

Traitements pour améliorer l'efficacité de l'azote du lisier

Christine Bosshard¹, René Flisch¹, Jochen Mayer¹, Sonja Basler², Jean-Louis Hersener³, Urs Meier⁴, Walter Richner¹

¹Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

²LZ Liebegg, 5722 Gränichen

³Ingenieurbüro Hersener, 8542 Wiesendangen

⁴Meritec GmbH, 8357 Guntershausen

Renseignements: Christine Bosshard, e-mail: christine.bosshard@art.admin.ch, tél. +41 44 377 71 11



Photo: Jochen Mayer, ART

Essais en pots avec du maïs et du blé de printemps pour déterminer l'efficacité de l'utilisation de l'azote du lisier traité.

Introduction

Les engrais de ferme (lisier et fumier) jouent un rôle clé pour nourrir les plantes dans les pratiques agricoles. Les éléments nutritifs contenus dans les engrais de ferme sont des facteurs de production non négligeables. L'azote (N) notamment revêt une importance particulière pour le rendement des cultures. Une partie de l'azote des engrais sert à élaborer des produits végétaux et animaux, tandis que le reste se fixe dans les matières organiques du sol (immobilisation), s'évapore sous forme de gaz ou se perd par lessivage. L'élevage des animaux destinés à produire du lait ou de la viande engendre des quantités considérables d'engrais de ferme. Les excédents de N dus à une trop forte charge d'animaux de rente dans certaines régions augmentent le risque d'émissions de N. Les pertes d'azote non seulement nuisent à l'environnement (acidification et

fertilisation excessive d'écosystèmes naturels, atteinte aux eaux de surface et à la nappe phréatique, renforcement de l'effet de serre), mais diminuent aussi l'efficacité du système. Les plantes n'absorbent en moyenne que 50 % environ de l'azote des engrais minéraux, mais elles en utilisent encore moins et de façon beaucoup plus variable lorsqu'il s'agit d'azote provenant d'engrais de ferme (Dobermann 2005 ; Gutser et al. 2005). Il faut donc augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'azote (EUA) des engrais de ferme et réduire la perte des composés azotés pouvant influencer sur l'environnement. Les nouvelles technologies de traitement des engrais de ferme, comme la fermentation anaérobie (FA) du lisier pour la production de biogaz, combinées avec les techniques de séparation membranaire (ultrafiltration UF et osmose inverse OI), promettent une amélioration de l'EUA du lisier. Le traitement technique du lisier offre encore d'autres

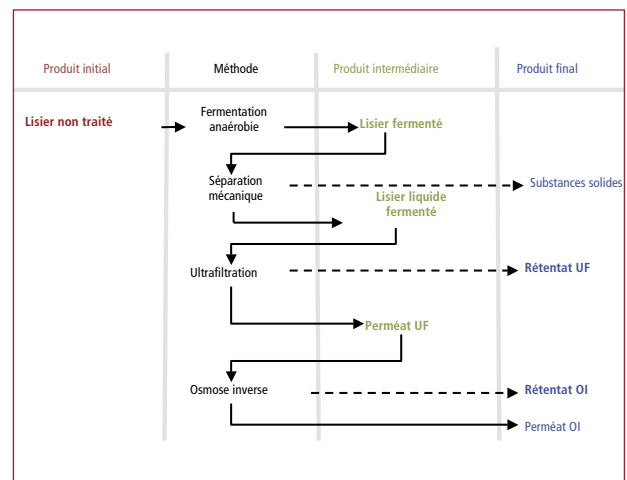


Figure 1 | Etapes de traitement du lisier pour l'obtention des différents produits fertilisants. Seuls les produits en caractères gras ont été testés dans les essais en pots et au champ.

avantages, comme la réduction du volume à transporter et la production d'énergie renouvelable (biogaz).

Au cours de cette étude, divers produits fertilisants obtenus par traitement du lisier (FA, UF, OI) ont été testés dans des essais en pots et au champ dans le but de contribuer à améliorer l'EUA et à réduire les pertes de N. Nous avons également étudié en quoi le traitement pouvait influencer les propriétés du lisier de porc.

