

Effacité des coûts des couvertures des réservoirs à lisier

Diminution des émissions et rentabilité

Dunja Dux, Ludo Van Caenegem, Beat Steiner et Robert Kaufmann, Agroscope FAT Tänikon, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles, CH-8356 Ettenhausen
E-Mail: dunja.dux@fat.admin.ch.



Fig. 1: Les émissions d'ammoniac d'un réservoir à lisier ouvert (gauche) peuvent être nettement réduites par une couverture (toit conique bûché, droite).

En Suisse, les émissions d'ammoniac proviennent principalement de l'agriculture et, pour cette dernière, avant tout de la production animale. L'ammoniac (NH_3) est produit le long de toute la chaîne du lisier – étable, stockage, épandage et pâturage. Le taux d'émission dans les différents secteurs s'influencent mutuellement. La part des pertes pendant le stockage oscille entre quelques pourcents lors d'un stockage couvert avec un lisier à faible teneur en azote soluble (N_{soluble}), à un quart de l'ensemble des pertes d'ammoniac de toute l'exploitation avec un réservoir ouvert combiné à une stabulation et un épandage pauvre en émissions.

On a déterminé les coûts annuels supplémentaires en tenant compte des réductions de frais et des diminutions d'émissions, pour six différentes couvertures (pour la description technique, voir Van Caenegem et al. 2005). L'efficacité des coûts calculée (coût par kilo d'azote ammoniacal réduit) représente un chiffre-clé idéal pour la comparaison, car à côté des aspects économiques, les

aspects écologiques sont aussi intégrés. Des couvertures avec de hauts potentiels de prestations propres et des matériaux avantageux ont une plus grande efficacité des coûts que les couvertures commercialisées sur le marché, même si – comme pour la couverture flottante en billes d'argile expansée – la réduction des émissions est plus basse. A cause de l'humidité environnante, la durée de vie des constructions en bois est limitée, c'est pourquoi une construction propre ne peut être conseillée qu'avec réserve.

La marge de fluctuation pour l'efficacité des coûts est frappante. Elle montre que la couverture du réservoir à lisier d'une exploitation peut être très efficace si dans les secteurs précédant ou suivant le stockage, c'est-à-dire la stabulation resp. l'épandage, il y a déjà peu d'émissions. Toutefois, une couverture sera nettement moins efficace s'il y a déjà beaucoup de pertes d'ammoniac au niveau de l'étable, de l'aire d'exercice et de l'épandage, ou s'il y a beaucoup de pâture.

Contenu	Page
Problématique	2
Réduction des pertes d'ammoniac lors du stockage du lisier	2
L'efficacité des coûts comme valeur de comparaison	3
Moins de pertes d'ammoniac par la couverture des réservoirs à lisier	3
Investissements et coûts annuels	6
Efficacité des coûts des couvertures des réservoirs à lisier	8
Conclusions	9
Bibliographie	9

Problématique

Dans l'agriculture, l'ammoniac se forme principalement quand les excréments des animaux entrent en contact avec l'air. L'azote gazeux se forme à partir des composés organiques azotés. Dans l'agriculture, ces émissions d'ammoniac représentent une perte de substances nutritives. Dans les écosystèmes naturels (p. ex. forêt, marais), elles provoquent une surfertilisation et une acidification du sol. Des pertes d'ammoniac ont lieu le long de toute la chaîne du lisier. Bien que lors de l'épandage des engrais de ferme, les émissions d'ammoniac soient proportionnellement plus importantes que lors du stockage, le stockage du lisier n'est pas à négliger. Par la couverture des réservoirs à lisier, les pertes d'ammoniac peuvent être fortement réduites. Jusqu'à présent en Suisse, ce sont les fosses en béton fermées qui se sont imposées comme couverture. Ces dernières années, on trouve de plus en plus de couvertures flottantes ou de toits coniques pour les nouveaux silos à lisier. Dans la plupart des cantons, suite à l'Ordonnance sur la protection de l'air (2004), les nouvelles installations doivent être couvertes. Pour les installations déjà existantes, il n'existe souvent pas de directives définies. Actuellement, la FAT examine la question de la sécurité des réservoirs (danger d'explosion). Pour comparer l'efficacité de coûts des différentes mesures de réduction, les coûts par kilo d'azote ammoniacal réduit (Fr./kg NH₃-N) représentent un paramètre idéal. Dans ce but, la réduction des émissions d'ammoniac au niveau de toute l'exploitation et les coûts annuels supplémentaires engendrés en tenant compte des économies réalisées (p.ex. en engrais minéraux) sont calculés.

Réduction des pertes d'ammoniac lors du stockage du lisier

L'ammonium se forme à partir de la décomposition microbienne de l'urine dans le lisier. L'ammonium dissous dans le lisier constitue la source permettant la libération d'ammoniac dans les couches d'air à la surface du lisier. La libération d'ammoniac est d'autant plus importante que le pH du

lisier est basique et que le lisier ainsi que les couches d'air à la surface du lisier sont chauds. Lors d'un fort échange d'air à la surface du lisier, et lors du brassage du lisier, les émissions d'ammoniac augmentent encore (Hartung 2002).

Il existe différentes approches visant à diminuer les pertes d'ammoniac (Van Caenegem et al. 2005). D'une part, on peut veiller à ce que moins d'ammoniac soit formé dans le lisier par une alimentation adaptée ou par des mesures permettant une réduction de la température du lisier. D'autre part, la libération dans l'air de l'ammoniac dissous peut être diminuée en réduisant le plus possible la surface d'émission, en interrompant le contact entre l'air et le lisier et en diminuant les échanges d'air à la surface du lisier.

Couches de matériaux en vrac et couvertures

Les couches de matériaux en vrac et les couvertures flottantes empêchent le passage de l'ammoniac de la phase liquide dans l'air en contact avec la surface. Les couvertures non flottantes limitent les échanges d'air à la surface du lisier. Une description technique des différents produits disponibles sur le marché pour couvrir les réservoirs à lisier, ainsi que les exemples de couvertures à faire soi-même se trouvent dans le rapport FAT No 631 (Van Caenegem et al. 2005).

Couches de matériaux en vrac

La stabilité et la formation d'une croûte flottante sont déterminantes quant à son aptitude à réduire les émissions. Il est important, pour la réduction des émissions d'ammoniac, que la couche ait une épaisseur suffisante et homogène, et qu'elle puisse durer. La formation de croûtes flottantes naturelles peut être renforcée par des matériaux en vrac (paille hachée, copeaux de bois). Avec les matériaux en vrac d'origine organique tels que la paille hachée, leur décomposition peut engendrer une augmentation de la libération de méthane ou de gaz hilarant. Les boules d'argile expansées brûlées (diamètre 4 à

8 mm) représentent, comme matériau en vrac d'origine inorganique, une alternative. Elles ne sont par contre adéquates que pour du lisier qui ne forme pas de croûte flottante naturelle. L'argile expansée est livrée dans une citerne et soufflée dans le silo à lisier. A l'heure actuelle, l'expérience montre qu'une couche régulière de 10 à 15 cm peut être atteinte. Il n'y a pas d'indication de problème lors de l'épandage, même avec une rampe d'épandage à tuyaux souples.

