

Technique d'épandage des engrais à base de déchets et du fumier de stabulation libre

Qualité du travail et adéquation de différents systèmes d'épandage

Rainer Frick, Jakob Heusser et Matthias Schick, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), CH-8356 Tänikon

Il existe aujourd'hui un grand choix de machines pour l'épandage du fumier de stabulation libre et d'engrais à base de déchets. La FAT a effectué plusieurs essais pratiques pour étudier l'adéquation de ces machines à différents engrais. Le principal objectif était de comparer les différents systèmes d'épandage sur le plan de la qualité du travail. On a étudié la largeur de travail utile, la précision d'épandage en long et en large par rapport à la progression de la machine, la finesse de répartition (uniquement pour le fumier de stabulation), la puissance de traction et la puissance à la prise de force, les parcours possibles ainsi que le risque de surcharge avec les différents engrais. L'essai a porté sur les machines suivantes: des épandeurs à fumier avec vis verticales et horizontales, un épandeur de compost avec assiettes d'éjection, un épandeur latéral et un épandeur universel avec un dispositif à disques ou avec une vis d'épandage. Quant aux engrais, il s'agissait de fumier de stabulation libre, de compost de matériaux verts, de boues d'épuration déshydratées (chaulées), de boues d'épuration séchées (85 à 90% de MS) et de chaux Ricoter. Dans l'ensemble, la précision d'épandage en large par rapport à la progression de la machine s'est avérée bonne à très bonne pour les différents systèmes étudiés. Par contre, la précision d'épandage en long s'est avérée, elle, insuffisante, notamment sur les machines qui n'étaient pas équipées de porte-guillotine. La précision est nettement meilleure avec un épandeur latéral pourvu d'une paroi coulissante. Les



Fig. 1: Le fumier et les engrais à base de déchets doivent être épandus dans la quantité recommandée, le plus exactement et le plus finement possible, en ménageant les sols. Les essais d'épandage en plein champ ont servi à étudier l'adéquation des différents systèmes.

largeurs de travail utiles qui peuvent varier considérablement pour la même machine en fonction de l'engrais épandu, sont comprises entre 3 et 4 m pour les vis horizontales, entre 5 et 7 m pour les vis verticales, entre 10 et 13 m pour les assiettes d'éjection et les épandeurs latéraux, et enfin entre 9 et 12 m pour les épandeurs universels. Dans le cas du fumier, la finesse de répartition était très satisfaisante avec l'épandeur latéral et la machine équipée de quatre vis verticales, elle était satisfaisante avec les autres systèmes. La puissance nécessaire pour l'entraînement du dispositif d'épandage est nettement plus importante pour le fumier de stabulation libre que pour les autres types d'engrais. Les épandeurs latéraux et les assiettes d'éjection nécessitent plus de puissance à la prise de force que les autres dispositifs. L'épandeur monocoque surbaissé, équipé de roues de tracteurs est très facile à tracter. Pour les engrais qui présentent une densité apparente élevée (chaux

Ricoter, boues d'épuration déshydratées), la pleine charge peut entraîner une surcharge du véhicule.

Pour pouvoir doser le plus exactement possible les quantités d'engrais nécessaires aux cultures, les épandeurs à fumier et à compost doivent être

Sommaire	Page
Problématique	2
Programme d'essai	2
Résultats	7
Conclusions et recommandations	17
Sécurité du travail et circulation sur route	19
Commentaire sur les diagrammes de distribution	20
Bibliographie	20

Problématique

Les engrais solides à base de déchets et les engrais de ferme occupent une position essentielle pour la fumure des grandes cultures et des cultures fourragères. Or, pour pouvoir satisfaire toutes les exigences relatives à l'efficacité des éléments fertilisants et à la compatibilité environnementale, les engrais doivent être épandus au bon moment, dans la quantité voulue et être répartis régulièrement. C'est pourquoi il est très important de bien choisir le système d'épandage. Le marché offre un grand choix de

machines. Ces différents systèmes d'épandage conviennent-ils pour l'épandage des principaux engrais à base de déchets et du fumier de stabulation? Quelle qualité de travail est-on en droit d'attendre? Pour l'utilisation des engrais à base de déchets, il est essentiel de connaître la quantité optimale à épandre. Cette quantité dépend d'une part, de la teneur en éléments fertilisants de l'engrais utilisé et d'autre part, de l'apport recommandé chaque année en phosphate et azote (principaux éléments fertilisants).

pourvus d'un fond mouvant à entraînement hydraulique, réglable en continu. Lorsque les engrais présentent une texture grumeleuse fine, une porte-guillotine est avantageuse. Pour l'épandage de boues d'épuration chaulées ou séchées, il est recommandé d'employer un épandeur universel avec un tapis roulant en caoutchouc. Le volume de chargement de l'épandeur doit être adapté en fonction de la longueur des parcelles et devrait être suffisamment important pour les épandeurs dont la largeur de travail est élevée. Deux points doivent également être pris en compte: premièrement, les machines doivent être de construction stable (chariot, châssis et cuve) et deuxièmement, les pneus doivent permettre de ménager les sols.

