

Fumure en ligne dans le maïs

Judicieuse du point de vue de la production végétale et réalisable du point de vue technique

Rainer Frick, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricole (FAT), CH-8356 Tänikon TG

L'apport d'engrais azoté en lignes de maïs en place a été examiné pendant une période de deux ans. Les essais portant sur la production végétale ont montré que, sur des sols plutôt légers, la fumure azotée en ligne pouvait offrir des avantages également dans des stades avancés (six à huit feuilles). Dans la deuxième année d'essai, les rendements ainsi

que la part d'azote mise en valeur par les plantes étaient nettement supérieurs par rapport à la fumure sur toute la surface. Les distributeurs en ligne offerts comme équipement supplémentaire pour les distributeurs d'engrais centrifuges ne posent pas de problèmes notables dans la pratique. Sur les terrains en pente, la qualité de travail de ces ou-

tils laisse cependant à désirer, soit à cause de la précision d'épandage médiocre des outils avec caisson de distribution, soit du fait que l'engrais est placé de façon inexacte par suite de la dérive latérale. L'acquisition d'un distributeur en ligne est justifiée du point de vue économique si les frais fixes annuels sont au moins couverts par les économies d'engrais.



Fig. 1. Le distributeur d'engrais en ligne permet-il une fumure azotée encore plus ciblée dans le maïs?

Contenu	Page
Problème	2
Aspects relevant de la production végétale	2
Dispositif expérimental	2
Résultats	3
Aspects techniques	4
Construction des outils	4
Programme expérimental	5
Résultats des tests effectués sur le banc d'essai	5
Travail dans la pratique	6
Aspect économique	7
Bibliographie	7

Problème

Dans des cultures telles que le maïs où les lignes sont fortement écartées les unes des autres, l'azote (N) doit-il être épandu sur toute la surface ou en ligne dans un stade avancé? Alors que la fumure en ligne est pratiquement devenue le procédé standard lors du semis, le deuxième apport (stade six feuilles) est généralement épandu sur toute la surface, à l'exception des exploitations utilisant une sarcluse en bandes. Différents fabricants de distributeurs d'engrais centrifuges offrent aujourd'hui des distributeurs en ligne comme équipement supplémentaire permettant de placer l'engrais de manière ciblée dans les lignes de maïs. Or, il se pose la question si l'acquisition d'un outil de ce genre est justifiée. La fumure en ligne offre-t-elle vraiment des avantages dans un stade avancé? Et comment ces outils fonctionnent-ils dans la pratique? Ces questions ont été étudiées pendant une période de deux ans.

Aspects relevant de la production végétale

Pendant la première croissance, le maïs se développe très lentement. Dans cette phase, il nécessite généralement peu d'azote. Puisque les lignes de maïs sont fortement écartées les unes des autres, ce n'est d'abord qu'au-dessous des lignes que le sol est pénétré de racines. Après le semis, les jeunes plantes absorbent donc avant tout l'azote provenant de cette zone. Dans les conditions données (sol perméable, beaucoup de pluie), il existe, par conséquent, le danger de lessivage de l'azote contenu entre les lignes de maïs. Le premier apport d'engrais azoté lors du semis (pas plus d'un tiers de la quantité totale d'azote) devrait donc être épandu en ligne.

Etant donné que, même au bout d'un tiers de la période de végétation (mi-juin), l'enracinement dans les inter-lignes n'est que d'environ 10% par rapport aux lignes de maïs (MAIDL, 1989), il faut supposer que l'azote absorbé par

les plantes provient en majeure partie d'au-dessous des lignes aussi dans un stade avancé. D'où il se pose la question si l'épandage en ligne ne serait pas préférable à l'épandage en surface également lors du deuxième apport (fumure de couverture dans le stade six à huit feuilles).

Dispositif expérimental

En 1993/94, un essai de fumure azotée à deux paramètres a été effectué sur deux parcelles de maïs à sol plutôt léger (limon sableux), les paramètres étant la quantité d'azote épandue (deux ou trois niveaux de fumure) et le mode d'épandage (sur toute la surface

ou en ligne). Les parcelles étaient conçues comme «split-plots», avec quatre répétitions.