Les autorités d'exécution compétentes portent un jugement critique sur les couches de matériaux en vrac, à base de matériel organique ou inorganique, pour les nouvelles installations. Une couche de matériaux en vrac à base d'argile expansée ou de corps flottants en matériau synthétique peut pourtant être une alternative de couverture si elle est utilisée de manière appropriée.

Couvertures flottantes

Parmi les différents systèmes possibles, c'est surtout les couvertures par bâches qui se sont imposées. Les bâches flottantes ont l'avantage de nécessiter moins d'investissements que les toits coniques, de ne pas constituer une charge statique sur le réservoir et de ne pas être visibles de loin. Par contre, le contrôle du brassage est plus difficile et la pluie va, comme pour les réservoirs ouverts, s'écouler dans le lisier. A part les bâches disponibles sur le marché, une couverture flottante en bois peut être réalisée par soi-même (Van Caenegem et al. 2005).

Couvertures non flottantes

En Suisse, environ deux tiers du lisier est stocké dans des réservoirs couverts (Reidy et Menzi 2005). La plus grande partie de ces réservoirs sont des fosses à purin avec une couverture solide en béton. En Hollande où il existe une obligation de couvrir depuis 1991, c'est le toit conique bâché qui s'est imposé pour les silos à lisier. Au centre est monté un pilier pendulaire. Les pans de la bâche sont fixés au silo par des sangles de tension. Le toit conique bâché et la couverture solide en béton ont l'avantage

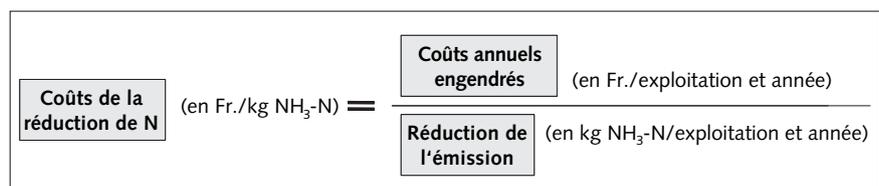


Fig. 2: Schéma de calcul de l'efficacité des coûts d'une mesure de réduction des émissions d'ammoniac.

de permettre un certain contrôle lors du brassage et d'évacuer les eaux de pluie. Le plus grand investissement de base et, pour le toit conique bâché, la charge des parois du réservoir par la neige ou la force du vent peuvent être considérés comme inconvéniants.

Pour réduire les investissements relativement élevés, on peut envisager de construire soi-même sa propre couverture. Le toit conique est construit sur une structure en béton et des montants en bois imprégnés, et recouvert d'un film en PVC armé comme pour les serres. La durée de vie de la construction en bois est limitée à cause de l'humidité permanente de l'environnement, c'est pourquoi une construction propre n'est recommandée qu'avec retenue et pour des réservoirs de petite taille.

L'efficacité des coûts comme valeur de comparaison

Les mesures visant à réduire les pertes d'ammoniac n'engendrent pas seulement des coûts supplémentaires, mais aussi des économies. Ainsi, en couvrant un réservoir ouvert, des économies d'engrais minéraux azotés peuvent par exemple être réalisées, car il reste plus d'azote disponible pour les plantes dans le lisier. L'utilité première de la couverture d'un réservoir à lisier reste toutefois la réduction des émissions d'ammoniac dans l'air. L'efficacité des coûts permet de concentrer en une valeur les aspects écologiques et économiques. Elle permet par ailleurs de comparer différentes mesures de réduction.

L'efficacité des coûts résulte de la division des coûts annuels supplémentaires engendrés par l'économie des pertes d'ammoniac due à la couverture du réservoir à lisier (fig. 2). Si une mesure occasionne comparativement de plus bas coûts par kilo d'azote ammoniacal (NH₃-N) économisé, elle est plus efficace, car elle permet de diminuer les pertes d'ammoniac à moindre coût.

Moins de pertes d'ammoniac par la couverture des réservoirs à lisier

Pour calculer l'efficacité des coûts des réservoirs à lisier, toute la chaîne du lisier doit être prise en considération. Cela signifie que la baisse des émissions d'ammoniac

Tableau 1: Comparaison de variantes (soit avec uniquement du lisier de bovin, soit uniquement du lisier de porc) pour le calcul d'efficacité des coûts. D = diamètre intérieur, H = hauteur intérieure, V = volume.

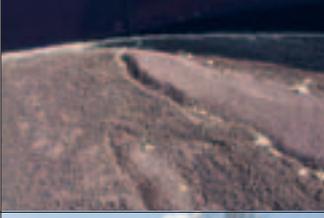
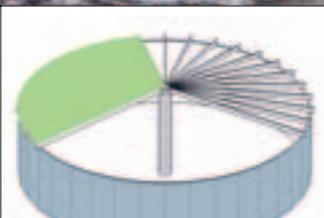
Couvertures	Réservoir à lisier taille A	Réservoir à lisier taille B	Réduction des émissions ¹⁾
Silo à lisier en acier émaillé ouvert	 D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³	D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m ³	0 % (Référence)
Silo à lisier avec croûte de billes d'argile expansées	 D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³	D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m ³	60 %
Silo à lisier avec bâche flottante	 D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³	D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m ³	80 %
Silo à lisier avec couvercle en bois flottant (auto-construction)	 D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m ³	–	80 %
Silo à lisier avec toit conique bâché	 D = 11 m H = 4.5 m V = 428 m ³	D = 15 m H = 4.5 m V = 795 m ³	80 %
Silo à lisier avec toit conique en film de PVC armé (autoconstruction)	 D = 11 m H = 4.5 m V = 428 m ³	–	80 %
Réservoir en béton, souterrain, rond et recouvert	 D = 12.5 m H = 3.5 m V = 430 m ³	D = 17 m H = 3.5 m V = 794 m ³	80 %

Photo: SPAA, Schöffland

¹⁾ Pourcentage de réduction d'émissions d'ammoniac par rapport à un stockage ouvert, au niveau du stockage des engrais de ferme

grâce à l'application de mesures appropriées doit être déterminée pour l'ensemble de l'exploitation et que les coûts supplémentaires engendrés doivent être calculés. De plus, il faut considérer deux types de lisier (le lisier de bovin et celui de porc) ainsi que six systèmes de couverture pour deux volumes de lisier différents (tab. 1). Les volumes des réservoirs se différencient suivant si l'eau de pluie est évacuée par la couverture, ou si elle s'écoule dans le lisier. Dans la pratique, la fosse à purin en béton fermée est limitée la plupart du temps à une profondeur de 3,5 m, à cause des performances d'aspiration de la pompe à lisier. Le diamètre s'agrandit en conséquence. Les couvertures en construction propre atteignent leurs limites avec les plus grands réservoirs. C'est pourquoi pour les réservoirs de grandeur B, les couvertures flottantes en bois et les toits coniques avec film en PVC armé ne seront donc pas inclus dans la comparaison.