Matériel et méthodes

Fermentation anaérobie combinée au procédé de séparation membranaire

Les différentes étapes du traitement sont présentées à la figure 1. Le lisier de porc est d'abord fermenté en milieu anaérobie, puis travaillé mécaniquement afin de séparer la substance solide du lisier liquide. Dans une deuxième étape, le lisier liquide fermenté est traité par séparation membranaire (UF et OI). Lors de l'ultrafiltration, le lisier liquide est filtré par pression à travers une membrane semi-perméable. Les substances de poids moléculaire élevé (bactéries, protéines, macromolécules etc.) sont retenues par la membrane (fig. 2). Il en résulte un débit partiel concentré, le rétentat UF. La membrane laisse passer un débit partiel moins concentré de substances à faible poids moléculaire (p. ex. les ions), le perméat UF. Dans une dernière étape, le perméat UF est encore traité par osmose inverse (fig. 3). En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, le liquide plus fortement concentré passe par la membrane semi-perméable en direction de la solution moins concentrée (le contraire de l'osmose [fig. 2]). Les substances à faible

Résumé Les émissions d'azote des écosystèmes agricoles dans l'atmosphère ont augmenté ces dernières décennies en raison de l'intensification de la production agricole. L'agriculture est la principale source d'émission de composés azotés, comme l'ammoniac, les nitrates et le gaz hilarant, qui peuvent avoir des effets négatifs sur l'environnement. L'utilisation efficace de l'azote des engrais et la réduction des émissions d'azote sont donc des problèmes urgents à traiter dans la plupart des pays industrialisés. C'est pourquoi les nouvelles technologies de traitement des engrais de ferme, comme la fermentation anaérobie du lisier, combinées avec l'ultrafiltration et l'osmose inverse, peuvent intéresser l'agriculture, car elles permettent d'optimiser l'utilisation des éléments nutritifs, de réduire le volume de lisier à transporter et de produire une énergie renouvelable. Au cours de cette étude, les propriétés du lisier fermenté et de produits fertilisants ont été étudiées en procédant à une séparation membranaire (ultrafiltration et osmose inverse) et l'efficacité apparente de l'utilisation de l'azote a été déterminée par méthode différentielle lors d'essais en pots et au champ. Le traitement du lisier permet d'augmenter la teneur en azote ammoniacal dans les fertilisants traités, ce qui améliore la disponibilité de l'azote pour les plantes. Mais comme le pH augmente aussi pendant le traitement, le risque de pertes d'azote gazeux suit cette même tendance pendant l'entreposage et l'épandage. Les nouvelles technologies de traitement, alliées à des techniques d'épandage peu polluantes, peuvent améliorer l'absorption de l'azote du lisier et réduire les émissions d'azote dans l'environnement.

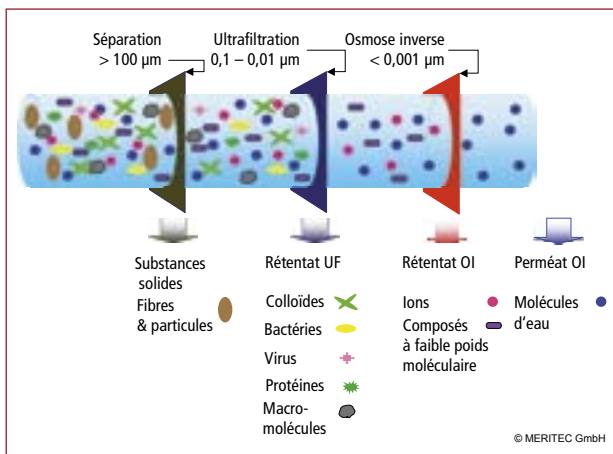


Figure 2 | Séparation de la matière par filtration et passage à travers une membrane semi-perméable (ultrafiltration UF et osmose inverse OI) durant le traitement du lisier.



Figure 3 | Installation de traitement par osmose inverse.

poils moléculaire qui traversent encore la membrane lors de l'ultrafiltration sont alors retenues sous forme de rétentat OI et concentrées une nouvelle fois. Les molécules d'eau, par contre, peuvent passer par la membrane et aboutir dans le perméat OI. Hormis les substances solides et le perméat OI, tous les produits intermédiaires et finaux résultant du traitement du lisier (fig. 1) ont été caractérisés et leur EUA a été déterminée dans des essais en pots et au champ.

