

Épandage d'engrais de ferme: comment réduire les pertes d'ammoniac?

Les mesures simples sont également efficaces

Rainer Frick, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), CH-8356 Tänikon
 Harald Menzi, Station fédérale de recherches en agro-écologie et agriculture (FAL), Institut de recherches en protection de l'environnement et en agriculture (IUL) Liebefeld, CH-3003 Berne

Différentes solutions existent pour réduire les pertes d'ammoniac lors de l'épandage des engrais de ferme. Il y a d'abord des mesures de base propres à l'organisation de l'épandage, des façons culturales dans les grandes cultures et enfin l'emploi d'une technique d'épandage spéciale. Parmi les mesures de base, il faut tenir compte des conditions météorologiques pour l'épandage (épandage les jours où les conditions météo sont favorables, en soirée ou lorsqu'il pleut légèrement). Il faut également tenir compte de l'état du sol (pénétration rapide du lisier),

planifier l'épandage en fonction des saisons et de la dilution du lisier. L'application d'une de ces mesures permet déjà de réduire les pertes de 10 à 40%. En ce qui concerne l'épandage de fumier dans les grandes cultures, il est très important de l'enfouir immédiatement. Suivant la vitesse à laquelle on effectue cette opération, les pertes peuvent être réduites jusqu'à 40%. Avant d'épandre le lisier dans les grandes cultures, il est recommandé d'ameublir le sol pour accélérer l'infiltration. La méthode la plus efficace consiste à utiliser des techniques d'épan-

Sommaire	Page
Problématique	2
Pertes d'ammoniac lors de l'épandage d'engrais de ferme	2
Comment réduire les pertes?	
– Organisation de l'épandage	
– Travail du sol dans les grandes cultures	
– Technique d'épandage du lisier permettant de réduire les émissions	2
Evaluation générale et conclusions	11
Recommandations pour éviter les pertes d'ammoniac élevées lors de l'épandage d'engrais de ferme	12

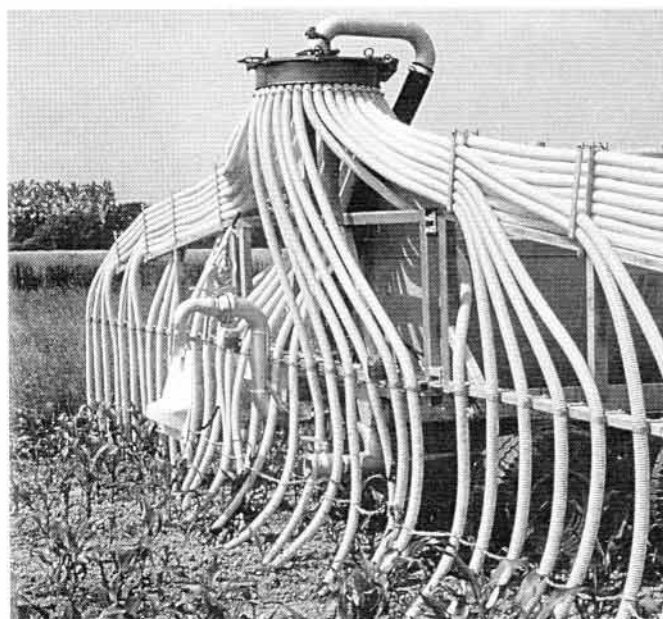


Fig. 1.
 L'avenir appartient-il à l'épandeur à tuyaux souples? Pour réduire considérablement les pertes d'azote dues à la volatilisation de l'ammoniac, c'est quasiment la seule solution.

dage spéciales. Les systèmes qui répartissent le lisier en lignes (épandeur à tuyaux souples et distributeur à tuyaux semi-rigides avec socs) réduisent les pertes de 30 à 70% par rapport à une distribution large. Quant aux systèmes qui introduisent directement le lisier dans le sol (épandeur avec système d'enfouissement du lisier et injection en profondeur), ils réduisent les pertes de 60 à 90%. Toutefois, l'efficacité de ces systèmes varie en fonction des conditions réunies au moment de l'épandage. Toutes ces mesures vont de pair avec des restrictions en

matière d'utilisation qui sont parfois considérables. En ce qui concerne les mesures de base, le ruissellement des éléments nutritifs, la lixiviation ou le compactage du sol peuvent poser problème. En revanche, ce qui freine l'utilisation des techniques d'épannage, ce sont plutôt les conditions particulières à la Suisse (déclivité des terrains, sols lourds), les inconvénients propres aux machines (poids élevés, importante force de traction nécessaire, médiocre qualité du travail) et les coûts considérables. Dans ces conditions, seul l'épandeur à tuyaux souples peut être recommandé actuellement.

Problématique

Dès qu'il y a production, stockage et épannage d'engrais de ferme, il se forme toujours de l'ammoniac volatile. Pour l'agriculteur, cela implique d'abord une perte d'azote précieux pour la fumure. Plus de la moitié des pertes totales d'ammoniac se produit après l'épannage. Les exploitations PI et Bio notamment, qui ne peuvent utiliser qu'une quantité limitée d'azote, doivent donc s'efforcer de réduire les pertes d'ammoniac au minimum lors de l'épannage des engrais de ferme, pour éviter les éventuelles baisses de rendement.

Le programme de mesures réalisées ces dernières années en collaboration avec l'IUL de Liebefeld avait pour but de quantifier les pertes d'azote dues à la volatilisation de l'ammoniac et d'évaluer les principaux facteurs d'influence. Ces résultats sont commentés plus en détail dans le rapport FAT no 486. Les essais ont en outre servi à établir des recommandations pratiques sur la manière de réduire les pertes lors de l'épannage. Quelles possibilités concrètes existe-t-il pour réduire les pertes d'ammoniac lors de l'épannage d'engrais de ferme? Quelle est l'efficacité de telle méthode? Quels problèmes peut-elle entraîner? Tels sont les aspects qui seront développés dans le présent rapport.

Pertes d'ammoniac lors de l'épannage d'engrais de ferme

Les points suivants sont importants pour établir des mesures appropriées permettant de réduire les pertes lors de l'épannage d'engrais de ferme:

1. La volatilisation de l'ammoniac après l'épannage suit toujours la même courbe typique: nette hausse des pertes immédiatement après l'application, puis affaiblissement notable pendant la nuit qui suit l'épannage. Plus de 60% des émissions totales ont lieu le premier jour, la majeure partie même durant les deux à quatre premières heures.

2. Les pertes après l'épannage sont influencées par de nombreux facteurs. Les principaux sont les conditions météorologiques (température, humidité de l'air), le type et la composition des engrais de ferme (teneur en azote ammoniacal et en matière sèche). Pour le lisier, l'état du sol (potentiel d'absorption) et la technique d'application jouent également un grand rôle.

3. Suivant les conditions, les pertes sont très variables. Avec les apports d'engrais de ferme généralement effectués dans la pratique, elles fluctuent entre 8 et 30 kg N par ha, soit entre 25 et 95% de la quantité d'azote ammoniacal épanné.

4. Sur la base des résultats suisses, lorsque le lisier est épanné en large et en surface, il faut prévoir des pertes moyennes de l'ordre de 50% de l'azote ammoniacal épanné. Pour le fumier, les pertes moyennes sont légèrement plus élevées et atteignent 60 à 70% de l'azote ammoniacal épanné. Ceci est dû au fait que, contrairement au lisier, le fumier, lui, reste à la surface du sol.

5. Les pertes qui surviennent durant l'épannage sont négligeables. En général, elles représentent moins de 1% des pertes totales lors de l'épannage. En outre, les différences entre les systèmes de distribution (déflecteur, répartiteur, buse de projection à grande distance etc.) ne sont pas non plus significatives.