L'azote a été épandu uniquement dans le stade six feuilles, sous forme de nitrate d'ammoniaque (27% de N). Le semis a été effectué sans apports d'azote. La fumure a été adaptée à la teneur en N_{min} que le sol avait présentée dans le stade trois à quatre feuilles (niveau de fumure maximal = $220 \text{ kg} - N_{min}$). Il en résultait deux niveaux de fumure (0, 40, 80 kg N/ha) pour 1993 et trois (0, 60, 120, 180 kg N/ha) pour 1994.

Ont été relevés les rendements en MS de plantes entières (maïs d'ensilage) ainsi que les quantités d'azote contenu dans les plantes au moment de la ré-

Tableau 1. Rendements en MS de maïs (moyennes de quatre répétitions) après fumures en surface et en ligne dans le stade six feuilles; essai 1994

Niveau de fumure	kg N par ha	Rendement en MS (dt/ha)		Différence de rendement en %	Degré de signification
		en surface	en ligne		
Zéro	0	82,3	78,9	—	—
1	60	106,6	122,9	13,3	*
2	120	125,4	141,5	11,4	*
3	180	137,3	152,3	9,8	*

* différence significative avec une probabilité d'erreur inférieure à 5 %; ppds (95 %) = 11,3

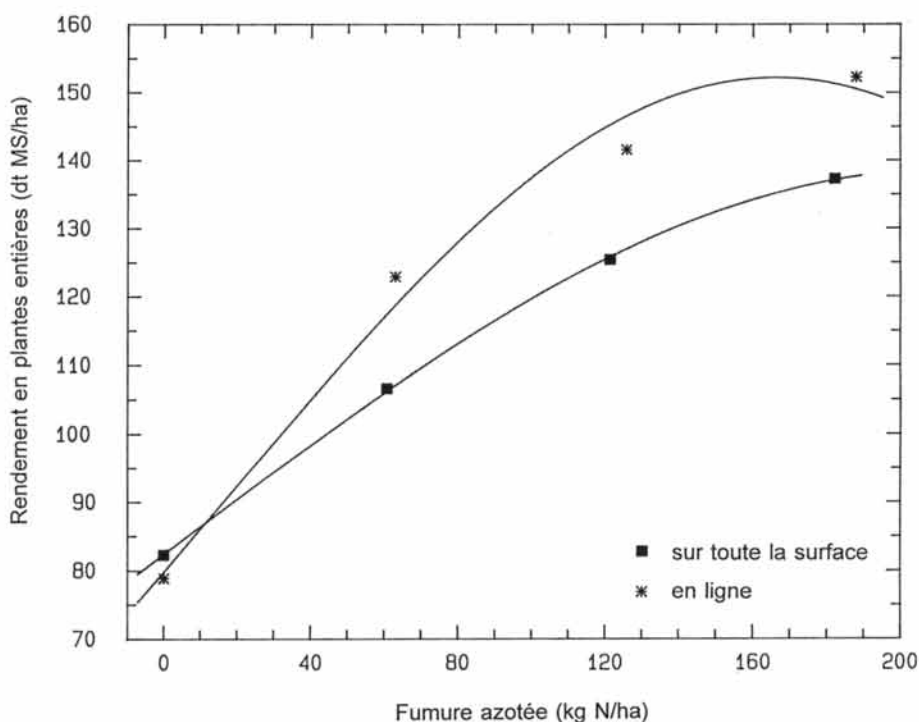


Fig. 2. Rendements en maïs après fumures en ligne et en surface dans le stade six feuilles. Essai 1994, quatre répétitions.