Essais en pots et au champ

Les essais en pots ont été réalisés avec du blé de printemps (*Triticum aestivum* L. var. Fiorina) et du maïs (*Zea mays* var. Delitop) dans la halle de végétation d'ART; les essais au champ ont eu lieu sur deux sites (Zürich-Affoltern et Oensingen) avec du blé d'automne (*Triticum aestivum* L. var. Zinal). Un dispositif en blocs complètement randomisé a été choisi, avec quatre répétitions pour chaque produit fertilisant.

Les procédés de fertilisation analysés sont les suivants:

- Lisier de porc non traité (produit initial)
- Lisier de porc fermenté
- Lisier liquide fermenté
- Rétentat UF
- Perméat UF
- Rétentat OI
- Sulfate d'ammonium obtenu par stripage de l'ammoniac (seulement pour les essais en pots)
- Engrais minéral (nitrate d'ammonium)
- Procédé témoin dans les cultures non fertilisées.

La fumure comptait au total 1 g d'azote minéral par pot (0,038 m²) pour le blé de printemps et 1,3 g pour le maïs. Cette quantité était de 135 kg N/ha dans les essais au champ avec le blé d'automne.

Calculs

L'efficacité apparente de l'utilisation de l'azote dans les divers produits fertilisants a été calculée à l'aide de la méthode différentielle (Muñoz *et al.* 2004):

$$\text{EUA (\%)} = \left[\frac{\text{absorption de } N_{\text{fertilisée}} - \text{absorption de } N_{\text{non fertilisée}}}{\text{total de } N_{\text{fertilisée}}} \right] \times 100$$

où l'absorption de $N_{\text{fertilisée}}$ (g/pot ou kg/ha) correspond à l'absorption d'azote par la biomasse aérienne dans une culture fertilisée avec de l'azote et l'absorption de $N_{\text{non fertilisée}}$ (g/pot ou kg/ha) équivaut à l'absorption d'azote par la biomasse aérienne dans une culture non fertilisée. Le total de $N_{\text{fertilisée}}$ (g/pot ou kg/ha) représente la quantité totale d'azote épandu. L'absorption de N par les plantes dans les cultures non fertilisées correspond à la quantité totale d'azote prélevé dans le sol. La différence d'absorption d'azote entre les cultures fertilisées et non fertilisées correspond donc à la quantité d'azote prélevé dans les engrais en question.

Analyse statistique

Une analyse de variance a été réalisée avec le programme SYSTAT 11 (logiciel Systat Inc., USA). L'effet sur l'EUA des fertilisants analysés a été vérifié à l'aide du «*General Linear Model*» (GLM) sur la base du dispositif d'essai en «blocs» complètement randomisés. En cas d'effet significatif, le test HSD de Tukey a été réalisé avec un niveau de signification de $P \leq 0,05$. Les pourcentages ont été transformés en arcsin pour l'analyse de variance.

Tableau 1 | Caractéristiques (matière sèche [MS], valeur pH, N total [N_{tot}], azote ammoniacal [$NH_4\text{-N}$]) de divers produits fertilisants obtenus par traitement du lisier

Produit fertilisant	MS	pH (H ₂ O)	N_{tot}		Part de $NH_4\text{-N}$ du N total (%)
	(%)		(g/kg MS)		
Lisier de porc non traité	2,8	8,26	4,6	3,1	67,4
Lisier de porc fermenté	1,9	8,30	3,9	3,4	87,2
Lisier liquide fermenté	1,9	8,52	4,0	3,4	85,0
Rétentat UF	4,6	8,53	6,0	3,8	63,3
Perméat UF	1,1	8,68	3,4	3,3	97,1
Rétentat OI	3,7	8,81	7,8	7,6	97,4

Résultats et discussion

Influence du traitement sur les propriétés du lisier

Teneur en matière sèche

La fermentation anaérobie a réduit la teneur en matière sèche (MS) du lisier (tabl. 2). Cette réduction diminue la viscosité du lisier et améliore ainsi sa fluidité (Chatigny *et al.* 2004). Dès lors, le lisier s'écoule plus rapidement sur les plantes et pénètre plus vite aussi dans le sol, ce qui réduit les pertes d'azote gazeux. L'ultrafiltration et l'osmose inverse augmentent la teneur en MS dans les rétentats (tabl. 1).