Comment réduire les pertes?

Diverses possibilités peuvent être envisagées pour réduire les pertes d'ammoniac lors de l'épannage d'engrais de ferme. Il faut distinguer les mesures de base qui touchent l'organisation de l'épannage (prise en compte des conditions météorologiques, dilution du lisier etc.) des mesures plus techniques. Celles-ci comprennent les mesures de travail du sol liées à l'utilisation des engrais de ferme dans les grandes cultures et les techniques d'épannage spéciales pour le lisier.

Les paragraphes suivants traitent de ces différentes possibilités et de leur efficacité en matière de réduction des pertes. Les données relatives à l'efficacité des différentes méthodes sont tirées en grande partie des essais effectués en Suisse (programme de mesures IUL-FAT). La réduction des pertes est indiquée en pourcentage par rapport aux conditions de production actuelles en usage dans la pratique.

Dans quelle mesure et à quel point ces mesures peuvent-elles être appliquées? Cela dépend en grande partie des conditions réunies sur l'exploitation et au moment de l'épannage. Les limites que cela implique pour l'application des différentes solutions font également l'objet d'une évaluation globale.

Organisation de l'épannage (Mesures de base)

Prise en compte des conditions météorologiques

La volatilisation de l'ammoniac est largement tributaire des conditions météorologiques. Le choix d'une période favorable pour l'épannage (temps frais, humide, absence de vent) permet déjà de réduire considérablement les pertes d'ammoniac. En raison de la rapide évolution des émissions, les heures qui suivent l'épannage sont décisives.

Comment choisir une date d'épannage favorable?

1. Fixer l'opération un **jour** où les conditions sont favorables (air frais, humide). Pour le lisier, cette seule mesure devrait permettre de réduire les pertes

de 20%, pour le fumier de 10% en raison de la durée plus longue de l'émission.

2. Choisir un **moment approprié dans la journée**: épandre le soir et non le matin ou à midi. Le lisier épandu en soirée donne lieu à des émissions nettement plus faibles, car la nuit, la volatilisation de l'azote est freinée par les basses températures, l'importante humidité de l'air et la faiblesse du vent. Une grande partie du lisier peut donc s'infiltrer dans le sol jusqu'au jour suivant. Au cours d'un essai réalisé en été par temps chaud, le même lisier a été épandu à trois moments différents de la journée. Le lisier épandu en soirée affichait des pertes inférieures d'env. 35 à 50% à celles enregistrées pour le lisier épandu le matin ou à midi (fig. 2). A condition que l'épandage ait lieu au plus tôt deux heures avant le coucher du soleil, on peut espérer une réduction des pertes de 25% par rapport aux émissions standard (épandage le matin à 10 heures). Comme le fumier ne peut pas s'infiltrer dans le sol, la période de la journée choisie pour l'épandage exerce une influence moindre que pour le lisier. C'est pourquoi lorsque le fumier est épandu en soirée, on peut espérer une réduction des pertes de l'ordre de 10% seulement.

3. Epandre lorsqu'il **pleut** légèrement: si l'on épand le lisier lorsqu'il pleut légèrement, l'azote ammoniacal se dissout dans l'eau de pluie et est lessivé dans le sol. Sachant que lorsque les conditions météorologiques sont très défavorables, les pertes d'azote ammoniacal représentent 90% de la quantité épandue et seulement 10% lorsque l'épandage a lieu sous la pluie, les pertes ammoniacales peuvent être réduites jusqu'à 80% dans des cas extrêmes grâce à l'épandage par temps de pluie. En moyenne, la réduction des pertes devrait être de l'ordre de 40% pour le lisier comme pour le fumier. Dans la pratique, il n'est pas toujours facile de tenir compte des conditions météorologiques, car les agriculteurs disposent souvent d'une marge de manœuvre limitée par rapport aux dates d'épandage idéales. D'une part, les périodes qui réunissent des conditions favorables ne suffisent souvent pas à épandre assez d'engrais de ferme et d'autre part, le besoin des plantes en azote est généralement très circonscrit dans le temps, de sorte que le lisier ou le fumier doivent être épandus en peu de jours. L'épandage par temps de pluie accroît non seulement le risque de compactage du sol mais également celui de ruissellement des

éléments nutritifs. C'est pourquoi cette mesure n'est recommandée que lorsque le volume de précipitations est relativement prévisible et que la capacité d'absorption du sol est garantie. Enfin, il y a également certains impératifs liés à l'organisation du travail (temps libre, voisins) qui limitent l'épandage en soirée ou pendant la nuit.

Planification de l'utilisation des engrais de ferme en fonction des saisons

Comme le potentiel de pertes est généralement légèrement plus élevé en été que pendant les autres saisons, on peut envisager de ne pas effectuer l'épandage des engrais de ferme durant les mois à risque (de juin à août) mais au printemps ou en automne, de façon à éviter les températures élevées lors de l'épandage. Une telle opération permet de réduire les pertes jusqu'à 20%. Cette mesure n'est envisageable que pour le lisier car l'utilisation du fumier est très circonscrite dans le temps, pour les grandes cultures comme pour les cultures fourragères. Cette mesure implique que l'exploitation ait suffisamment de marge de manœuvre par rapport à la fumure azotée pour pouvoir employer des engrais minéraux en été. Dans les faits, cette mesure n'est donc appliquée que dans les exploitations où l'effectif de bétail est réduit.

Prise en compte de l'état du sol pour l'épandage de lisier

Lorsque le lisier est épandu en large, la vitesse de pénétration dans le sol exerce une influence décisive sur la volatilisation de l'ammoniac. Plus le lisier s'infiltré rapidement dans le sol, plus les ions d'ammonium se lient facilement avec les particules du sol. En revanche, si le lisier reste longtemps à la surface du sol, beaucoup d'ammoniac peut se volatiliser. Le potentiel d'absorption du sol dépend essentiellement de la teneur en eau, de la structure en surface, de la couverture du sol et de la végétation. L'épandage de lisier sur des sols saturés d'eau, desséchés, compactés ou gelés augmente le risque de pertes. Lorsque le lisier est épandu sur une couche de mulch ou sur une couvertu-

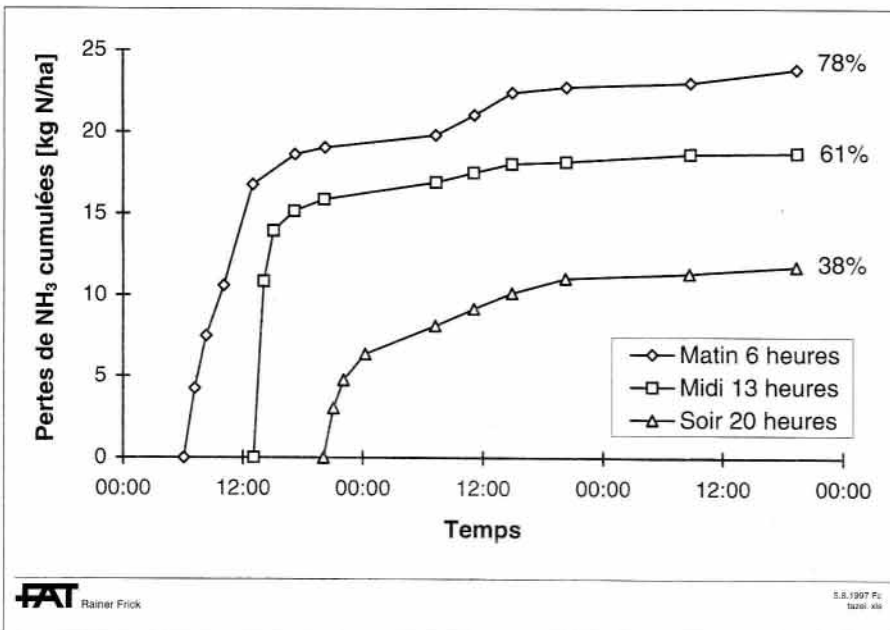


Fig. 2. Pertes d'ammoniac cumulées après l'épandage de lisier de bovin complet (33 m³ par ha) sur prairie temporaire à trois périodes différentes de la journée. Tänikon, août 1993. Les pourcentages correspondent aux pertes relatives d'ammoniac par rapport à la quantité d'azote ammoniacal épandue. Description de l'essai, voir Katz 1996.

re végétale dense, les pertes d'ammoniac sont également élevées.