Comme les différents secteurs de la chaîne du lisier d'une exploitation sont interdépendants, les économies d'émissions d'ammoniac réalisées lors du stockage du lisier impliquent de plus fortes émissions lors de l'épandage si la technique d'épandage reste la même. La teneur en azote des excréments lors de la défécation et l'importance des émissions au niveau de l'écurie influencent la teneur en azote du lisier au début du stockage et donc les émissions pendant le stockage. Pour tenir compte de ces effets, l'impact d'une mesure de réduction doit être calculé par rapport à la diminution des émissions sur l'ensemble de l'exploitation. Le modèle DYNAMO (Reidy et al. 2004) remplit ces exigences et a donc été utilisé pour le calcul de la diminution des émissions.

Deux situations d'émission ont chaque fois été calculées:

- Exploitation avec silo à lisier ouvert,
 - Exploitation avec réservoir à lisier couvert.
- La différence entre ces deux situations d'émission donne la diminution des émissions due à la couverture.

Deux simulations d'exploitation représentatives de la pratique ont été calculées, aussi bien pour le lisier de bovin que pour celui de porc, qui montrent ainsi la marge de fluctuation entre la limite inférieure et supérieure. Cette marge de fluctuation représente les exploitations couramment rencontrées sans conditions extrêmes d'émission. Une des simulations d'exploitation présente comparativement de faibles émissions avec un entreposage ouvert du lisier, ce qui provoque une faible baisse des émissions avec une couver-

Tableau 2: Les principales hypothèses formulées pour le calcul de la réduction des émissions lors de la couverture du lisier de bovin.

Lisier bovin complet (vaches laitières)	Simulation d'exploitation Perte au stockage basse	Simulation d'exploitation Perte au stockage haute
Système de stabulation	Stabulation libre à logettes, lisier complet	Stabulation entravée, lisier complet
Aire d'exercice	2.5 m ² /animal, solide 155 jours/année 24 heures/jour	8 m ² /Tier 90 jours/année 1 heures/jour
Pâturage	210 jours/année 9 heures/jour	150 jours/année 4 heures/jour
Alimentation	identique	
Stockage des engrais de ferme	Grandeur de silo identique Croûte flottante naturelle: pas assez formée Fréquence de brassage: 7-12 fois/année	
Epandage du lisier		
• Technique	Epandeur à large portée	Rampe d'épandage à tuyaux souples (à pendillards)
• Saison	40% du lisier entre juin et août	20% du lisier entre juin et août
• Moment	Jamais après 18 heures, parfois les jours chauds, rarement lors de légère pluie	33% après 18 heures, jamais les jours chauds, rarement lors de légère pluie
• Etat du sol	Souvent pris en considération	Souvent pris en considération

Tableau 3: Les principales hypothèses formulées pour le calcul de la réduction des émissions lors de la couverture du lisier de porc.

Lisier de porc complet (porcs d'engraissement)	Simulation d'exploitation Perte au stockage basse	Simulation d'exploitation Perte au stockage haute
Système de stabulation	Caillebotis partiels, lisier complet	
Courette	Solide, perforée 320 jour/année 24 heures/jour	Pas de courette
Alimentation	Alimentation par phase Teneur en protéine brute 15%	Pas d'alimentation par phase Teneur en protéine brute: 18%
Stockage des engrais de ferme	Grandeur de silo identique Croûte flottante naturelle: pas assez formée Fréquence de brassage: 7-12 fois/année	
Epandage du lisier		
• Technique	Epandeur à large portée	Rampe d'épandage à tuyaux souples (à pendillards)
• Saison	40% du lisier entre juin et août	20% du lisier entre juin et août
• Moment	Jamais après 18 heures, parfois les jours chauds, rarement lors de légère pluie	33% après 18 heures, jamais les jours chauds, rarement lors de légère pluie
• Etat du sol	Souvent pris en considération	Souvent pris en considération

ture (*perte au stockage basse*). Les faibles émissions lors de l'entreposage sont dues aux fortes pertes au niveau de l'écurie. De plus, une partie des émissions économisées par la couverture du réservoir à lisier est à nouveau perdue par une technique d'épandage relativement dispendieuse. La deuxième simulation d'exploitation montre comparativement de grandes émissions avec une installation de stockage de lisier ouverte et donc ainsi une forte baisse des émissions par une couverture (*perte au stockage haute*), car peu d'ammoniac est perdu au niveau de l'écurie, ou lors de l'épandage. Le tableau 2 montre pour le lisier de bovin, les hypothèses les plus importantes qui ont une influence dans le calcul de la réduction des émissions. Le tableau 3 représente les hypothèses pour le lisier de

porcs. D'après la littérature, certaines expériences de terrain ou de laboratoire montrant des résultats sur la réduction des émissions suivant le type de couverture de réservoir à lisier sont connues. Avec les billes d'argile expansées utilisées pour renforcer la formation de la croûte flottante, on a mesuré, dans différentes études, des réductions de pertes d'ammoniac allant de 50 à plus de 90 % (Karlsson 1996; Navarotto et al. 2003; Sommer et al. 1993). Pour les couvertures flottantes, d'après différentes expériences, les diminutions des émissions d'ammoniac s'élevaient plus haut, avec 70 jusqu'à près de 100 % (De Bode 1990; Sommer et al. 1993; Hüther et Schuchardt 1998). Pour les couvertures non flottantes, les réductions oscillent dans le même intervalle de grandeur que pour

les couvertures flottantes (De Bode 1990; Williams 1996). Les économies de pertes mesurées dans les différentes expériences avec différentes couvertures de réservoir à lisier rendent difficile l'introduction d'une unité de mesure de la réduction des émissions en raison des différentes conditions d'expérience et de méthodes de mesure.

C'est pourquoi, pour les calculs suivants, des hypothèses devaient être remplies (tableau 1). Le modèle DYNAMO a été adapté en conséquence. Si, en pratique, des mesures ultérieures devaient livrer d'autres valeurs, les calculs de réduction des émissions devraient être révisés. Les économies de pertes d'ammoniac

représentées dans la fig. 3 se basent, suivant les hypothèses de calcul décrites, sur les calculs avec le modèle DYNAMO. La marge de fluctuation des économies de pertes est plus grande pour le lisier de porc que pour le lisier de bovin, car les deux simulations d'exploitation se différencient plus fortement. La réduction des émissions par la couverture d'un réservoir à lisier est plus grande avec le lisier de porc qu'avec le lisier de bovin, car la teneur en $N_{soluble}$ est plus haute dans le lisier de porc. Pour la simulation d'exploitation *perte au stockage haute*, cet état de fait est à l'origine de la plus forte diminution des émissions avec le lisier de porc qu'avec le lisier de bovin, car vu qu'il y a moins de pertes d'azote au niveau de l'écurie, il y en a d'autant plus qui reste dans le lisier au niveau du stockage. Pour le modèle d'exploitation *perte au stockage basse*, une alimentation pauvre en azote et les pertes d'ammoniac au niveau de la stabulation contribuent à la faible teneur en $N_{soluble}$ du lisier pendant le stockage. Le toit conique en bâche, le toit conique avec film en PVC armé et la couverture en béton ont un impact un peu plus faible que les bâches flottantes ou les couvertures flottantes en bois sur la réduction des émissions, car, pour les premières, les eaux de pluie sont évacuées évitant ainsi de diluer le lisier. Les pertes sont, de ce fait, un peu plus importantes lors de l'épandage. Une croûte flottante en billes d'argile expansée n'obtient que de petites diminutions d'émission en raison du plus faible potentiel de réduction de pertes. Pour les calculs des simulations d'exploitation avec le lisier de bovin, les pertes lors du stockage du lisier vont pour un silo ouvert de 13% (*perte au stockage basse*) à 26% (*perte au stockage haute*) des émissions d'ammoniac de l'ensemble de la chaîne du lisier (fig. 4). C'est lors de l'épandage des engrais de ferme que se produit la plus grande partie des pertes avec 52%. Pour les calculs des simulations d'exploitation avec du lisier de porc, les pertes d'ammoniac lors du stockage du lisier dans des silos ouverts vont de 11% (*perte au stockage basse*) à 20% (*perte au stockage haute*). Pour ces exploitations aussi, les pertes d'ammoniac sont, comparées à tous les secteurs de la chaîne du lisier, les plus fortes au moment de l'épandage (41 à 48%). Si les réservoirs à lisier sont couverts, le stockage contribue de 3 à 12% pour le lisier de bovin et de 2 à 9% pour le lisier de porc à l'ensemble des pertes d'ammoniac, suivant le type de couverture et de simulation d'exploitation.