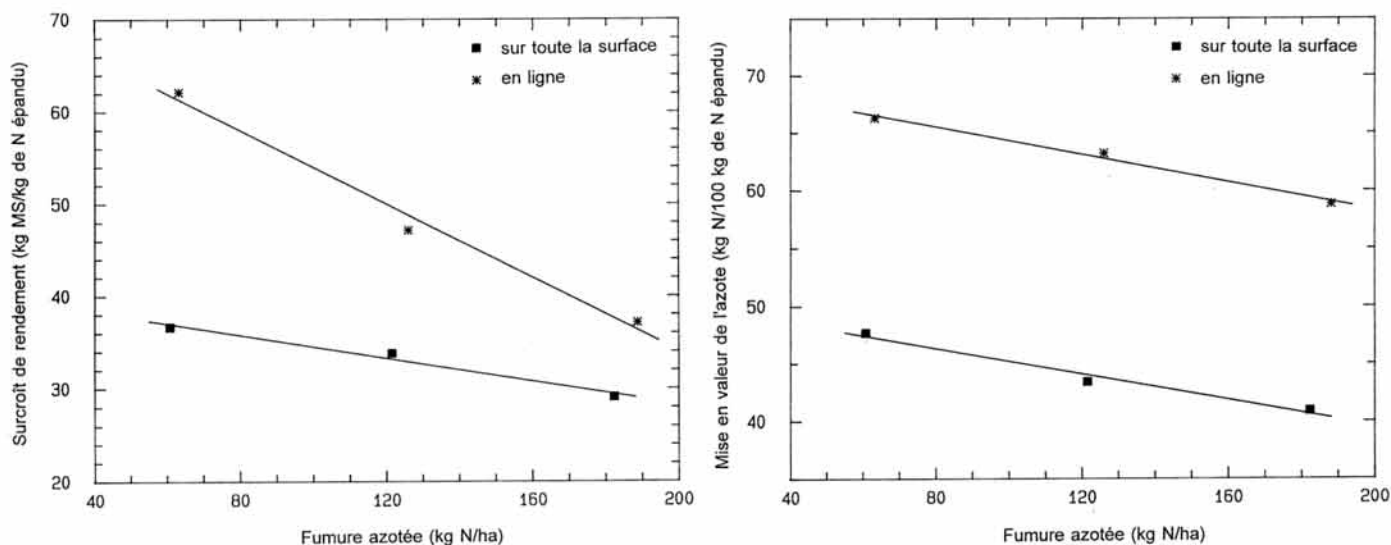


Fig. 3. Surcroîts de rendement (kg MS par kg d'azote épandu) et mise en valeur de l'azote (kg N dans les plantes par 100 kg d'azote épandu) par rapport à la parcelle de référence (fumure 0); apport de l'engrais dans le stade six feuilles. Essai 1994, quatre répétitions.

colte (analyse selon Kjehtdal, FAG). Cela permettait de déterminer les effets sur les rendements et la mise en valeur de l'azote.

Résultats

Le premier essai de 1993 était problématique dans la mesure où, jusqu'au mois de juin, la teneur en N_{min} du sol était montée à des valeurs de presque 140 kg N/ha par suite des températures élevées durant la fin de l'hiver. En dépit de la fumure réduite (seulement deux niveaux de fumure), il ne résultait que des différences par rapport aux parcelles zéro. Pour cette raison, les résultats de cet essai ne sont pas discutés ci-après.

L'essai de 1994 a fait ressortir des différences de rendement significatives entre la fumure en surface et la fumure en ligne (tableau 1). Suivant le niveau de fumure, les rendements obtenus après l'épandage en ligne étaient de 10 à 13% supérieurs par rapport à l'épandage sur toute la surface. Comme le montre la fig. 2, les parcelles fertilisées en ligne nécessitaient jusqu'à 40% moins d'engrais pour le même rendement.

La fig. 3 montre les différences relatives aux rendements (rendements en MS en fonction de la quantité d'azote épandue) et à la mise en valeur de l'azote (quantité d'azote dans les plantes en fonction de la quantité d'azote épandue). Suivant le niveau de fumure, l'épandage en ligne a donné des

surcroîts de rendement de 10 à 25 kg de MS par kg d'azote épandu. Les résultats quant à la mise en valeur de l'azote sont semblables. Alors que seulement 41–48% de l'azote pouvaient être repérés après l'épandage en surface, le taux de mise en valeur s'élevait à 59–66% dans le cas de la fumure en ligne.