Eviter d'épandre le lisier sur des sols dont le potentiel de rétention est défavorable permet de réduire les émissions de 20% au maximum. Malgré tout, cette technique a elle aussi ses limites. Parfois, il est recommandé de circuler dans la parcelle sur des sols bien secs ou légèrement gelés pour éviter d'endommager le sol alors que des conditions analogues entraînent de fortes pertes d'ammoniac puisque le lisier peut difficilement s'infiltrer dans le sol.

Dilution du lisier avec de l'eau

La dilution du lisier avec de l'eau est une méthode qui a fait ses preuves et permet d'améliorer la disponibilité pour les plantes (éviter le croûtage et les brûlures sur les feuilles). On sait également depuis longtemps que cette méthode permet de réduire la volatilisation de l'ammoniac. Son efficacité a d'ailleurs été attestée dans de nombreux essais. L'addition d'eau diminue les teneurs en MS et en azote ammoniacal du lisier. Le lisier dilué s'écoule mieux sur les plantes et s'infiltré plus rapidement dans le sol.

L'essai réalisé dans des tunnels aérodynamiques, présenté au tableau 1, met en évidence l'efficacité de cette méthode pour la réduction des pertes d'ammoniac. Les pertes enregistrées avec une dilution 1:1 (lisier: eau) sont



Fig. 3. Une dilution suffisante est une condition essentielle pour prévenir des pertes élevées d'ammoniac. Une dilution importante ne présente presque aucun inconvénient pour le purinage par tuyaux en raison de la forte capacité de cette technique.

déjà inférieures de 40% par rapport à celles enregistrées avec la variante non diluée. Certes, les pertes ne baissent pas de façon linéaire, ce qui veut dire que l'addition d'eau est surtout efficace au départ et qu'une très forte dilution n'apporte qu'une amélioration relativement faible. Une dilution de 1:1 à 1:3 devrait constituer un compromis correct entre travail et efficacité.

Pour décrire l'efficacité de la dilution, il faut distinguer deux cas:

1. Dilution du lisier sans adaptation de

la quantité épandue (baisse de la quantité d'azote).

2. Dilution du lisier avec adaptation de la quantité épandue (même quantité d'azote).

Dans la pratique, les deux méthodes peuvent être utilisées. Le choix de la variante dépend largement du système d'épandage employé: alors qu'avec la citerne, il n'est presque pas possible de moduler la quantité épandue, avec le purinage par tuyaux ou l'épandage par aspersion, il est possible de l'adapter en variant la vitesse d'avancement des machines. Pour les deux dernières techniques, la deuxième variante devrait être utilisée de manière relativement fréquente lorsque la dilution est élevée.

Un modèle établi à l'issue de plusieurs années d'essais (Katz 1996) a permis d'évaluer l'efficacité de différentes dilutions de lisier de bovin complet (base: rapport de dilution 1:1, quantité épandue 30 m³ par ha). Les résultats, présentés au tableau 2, devraient également pouvoir être appliqués à d'autres types de lisier.

Dans la pratique, les surfaces nécessaires ou les quantités épandues imposent rapidement des limites à la dilution. Plus le degré de dilution est élevé, plus la surface à épandre sera grande pour la même quantité. Or, la surface fait généralement défaut dans les exploitations à gros effectif de

Tableau 1. Influence de la dilution sur les pertes d'ammoniac pendant les trois jours qui suivent l'épandage d'engrais de bovin complet. Essai en tunnels aérodynamiques, août 1995. Dans tous les tunnels, on a épandu 35 m³ de lisier par ha, ce qui veut dire que la quantité de N-NH₄ diminuait plus la dilution augmentait.

Dilution ¹⁾	Teneur en MS %	Teneur en N-NH ₄ kg N par m ³	Perte de NH ₃ en % de N-NH ₄ appliqué	Réduction des pertes en % ²⁾
1:0	7,1	3,9	95	—
1:0,5	4,8	2,6	74	22
1:1	3,6	2,0	57	40
1:2	2,4	1,3	42	56
1:3	1,8	1,0	29	69
1:4	1,4	0,8	22	77

1) Lisier: eau.

2) Par rapport au lisier non dilué.

Tableau 2. Effet de différentes dilutions sur les pertes d'ammoniac lors de l'épandage de lisier. Base: lisier de bovin complet, quantité épandue 30 m³ par ha, dilution 1:1. Tiré des résultats du programme d'essais suisse (Katz 1996).

1. Dilution du lisier sans adaptation de la quantité épandue (baisse de la quantité d'azote)			
Degré de dilution ¹⁾	Pertes par ha ²⁾	Facteur surface ³⁾	Total des pertes ²⁾
1:0	+ 120 %	0,5	+ 10 %
1:0,5	+ 40 %	0,75	+ 5 %
1:2	- 40 %	1,5	- 10 %
1:3	- 60 %	2	- 15 %
1:4	- 70 %	2,5	- 20 %
2. Dilution du lisier avec adaptation de la quantité épandue (même quantité d'azote)			
Degré de dilution ¹⁾	Pertes par ha ²⁾	Quantité épandue m ³ par ha	
1:0	+ 50 %	15	
1:0,5	+ 20 %	22,5	
1:2	- 20 %	45	
1:3	- 30 %	60	
1:4	- 40 %	75	

- 1) Lisier: eau.
- 2) Augmentation ou réduction des pertes, à partir d'un degré de dilution de 1:1.
- 3) Surface nécessaire pour quantifier l'efficacité réelle.

bétail. La quantité de lisier épandue par unité de surface ne peut pas non plus être augmentée à volonté. Sinon le risque de ruissellement augmente rapidement, notamment dans les terrains en pente. Suivant le site et les conditions du sol, la quantité de lisier devrait être comprise au maximum entre 40 et 60 m³ par ha (Directive sur la protection des eaux, OFAG et OFEFP, 1994).

Autres inconvénients d'une forte dilution:

- augmentation de la capacité de stockage nécessaire et réduction de la marge de manœuvre pour l'application;

- augmentation du volume de transport et donc de l'impact sur le sol à cause des passages plus fréquents;

- augmentation de la charge de travail et du coût de l'épandage.

La figure 4 indique le coût annuel de l'épandage en fonction de la quantité de lisier, ou plutôt de la dilution correspondante, épandue avec une citerne à pression (volume de 4000 l) et une installation de purinage par tuyaux (système commandé par une seule personne avec appareil d'épandage et télécommande) pour un hectare et 500 m d'éloignement. Dans les deux cas, les machines et les outils sont la propriété de l'exploitant. Pour une quantité annuelle de 800 m³, il est possible d'envisager une utilisation collective des machines en raison de leur taux d'utilisation relativement faible. Cette méthode permet en outre de réduire les frais fixes.