Valeur du pH

Comme une partie de l'azote fixé organiquement se transforme en carbonate d'ammonium pendant la fermentation anaérobie, le pH du lisier augmente en général (Kirchmann et Witter 1992). Au cours de cette étude, le pH du lisier fermenté n'était cependant que légèrement supérieur à celui du lisier non fermenté, ce qui pourrait s'expliquer par le niveau du pH déjà relativement élevé dans le lisier non traité. La suite du traitement avec l'UF et l'OI a encore fait augmenter le pH dans le perméat et les rétentats (tabl. 1). A partir d'un pH de 7, l'équilibre de dissociation entre l'ammonium (NH_4) et l'ammoniac (NH_3) se décale en direction de concentrations de NH_3 plus élevées. Cela augmente le risque de pertes de NH_3 pendant le stockage et l'épandage (Pötsch *et al.* 2004). Les fertilisants à haute concentration de NH_4 doivent donc être incorporés dans le sol immédiatement après l'épandage.

Teneur en azote

Le processus de fermentation ne devrait modifier que légèrement – ou même pas du tout – la teneur absolue en N total, car seule une faible part de N peut être transférée dans le biogaz. Il n'a pas été possible d'expliquer clairement pourquoi la teneur en N total du lisier a diminué de 15 % après la fermentation (tabl. 1). La matière organique se dégrade pendant la fermentation. L'azote fixé organiquement est alors transféré par les micro-organismes en azote disponible pour les plantes, si bien que la teneur en NH_4 -N augmente tandis que celle en N organique diminue dans le lisier (Gutser *et al.* 2005). L'UF et l'OI ont encore fait augmenter la teneur en NH_4 -N, notamment dans le rétentat OI, alors que dans le rétentat UF, la part de NH_4 -N par rapport au N total était comparable à celle du lisier non traité (tabl. 1), probablement parce que, pendant l'UF, les composés de l'azote organique (comme les protéines) ne peuvent pas passer par la membrane semi-perméable et s'accumulent ainsi dans le rétentat

UF, tandis que les ions (comme le NH_4^+) traversent la membrane et aboutissent dans le perméat UF. La transformation de l'azote fixé organiquement en NH_4 -N pendant le traitement a fait augmenter la teneur en N directement disponible pour les plantes contrairement au lisier non traité. La libération de l'azote provenant du lisier traité devient ainsi plus prévisible, ce qui permet une utilisation plus précise du lisier azoté. Mais comme le pH du lisier augmente en même temps que l'accroissement de la teneur en NH_4 -N, le risque de pertes de NH_3 est plus élevé pendant le stockage et l'épandage.

Bilan de masse

Il ressort du bilan de masse que la concentration du lisier tout au long de la chaîne de traitement (FA, UF et OI) permet d'extraire une importante part d'eau de ce substrat. Le volume de rétentat OI a pu être réduit d'environ 60 % par rapport au lisier non traité (données non indiquées).

EUA des produits fertilisants issus du traitement du lisier

Essais en pots

Dans les essais en pots avec le blé de printemps et le maïs, les produits fertilisants issus du lisier traité ont généralement une meilleure EUA que le lisier non traité (tabl. 2). Le rétentat UF et partiellement aussi celui de l'OI y font exception. Comme nous l'avons déjà mentionné, et comme on le voit au tableau 2, les composés de l'azote organique s'accumulent dans le rétentat pendant l'UF, car ils ne peuvent pas passer à travers la membrane. Avec plus de 60 % de N directement disponible pour les plantes par rapport au N total, le rétentat UF était comparable au lisier non traité (tabl. 1). Par contre, le lisier fermenté, le perméat UF et le rétentat OI présentaient un taux de NH_4 -N du N total nettement supérieur, soit 87 %, resp. 97 % (tabl. 1). L'EUA était ainsi significativement plus élevée avec ces fertilisants qu'avec le rétentat UF ou le lisier non traité (tabl. 2). Malgré ce taux de 97 % de N directement disponible pour les plantes, l'utilisation de l'azote du rétentat OI par le maïs était modeste (tabl. 2), ce qui n'était pas le cas dans les essais en pots avec le blé de printemps. Il est possible que l'utilisation de N par le maïs – sensible au sel – ait été inhibée à cause de la forte concentration en sels dans le rétentat OI (données non indiquées).