Les deux graphiques confirment ce qui était déjà connu, c'est-à-dire le fait que les rendements aussi bien que la mise en valeur de l'azote diminuent nettement lorsque les apports d'azote augmentent. Ainsi les avantages offerts par la fumure en ligne ne se manifestent que dans la mesure où le niveau de rendement optimal n'est pas dépassé.



Fig. 4. Fumure azotée en ligne: la meilleure mise en valeur de l'azote par les plantes permet de réduire les quantités d'engrais et diminue le risque de lessivage des nitrates.



Fig. 5. Feuilles brûlées par suite de l'épandage par-dessus les plantes. Si les brûlures n'ont généralement pas d'influence sur les rendements, elles montrent toutefois que la fumure en ligne au-dessous de la feuille est également judicieuse sous cet aspect.

Conclusion

Si les résultats d'une seule année sont à considérer avec une certaine réserve, ils indiquent toutefois que le maïs est mieux capable de convertir l'azote en rendement si l'engrais est épandu en ligne dans un stade de croissance avancé. Cet avantage semble se confirmer au moins sur des sols plutôt légers avec une faible offre d'azote au printemps, sols tels qu'ils se sont présentés lors de l'essai de 1994 (42 kg de N_{min} par ha dans le stade quatre feuilles). Sur des sols lourds avec un fort pouvoir de dégagement d'azote, la fumure en ligne s'en tirerait probablement moins bien. Cela a été montré par plusieurs essais effectués à l'étranger et portant sur les betteraves (VAN DER BEEK, 1991).

Aspects techniques

Les distributeurs en ligne offerts pour les distributeurs d'engrais centrifuges Amazone, Bögball et Rauch ont été testés en 1994, les caractéristiques techniques et le travail dans la pratique étant les critères décisifs. Le distributeur Vicon, qui n'est plus en vente, mais encore utilisé çà et là, a été inclus dans les tests. Par contre, les scarleuses en

bandes, également utilisables pour la fumure en ligne, ont été négligées.

Construction des outils

Les principales données techniques des outils testés sont récapitulées dans le tableau 2. Un distributeur à tube oscillant est l'outil de base de Vicon, un distributeur à deux disques rotatifs celui des autres marques. Dans les systèmes **Amazone** et **Bögball**, le caisson métallique abritant les disques rotatifs est fixé au fond de la cuve. Les disques répartissent l'engrais sur quatre tuyaux d'épandage. La répartition sur les quatre sorties peut être réglée au moyen de deux (Amazo-

ne) ou de quatre (Bögball) leviers de commande. Le principe de fonctionnement du distributeur **Vicon** est semblable. A l'intérieur d'un caisson recouvert d'une bâche, le tube oscillant répartit l'engrais sur quatre sorties dont chacune est munie de deux tuyaux d'épandage en caoutchouc. Contrairement aux autres marques, les lignes de maïs sont ainsi fertilisées des deux côtés. Le système d'épandage **Rauch**, à 7 rangs, est fondamentalement différent. Une vis sans fin actionnée par l'arbre de l'agitateur transporte l'engrais vers une tête de distribution qui alimente sept tuyaux d'épandage. L'engrais excédentaire retombe dans le récipient



Fig. 6. Sur les terrains en pente, la précision d'épandage des systèmes avec caisson de distribution diminue fortement (distributeur en ligne Vicon).

Tableau 2. Distributeurs en ligne pour distributeurs d'engrais centrifuges: données techniques et prix

Marque, type Outil de base ¹⁾		Rauch RFZ 7 MDS 701	Amazone ZA-OC 700	Bögball DZ 700	Vicon PS 450
Système d'épandage		vis sans fin	caisson de distribution	caisson de distribution	caisson de distribution
Nombre de rangs		7	4	4	4
Ecartement des rangs	cm	40 - 80	40 - 80	40 - 90	60 - 90
Largeur de travail	m	2,8 - 5,6	1,6 - 3,2	1,6 - 3,6	2,4 - 3,6
Distribution de l'engrais		d'un côté/en large	d'un côté	d'un côté	des deux côtés
Diamètre des tuyaux	mm	45	75	45	55
Réglage en hauteur		hydraulique	chaîne	goupille	hydraulique
Importateur		Ott, 3052 Zollikofen	Bucher, 8166 Niederweningen	Haruwy, 1032 Romanel	n'est plus en vente
Prix (1995)	Fr.	2700.--	1230.-	2050.--	