Comme les valeurs en témoignent, la hausse des coûts varie en fonction du procédé utilisé pour l'épandage. Si la quantité épandue est doublée, comme c'est le cas par exemple lorsqu'on augmente le degré de dilution de 1:1 à 1:3, les coûts annuels d'épandage (coût du travail et des machines) augmentent de plus de 50% avec la citerne et de 30% seulement avec le purinage par tuyaux. Cette différence s'explique par le rendement d'épandage qui est plus élevé avec le purinage par tuyaux qu'avec la citerne, surtout si de grandes surfaces doivent être couvertes d'un coup. Les exploitations qui utilisent des installations de purinage par tuyaux ou d'épandage par aspersion devraient donc s'efforcer de beaucoup diluer le lisier.

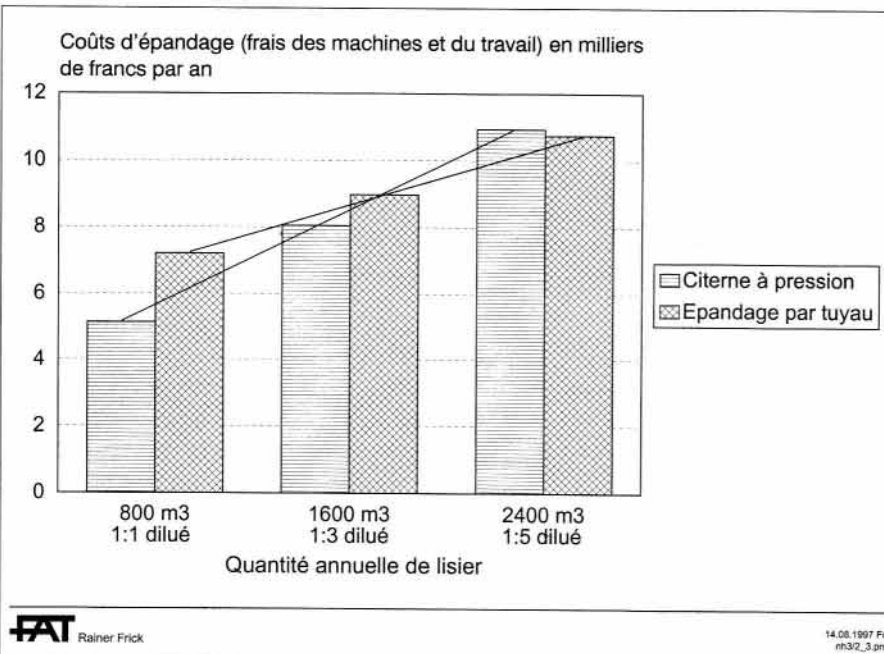


Fig. 4. Coûts annuels de l'épandage de lisier (épandage de lisier sur 1 hectare sur une parcelle éloignée de 500 m), pour la citerne à pression (4000 l) et l'installation de purinage par tuyaux, avec des quantités annuelles ou des dilutions diverses.

Travail du sol dans les grandes cultures

En ce qui concerne l'épandage des engrais de ferme dans les grandes cultures, il existe deux manières de réduire les pertes d'ammoniac en liaison avec le travail du sol: enfouir le lisier et le fumier **après** l'épandage et ameublir la surface du sol **avant** l'épandage de lisier pour en améliorer l'infiltration.

Incorporation du lisier après l'épandage d'engrais de ferme

En général, on enfouit le fumier ou le lisier au moment où l'on prépare le sol ou le lit de semences. Pour le fumier, on utilise la charrue ou le chisel. Pour le lisier, outre la charrue, on utilise également des outils non rotatifs (cultivateur, herse à dents).

Comme la majeure partie des pertes d'ammoniac a lieu dans les heures qui suivent l'épandage, pour le lisier comme pour le fumier, l'enfouissement n'est efficace que s'il est effectué immédiatement après l'épandage.

Suivant la durée écoulée entre l'épandage et l'enfouissement, on obtient les résultats suivants:

Enfouissement dans les:

- 2 heures après l'épandage: 60% de pertes

- 4 heures après l'épandage: 40% de pertes
- 24 heures après l'épandage: 20% de pertes.

Ces valeurs sont valables pour la charrue avec enfouissement total. Avec les chisels qui ne travaillent le sol qu'en surface, l'efficacité diminue d'environ un tiers.

Il est quasiment impossible d'enfouir directement le lisier après l'épandage (patinage, lissage du sol), parce que les véhicules ne peuvent circuler sur la parcelle qu'une fois que le lisier qui recouvre le sol a séché. En règle générale, c'est le cas au plus tôt le jour suivant. Le potentiel de réduction des pertes n'est plus alors que de 20% maximum. C'est pourquoi l'enfouissement immédiat est une technique qui ne peut être recommandée qu'en cas d'épandage de fumier.

Ameublissement du sol avant l'épandage de lisier

En cas d'épandage de lisier, il est également possible d'ameublir le sol au préalable. Cette opération effectuée avant l'épandage permet d'accélérer l'infiltration du lisier dans le sol et de réduire la volatilisation d'ammoniac. L'ameublissement doit de préférence être réalisé avec des outils qui ne tra-

vailent pas le sol trop en finesse (par exemple cultivateur, herse à bèches roulantes).

Cette mesure peut être appliquée aux saisons et dans les grandes cultures suivantes:

- au printemps, avant le semis de la culture principale (maïs, betteraves, pommes de terre, céréales de printemps), au maximum 30 m³ par ha;
- en été ou en automne, avant le semis de grandes cultures ou de cultures dérobées hivernantes (céréales d'automne, colza);
- en été, après la récolte de céréales et de colza (avec culture dérobée ultérieure);
- dans le maïs en place, au stade de quatre à huit feuilles, avec une sarceleuse en ligne.

Comme le montre un essai réalisé à Tänikon dans un champ de céréales déjà moissonné, le travail du sol avant l'épandage de lisier permet de réduire les pertes d'ammoniac de 15 à 25% (fig. 6). Avec le cultivateur qui laisse une structure du sol extrêmement grossière, l'efficacité était légèrement meilleure qu'avec la herse rotative à axe horizontal. Sur les sols compactés et par temps chaud, il peut être utile d'effectuer le déchaumage **avant** et non après l'épandage du lisier.

L'inconvénient tient peut-être à ce qu'il faut une importante force de traction pour tirer la citerne à lisier pleine sur un sol ameubli, en raison de la forte résistance au roulement. Il n'est donc recommandé d'ameublir le sol au préalable que là où le lisier est ensuite épandu par arrosage ou avec un système de purinage par tuyaux.

Technique d'épandage du lisier permettant de réduire les émissions

Les techniques de répartition traditionnelle, comme par exemple le déflecteur ou le répartiteur pivotant répartissent le lisier sur une large surface. La distribution du lisier sur toute la surface du sol favorise considérablement la volatilisation de l'ammoniac.

Les techniques spéciales employées pour diminuer les pertes lors de l'épandage du lisier ont pour but de réduire la surface de contact entre le lisier et l'air ainsi que la période pendant laquelle le lisier reste sur le sol. Ces der-



Fig. 5. Epandage de fumier dans les grandes cultures: enfouir le fumier aussi vite que possible, de préférence durant l'épandage! La charrue est la plus efficace, mais il est préférable d'employer le chisel car il favorise la décomposition du fumier.