Programme d'essai

Épandeurs et systèmes d'épandage étudiés

Les machines sélectionnées avaient pour but d'appréhender si possible tous les systèmes qui entrent en ligne de compte pour l'épandage du fumier et des différents engrais à base de déchets. L'essai a donc porté sur quatre épandeurs de fumier, un épandeur de compost, deux épandeurs universels et un distributeur centrifuge. Le tableau 1 récapitule les principales spécifications techniques des épandeurs et indique quels engrais ont été utilisés. Les épandeurs employés se distinguent essentiellement par leur conception, leur taille, le dispositif de dosage des engrais et le dispositif d'épandage. Concernant la des-

cription des systèmes d'épandage, voir également tableau 14.

Conception et taille: Les épandeurs Jeantil Epandor 2, Epandor 3 et Bergmann sont des épandeurs de fumier de conception traditionnelle. Mis à part le dispositif d'épandage, les machines Jeantil Epandor 2 et 3 sont similaires et ont la même taille. Le Jeantil EVV Epandor 5 se distingue des autres épandeurs de fumier par sa cuve haute et étroite, son essieu surbaissé et les deux grosses roues de tracteur dont il est équipé. L'épandeur latéral Gafner 5.5 A-Vario, également surbaissé, constitue une version plus robuste et plus grande de l'épandeur latéral tracté traditionnel. La même machine existe également avec un volume de chargement de 7 m³. La cuve présente une forme conique et le dispositif d'épandage est placé à l'avant. Une paroi coulissante reliée au fond mouvant amène les engrais vers le dispositif d'épandage. Une porte-guillotine hydraulique est également placée devant le dispositif d'épandage (fig. 19). Les épandeurs universels (Bredal, Amazone), conçus pour l'emploi d'engrais minéraux, sont tractés et présentent également une cuve de forme conique. L'Amazone ZG-B est monté sur un essieu tandem, toutes les autres machines (épandeurs de fumier et épandeur universel Bredal) ont un essieu unique. La taille de l'épandeur est généralement indiquée avec le volume de chargement maximum. Le tableau 1 indique également le volume de chargement (théorique) correct (jusqu'à la limite supérieure des ridelles). Lorsque les épandeurs sont chargés au maximum, le chargement dépasse généralement la hauteur des ridelles. C'est pourquoi le volume de chargement possible est souvent d'environ

1,5 m³ supérieur à la capacité théorique, suivant la taille de l'épandeur.

Dispositifs d'épandage: Le **Jeantil Epandor 2** est équipé de deux vis hélicoïdales horizontales: une vis supérieure de petit diamètre (vis d'alimentation) et une vis centrale de distribution. Sous cette dernière se trouve une troisième vis, de petit diamètre, qui répartit les engrais qui n'ont pas été pris par la vis de distribution afin d'éviter les mottes de fumier. La vis de distribution (diamètre de 54 cm) présente des spires importantes qui permettent au système d'épandre les engrais sur une surface plus large que les épandeurs étroits traditionnels. L'épandeur **Bergmann M 700 SX** est équipé de quatre vis hélicoïdales verticales, légèrement inclinées, pourvus de dents doubles en V et mesurant 140 cm de long. La position surbaissée du dispositif d'épandage (le fond du dispositif d'épandage va jusque sous le fond mouvant) garantit que la totalité de l'engrais passe par les vis de distribution. Sur le **Jeantil EVV Epandor 5**, le dispositif d'épandage se compose de deux vis hélicoïdales verticales, présentant une inclinaison relativement forte vers l'intérieur. Les vis de distribution de 56 cm de large sont pourvues de dents simples perpendiculaires. Le dispositif d'épandage a une hauteur de 145 cm. Deux assiettes horizontales sont placées à l'extrémité inférieure des vis et présentent un diamètre de 60 cm. Le **Jeantil EP Epandor 3** présente quatre assiettes d'éjection horizontales (diamètre 55 cm) chacune pourvue de deux pales de projection fixes. Deux hérissons horizontaux à fraise amènent les engrais contre la paroi arrière, d'où ils tombent sur l'agrégat d'épandage. L'épandeur latéral **Gafner 5.5 A-Vario** (fig. 2) se compose d'un rotor-étoile central (alimentation), d'un rotor planétaire (prébroyage) et d'un rotor de distribution (émission latérale) et d'un petit rotor situé en dessous (ramassage des restes d'engrais). Une trappe de distribution commandée par un vérin hydraulique permet de régler la portée d'éjection. Le distributeur centrifuge **Vicon Duoflow** et les deux épandeurs universels **Bredal** et **Amazone** sont équipés d'un dispositif d'épandage à deux disques. L'Amazone ZG-B peut également être équipé d'une vis d'épandage frontale avec une largeur de travail de 9 ou 12 m pour épandre les engrais secs et pulvérisés le plus près du sol possible.