¹⁾ les distributeurs en ligne peuvent également être combinés avec d'autres types de distributeurs d'engrais

en passant par un déversoir. L'équipement comprend de petits déflecteurs que l'on visse sur la sortie des tuyaux et qui permettent d'épandre l'engrais aussi dans les interlignes.

Afin d'adapter le système d'épandage aux écartements des lignes, il suffit de déplacer les tuyaux latéralement ou de tourner la fixation (Vicon). La quantité d'engrais à épandre est réglée par les trappes, la vitesse d'avancement et, dans le cas du système Rauch, supplémentairement par le régime de la prise de force.

Programme expérimental

La répartition de l'engrais sur les différents tuyaux d'épandage a été mesurée sur le banc d'essai, à l'aide de récipients disposés en travers du sens d'avancement. Les mesures ont été effectuées à différents régimes de la prise de force, en terrain plat et en pente (simulée par une plate-forme basculante, inclinée de 20%).

La qualité de travail dans la pratique a été examinée dans du maïs en place (stade trois à six feuilles), sur une surface totale de 9 ha.

Tableau 3. Evaluation de la précision d'épandage selon le coefficient de variation (CV en %) et l'écart maximal (EM en %)

CV en %	EM en %	Evaluation
< 5	< 10	excellent
5 - 10	10 - 20	bon
10 - 20	20 - 30	suffisant
> 20	> 30	insuffisant

Résultats des tests effectués sur le banc d'essai

En **terrain plat**, l'engrais a été réparti de façon très exacte par tous les outils examinés (coefficient de variation < 5%; fig. 7). Dans le cas des distributeurs Amazone et Bøgballe, il fallait pourtant plusieurs passages pour trouver la bonne position des leviers de réglage. Etant donné que la trappe centrale a également une influence sur la position optimale des leviers, il est indispensable, aussi dans la pratique, de mesurer la répartition sur les quatre tuyaux de ces distributeurs avant de procéder à l'épandage de l'engrais. La précision d'épandage du distributeur

Vicon dépend fortement du régime de la prise de force (voir tableau 4). La répartition la plus exacte sur les tuyaux s'obtient à de bas régimes (environ 250 tr/min).

Les résultats obtenus sur la plate-forme basculante (travail en pente) variaient d'un cas à l'autre (fig. 7). Grâce au transport forcé de l'engrais par le système à vis sans fin, le distributeur Rauch assure une répartition très précise même à 20% d'inclinaison. La précision d'épandage des distributeurs Amazone, Bøgballe et Vicon est, par contre, insuffisante en pente.