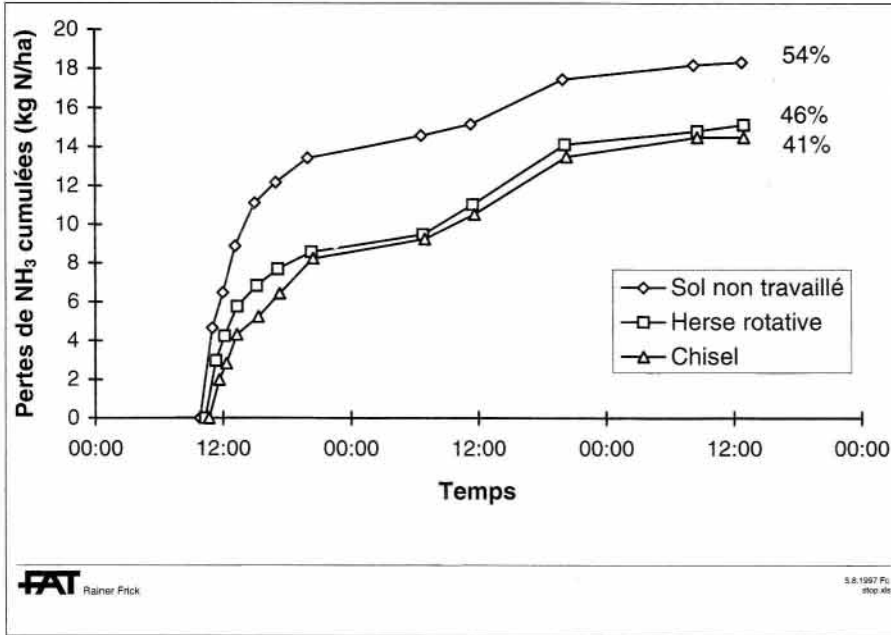


Fig. 6. Pertes d'ammoniac cumulées dans les deux premiers jours qui suivent l'épandage de lisier de bovin complet (34 m³ par ha) sur les chaumes de céréales, avec différentes techniques de travail du sol avant l'épandage. Tänikon, août 1992. Les pourcentages correspondent aux pertes relatives d'ammoniac par rapport à la quantité d'azote ammoniacal épandue. Description de l'essai, voir Katz 1996.

nières années, le développement de nouveaux outils et de nouvelles machines a été largement stimulé dans des pays comme la Hollande. Sur le principe, on distingue actuellement les systèmes qui déposent le lisier en surface, en lignes (épandeur à tuyaux souples et distributeur à tuyaux semi-rigides avec socs) et ceux qui introduisent directement le lisier dans le sol (épandeur avec système d'enfouissement du lisier, injection en profondeur,

fig. 7). Contrairement au lisier, il n'existe aujourd'hui aucune alternative aux techniques traditionnelles pour réduire les émissions lors de l'épandage de fumier.

Épandeur à tuyaux souples

Avec ce système, le lisier est réparti en bandes sur le sol au moyen de plusieurs tuyaux souples fixés sur un support. Suivant le fabricant, les tuyaux sont

espacés de 20 à 30 cm. La largeur de travail de ces installations est comprise entre 9 et 18 mètres. Le poids d'un appareil de 12 m de large est d'environ 600 kg. Les épandeurs à tuyaux souples peuvent être raccordés à une citerne à pression ou au système trois points du tracteur (épandage par tuyaux). Les appareils les plus fréquemment utilisés aujourd'hui en Suisse sont fixés au système trois points.

En ce qui concerne la répartition du lisier, on distingue trois systèmes :

- Tête de distribution centrale avec rotor à entraînement mécanique (prise de force) ou hydraulique, qui règle le flux entre les tuyaux disposés en arc de cercle (principe du distributeur à trous);
- Rampes avec sorties jumelées et soupapes pneumatiques à commande électronique ou électromagnétique (tactomate);
- Rampes transversales à vis sans fin.

Les systèmes qui fonctionnent selon le principe du distributeur à trous peuvent être sujets à des bourrages à la sortie de la tête de distribution en fonction du type de lisier utilisé. Ces bourrages sont principalement dus au foin grossier, aux longs brins de paille et aux petits morceaux de bois. Ils surviennent surtout avec le lisier de bovin complet et lors du raccordement de l'épandeur à tuyaux souples aux trois points du tracteur. Dans des cas semblables, il peut s'avérer nécessaire d'installer un séparateur de matières solides à la pompe ou un dispositif de coupe spécial dans la tête de distribution. Les systèmes avec «tactomate» et vis sans fin sont moins sensibles aux bourrages.

Ces systèmes présentent un autre inconvénient: ils sont peu adaptés au travail dans les terrains en pente. Cela tient moins au poids de l'épandeur à tuyaux souples qu'à sa maniabilité. Ces systèmes peuvent être utilisés dans des terrains dont la déclivité est inférieure à 20% lorsqu'ils sont raccordés à une citerne et à 30% lorsqu'ils sont raccordés directement au tracteur.

En raison de la largeur de travail constante, il est souvent difficile dans les prairies de raccorder le passage en cours au dernier passage. On ne peut quasiment pas éviter les inégalités de répartition (lacunes, double épandage) surtout sur les petites parcelles mal dessinées.

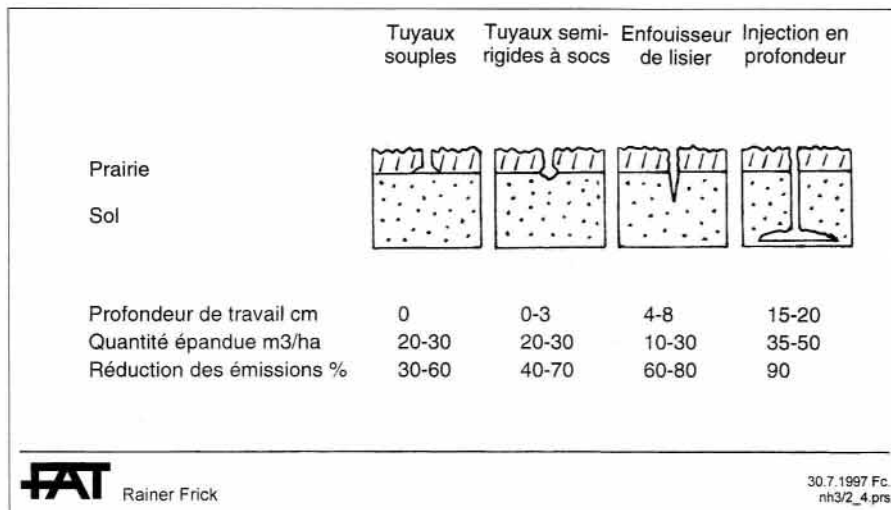


Fig. 7. Types d'épandage ou d'enfouissement du lisier pour les différentes techniques permettant de réduire les pertes lors de l'épandage du lisier.

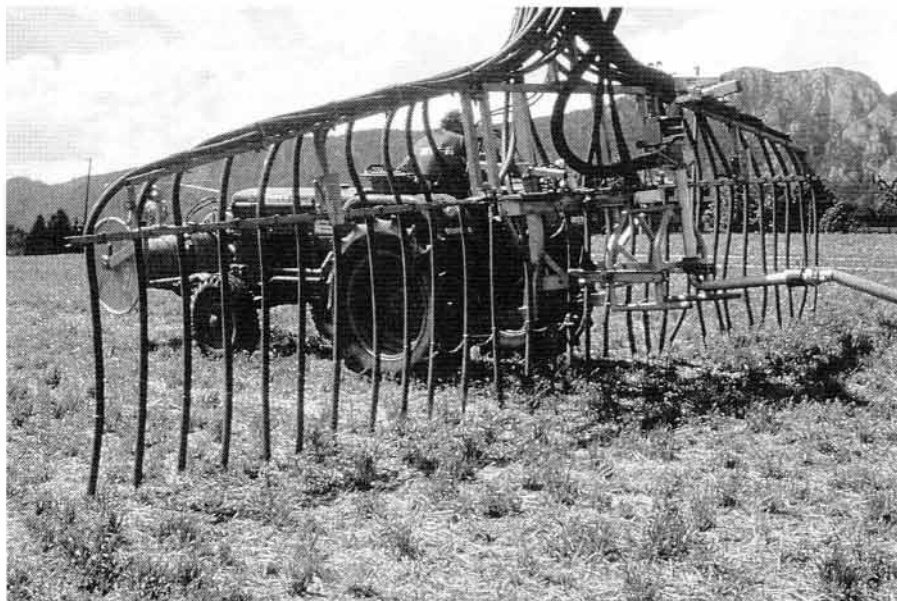


Fig. 8. L'épandeur à tuyaux souples est surtout avantageux dans les grandes cultures (largeur de travail constante, haute précision lors de la répartition), mais il peut également être utilisé dans les cultures fourragères.

