.

3. DISCUSSION

3.1. Intérêt du recyclage de l'eau pour accroître les flux exportés

L'intérêt majeur du recyclage de l'eau au sein de l'élevage est d'accroître l'efficacité des ateliers à exporter des éléments initialement très dilués. Ceci est clairement montré par les observations relatives au potassium : l'exportation du potassium à la mise en route du dispositif étant inférieure aux apports, la teneur des eaux a augmenté jusqu'à un palier dépendant de la croissance des macrophytes flottants. La seule production végétale n'explique pas la stabilisation de la concentration. La rétention de potassium par le lombrifiltre et le décanteur montre que les matières organiques « mortes » ont également participé à son exportation.

3.2. Différences entre « recyclage » et « traitement »

La logique du traitement vise à éliminer des éléments, hiérarchisés par impact polluant décroissant. A l'inverse le recyclage cherche à conserver ces éléments en les associant en fonction d'usages ultérieurs. Dans le premier cas, on cherche à minimiser un coût pour respecter une réglementation *a priori* contre-productive. Dans le second on cherche à maximiser la valeur d'une production en s'adaptant à une segmentation des besoins de la société, à des spécificités locales, à des coproduits sous-valorisés. Le traitement optimise le retour vers le milieu naturel, à l'inverse le recyclage maximise la longueur de l'arborescence de productions qui fournissent chacune de nouveaux coproduits à recycler.

Les technologies et pratiques actuelles peuvent être utilisées dans les deux cas. Néanmoins, si la logique de traitement n'est pas reléguée au second plan, la logique de recyclage risque de

ne pouvoir allonger l'arborescence des productions possibles, faute de certains éléments nutritifs. Dans le cas idéal, c'est l'usage en aval qui devrait spécifier les produits et quantités sortant des ateliers en amont, et les indicateurs actuels d'impacts polluants (flux polluant / kg produit) devraient être précédés d'indicateurs d'efficacité des intrants (kg produit / unité de ressource naturelle ; nombre de cycles de production, diversité des usages sociétaux, nombre et diversité des consommateurs par unité de ressource naturelle).

3.3. Besoins émergents liés à l'intensification du recyclage

L'intensification du recyclage des éléments par unité de surface et au sein des élevages actuels induit de nouveaux besoins, en particulier une meilleure coordination entre disciplines scientifiques et avec les organismes de développement.

Si ce type de dispositif est mis en œuvre, il conviendra de maintenir la protection sanitaire sur les zones vulnérables en attribuant l'usage d'eau recyclée, la consommation de macrophytes en paillage ou bien en alimentation, à des animaux de moins en moins productifs et en intégrant l'usage de macrophytes pour du compostage et l'usage d'une partie des eaux pour de l'arrosage.

Le développement de productions non alimentaires est une opportunité pour allonger les cycles des éléments, diversifier les conditions de milieu au cours de ces cycles, équilibrer les consommations des macro- et oligo-éléments et ainsi certifier davantage de réductions de rejets dans les milieux naturels, augmenter la diversité des espèces végétales et animales élevées, mais il faut rester vigilant quant au caractère invasif de plantes ou d'animaux importés.

Si le recyclage augmente, la complexité et la diversité des situations seront telles qu'il est impossible que les chercheurs et les filières anticipent tous les risques qui peuvent survenir. Pour autant, traiter et rejeter dans le milieu naturel sans recycler conduirait à épuiser la planète. Il paraît donc important que se développe parallèlement au recyclage une vigilance sanitaire et environnementale destinée à détecter précocement les dangers et leur dynamique d'évolution. Celle-ci permettra d'identifier des questions cruciales et d'adapter les moyens scientifiques et techniques à l'importance des enjeux.

L'intensification du recyclage induit une gestion différente des flux d'eau, de carbone, et d'éléments fertilisants. Par ailleurs les questions sanitaires et de qualité des produits doivent être abordées parallèlement aux questions de nutrition ou de fertilisation. Il en résulte le besoin de compléter les approches disciplinaires par des travaux aux interfaces entre les disciplines, et l'intérêt de mobiliser des dispositifs expérimentaux variés pour s'assurer que des modèles destinés à un usage professionnel sont effectivement valides dans les situations réelles.