Dosage des quantités: Sur les épandeurs de fumier et les distributeurs de compost, les engrais sont amenés jus-

Tab. 1a: Données techniques des épandeurs employés

	Fabricant et modèle			
	Jeantil EP 2060 Epandor 2	Jeantil EP 2060 Epandor 3	Jeantil EVV 10000 Epandor 5	Bergmann M 700 SX
				
Type d'épandeur	Epandeur de fumier	Epandeur de fumier et distributeur de compost	Epandeur de fumier	Epandeur de fumier
Dispositif d'épandage	2 vis hélicoïdales horizontales	Dispositif d'épandage large avec 4 assiettes d'éjection et 2 hérissons à fraise horizontaux	2 grosses vis hélicoïdales verticales	4 vis hélicoïdales verticales
Volume de charge : maximum/équilibré	8,4 / 6,8 m ³	8,4 / 6,6 m ³	11 / 7,9 m ³	10 / 8,2 m ³
Dimensions du pont de chargement: L x l x h	395 x 198 x 90 cm	380 x 198 x 90 cm	470 x 142 x 120 cm	465 x 178 x 100 cm
Poids à vide	2960 kg	3800 kg	4370 kg	3150 kg
Mode d'attelage	Tracté, chape d'attelage	Tracté, attelage bas	Tracté, chape d'attelage	Tracté, chape d'attelage
Chariot	Essieu unique	Essieu unique	Essieu unique	Essieu unique
Pneus	550/45-22.5	600/50-22.5	18.4/15-34	550/60-22.5
Dosage des quantités	Fond mouvant hydraulique avant-arrière	Fond mouvant hydraulique avant-arrière	Fond mouvant hydraulique avant-arrière	Fond mouvant hydraulique avant-arrière
Dispositif de retenue, de dosage	Aucun	Porte-guillotine	Porte-guillotine	Aucun
Valeur à neuf, env.	Fr. 19070.–	Fr. 27940.–	Fr. 37350.–	Fr. 25800.–
Distribution	GVS-Agrar, 8207 Schaffhausen	GVS-Agrar, 8207 Schaffhausen	GVS-Agrar, 8207 Schaffhausen	Beeler, 8536 Hüttwilen
Engrais utilisés	Fumier de stabulation libre Compost de matériaux verts	Fumier de stabulation libre Compost de matériaux verts Boues d'épuration déshydratées Chaux Ricoter	Fumier de stabulation libre Compost de matériaux verts Boues d'épuration déshydratées Chaux Ricoter	Fumier de stabulation libre Compost de matériaux verts Boues d'épuration déshydratées Chaux Ricoter

Tab. 1b: Données techniques des épandeurs employés

	Fabricant et modèle			
	Gafner 5.5 A-Vario	Bredal B80 L	Amazone ZG-B 16001 TR	Vicon Duoflow DS 751
				