Un épandeur à tuyaux souples (largeur de travail 12 m) coûte entre Fr. 15 000.– et Fr. 18 000.– suivant le fabricant et le modèle. L'installation d'un système de compensation du dévers et d'un dispositif de coupe spécial entraînent des coûts supplémentaires de l'ordre de Fr. 800.– à Fr. 2000.–.

Par rapport à l'épandage du lisier sur une large surface, les épandeurs à tuyaux souples permettent de réduire les pertes jusqu'à 60%. Cela tient à ce que le lisier est déposé en bandes et à

ce que la surface de contact avec l'air ambiant est nettement réduite. Certes, l'efficacité de cette méthode varie considérablement en fonction des conditions, comme en témoignent les essais effectués à Tännikon (tab. 3). Alors que pendant le premier essai réalisé à basses températures et sur sol humide, l'épandeur à tuyaux souples a permis de réduire les pertes seulement de 30%, le même procédé (équipé de tuyaux plus rapprochés, certes) a permis de réduire les pertes d'ammoniac

Tableau 3. Pertes ammoniacales dans les trois jours qui suivent l'épandage de lisier (30–32 m³ par ha) sur prairie temporaire avec des techniques d'épandage différentes.

Procédé	Heure de l'épandage	Quantité de N-NH ₄ épandu kg N par ha	Perte de NH ₃ kg N par ha	Perte de NH ₃ en %
<i>Essai 1:</i> Lisier de bovin complet avec 2,8 % MS et 0,8 kg N-NH ₄ par m ³ , température au moment de l'épandage 14 °C, sol humide, juillet 1993				
Défecteur	10:15	26,7	13,1	50
Tuyaux souples ¹⁾	09:50	24,7	9,2	37
Système d'enfouissement	09:15	26,3	6,4	24
<i>Essai 2:</i> Lisier de bovin complet avec 3,4 % MS et 0,8 kg N-NH ₄ par m ³ , température au moment de l'épandage 24 °C, sol sec, juillet 1994				
Défecteur	10:45	23,7	22,6	94
Tuyaux souples ²⁾	09:50	23,0	7,4	32
Système d'enfouissement	10:20	26,0	4,0	15

1) Ecartement des tuyaux: 40 cm.

2) Ecartement des tuyaux: 25 cm.

de plus de 60% au cours d'un deuxième essai réalisé par temps chaud. On peut donc en conclure que l'épandeur à tuyaux souples est particulièrement efficace lorsque les pertes sont élevées en raison de conditions défavorables (temps chaud, sec, mauvaise infiltration).

Distributeur à tuyaux semi-rigides avec socs

Les distributeurs à tuyaux semi-rigides avec socs constituent une extension du système d'épandeur à tuyaux souples. Chaque sortie de tuyau est munie d'un renforcement semblable à un soc qui repousse la végétation sur le côté et gratte légèrement le sol en surface. Les distributeurs à tuyaux semi-rigides avec socs sont surtout conçus pour les prairies mais peuvent également être utilisés dans les grandes cultures dans certaines conditions (cultures de colza et de céréales encore peu développées).

Par rapport à l'épandeur à tuyaux souples, la force de traction nécessaire est plus importante. La distance entre les différents points de sorties est la même que pour les épandeurs à tuyaux. La largeur de travail est comprise entre 3 et 7 m. Comme l'épandeur à tuyaux souples, ces distributeurs peuvent être raccordés soit à la citerne, soit au dispositif trois points arrière du tracteur. Par mètre de largeur de travail, les distributeurs à tuyaux semi-rigides avec socs sont un peu plus lourds que les épandeurs à tuyaux souples. Grâce à leur faible largeur de travail, leur aptitude au travail en pente n'est pas plus mauvaise. Ces systèmes peuvent être utilisés dans des terrains dont la déclivité est inférieure à 20% lorsqu'ils sont raccordés à une citerne et à 30% lorsqu'ils sont raccordés directement au tracteur. En ce qui concerne les bourrages, les limites sont les mêmes que pour les épandeurs à tuyaux souples. Un distributeur à tuyaux semi-rigides avec socs (sans citerne) coûte entre Fr. 25 000.– et Fr. 35 000.–. Une citerne à pompe équipée d'un distributeur à tuyaux semi-rigides avec socs coûte entre Fr. 48 000.– et Fr. 68 000.–, suivant le modèle et la taille de la citerne.

Par rapport à l'épandage sur toute la surface, l'utilisation de tuyaux semi-rigides avec socs permet de réduire les



Fig. 9. A l'étranger, les distributeurs à tuyaux semi-rigides avec socs sont considérés comme une solution intéressante pour les cultures fourragères, mais ne présentent pratiquement aucun avantage en Suisse par rapport aux épandeurs à tuyaux souples.

vail varient entre 2,4 et 6 m. Les différents éléments de l'installation sont espacés de 20 à 30 cm. Le tracteur doit avoir une puissance de 60 à 130 kW, suivant la taille de la citerne, la largeur et la profondeur de travail et suivant l'état du sol (humidité, pourcentage d'argile et de pierres). Les très grosses machines sont également automotrices et ont besoin de moteurs dont la puissance peut aller jusqu'à 180 kW. Le prix d'un épandeur avec système d'enfouissement du lisier oscille entre Fr. 27 000.- et Fr. 47 000.-. Une citerne à pression ou à pompe équipée d'un épandeur avec système d'enfouissement du lisier coûte entre Fr. 51 000.- et Fr. 170 000.- suivant le modèle et la taille de la citerne.

Au vu des expériences réalisées jusqu'à ce jour avec ce type d'appareils, on constate différents inconvénients qui en limitent considérablement l'utilisation, surtout dans les conditions propres à la Suisse (sols lourds, cultures fourragères sur terrains en pente):

pertes de 40 à 70% suivant les conditions. L'efficacité légèrement supérieure de ce système par rapport aux épandeurs à tuyaux souples tient au contact plus intense entre le sol et le lisier épandu. En fait, de tels résultats ne sont possibles que dans les parcelles avec un gazon dense (pâturin annuel et commun) ou avec une végétation relativement haute (pâturages). Au stade auquel se situe habituellement la végétation lors de l'épandage du lisier (prairie coupée court), l'efficacité de ce système ne devrait pas être supérieure à celle de l'épandeur à tuyaux souples.

Epandeur avec système d'enfouissement du lisier (injection superficielle du lisier)

Ce système ouvre le sol ou la couche herbeuse sur 4 à 8 cm de profondeur à l'aide d'un outil tranchant (rasette, disque parabolique conique). Un soc élargit ensuite le sillon qui sera rempli de lisier, puis refermé à l'aide d'un rouleau plombeur.

Les épandeurs avec système d'enfouissement du lisier conçus spécialement pour les surfaces herbagères sont toujours raccordés à de grosses citernes à pompe ou à pression (volume de 6000 l min.). Les largeurs de tra-

Fig. 10. Epandeurs avec système d'enfouissement du lisier dans les prairies: la couche herbeuse est ouverte à intervalles de 25 cm et les sillons sont ensuite remplis de lisier. Dans les sols lourds, insuffisamment ressuyés, la qualité du travail n'est pas satisfaisante.