CONCLUSION

La mise en œuvre du recyclage de l'eau pour le lavage des déjections en élevage, en association avec des ateliers de production biologique, augmente la capacité du système de production à exporter les nutriments excrétés par les animaux.

Par rapport à une valorisation du lisier par épandage classique, ce type de dispositif permet à la fois des charges élevées (baisse des surfaces nécessaires), des productivités végétales

accrues (levée des facteurs limitant eau et nutriments), une diversification des productions avec la possibilité d'élever des animaux saprophytes et une valorisation plus complète des nutriments excrétés. Il peut s'avérer salvateur dans des zones à fort risque environnemental.

Cependant ce type de système est un peu plus complexe à gérer que le seul élevage, à l'instar des productions bovines associées à l'herbe pâturée, en raison de la dépendance accrue entre les différents ateliers et vis-à-vis du climat.

Si le recyclage des nutriments est une nécessité absolue pour éviter l'épuisement des ressources et la pollution des milieux, il convient de développer ces systèmes avec vigilance et probablement en améliorant la réactivité de la recherche et du développement par rapport aux problèmes environnementaux pouvant être détectés en conditions commerciales, à l'instar de ce que l'on constate actuellement sur le plan de la gestion sanitaire des filières agroalimentaires.

REMERCIEMENTS

Cette recherche conduite à la station régionale de Guernévez a été financée par les Chambres d'Agriculture de Bretagne, le Conseil Régional de Bretagne, le Conseil Général du Finistère, l'Union Européenne (FEOGA n° 8089), le programme « Porcherie Verte » de l'INRA, les PRA (E00-01, E03-03), le P2R « eau », le projet ARCUS 2006 Languedoc Roussillon/Chine, le programme « Ingénierie écologique » du CNRS et le programme PITE-Eau. Nous remercions chaleureusement J. Callarec, M.B. Bouché, J. Aubin, J.P. Qiu, Y. Li, J.M. Paillat, Y. Cadiou, G. Hamon, M. Chartier, K. Crenn, C. Amblard, Y. Mocaer, Luth, S. Fiévet, D. Le Thoer, D. Oudart, C. Pain Le Quéré, A. Rivoal, M.A. Revaka pour leur aide et leurs conseils au cours de ces différents programmes, ainsi que E. Bleunven, Y. Moysan, R. Derrien, M. Toudic, M. Lecomte et P. Germain pour leur participation aux expérimentations et leurs suggestions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Landrain B., Robin P., Morand P., Pourcher A.M., Oudart D., Fiévet S., 2009. Association lombrifiltre et lagunage - Efficacité prouvée à Guernévez. *Atout Porc Bretagne*, 51, 4-8.
- Li Y.S., Robin P., Cluzeau D., Bouché M.B., Qiu J.P., Laplanche A., Hassouna M., Morand P., Dappelo C., Callarec J., 2008. Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: Monitoring methodology on an experimental farm. *Ecological Engineering*, 32(4), 301-309.
- Mitsch W.J., 1993. Ecological Engineering - A Cooperative Role with the Planetary Life Support Systems. *Environmental Science & Technology*, 27, 438-45.
- Morand P., Robin P., Pourcher A. M., Oudart D., Fievet S., Luth, Cluzeau D., Picot B., Landrain B., 2009. Design of an integrated piggery system with recycled water, biomass production and water purification by vermiculture, macrophyte ponds and constructed wetlands. 8th IWA Conference Ponds' 26-30/04/2009 Belo Horizonte, Brazil, 8p.
- Pourcher A. M., P. Fravallo, P. Dabert, 2008. Impact du traitement biologique du lisier de porcs sur les germes d'intérêt sanitaire : exemple de 17 élevages bretons. *Journées de la Rech Porcine*, 40, 19-24
- Rees W.E., 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leave out. *Environment and Urbanization*, 4 (2), 120-130.
- Sevrin-Reyssac J., 1999. Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Ed. Tech.& Doc./Lavoisier, ISBN 2743000422, 118 p.