Le lisier fermenté et les produits fertilisants issus de l'UF et de l'OI ont une EUA significativement plus basse que l'engrais minéral (nitrate d'ammonium [tabl. 2]). Seul le sulfate d'ammonium obtenu par stripage de l'ammoniac a atteint une EUA semblable à celle de l'engrais minéral (tabl. 2).

Tableau 2 | Efficacité apparente de l'utilisation de l'azote (EUA) de divers produits fertilisants étudiés lors d'essais en pots et au champ (déviations standard entre parenthèses ; n = 4)

Produit fertilisant	Essais en pots		Essai au champ de Zürich- Affoltern ^a
	Blé de printemps	Maïs	Blé d'automne
	EUA (%)		
Lisier de porc non traité	30,9 (4,3) d	28,0 (3,8) ce	37,1 (8,0) b
Lisier de porc fermenté	48,3 (4,3) c	52,6 (4,5) b	55,9 (11,3) ab
Lisier liquide fermenté	50,9 (4,2) bc	46,8 (2,3) b	56,3 (6,9) ab
Rétentat UF	36,8 (7,3) d	21,7 (1,2) e	42,9 (1,3) b
Perméat UF	58,2 (3,3) b	47,7 (2,6) b	53,7 (8,4) ab
Rétentat OI	50,1 (2,8) bc	36,6 (2,0) c	54,6 (7,3) ab
Sulfate d'ammonium ^b	77,0 (4,9) a	62,0 (4,7) a	n.u.
Engrais minéral ^c	67,8 (15,5) a	69,9 (4,7) a	63,3 (9,0)

^a Résultats du site de Zürich-Affoltern seulement, car il n'existe pas de différence significative entre les deux sites et pas d'interaction site x fertilisants dans les deux sites.

^b Obtenu par stripage d'ammoniac.

^c Nitrate d'ammonium.

n.e. non examiné.

Les moyennes comportant différentes lettres dans une colonne présentent des différences significatives selon le test de comparaison multiple de Tukey ($P \leq 0,05$).

Essais au champ

Lors des essais au champ, l'EUA de la plupart des produits fertilisants issus de la fermentation anaérobie, de l'UF et de l'OI, ne se différencie pas statistiquement de celles du lisier non traité et de l'engrais minéral (tabl. 2). Cela pourrait être dû au fait que la variabilité constatée dans les essais au champ était plus élevée que dans les essais en pots. Toutefois, le blé d'automne tend à mieux utiliser l'azote des produits traités que celui du lisier non traité.

Bibliographie

- Chatigny M. H., Rochette P., Angers D. A., Massé D. & Côté D., 2004. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. *Soil Science Society of America Journal* **68**, 306 – 312.
- Dobermann A., 2005. Nitrogen use efficiency – state of art. Paper présenté au IFA International Workshop on enhanced-efficiency fertilizers, Frankfurt, Deutschland, 28 - 30 juin 2005.
- Gutser R., Ebertseder T., Weber A., Schraml M. & Schmidhalter U., 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **168**, 439 – 446.

Conclusions

- Il résulte des essais en pots et au champ que les produits fertilisants issus d'un traitement (rétentat UF, perméat UF, rétentat OI) se prêtent à la fumure agricole.
- Les nouvelles technologies de traitement du lisier, comme la fermentation anaérobie combinée avec l'ultrafiltration et l'osmose inverse, offrent la possibilité de rendre l'utilisation de l'azote du lisier plus efficace et de réduire les émissions d'azote dans l'atmosphère, pour autant que les produits de traitement soient stockés dans les règles de l'art et peu polluants à l'épandage (en utilisant par exemple une rampe à pendillards).
- Avec leur forte proportion d'azote directement disponible pour les plantes, notamment dans le perméat issu de l'ultrafiltration et dans le rétentat provenant de l'osmose inverse, ces produits peuvent remplacer les engrais minéraux, en partie tout au moins.
- En réduisant le volume de lisier à transporter, il est possible d'atténuer le problème des excédents régionaux d'azote (transport facilité dans des régions ayant besoin d'azote). ■

Remerciements

Les auteurs remercient l'OFAG ainsi que les cantons d'Argovie, d'Appenzell Rhodes-Extérieures et de Schaffhouse pour leur soutien financier.