Fig. 11. Systèmes d'enfouissement du lisier dans les cultures de maïs (injection en profondeur): le lisier est injecté dans le sol à 20 cm de profondeur au moyen des dents fixes du cultivateur. Ce système permet pratiquement d'éviter les pertes d'ammoniac.

- qualité du travail non satisfaisante sur les sols humides à détrempés, argileux et pierreux;
- risque de causer des dommages durables à la couche herbeuse du fait de l'ouverture de fentes dans des sols cohérents ou secs. Les lacunes créées à proximité des fentes peuvent être colonisées par des espèces de moindre valeur, ce qui influence le rendement et la qualité de la culture;
- importante force de traction nécessaire et risque de dommages dus au patinage et aux traces laissées dans le sol;
- important impact sur le sol en raison du poids élevé des machines et de la faible largeur de travail, qui implique un nombre élevé de passages par parcelle;
- aptitude au travail en pente très limitée (en dessous de 10% de déclivité), risque élevé d'accidents.

Par rapport à l'épandage du lisier sur toute la surface, les épandeurs avec système d'enfouissement du lisier permettent de réduire les émissions de 50 à 80%, suivant les conditions météorologiques et l'état du sol (tab. 3). Comme pour l'épandeur à tuyaux souples, la réduction des pertes est moins sensible lorsque les conditions météorologiques sont favorables (basse température, humidité élevée) que lorsque les conditions sont mauvaises.

En outre, on a constaté qu'il était plus difficile d'ouvrir des fentes sur des sols lourds, argileux et détrempés (mauvaise fermeture des fissures) et que cela diminuait l'efficacité de cette méthode.

Pour que cette technique trouve une application plus large, il faut d'abord que les machines soient adaptées aux conditions suisses qui diffèrent des conditions étrangères (citerne plus

petites; éventuellement, attelage au dispositif trois-points arrière du tracteur).

Injection du lisier en profondeur

Avec ce système, des dents fixes ou un chisel ouvrent des sillons de 15 à 20 cm de profondeur dans le sol, à 50 cm d'intervalle les uns des autres, qui seront remplis de lisier.

Les outils pour les cultures fourragères équipés de socs cultivateurs ont une largeur de travail comprise entre 2 et 3 m (quatre ou six socs à 50 cm d'intervalle). Le tracteur doit disposer d'une puissance comprise entre 75 et 90 kW suivant la taille de la citerne, le nombre et la profondeur de travail des socs. En Suisse, il n'existe pas actuellement d'outils pour l'injection du lisier en profondeur dans les surfaces herbagères.

Les outils de grandes cultures appelés «chisels à lisier» ont des largeurs de travail comprise entre 3 et 4,5 m (deux à six chisels à intervalles de 50 à 150 cm). La puissance requise pour le tracteur est comprise entre 60 et 100 kW. Les injecteurs utilisés chez nous pour les grandes cultures sont des modèles attelés à l'arrière ou à l'avant de la citerne. Un injecteur à lisier coûte entre Fr. 28 000.- et Fr. 53 000.- suivant le modèle et la taille de la citerne.

La méthode d'injection du lisier en profondeur exige des sols profonds,

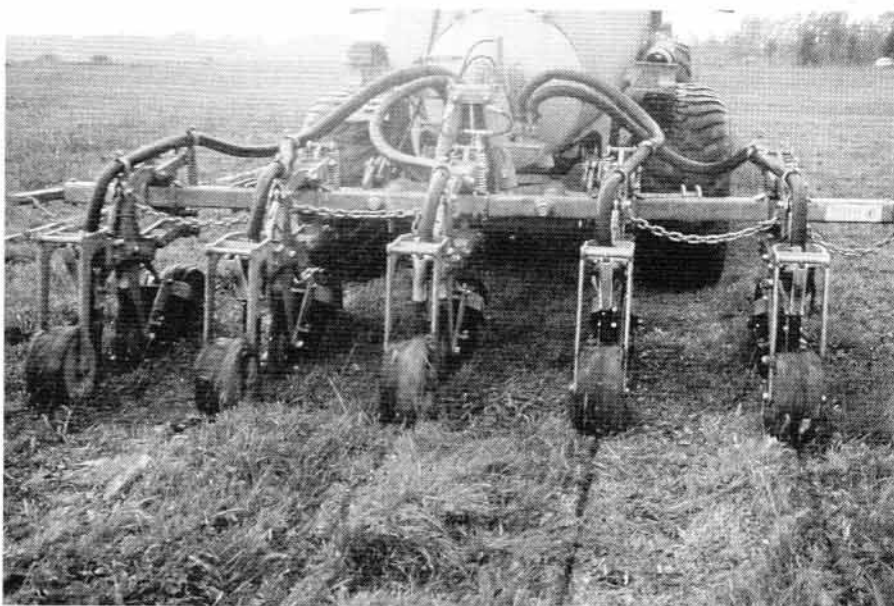


Fig. 12. Injection en profondeur dans les prairies: besoin de traction élevée, risque de lissage à une profondeur critique du sol. Cette technique n'est pas recommandée en Suisse en raison du fort pourcentage de sols lourds.

Evaluation générale et conclusions

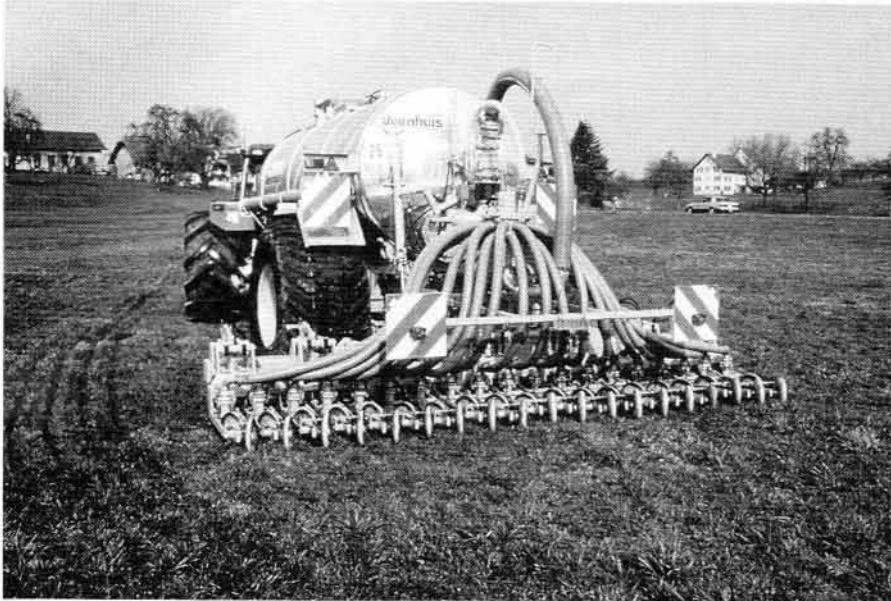


Fig. 13. Epandeur avec système d'enfouissement du lisier (modèle tracté): peu de pertes d'ammoniac, mais que pensent nos sols du poids total de cette machine, soit plus de 14 tonnes (sans compter le tracteur)?

Le tableau 4 indique les différentes possibilités de réduire les pertes d'ammoniac lors de l'épandage d'engrais de ferme et les réductions ainsi obtenues. Les différentes mesures peuvent parfois également être combinées (par exemple période et dilution) de manière à en augmenter encore l'efficacité. En raison de l'interaction des différentes mesures, les valeurs obtenues avec chacune d'entre elles ne peuvent pas simplement être additionnées. (Voir «Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials» Menzi, Frick et Kaufmann 1997).