A l'exception de Vicon, le **régime de la prise de force** n'a pas d'influence

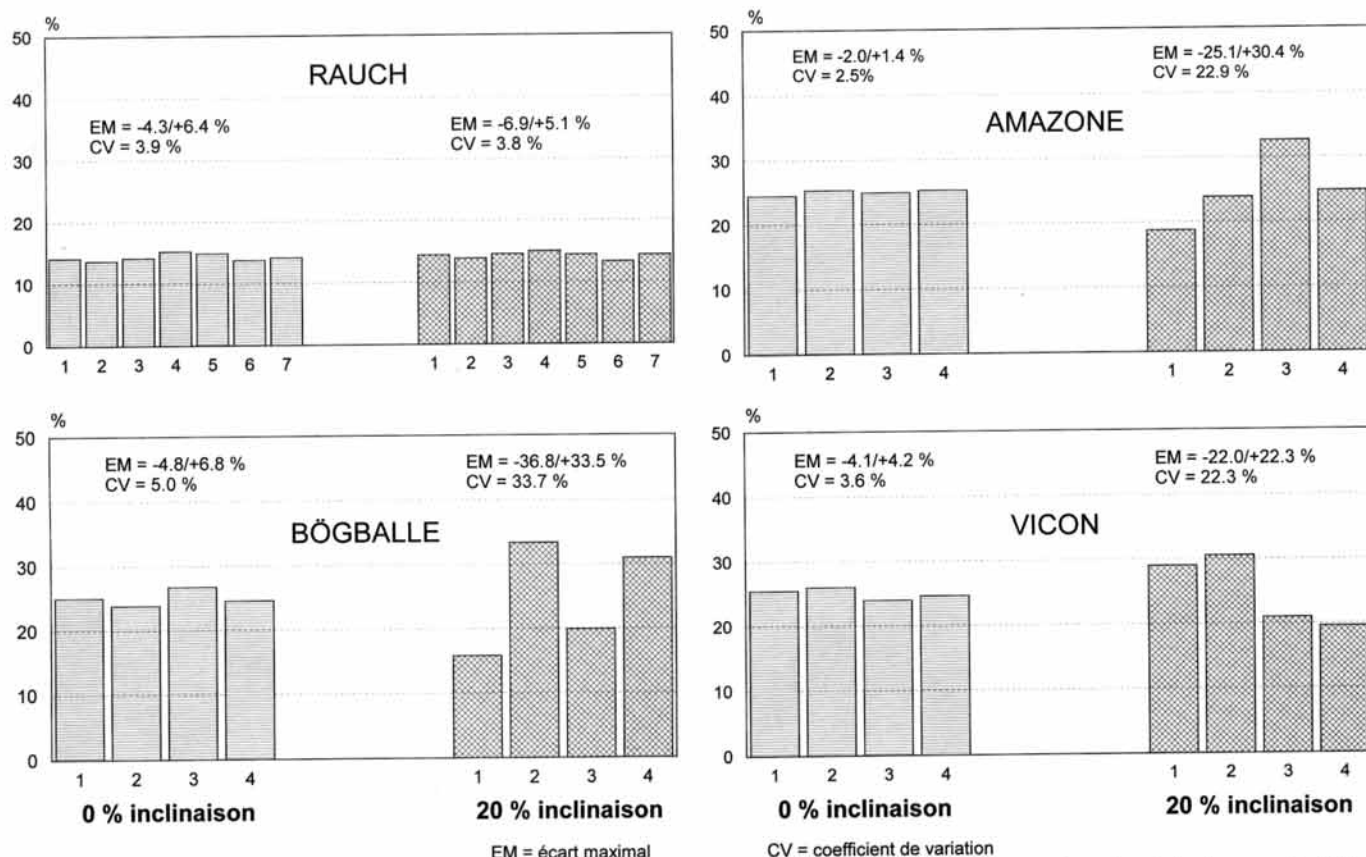


Fig. 7. Distributeurs en ligne pour distributeurs d'engrais centrifuges: précision d'épandage en terrain plat et en pente (20% d'inclinaison en travers du sens d'avancement). Evaluation des valeurs statistiques: voir tableau 3.

Tableau 4. Ecart maximal et moyen entre les quantités d'engrais sortant des différents tuyaux et la quantité moyenne, en fonction du régime de la prise de force

Marque	Régime de la prise de force tr/min	Quantité épandue ¹⁾ kg/ha	Ecart en %	
			maximal	moyen
Rauch	300	285	6,4	3,1
	420	393	7,4	4,4
	540	459	5,6	3,2
Amazon	300	318	2,0	1,1
	420	428	4,8	4,3
	540	450	2,9	1,5
Bögballe	300	305	6,8	3,4
	420	352	6,9	3,5
	540 ²⁾	--	--	--
Vicon	250	284	4,2	2,9
	420	322	24,7	15,6
	540	371	12,7	10,0