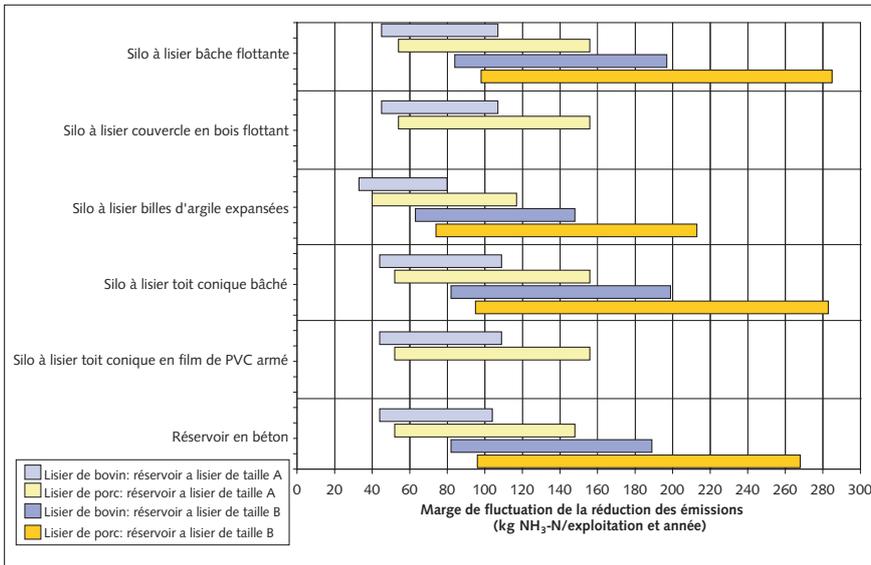


Fig. 3: Marge de fluctuation de la réduction des émissions pour différents types de couverture de silos à lisier pour les deux tailles de réservoir (voir tab. 1) et pour le lisier de porc et de bovin.

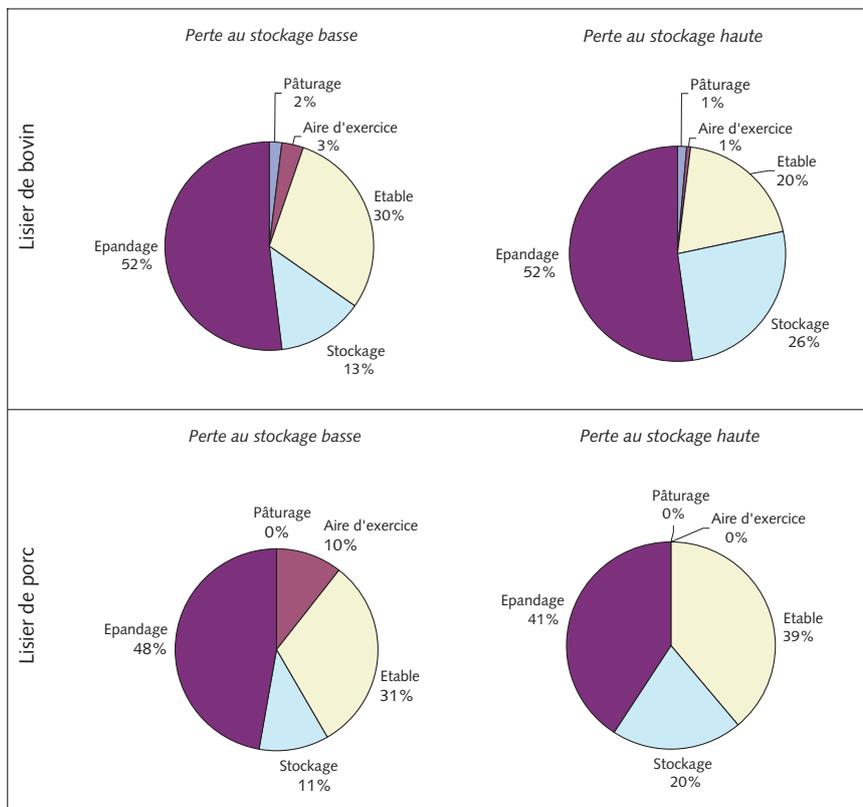


Fig. 4: Participation des différents secteurs de la chaîne du lisier à l'ensemble des pertes d'ammoniac pour des simulations d'exploitation avec des réservoirs à lisier ouverts (taille A).

Investissements et coûts annuels

Si des couvertures qui évacuent l'eau (toit conique en bâche, toit conique avec film en PVC armé, couverture bétonnée solide) sont choisies lors de la construction d'un nouveau réservoir à lisier, le volume du réservoir de lisier peu être diminué d'autant que celui de la quantité d'eau de pluie évacuée pendant la période de stockage hivernale (estimation: 5 mois). La moyenne suisse des précipitations est de 0,1 m³ de pluie par m² de surface et par mois (OFAG et OFEFP 1994) pendant 5 mois. Pour les variantes croûte flottante en billes d'argile expansées, bâche flottante et couverture flottante en bois, les calculs de rentabilité suivants sont faits en admettant que l'eau de pluie s'écoule dans le lisier. L'économie de volume d'un côté et la comparaison avec une couverture de fosse à lisier en béton de l'autre font que les investissements et les coûts annuels d'un réservoir à lisier doivent être pris en compte dans le calcul. Le réservoir à lisier est composé, lui, de acier émaillé et, pour la variante avec une couverture en béton sur laquelle on peut circuler, il s'agit d'un réservoir souterrain rond, en béton, avec des piliers intermédiaires pour la couverture. Les calculs ne tiennent compte que des nouvelles constructions de réservoirs à lisier. Les investissements pour la couverture de réservoirs existants dépendent beaucoup du type de construction du réservoir à lisier. Parfois des travaux de renforcement ou d'adaptation du réservoir sont nécessaires. En raison de cette variabilité des coûts supplémentaires engendrés, le calcul pour les réservoirs existants n'est pas pris en compte.