Type d'épandeur	Epandeur latéral	Epandeur universel	Epandeur universel	Distributeur d'engrais centrifuge
Dispositif d'épandage	Dispositif à éjection latérale avec rotor-étoile et rotor de distribution	Dispositif d'épandage à deux disques	Dispositif d'épandage à deux disques / vis d'épandage frontal	Dispositif d'épandage à deux disques
Volume de charge: maximum/équilibré	5,5 / 4,5 m ³	8,2 / -- m ³	9 / -- m ³	750 / -- Liter
Poids à vide	2010 kg	env. 3000 kg	env. 4400 kg	env. 350 kg
Mode d'attelage	Tracté, chape d'attelage	Tracté, chape d'attelage	Tracté, chape d'attelage	Attelage trois-points
Chariot	Essieu unique	Essieu unique	Essieu tandem	-
Pneus	16.0/70-20	21.0/80-20	550/60-22.5	-
Dosage des quantités	Fond mouvant hydraulique avant-arrière	Tapis roulant automatique avant-arrière avec 2 vitesses de progression	Tapis roulant automatique avant-arrière avec 2 vitesses de progression	2 doseurs
Dispositif de retenue, de dosage	Paroi coulissante et porte-guillotine	-	-	-
Valeur à neuf, env.	Fr. 22000.-	Fr. 33000.-	Fr. 65000.- sans vis d'épandage Fr. 80000.- avec vis d'épandage	Fr. 4400.-
Distribution	Gafner, 8636 Wald	Utilisé par les entreprises de travaux agricoles	Utilisé par les entreprises de travaux agricoles	Bucher, 8166 Niederweningen
Engrais utilisés	Fumier de stabulation libre Compost de matériaux verts Boues d'épuration déshydratées Chaux Ricoter	Chaux Ricoter	Granulés à base de boues d'épuration séchées	Granulés à base de boues d'épuration séchées

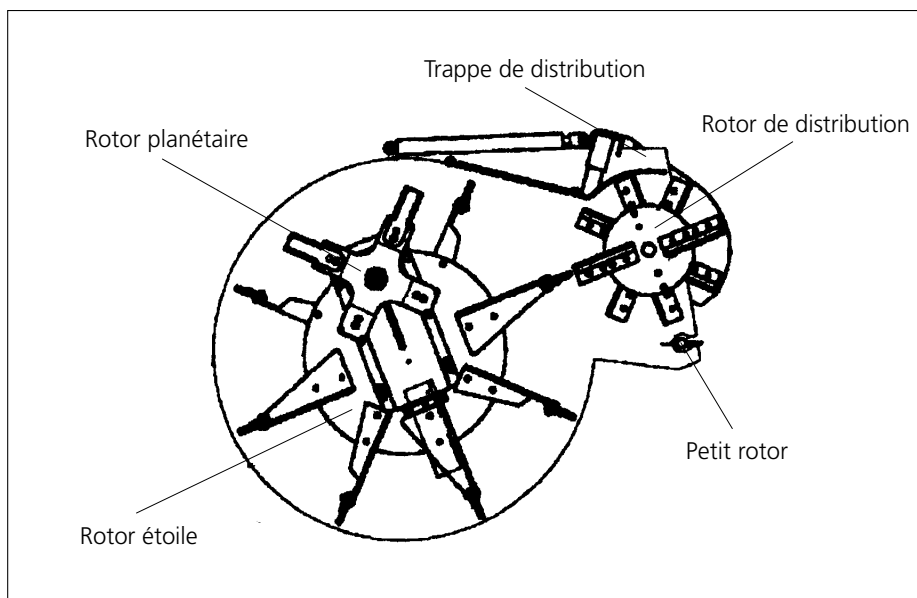


Fig. 2: Schéma de fonctionnement de l'épandeur latéral Gafner A-Vario (Source: Gafner, Wald).

qu'aux vis de distribution via un **fond mouvant**. Ce dernier est entraîné hydrauliquement sur les cinq épandeurs et peut être actionné en avant et en arrière. Un régulateur du débit permet de régler la vitesse d'avancement, soit en continu (Bergmann et Gafner) soit sur plusieurs paliers (épandeurs Jeantil).

Les épandeurs Jeantil Epandor 3, Jeantil Epandor 5 et Gafner A-Vario sont équipés d'une **porte-guillotine** hydraulique, qui est rabattue avant le chargement et remontée pendant l'épandage (fig. 3). Ce dispositif a pour but d'éviter que des engrais tombent entre les vis de distribution lors du chargement. Pendant l'épandage, elle répartit le chargement de manière homogène devant le dispositif d'épandage. Pendant les essais, les épandeurs Jeantil Epandor 2 et Bergmann n'étaient pas équipés de système de dosa-



Fig. 3: La porte-guillotine relevée pendant le procédé d'épandage répartit la charge de manière homogène devant le dispositif d'épandage. De cette manière, le déchargement et la répartition longitudinale s'effectuent plus régulièrement.

ge. Ils peuvent cependant être pourvus d'une porte-guillotine sur demande ou d'une paroi de retenue perpendiculaire. Les épandeurs universels Bredal et Amazon fonctionnent avec un **tapis roulant en caoutchouc** avant-arrière au lieu d'un fond mouvant (fig. 6). Le tapis est entraîné soit par l'arbre de transmission avec deux vitesses, soit par une roue de fond en fonction du terrain, ce qui permet un dosage régulier quelle que soit la vitesse de progression de la machine. La quantité d'engrais est réglée par un doseur hydraulique. Les engrais terreux humides passent à travers une glissoire spéciale avant d'arriver aux disques disperseurs.