1) calculée pour une vitesse d'avancement de 6 km/h et une distance de 75 cm entre les lignes
2) pas de mesures du fait que les granulés ont été fortement broyés

notable sur la précision d'épandage (tableau 4). Dans le cas du distributeur Amazon et particulièrement dans celui de Bögballe, les granulés ont été broyés à des régimes élevés. 300 tr/min sont donc le maximum pour le travail avec ces outils. Voici les régimes auxquels l'engrais est réparti de façon précise:

Vicon: 250 tr/min
Amazon, Bögballe: 300 tr/min
Rauch: 300 ou 540 tr/min, suivant l'indication dans les instructions d'emploi.
Pour tous les outils examinés, un régime plus élevé de la prise de force a pour effet d'augmenter la quantité d'engrais épandue. Un régime constant est donc

important non seulement pour la répartition exacte de l'engrais sur les différentes lignes, mais également quant à la vitesse à choisir afin que la quantité d'engrais épandue soit finalement correcte.

A noter, en outre, que la largeur de travail du distributeur en ligne est bien inférieure par rapport à l'épandage normal et que, par conséquent, les indications relatives au réglage du débit doivent être corrigées dans le tableau d'épandage. Il existe pour le distributeur Rauch un tableau spécial pour l'épandage en ligne. Les valeurs mesurées ne différaient que de 5% des valeurs indiquées dans ce tableau.

Travail dans la pratique

Sur les terrains en pente (semis en travers de la pente), l'engrais risque d'être placé trop loin des lignes de maïs par suite de la dérive. Lors de la descente avec les distributeurs Amazon et Bögballe (semis dans le sens de la pente), l'engrais se bloquait dans la partie antérieure du caisson de distribution. Ce problème ne se pose pas si le caisson est monté de façon à être légèrement incliné vers l'arrière. Les tuyaux d'épandage doivent être bien réglés en hauteur. Dès qu'ils sont



Fig. 8. Les performances réalisables par l'épandage en ligne sont plutôt modestes. Cet inconvénient ne peut pas entièrement être compensé par une vitesse d'avancement plus élevée. La répartition de l'engrais sur les lignes est d'autant moins précise que la vitesse d'avancement est élevée (distributeur en ligne Bögballe).



Fig. 9. Les tuyaux flexibles offrent l'avantage de ne pas blesser les plantes. Si le diamètre est suffisamment grand, l'engrais ne risque pas de se bloquer à l'intérieur des tuyaux (distributeur en ligne Amazon).

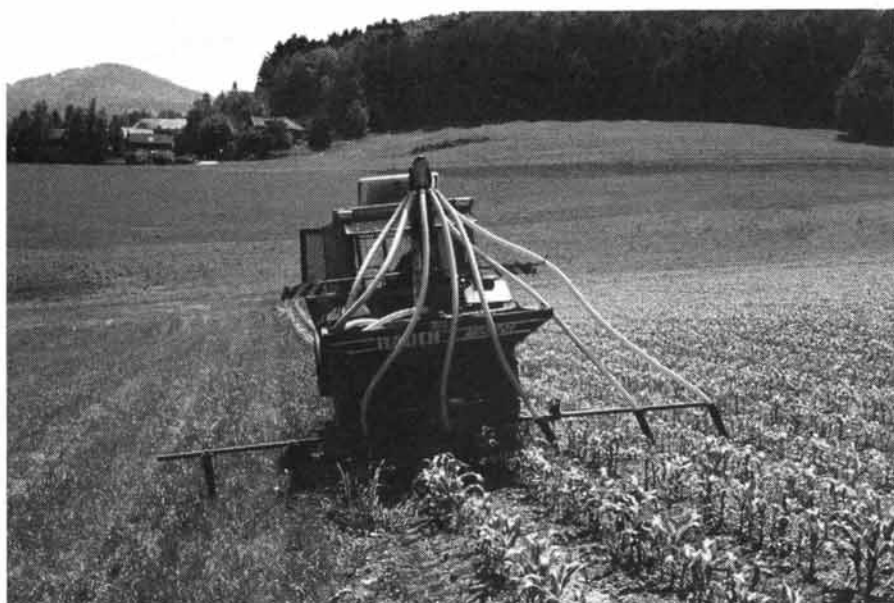


Fig. 10. En posant les tuyaux extérieurs dans la cuve, on peut réduire la largeur de travail, par ex. lors de l'épandage de l'engrais en bord de champ (distributeur en ligne Rauch).

trop bas, les plantes risquent d'être endommagées par suite du mouvement oscillant du distributeur. S'ils sont trop hauts, les aisselles des feuilles sont atteintes par des granulés, ce qui peut causer des brûlures.