Investissements

Le tableau 4 montre les investissements engendrés pour deux réservoirs de taille différente, et pour six types de couvertures différentes. Les investissements comprennent la taxe sur la valeur ajoutée (7,6 %) ainsi que le dédommagement de la main-d'œuvre, y compris celle de l'exploitant, pour le travail nécessaire au montage prescrit par les fabricants, resp. celui nécessaire pour la construction en propre d'un couverture flottante en bois ou d'un toit conique avec film en PVC armé, mais ne tient pas compte des frais de planification. Le dédommagement de la main-d'œuvre pour le montage des ré-

Tableau 4: Investissements (Fr.) pour la construction d'un nouveau silo à lisier en acier émaillé avec différentes couvertures, ainsi que pour une fosse à lisier en béton ronde couverte (y.c. TVA; dédommagements pour la main d'œuvre, non compris les frais de planification)

Système		Réservoir à lisier Taille A	Réservoir à lisier Taille B
Silo à lisier en acier émaillé ouvert	Réservoir	52'136	73'590
	Couverture	–	–
Total		52'136	73'590
Silo à lisier avec bâche flottante	Réservoir	52'136	73'590
	Couverture	10'065	15'922
Total		62'201	89'512
Silo à lisier avec couvercle de bois flottant (auto-construction)	Réservoir	52'136	
	Couverture	6'770	
Total		58'906	
Silo à lisier avec croûte flottante en billes d'argile expansées	Réservoir	52'136	73'590
	Couverture	2'296	4'082
Total		54'432	77'671
Silo à lisier avec toit conique bâché	Réservoir	48'000	68'022
	Couverture	20'046	26'200
Total		68'046	94'221
Silo à lisier avec toit conique en film PVC armé (auto-construction)	Réservoir	48'000	
	Couverture	8'553	
Total		56'553	
Réservoir en béton, souterrain, rond avec couverture	Réservoir	75'863	118'901
	Couverture	–	–
Total		75'863	118'901

Bases de calcul:

Silo à lisier en acier émaillé: donnée du fabricant (H.U. Kohli SA, Gisikon)

Fosse à béton: Système de prix par modules unitaires (Hilty et al. 2005)

Couvertures des silos à lisier: informations du représentant/fabricant

(H.U. Kohli AG, Gisikon; Arnold AG Umwelttechnik, Schachen)

Argile expansée et auto-construction: voir rapport FAT no 631 (Van Caenegem et al. 2005)

Tableau 5: Composantes utilisées pour le calcul des coûts annuels liés à l'investissement d'un réservoir à lisier et des couvertures.

Éléments de frais	Réservoir à lisier, couverture en béton fixe	Bâche flottante, couvercle de bois, toit conique, toit conique avec film en PVC armé
Amortissement	3.3 % (30 ans)	10.0 % (10 ans)
Intérêt ¹⁾	2.5 %	2.3 %
Réparation	1.0 %	2.0 %
Total	6.8 %	14.3 %

¹⁾ Taux d'intérêts 4%; la valeur moyenne de l'installation dépend de la durée de l'amortissement.

Tableau 6: Coûts annuels pour le remplacement de billes en argile expansée par rapport à la surface du silo à lisier en Fr./m² et année.

Éléments de coûts	Coûts par unité	Coûts par m ² de surface
Investissement pour le 1 ^{er} remplissage (Fr. 20.30/m ²)		
Amortissement	10 % de l'investissement	Fr. 2.03/m ²
Intérêts	2.3 % de l'investissement	Fr. 0.47/m ²
Remplacement du matériel: 0,014 m ³ /m ² de surface	Fr. 220.–/m ³	Fr. 3.08/m ²
Coûts variables de tapis roulant 10 m	Fr. 7.50/h	Fr. 0.11/m ²
Coûts de main d'œuvre	Fr. 26.–/h	Fr. 0.55/m ²
Total		Fr. 6.24/m²

servois à lisier et leur couverture est calculé sur la base d'un salaire horaire de Fr. 45.– (d'après le système des prix par modules unitaires, Hilty et al. 2005).

Coûts annuels

Les coûts annuels des réservoirs à lisier et des couvertures se calculent à partir de l'amortissement, des intérêts et des frais de réparation. Les valeurs utilisées pour ce calcul sont visibles dans le tableau 5. Les coûts annuels d'une croûte en billes d'argile expansée se calculent à partir du coût annuel du premier remplissage ainsi que de l'investissement en main-d'œuvre, machines et matériel pour le remplacement du matériel perdu en une année. (tab. 6).

Les prestations propres renouvelées de l'exploitant, par exemple le travail pour remplacer les billes d'argile expansée ou pour l'épandage du lisier (voir ci-dessous) est calculé selon les données de la FAT à Fr. 26.– de l'heure (Tarif de base pour prestations entre agriculteurs, Amman 2004). Les coûts annuels des différentes variantes de réservoirs à lisier y compris leurs couvertures s'échelonnent pour les variantes de petits réservoirs de Fr. 4250.– à Fr. 6130.– par année. En comparaison, un silo à lisier ouvert coûte Fr. 3550.– par année, et un réservoir en béton sur lequel on peut circuler Fr. 5160.– par année. Pour les variantes de plus grands réservoirs, les coûts annuels par unité de volume sont un peu plus faibles, mais les rapports sont les mêmes. Seul le toit conique bâché est nettement plus avantageux pour de gros volumes, ce qui est dû aux coûts d'investissements comparativement plus bas pour de grands toits coniques bâchés.

Economies sur les coûts annuels

Si une couverture évacue les eaux de pluie et si une dilution supplémentaire n'est pas souhaitée, alors non seulement des économies peuvent être réalisées par rapport au volume du réservoir, mais aussi lors de l'épandage. Sur 1 m² de surface de réservoir à lisier, il tombe en Suisse en moyenne 1,2 m³ d'eau de pluie par année (voir ci-dessus). Lors de l'épandage, les coûts variables attribuables à la bossette avec l'épandeur et au tracteur, ainsi que les frais de main d'œuvre peuvent être épargnés. Ils se différencient suivant si l'épandage se fait avec un épandeur à large portée (simulation d'exploitation: *perte au stockage basse*), ou une rampe

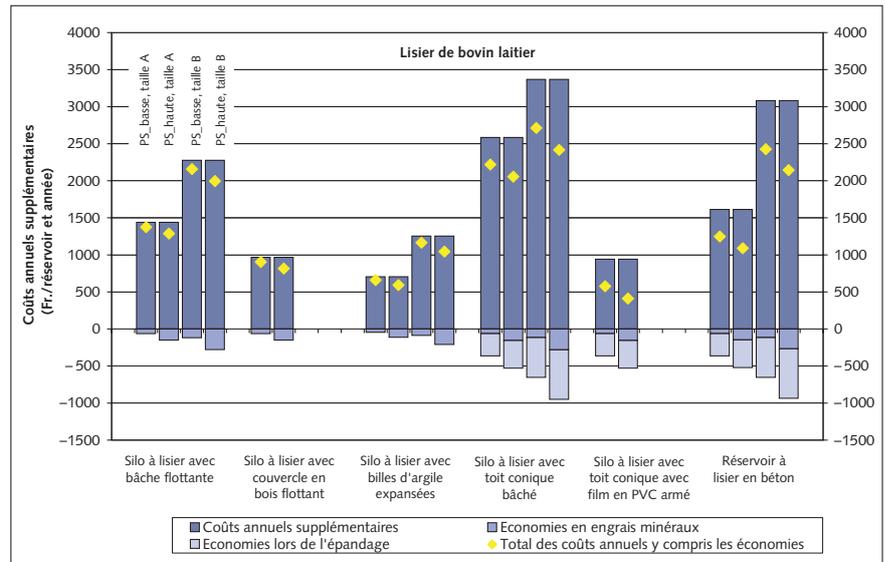


Fig. 5: Coûts annuels supplémentaires des réservoirs pour le lisier de bovin, économies en engrais minéraux et lors de l'épandage du lisier (Fr./réservoir et année) pour différents types de couverture. PS_basse = Perte au stockage basse; PS_haute = Perte au stockage haute.