Sur le distributeur centrifuge Vicon, les engrais gagnent les disques disperseurs en passant à travers deux **ouvertures d'écoulement**. Deux doseurs régulent la quantité à épandre.



Fig. 6: Le fond mouvant traditionnel ne convient pas pour les engrais en vrac, car il glisse sous la charge. C'est pourquoi pour les boues séchées et la chaux, les épandeurs doivent être équipés d'un tapis roulant en caoutchouc.

Engrais utilisés

Les essais ont été effectués avec les engrais suivants:

- Fumier de stabulation libre
- Compost à base de matériaux verts
- Boues d'épuration déshydratées
- Boues d'épuration séchées
- Chaux Ricoter

Le **fumier de stabulation libre** venait de l'étable de jeune bétail de la FAT (élevage bovin sur litière profonde) et a été chargé sur les épandeurs directement après le nettoyage des logettes (sans stockage intermédiaire). Le **compost** provenait, lui, de la centrale de compostage de la commune d'Aadorf. Il était composé de matériaux verts déchiquetés, disposés en andains brassés à plusieurs reprises et tamisés. La durée de la décomposition était d'environ trois mois. Les boues d'épuration se présentaient sous deux formes: soit sous forme de **boues d'épuration déshydratées et chaulées**, (teneur en MS env. 62%) et sous forme de boues séchées (teneur en MS 85 à 93%).

Les boues d'épuration séchées provenaient des deux installations de séchage du canton de Thurgovie, appliquant chacune un procédé différent. Le premier produit venait d'une installation avec séchoir à tambour (séchage dans un tambour chauffé) et le deuxième d'un tambour à spirale (séchoir à contact avec vis chauffantes). L'analyse granulométrique (tab. 2) a permis de déterminer les propriétés physiques (poids en vrac et distribution granulométrique) des boues d'épuration séchées utilisées. Le produit 1 issu du séchoir à tambour présente une distribution granulométrique nettement plus favorable que le produit 2. C'est également lui qui convient le mieux pour l'épandage. La **chaux humide** issue de la transformation du sucre provenait de la société Ricoter à Frauenfeld. Elle présente une structure humide et n'a rien à voir avec la chaux pure comme la chaux d'acide carbonique ou la poudre calcaire.

Les résultats de l'**analyse des éléments fertilisants** pour les engrais utilisés sont réunis dans le tableau 3. En ce qui concerne la teneur en azote, en phosphore et en potassium, qui sont les trois principaux éléments fertilisants, le fumier et le compost à base de matériaux verts sont des engrais très équilibrés. Les deux boues d'épuration doivent principalement être considérées comme des engrais phosphorés; on peut toutefois relever la concentration élevée d'éléments fertilisants dans le produit sec. La chaux Ricoter est utilisée pour le chaulage de base des sols pauvres

Tab. 2: Description des boues d'épuration séchées utilisées

Produit	Produit 1	Produit 2
Procédé de fabrication	Séchoir à tambour	Séchoir à spirale
Analyse granulométrique:		
Distribution granulométrique	Pourcentages	Pourcentages
> 5 mm	3	9
4-5 mm	16	4
3-4 mm	28	5
2-3 mm	41	12
1-2 mm	11	28
< 1 mm	1	42
Poids en vrac kg/m³	750	890
Description	Granulé	Conglomérat pulvérulent avec grumeaux

en calcaire et présente par ailleurs une forte teneur en phosphate.

Le tableau 4 indique les **quantités d'éléments fertilisants** épandus pour les différents engrais, en fonction des volumes d'épandage définis dans le cadre des essais. Pour les boues d'épuration déshydratées (quantité épandue 16 t/ha), l'apport en phosphate, soit plus de 200 kg par ha, était supérieur à la quantité annuelle recommandée. Pour le fumier de stabulation libre également, la quantité épandue, soit 30 t/ha, était considérée comme plutôt riche, avec d'importantes teneurs en potassium et en azote.

Les épandeurs ont été chargés avec un chargeur frontal JCB, équipé d'une fourche frontale (fumier de stabulation libre) et d'une pelle pour les autres engrais.

Aspects étudiés

- Répartition transversale: largeur de répartition, largeur de travail utile, répartition à gauche et à droite, précision d'épandage en cas de chevauchement idéal.