Le travail avec le distributeur Rauch à 7 rangs est peu compatible avec le semis à 4 rangs tel qu'il est usuel en culture de maïs; cela particulièrement en cas d'un semis inexact ou sur les terrains en pente. Un épandage peu précis de l'engrais en est la conséquence. Ce problème est moins grave si l'on se limite à une fumure à six rangs. Dans le cas des distributeurs Bögballe et Rauch, l'engrais commençait à coler dans les tuyaux d'épandage quand l'air était humide. Amazone et Vicon l'emportent à cet égard grâce au diamètre mieux dimensionné des tuyaux.

Les performances réalisables par la fumure en ligne sont relativement modestes. Elles s'élèvent à 1-1,3 ha/h pour un distributeur à 4 rangs et à 1,5-2 ha/h pour celui à 7 rangs, suivant la longueur du champ (vitesse d'avancement 6-8 km/h, manœuvres de demi-tour et temps de remplissage compris). La mise en service du distributeur en ligne n'implique que de moindres modifications sur l'outil de base. Le montage de même que le démontage de l'équipement supplémentaire exigent une demi-heure à une heure.

Aspect économique

La comparaison entre les frais fixes annuels et les économies d'engrais pouvant être réalisées par la fumure en ligne permet d'estimer la rentabilité d'un distributeur en ligne. Compte tenu des frais fixes annuels et en supposant qu'environ 40 kg d'azote ou Fr. 60.- (1 kg d'azote pur contenu dans le nitrate d'ammoniaque = Fr. 1.50) soient économisés par ha grâce aux meilleurs rendements, il faudrait fertiliser 4 à 7 ha par an pour justifier l'acquisition d'un distributeur en ligne du point de vue purement économique (tableau 5). Les frais annuels s'obtiennent par addition des frais fixes et des frais variables. Ces derniers varient entre Fr. 1.70 et Fr. 2.45 par ha, suivant la marque. Si l'économie d'engrais est supérieure aux valeurs citées, la surface minimale à fertiliser sera plus petite.

Tableau 5. Surfaces minimales exigées afin que l'utilisation du distributeur en ligne soit rentable. Durée d'emploi supposée: 12 ans

Marque	Prix Fr.	Frais fixes annuels Fr.	Economie d'engrais Fr./ha	Surface nécessaire ha/an
Amazone	1230.-	230.-	60.-	3,8
Bögballe	2050.-	357.-	60.-	6,0
Rauch	2700.-	436.-	60.-	7,3

Conclusion

En principe, les outils ayant fait l'objet des tests se prêtent bien à la pratique. En terrain plat, tous les modèles assurent une répartition régulière de l'engrais sur les lignes de maïs. Pour les systèmes avec caisson de distribution et leviers de réglage, il faut cependant déterminer la répartition sur les différents tuyaux avant d'épandre l'engrais. Sur les terrains en pente, ce n'est que le système à vis sans fin qui garantit un épandage suffisamment précis. La qualité de travail des outils avec caisson de distribution est favorisée par des régimes relativement bas de la prise de force. Un distributeur d'engrais en ligne est rentable à partir d'une surface d'environ 4 ha, les économies d'engrais, le prix de l'outil et les frais annuels étant les facteurs décisifs.

Bibliographie

MAIDL F.X., FISCHBECK G., 1989: Neue Wege einer gezielteren Stickstoffdüngung zu Mais. VDLUFA-Schriftenreihe 30, 143-148.

VAN DER BEEK M.A., WILTING P., 1991: Rüben: weniger Stickstoff durch Reihendüngung? Top Agrar 3/91.

Traduction: Peter Rosenstiel, FAT