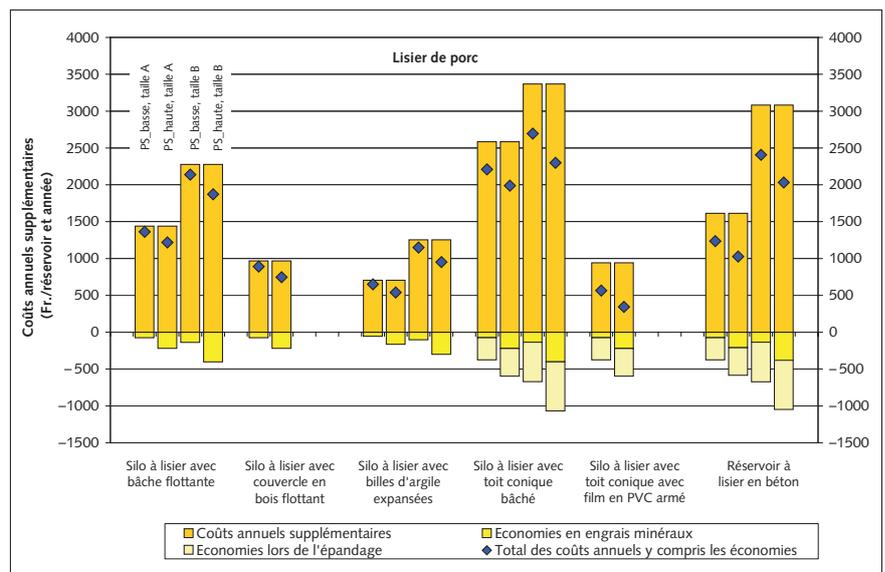


Fig. 6: Coûts annuels supplémentaires des réservoirs pour le lisier de porc, économies en engrais minéraux et lors de l'épandage du lisier (Fr./réservoir et année) pour différents types de couverture. PS_basse = Perte au stockage basse; PS_haute = Perte au stockage haute.

d'épandage à tuyaux souples (simulation d'exploitation: *perte au stockage haute*). Par mètre cube de moins de lisier épandu, on peut économiser Fr. 2.23 avec un épandeur à large portée et Fr. 2.77 avec une rampe d'épandage à tuyaux souples. Le lisier moins fortement dilué provoque plus d'émissions lors de l'épandage, ce qui est pris en compte dans le calcul de la réduction des émissions.

Grâce aux moins grandes pertes d'ammoniac lors du stockage couvert du lisier, des économies d'engrais minéraux azotés peuvent être réalisées. Sur la base

de prix de Fr. 39.– les 100kg d'engrais de nitrate d'ammoniac (27,5%) (Agrigate 2005), il en ressort une économie de Fr. 1.42 par kilo d'azote ammoniacal épargné. Les économies de coûts se différencient en raison des différentes réductions d'émissions pour les simulations d'exploitation *perte au stockage basse* et *perte au stockage haute*, ainsi que pour le lisier de porc ou de bovin. Les possibles économies sur les coûts des machines agricoles ou de la main-d'œuvre lors de l'épandage des engrais minéraux n'ont pas été prises en compte, car on peut par-

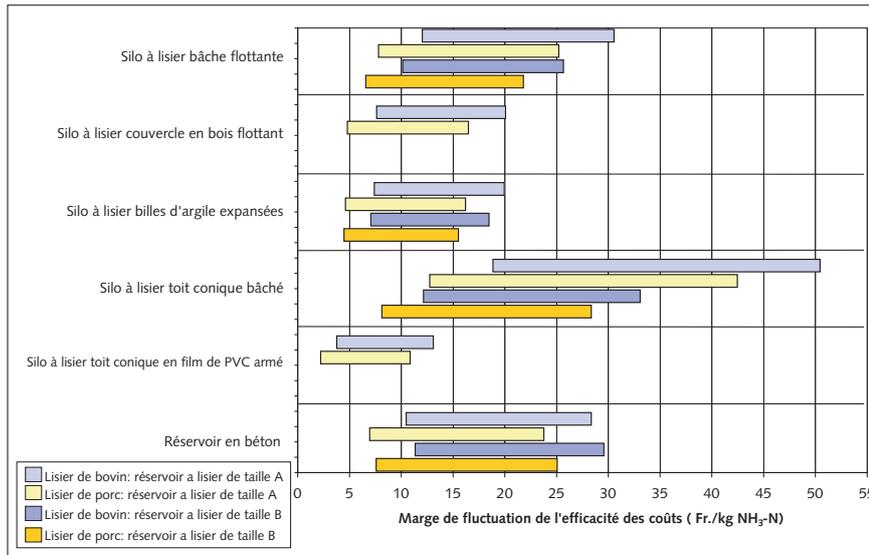


Fig. 7: Marge de fluctuation des coûts par kilo de NH₃-N non perdu pour les différentes couvertures des réservoirs à lisier des deux tailles (tab. 1).

tir du principe que le nombre de passages lors de l'épandage reste le même pour épandre de manière optimale les engrais minéraux restants.

Pour déterminer les frais annuels supplémentaires de la couverture des nouveaux réservoirs à lisier, la différence entre les frais annuels d'un réservoir couvert et d'un réservoir ouvert est calculée, et les économies subséquentes en engrais minéraux et lors de l'épandage du lisier soustraites. Les résultats pour le lisier de bovins (fig.5) et le lisier de porcs (fig. 6) se différencient sur les économies réalisées en engrais minéraux, car les pertes d'ammoniac sont différentes. Les coûts annuels les plus bas sont engendrés par le toit conique avec film en PVC armé de taille A et la croûte flottante en billes d'argile expansée avec Fr. 410.– à Fr. 660.– par réservoir. Les coûts annuels les plus hauts résultent de la couverture en toit conique bâché, avec Fr. 1990.– à Fr. 2220.– par réservoir. Pour la taille B, ce sont les mêmes couvertures qui atteignent les plus bas ou les plus hauts coûts annuels. La différence par rapport à la couverture en toit conique bâché est comparativement moins grande.

Efficacité des coûts des couvertures des réservoirs à lisier

A partir du calcul des réductions d'émissions et des coûts annuels supplémentaires engendrés, le coefficient d'efficacité pour chacune des deux simulations d'exploitation *perte au stockage*

basse et perte au stockage haute a été calculé. Ainsi, une marge de fluctuation de l'efficacité des coûts pour les différentes couvertures en francs par kilo de NH₃-N économisé va ressortir, pour le lisier de bovin, resp. de porc (fig. 7).