- Répartition longitudinale: régularité du déchargement lors de l'épandage (définition de la courbe de déchargement)
- Evaluation de la finesse de répartition (subjectif, uniquement pour le fumier de stabulation)
- Puissance nécessaire à la prise de force (entraînement du dispositif d'épandage), puissance de traction et puissance hydraulique (entraînement du fond mouvant); puissance nécessaire pour les différents systèmes d'épandage à débit égal.
- Evaluation des parcours possibles, resp. de la capacité de chargement nécessaire en fonction de la quantité à épandre, de la vitesse de progression du tracteur et de la densité du chargement d'engrais.
- Evaluation des charges possibles des différents épandeurs en fonction de la densité apparente des engrais.

Les répartitions transversale et longitudinale ont été relevées sur la base de la norme européenne prEN 13080 «Epandeurs de fumier – Spécifications pour la protec-

tion de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai». La **répartition transversale** a été évaluée sur la parcelle (fig. 1) à l'aide de bacs de réception de 40 cm de large pour la quantité d'épandage théorique définie pour chaque engrais et réglée au préalable. Chaque mesure a été répétée trois fois (1er tiers, moitié et dernier tiers du déchargement). A chaque passage, le contenu des bacs a été pesé sur la parcelle. Les valeurs manquantes correspondant à la trace des roues de la machine ont été extrapolées.

La **précision de la répartition longitudinale** a été mesurée au banc d'essai sur le lieu de compostage, sur des balances permettant de mesurer la charge à la roue. La quantité théorique d'engrais à épandre a été réglée via l'avancement du fond mouvant. La courbe de déchargement a été établie par déchargements périodiques effectués à intervalles de 5 à 10 secondes. Les poids nets ont ensuite été traduits en débits en fonction de la durée de déchargement exprimée en pourcentage, puis évalués pour la zone de déchargement comprise entre 5 et 90%. Suivant le type d'épandeur, deux mesures ont été effectuées.

La **finesse de répartition** du fumier a été évaluée à l'aide de photos prises sur la parcelle. Avant le passage des machines, des films plastiques ont été déposés dans un cadre en bois (1 m x 1 m) à intervalle d'environ 3 m perpendiculairement au centre de la voie de passage. La répartition a été évaluée pour une quantité d'épandage théorique de 30 t/ha.

La **puissance nécessaire** à la prise de force a été évaluée à l'aide d'un moyeu de mesure du couple et la puissance de traction à l'aide du doseur sur le tracteur. Les mesures de la force de traction ont été effectuées sur terrain plat, dans des chaumes de céréales. Pour la puissance

Tab. 3: Teneurs en MS et en éléments fertilisants des différents engrais utilisés

Paramètres	MS %	MO % de MS	N _{tot} kg/t MF	N _{disp} kg/t MF	P ₂ O ₅ kg/t MF	K ₂ O kg/t MF	Mg kg/t MF	Ca kg/t MF	pH
Fumier de stabulation libre	22	75	6,7	1,4	3,0	11	1,2	3,6	8,6
Compost à base de matériaux verts	33	47	4,9	1,1	2,8	2,7	2,8	16	7,8
Boues d'épuration déshydratées (chaulées)	32	32	6,4	1,9	13	0,5	2,1	57	12,1
Boues d'épuration séchées	93	42	31	8,1	51	3,2	3,7	50	-
Chaux Ricoter	67	12	3,3	0,1	12	0,7	5,6	234	9,2

MS = matière sèche

MO = matière organique

MF = matière fraîche

N_{tot} = azote total

N_{disp} = azote ammoniacal et azote nitrique

Tab. 4: Quantités d'éléments fertilisants épandus durant les essais (N, P₂O₅ et K₂O)

Engrais	Quantité épandue t/ha	Teneurs en éléments nutritifs en kg/t			Éléments nutritifs épandus en kg/ha		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de stabulation libre	30	6,7	3	11	201	90	330
Compost à base de matériaux verts	25	4,9	2,8	2,7	123	70	68
Boues d'épuration déshydratées	16	6,4	13	0,5	102	208	8
Boues d'épuration séchées	2	31	51	3	62	102	6
Chaux Ricoter	10	3,3	12	0,7	33	120	7

hydraulique (entraînement du fond mouvant), on a installé un compteur à l'arrivée hydraulique de l'épandeur, pour pouvoir lire la pression de l'huile et le débit. Pour chaque engrais, toutes les mesures ont été effectuées avec une quantité d'épandage déterminée, définie au préalable. Le réglage de la **quantité théorique** a été optimisée avant les mesures sur la parcelle. Les quantités théoriques ont été définies comme suit:

- Fumier de stabulation libre: 30 t/ha
- Compost à base de matériaux verts: 25 t/ha
- Boues d'épuration déshydratées: 16 t/ha
- Boues d'épuration sèches: 2 t/ha
- Chaux Ricoter: 10 t/ha

Résultats

Densité apparente et poids en vrac des engrais

Les engrais utilisés présentent de grandes différences en ce qui concerne leur densité apparente. Le fumier est l'engrais qui possède la densité apparente la plus faible et la chaux Ricoter celui qui présente la densité la plus élevée. Il faut distinguer la densité apparente relevée sur l'andain ou à l'étable et le poids en vrac, obtenu après le chargement de l'engrais. Le poids en vrac du fumier de stabulation libre sur l'épandeur est légèrement plus bas qu'à l'étable. Par contre, pour les boues d'épuration déshydratées et la chaux Ricoter, le poids en vrac augmente considérablement suite au compactage dû au chargement. Dans le cas du compost et des boues d'épuration séchées, le poids en vrac reste pratiquement inchangé. Les composts à base de matériaux verts présentent généralement une densité apparente de 500 à 600 kg. La densité apparente relativement élevée du compost vert utilisé tient à ce que les andains étaient très mouillés au moment des essais, car le printemps 1999 a été très pluvieux.

Tab. 5: Densité apparente et poids en vrac des engrais utilisés

Engrais	Teneur en MS %	Densité apparente en andains / à l'étable ¹⁾ kg/m ³	Poids en vrac dans l'épandeur ²⁾ kg/m ³
Fumier de stabulation libre	22	680	590
Compost à base de matériaux verts	33	700	690
Boues d'épuration déshydratées	32	800	875
Boues d'épuration séchées	93	750	775
Chaux Ricoter	68	885	1035

¹⁾ Selon prEN 13080

²⁾ Après chargement avec chargeur frontal

Réglage de la quantité d'épandage

Le fumier et les engrais à base de déchets doivent pouvoir être appliqués en quantité voulue. Suivant la teneur de l'engrais en éléments fertilisants, les exigences ne sont pas les mêmes en matière d'épandage. Les engrais qui présentent une forte concentration en éléments fertilisants comme les boues d'épuration déshydratées ou la chaux Ricoter doivent être épandus en faibles quantités, environ 10 t/ha. Pour les boues d'épuration séchées, la quantité d'épandage optimale est même de 2 à 2,5 t/ha. Plus la quantité d'épandage souhaitée est faible, plus il est délicat d'obtenir un dosage exact.

Sur les épandeurs de fumier équipés d'un fond mouvant, la quantité d'épandage se règle en modifiant la vitesse de progression de la machine ou l'avancée du fond mouvant. La vitesse de progression maximale de la machine lors de l'épandage est d'environ 7 km/h. Des vitesses trop basses ne sont pas souhaitables, car elles vont de pair avec un rendement trop faible à la surface. C'est pourquoi il devrait être possible d'épandre les quantités voulues par hectare à des vitesses comprises entre 4 et 6 km/h. Pour pouvoir épandre de petites quantités, moins de 15 t/ha environ, l'épandeur doit être équipé d'un fond mouvant progressant à petites vitesses (moins de 0,5 m/min). Cette exigence peut uniquement être satisfaite avec un fond mouvant à entraînement hydraulique. Par

ailleurs, le fond mouvant devrait pouvoir être réglé en continu ou par petits crans. Les cinq épandeurs à fumier et à compost utilisés sont équipés d'un fond mouvant hydraulique. Les vitesses d'avancement mesurées sont comprises entre 0,3 et 3 m/min. La vitesse d'avancement peut être réglée avec suffisamment de précision sur tous les épandeurs à l'exception d'un seul. Il s'agit du Jeantil Epandor 3 (dispositif d'épandage à assiettes d'éjection). Le réglage n'est pas assez fin, de sorte qu'on ne peut obtenir des dosages différents que sur des crans relativement importants. Pour le fumier et le compost, les machines utilisées n'ont aucun problème à épandre la quantité théorique requise, soit 30, resp. 25 t/ha. En ce qui concerne les boues d'épuration déshydratées, les épandeurs équipés de vis verticales ont réussi à épandre de manière à peu près satisfaisante la quantité requise de 16 t/ha. Toutefois, l'épandeur à assiettes d'éjection (Jeantil Epandor 3) et l'épandeur latéral (Gafner A-Vario) ont donné de meilleurs résultats. Pour la chaux Ricoter, l'épandeur latéral est le seul parmi les épandeurs de fumier et de compost à avoir réussi à épandre exactement la quantité voulue, soit 10 t/ha. Seul l'épandeur universel (Amazon ZG-B) a permis d'épandre précisément les boues d'épuration séchées en quantités de 2 à 2,5 t/ha. Quant au distributeur de compost avec dispositif d'épandage large et fond mouvant (Heywang Miro ABH 41), il a épandu des quantités

d'engrais nettement supérieures aux quantités souhaitées. Le distributeur centrifuge (Vicon Duoflow) quant à lui, a pu atteindre la quantité requise de 2 t/ha minimum uniquement lorsque les doseurs étaient ouverts à leur maximum; par ailleurs la vitesse de progression de la machine ne devait pas dépasser les 4 km/h pour atteindre cet objectif.