La comparaison des mesures sur le plan de leur efficacité montre que c'est l'utilisation de techniques d'épandage spéciales qui permet de réduire les pertes au maximum. Cependant, les

pratiquement exempts de squelette. C'est pourquoi les sols superficiels et argileux, largement répandus en Suisse, réduisent considérablement les possibilités d'application de cette méthode. Enfin, l'enfouissement du lisier en profondeur par temps de pluie lisse le sol et cause des dommages à sa structure à une profondeur critique, dommages que le sol n'est plus en mesure de régénérer. Du point de vue de l'impact sur le sol, l'importante force de traction nécessaire n'est pas non plus favorable. Par rapport à une citerne normale, ce système exige une force de traction deux à quatre fois supérieure et accroît donc le risque de dommages dus au patinage.

Dans les sols sableux et riches en silt où le pourcentage de pierres est réduit, l'injection en profondeur fonctionne certes bien, mais va de pair avec un risque important de lixiviation des éléments nutritifs en raison de la grande perméabilité de ces sols. Ce phénomène est néfaste notamment lorsque les apports de lisier sont élevés. On suppose en outre que l'injection de lisier en profondeur entraîne une augmentation des pertes par dénitrification.

Par rapport à un épandage du lisier sur une large surface, la méthode d'injection du lisier en profondeur permet de réduire les pertes jusqu'à 90%. Dans les sols détremés, l'efficacité est certes moindre.

Tableau 4. Effets des mesures prises lors de l'épandage d'engrais de ferme pour réduire les pertes d'ammoniac. Effet = réduction des pertes en pourcentage de l'émission dans les conditions de production actuelles.

Mesure	Réduction des pertes en %	
	Lisier	Fumier
A. Organisation de l'épandage		
1. Prise en compte des conditions météorologiques		
1.1 Choix d'une journée où les conditions sont favorables	20	10
1.2 Choix de la période de la journée	25	10
1.3 Epandage par pluie fine	40	40
2. Planification saisonnière de l'épandage d'engrais de ferme	20	-
3. Prise en compte de l'état du sol	20	-
4. Prise en compte de l'état du sol	10-30 ¹⁾	-
B. Mesures techniques		
1. Mesures de travail du sol dans les grandes cultures		
1.1 Incorporation après l'épandage	20 ²⁾ /40 ³⁾	20 ²⁾ /40 ³⁾
1.2 Ameublissement du sol avant l'épandage de lisier	20	-
2. Technique d'épandage du lisier		
2.1 Tuyaux souples	45	-
2.2 Tuyaux semi-rigides avec socs	50	-
2.3 Système d'enfouissement	70	-
2.4 Injection en profondeur	90	-

1) Suivant le degré de dilution, maximum 1:3 (1 volume de lisier, 3 volumes d'eau).
 2) En cas d'incorporation dans les 24 heures.
 3) En cas d'incorporation dans les 4 heures.

Tableau 5. Appréciation comparative des techniques d'épandage du lisier induisant peu de pertes

Critère	Distributeur traditionnel	Tuyaux souples	Tuyaux semi-rigides avec socs	Système d'enfouissement	Injection en profondeur
Utilisation	Prairie, (champ)	Champ et prairie	Prairie, (champ)	Prairie	Prairie ou champ
Potentiel de pertes	élevé	moyen	moyen	faible	très faible
Précision de répartition	moyenne	très bonne	très bonne	très bonne	bonne
Sensibilité au vent	élevée	faible	aucune	aucune	aucune
Risque d'endommager la couche herbeuse	faible	faible	moyen	élevé	élevé
Force de traction nécessaire	faible	faible	moyenne	élevée	très élevée
Possibilités d'utilisation	nombreuses	limitées	limitées	très limitées	très limitées
Coûts	faibles	moyens	élevés	très élevés	élevés

possibilités de recourir à ces techniques sont parfois très limitées, comme en témoigne l'évaluation comparative des différents systèmes (tab. 5).

Parmi les techniques disponibles aujourd'hui, les épandeurs à tuyaux souples constituent la solution la plus prometteuse. Pour rentabiliser l'investissement, il est préférable d'utiliser cette machine collectivement (achat à deux ou à trois).

Les distributeurs à tuyaux semi-rigides avec socs, très répandus actuellement en Allemagne, ne devraient pas s'imposer beaucoup plus chez nous. D'une part, leur efficacité en matière de réduction des pertes n'est guère meilleure et d'autre part, ils ne sont pratiquement plus intéressants que pour les entrepreneurs de travaux agricoles. Les épandeurs avec système d'enfouissement du lisier sont certes très efficaces mais ne constituent toutefois pas une alternative digne d'être recommandée. L'application de cette méthode est freinée d'une part par les nombreux inconvénients qu'elle présente (poids élevé des machines, importante force de traction nécessaire, mauvaise aptitude au travail dans les terrains en pente, risques d'endommager la couche herbeuse etc.), mais aussi par son coût très élevé qui atteint la limite, même pour l'entrepreneur de travaux agricoles.

Les perspectives pour l'injection en profondeur sont encore plus défavorables. Dans les cultures fourragères, l'échec de cette technique tient notamment aux conditions de sol (lourd,

humide, pierreux). Dans les grandes cultures, l'injection en profondeur peut au moins être utilisée sur les sols légers, mais ne peut être recommandée que sous réserve en raison du risque de lixiviation de l'azote.

La où il ne saurait être question d'ache-

ter un épandeur à tuyaux souples pour des raisons de coût ou pour d'autres raisons, il ne reste plus qu'à appliquer les mesures en matière d'organisation de l'épandage (date de l'épandage, dilution du lisier, incorporation, etc.). Appliquées isolément, ces mesures donnent un résultat modeste. Mais, en revanche l'agriculteur dispose d'une latitude beaucoup plus grande pour les mettre en pratique. Dans l'ensemble, leur efficacité n'est donc guère inférieure.

Les mesures de base, simples (voir encadré), ont l'avantage de pouvoir être appliquées sans problèmes à moindres frais. Avant d'investir dans des techniques onéreuses, il convient d'essayer d'épuiser ces possibilités au maximum. Cela permet non seulement de mieux rentabiliser l'azote épandu (économie de frais d'engrais), mais contribue également à protéger l'environnement.

Bibliographie: chez l'auteur

Traduction: ABConseil SA, Orbe

Recommandations pour éviter les pertes d'ammóniac élevées lors de l'épandage d'engrais de ferme

Prise en compte des conditions météorologiques:

- éviter l'épandage en cas de vent et de grosse chaleur
- fixer l'épandage les jours où le temps est frais, humide et en l'absence de vent
- épandre en fin d'après-midi ou en soirée
- épandre peu de temps avant ou pendant une pluie fine (uniquement lorsqu'on est sûr que des précipitations fortes et prolongées sont exclues)

Dilution du lisier avec de l'eau (taux de dilution recommandés):

- lisier de bovin complet: 1:1 avec la citerne, 1:2 pour l'épandage par tuyaux
- lisier pauvre en excréments et lisier de porcs: 1:2 avec la citerne, 1:3 pour l'épandage par tuyaux

Prise en compte de l'état du sol pour l'épandage du lisier:

- n'épandre le lisier que sur des sols capables de l'absorber
- éviter d'épandre sur des sols croûtés, desséchés, saturés d'eau

Dans les grandes cultures: ameublir le sol et enfouir rapidement les engrais de ferme:

- lisier: ameublir le sol à l'aide d'un cultivateur, d'une herse rotative à axe horizontal etc. avant l'épandage
- fumier: enfouir le fumier immédiatement après l'épandage (dans les heures qui suivent) avec le chisel ou la charrue

Technique d'épandage du lisier:

utilisation d'épandeurs à tuyaux souples