L'efficacité des coûts pour les réservoirs à lisier de taille A (diamètre 11 à 12.5 m) s'échelonne de Fr. 3.80 à Fr. 50.50 avec le lisier de bovin et de Fr. 2.20 à 42.50 avec le lisier de porcs par kilo de NH₃-N. Pour les réservoirs à lisier de taille B (diamètre 15 à 17 m), l'efficacité des coûts des couvertures se situe entre Fr. 7.10 et Fr. 33.10 pour le lisier de bovin et entre Fr. 4.50 et 28.40 par kilo de NH₃-N pour le lisier de porc. Une couverture de réservoir à lisier est plus efficace avec seulement du lisier de porc, qu'avec uniquement du lisier de bovin, car la réduction des émissions est plus importante avec le lisier de porc en raison de sa plus haute teneur en N_{soluble}.

Les largeurs des bandes de fluctuation de l'efficacité des coûts sont frappantes pour tous les types de couverture. Elles montrent qu'à tous les niveaux de la chaîne du lisier (alimentation, stabulation, stockage, épandage et pâturage), la structure individuelle de l'exploitation joue un rôle important sur la teneur en N_{soluble} du lisier lors du stockage et de l'épandage, et ainsi aussi un rôle sur la réduction des émissions et l'efficacité des coûts d'une couverture de réservoir à lisier. La marge de fluctuation est représentative pour des exploitations courantes sans conditions extrêmes d'émission. Des exploitations qui ont peu de pertes au niveau de l'écurie, qui pâturent peu et qui épandent leur lisier avec

peu d'émissions (limite en bas à gauche de la marge de fluctuation, resp simulation d'exploitation *perte au stockage haute*) atteignent une bonne efficacité de coûts par la couverture du réservoir à lisier. Avec le choix d'un type de couverture financièrement avantageux, cette mesure de réduction est absolument comparable à d'autres mesures de réduction. Pour des exploitations qui présentent de fortes pertes d'ammoniac au niveau de l'écurie et de l'épandage du lisier et/ou pâturent beaucoup (limite en haut à droite de la marge de fluctuation, resp. simulation d'exploitation *perte au stockage basse*), une couverture du réservoir à lisier n'est pas très efficace.

Les coûts les plus bas par kilo d'azote ammoniacal épargné sont atteints pour les deux types de lisier avec le toit conique avec film en PVC armé en construction propre. Les couvertures flottantes en bois et la croûte de billes d'argile expansée sont aussi financièrement plus intéressantes que les produits disponibles sur le marché. Pour les plus grands réservoirs B, l'efficacité des coûts semble aller dans la même direction, bien que les solutions de construction en propre (couverture flottante en bois et toit conique avec film en PVC armé) atteignent leurs limites avec ces tailles. A cause de l'humidité environnante, la durée de vie des constructions en bois est limitée, c'est pourquoi une construction en propre ne peut être conseillée qu'avec réserve. La croûte flottante en billes d'argile expansée pour de nouvelles installations est critiquée, quant à la constance de la réduction des émissions par les autorités d'exécution concernées. Elle représente tout de même, quelque soit la taille du réservoir, une mesure de réduction financièrement efficace. Pour les plus petits réservoirs de taille A, les fosses à lisier souterraines rondes avec une couverture en béton et les silos en acier émaillé avec une bâche flottante sont, pour une même situation d'émission sur l'exploitation, plus efficaces que le toit conique bâché. La plus grande dégression de coûts de la couverture en toit conique bâché suivant l'augmentation du diamètre du réservoir est aussi visible au niveau de l'efficacité des coûts. C'est dû au prix plus avantageux proposé par les fabricants par m² de bâche pour de plus grands diamètres. C'est pourquoi avec les grands réservoirs de taille B, les trois variantes se situent toutes au même niveau. Un avantage de la fosse à lisier en béton avec couverture, dont on ne tient pas compte dans le calcul des coûts, est sa possibilité de circuler dessus. Elle peut

être utilisée comme place de parcage ou pour le stockage du fumier. Ainsi, suivant les propriétés de l'exploitation, une couverture conventionnelle en béton peut parfaitement être comparée avec la couverture d'un silo à lisier.

Des couvertures de réservoir à lisier peuvent aussi diminuer l'émission des odeurs. Ce n'est pas pris en compte dans la description de l'efficacité des coûts, mais cela pourrait être, en particulier à proximité des lotissements, un argument supplémentaire pour un stockage de lisier couvert.

Conclusions

Pour les agriculteurs, les émissions d'ammoniac signifient des pertes en engrais azoté disponibles pour les plantes. Dans les écosystèmes naturels sensibles, elles provoquent une surfertilisation et une acidification du sol. Considéré par rapport à tous les secteurs de l'exploitation, la plupart des pertes d'ammoniac se font lors de l'épandage des engrais de ferme. Dans les calculs de simulations d'exploitation de cette étude, ces pertes s'élèvent suivant la situation d'émission entre 41 et 52 % de l'ensemble des émissions d'ammoniac, celles du stockage ouvert du lisier entre 11 et 26 %. Le reste des pertes d'ammoniac se produit principalement au niveau de la stabulation et de l'aire d'exercice. Bien que les pertes lors de l'épandage soient plus importantes, les émissions provenant du stockage ne doivent pas être négligées. L'efficacité des coûts offre un chiffre-clé idéal pour la comparaison des différentes couvertures. Elle se calcule à partir de la division des frais annuels supplémentaires engendrés par l'économie des pertes absolues d'ammoniac grâce à la couverture du réservoir à lisier.

Les coûts générés par une couverture peuvent être partiellement compensés par des économies. Si une couverture évacue les eaux de pluie (toit conique bâché ou couverture solide), le volume nécessaire pour le stockage peut être réduit et des économies peuvent aussi être réalisées lors de l'épandage du lisier, en admettant qu'une dilution supplémentaire n'est pas désirée. De ce fait, les coûts supplémentaires engendrés par un toit conique bâché par rapport à une bâche flottante peuvent être réduits. La réduction des pertes d'ammoniac produit une augmentation de l'azote disponible dans le lisier pour les plantes. Grâce à cela des engrais minéraux azotés peuvent être économisés.

En tenant compte de l'investissement supplémentaire d'une couverture et des économies décrites, les coûts annuels supplémentaires pour un réservoir de taille A suivant le type de couverture s'échelonnent de Fr. 340.– (toit conique avec film en PVC) à Fr. 2220.– (toit conique bâché) par réservoir et année. Pour les réservoirs de taille B, c'est la croûte flottante en billes d'argile avec Fr. 540.– qui engendre les plus bas coûts annuels supplémentaires, et le toit conique bâché les plus hauts avec Fr. 2713.–.