- Kirchmann H. & Witter E., 1992. Treatment of solid animal manures: Identification of low NH_3 emission practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **52**, 65 – 71.
- Muñoz G. R., Kelling K. A., Powell M. J. & Speth P. E., 2004. Comparison of estimates of first-year dairy manure nitrogen availability or recovery using nitrogen-15 and other techniques. *Journal of Environmental Quality* **33**, 719 – 727.
- Pötsch E. M., Pfundtner E., Resch R. & Much P., 2004. Stoffliche Zusammensetzung und Ausbringungseigenschaften von Gärrückständen aus Biogasanlagen. In: Biogasproduktion – alternative Biomassennutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft, 10. Alpenländisches Expertenforum, Irdning, Österreich.

Riassunto**Migliorare l'efficacia dell'azoto del liquame attraverso la sua lavorazione**

Le emissioni atmosferiche di azoto degli ecosistemi agricoli sono aumentate nell'ultimo decennio, a seguito dell'intensificazione della produzione agricola. L'agricoltura è la principale fonte di emissioni di composti azotati quali ammoniaca, nitrati e protossido d'azoto che possono avere un impatto negativo sull'ambiente. Nella maggior parte dei paesi industrializzati l'utilizzo efficace dell'azoto contenuto nei concimi e la riduzione delle emissioni dannose per l'ambiente sono dunque dei problemi urgenti da trattare. Le nuove tecnologie per la lavorazione dei concimi aziendali, quali ad esempio la fermentazione anaerobica del liquame, in combinazione con l'ultrafiltrazione e l'osmosi inversa, possono rappresentare una soluzione allettante per l'agricoltura, in quanto potenzialmente in grado di ottimizzare l'impiego delle sostanze nutritive, ridurre i volumi di liquame da trasportare e generare energia rinnovabile. Nel presente studio sono state analizzate le proprietà di liquame fermentato e concimi ottenuti mediante membrane di ultrafiltrazione e osmosi inversa nonché la rispettiva efficienza apparente dell'azoto in base al metodo differenziale in prova in contenitori e sul campo. Attraverso la lavorazione del liquame il tenore in azoto ammoniacale dei concimi ottenuti aumenta, così come la quantità di azoto nel liquame disponibile per le piante. Siccome vi è pure un aumento del pH durante la lavorazione il rischio di perdite di azoto allo stato gassoso durante lo stoccaggio e lo spandimento segue la medesima tendenza. Le nuove tecnologie di lavorazione, se combinate con tecniche di spandimento a basso carico di emissioni, possono migliorare la gestione dell'azoto del liquame e ridurre le emissioni nell'ambiente.

Summary**Improving Nitrogen Efficiency via Slurry Treatment**

Over the last few decades, intensified agricultural production has greatly increased fluxes of nitrogen (N) between different compartments of the biosphere, and more specifically, emissions of N compounds from agroecosystems. Agriculture is one of the main emitters of N compounds (e.g. ammonia, nitrate, nitrous oxide) with negative impacts on the environment like greenhouse-gas emissions and contamination of surface and ground water. Greater efficiency in N-fertiliser use and the reduction of environmentally harmful N losses are therefore still urgent matters of concern for most industrial countries. New technologies such as anaerobic fermentation (AF) of slurry combined with subsequent ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) can be attractive options for agriculture, potentially enabling to optimise nutrient management, reduce volumes of transported slurry, and generate renewable energy. In this study, anaerobically fermented pig slurry and fertilizer products from the subsequent mechanical separation (UF and RO) were characterised and their apparent N-use efficiency determined in pot and field experiments by means of the difference method. Treatment of pig slurry with AF, UF and RO increased the ammonium N concentration, which improved plant N availability. Since the pH value also increases in parallel during treatment, the risk of gaseous losses during storage and application also rises. Nevertheless, new slurry-treatment technologies coupled with low-emission application techniques (e. g. spreader with trailed hoses) can potentially both increase the N efficiency of slurry and reduce N emissions to the environment.

Key words: anaerobic fermentation, nitrogen use efficiency, pig slurry, reverse osmosis, ultrafiltration.