Les coûts calculés par kilo d'azote ammoniacal épargné s'échelonnent de Fr. 6.60 à 30.50 pour les bâches flottantes, de Fr. 8.10 à 50.50 pour les toits coniques bâchés et de Fr. 7.00 à 29.60 pour les fosses en béton. Les plus bas coûts par kilo d'azote ammoniacal épargné sont atteints pour les deux types de lisier avec le toit conique avec film en PVC armé en construction propre (Fr. 2.20 à 13.10 par kg de $\text{NH}_3\text{-N}$), en raison des coûts annuels bas de ce type de couverture. Même la couverture flottante en bois (Fr. 4.80 à 20.10 par kg de $\text{NH}_3\text{-N}$) et la croûte flottante en billes d'argile expansée (Fr. 4.50 à 20.00 par kg $\text{NH}_3\text{-N}$) ont une efficacité de coûts plus grande que celle des produits disponibles sur le marché. C'est dû, d'une part, au prix avantageux des matériaux de couverture (argile expansée, paille, bois) ainsi qu'au haut potentiel de prestations propres. La solution de la construction en propre ne peut toutefois être conseillée qu'avec des réserves, et seulement pour de petits réservoirs, en raison du manque de données sur la durée de vie des structures portantes en bois, ainsi que du lourd investissement en main d'œuvre. Les inconvénients d'une croûte flottante en billes d'argile expansée sont la quantité de travail nécessaire à l'entretien et les exigences du système de brassage pour être sûr d'avoir tout au long de l'année une couverture efficace.

L'efficacité des coûts des mesures de réduction des pertes d'ammoniac dans les autres secteurs de la chaîne du lisier se situe dans la partie basse de la marge de fluctuation des couvertures des réservoirs à lisier ou même plus bas. D'après Stadelmann et al. (1996), les mesures prises pour réduire les pertes lors de l'épandage (dilution et épandage du lisier près du sol, enfouissement des engrais de ferme se situent entre Fr. 0.– et 20.– par kilo de $\text{NH}_3\text{-N}$ épargné, bien que ces chiffres ne tiennent pas compte de l'économie des coûts. Dans l'exemple de Sauter et al (2004) l'efficacité des coûts d'une rampe à tuyaux souples pour un épandage réalisé par une en-

treprise de travaux agricoles se monte à Fr.1.15 par kilo de $\text{NH}_3\text{-N}$ épargné.

La réduction des émissions et ainsi l'efficacité des coûts dépend fortement de la justesse des hypothèses de calcul (par exemple la teneur en $\text{N}_{\text{soluble}}$ du lisier pendant le stockage, la manière d'épandre le lisier), ainsi que du pourcentage de réduction d'émissions fixé. L'efficacité des coûts n'a de valeur que pour des situations pratiques avec lesquelles les hypothèses considérées concernant la chaîne du lisier concordent. Les bases de données bibliographiques concernant la libération de l'ammoniac pendant le stockage sont certes vastes, mais, à cause de la dépendance liée à beaucoup de facteurs des émissions d'ammoniac, des différentes méthodes de mesure et du manque de recherches utilisables sur le terrain, elles sont difficilement transposables dans la pratique. Si les mesures ultérieures dans des conditions de terrain devaient livrer d'autres réductions d'émission, les calculs d'efficacité des coûts et surtout de diminution d'émission devraient être révisés.

Bibliographie

Agrigate, 2005. Prix indicatifs des engrais pour les mois de mai et juin 2005. www.agrigate.ch.

Ammann H., 2004. Coûts-machines 2005 – Coûts occasionnés par les parties du bâtiment et les installations mécaniques. Rapports FAT no 621, Agroscope FAT Tänikon.

De Bode M.J.C., 1990. Vergleich der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Flüssigmistlagernsystemen. KTBL/VDI (Hrsg.), Ammoniak in der Umwelt: 34.1–34.13.

Hartung E., 2002. Ammoniak-Emissionen der Rinderhaltung und Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406: 63–72. Darmstadt.

Hilty R., Van Caenegem L., Herzog D., 2005. Système de prix par module unitaire. Compilation de frais de construction pour ruraux. Agroscope FAT Tänikon.

Hüther L., Schuchardt F., 1998. Wie lassen sich Schadgasemissionen bei der Lagerung von Gülle und Festmist verringern? KTBL-Arbeitspapier 250: 177–181. Darmstadt.

Karlsson S., 1996. Measures to Reduce Ammonia Losses from Storage Containers for Liquid Manure. AgEng Madrid, Paper 96E-013.

Navarotto P., Fabbri C., Guarino M., Valli L., Sonzogni A., 2003. Evaluation of simplified covering systems in the reduction of gaseous emissions from livestock manure storage. 23 S., I-Milano.

OFAG, OFEFP, 1994. Instructions pratiques pour la protection des eaux dans l'agriculture (concernant les engrais de ferme). Information concernant la protection des eaux Nr.15. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.

Ordonnance sur la protection de l'air, 2004. Ordonnance du 16 décembre 1985 sur la protection de l'air (état le 3 août 2004). RS 814.318.142.1, Conseil fédéral suisse, Berne.

Reidy B., Menzi H., 2005. Etat de la technique de production et exploitation des engrais de ferme. Revue de la Recherche agronomique suisse 12 (8), 368–373.

Reidy B., Rüttimann L., Menzi H., 2004. Modèle Dynamo, Version 1. Haute école suisse d'agronomie (HESA), Zollikofen.

Sauter J., Dux D., Ammann H., 2004. Précision de répartition des rampes d'épandage à tuyaux souples, bonne sur plat, variable en pente. Rapport FAT no 617, Agroscope FAT Tänikon.

Sommer S.G., Christensen B.T., Nielsen N.E., Schjørring J.K. 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. Journal of Agricultural Science 121, 63–71.

Stadelmann F.X., Achermann B., Lehmann H.-J., Menzi H., Pfefferli S., Sieber U., Zimmermann A., 1996. Ammoniak-Emissionen Schweiz – Stand, Entwicklung, technische und betriebswirtschaftliche Möglichkeiten zur Reduktion, Empfehlungen. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (OFAG). Office fédéral de l'agriculture, Berne.

Van Caenegem L., Dux D., Steiner B., 2005. Couvertures pour silo à lisier – Renseignements techniques et financiers. Rapport FAT no 631, Agroscope FAT Tänikon.

Williams A.G., 1996. The reduction of ammonia emissions by covering slurry stores. Proceedings of international conference «nitrogen emissions from grasslands» May 1996.

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications peuvent être obtenues directement à la FAT (Tänikon, CH-8356 Ettenhausen). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

FR	Berset Roger, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
GE	AgriGenève, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 939 03 10
JU	Fleury-Mouttet Solange, FRI, Courtemelon, 2852 Courtételle	Tél. 032 420 74 38
NE	Benoît Steve, CNAV, 2053 Cernier	Tél. 032 854 05 30
TI	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
VD	Louis-Claude Pittet, Ecole d'Agriculture, Marcelin, 1110 Morges	Tél. 021 801 14 51
	Hofer Walter, Ecole d'Agriculture, Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 57
VS	Roduit Raymond, Ecole d'Agriculture, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 606 77 70
SRVA	Mouchet Pierre-Alain, CP 128, 1000 Lausanne 6	Tél. 021 619 44 61
SPAA	Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

Impressum

Edition: Agroscope FAT Tänikon, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles, CH-8356 Ettenhausen

Les Rapports FAT paraissent environ 20 fois par an. – Abonnement annuel: Fr. 60.–. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: Agroscope FAT Tänikon, Bibliothèque, CH-8356 Ettenhausen. Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

Les Rapports FAT sont également disponibles en allemand (FAT-Berichte).
ISSN 1018-502X.

Les Rapports FAT sont accessibles en version intégrale sur notre site Internet (www.fat.ch).