Largeur de répartition et largeur de travail utile

Le tableau 7 indique les principales différences entre les systèmes d'épandage du point de vue de la largeur de répartition et de la largeur de travail utile. La largeur de travail utile correspond à la largeur de répartition moins le chevauchement nécessaire de chaque côté (voir également les diagrammes d'épandage en annexe).

Le Jeantil Epandor 2 équipé de vis horizontales a permis d'obtenir une largeur de travail de près de 4 m, soit 1 à 2 m de plus que les épandeurs étroits traditionnels. Cette caractéristique est due à la conception du dispositif d'épandage (torsion des vis, vis de distribution centrale placée vers l'arrière). Les deux épandeurs équipés de vis hélicoïdales verticales (Jeantil Epandor 5 et Bergmann M 700) ont réalisé des largeurs de travail utiles de 6 à 7 m. Etant donné les flancs d'épandage plats à l'extérieur, ces systèmes nécessitent un chevauchement relativement important pour obtenir une répartition idéale. En conséquence, lors du passage suivant, la machine passe sur les engrais fraîchement épandus, ce qui représente un inconvénient lorsque les apports sont élevés.

L'épandeur à fumier et à compost Jeantil Epandor 3 avec assiettes d'éjection a atteint des largeurs de travail utiles comprises entre 11 et 13 m pour le fumier, le compost et les boues d'épuration déshydratées. De cette façon, il est possible d'épandre les engrais en tenant compte des voies de passage dans les cultures en période de croissance. Sur l'épandeur latéral Gafner-A-Vario, il est possible de modifier la largeur de répartition de quelques mètres à 20 mètres maximum. Pour les essais, les largeurs de répartition ont été réglées à environ 12 m. Avec le même réglage de base, la portée d'épandage du compost est plus faible que celle du fumier et des boues d'épuration déshydratées.

Les largeurs de répartition et de travail sont nettement plus réduites avec la chaux Ricoter qu'avec les autres engrais. L'épandeur de chaux de Bredal atteint une largeur de travail utile de 9 mètres. Pour les boues d'épuration séchées, les largeurs de répartition

Tab. 6: Classement des coefficients de variation (CV) pour l'évaluation de la précision d'épandage transversal

CV en %	CV en %	Evaluation
Fumier, compost, boues d'épuration déshydratées, chaux Ricoter	Granulés de boues d'épuration	
< 15 %	< 10 %	Très bonne
15 - 20 %	10 - 15 %	Bonne
20 - 25 %	15 - 20 %	Satisfaisante
25 - 35 %	20 - 30 %	Lacunaire
> 35 %	> 30 %	Insuffisante

Tab. 7: Récapitulatif des résultats des essais d'épandage

Epandeur	Largeur de répartition m	Largeur de travail utile m	Chevauchement nécessaire ¹⁾ m	Coefficient de variation ²⁾ %
<u>Fumier de stabulation libre, compost, boues d'épuration déshydratées:</u>				
Jeantil EP Epandor 2	7,5 - 8,5	3,5 - 4,5	1 - 2	18,2 - 18,8
Jeantil EVV Epandor 5	11 - 13	5,5 - 7	2,5 - 3	13,1 - 23,2
Bergmann M 700 SX	12 - 13,5	6,5 - 7	3 - 3,5	5,1 - 9,1
Jeantil EP Epandor 3	16 - 19	11 - 13	2 - 3	13,4 - 15,5
Gafner 5.5 A-Vario	11,5 - 13,5	10 - 11	1 - 1,5	11,2 - 38,7
<u>Chaux Ricoter:</u>				
Bredal B80 L	14	9	2,5	6,8
Gafner 5.5 A-Vario	9,5	7	1	23,6
Jeantil EP Epandor 3	13	10,5	1,5	17,8
<u>Granulé de boues d'épuration:</u>				
Vicon Duoflow DS 751	20	13	3,5	6,7
Amazone ZG-B 16001 TR	22	12	5	15,4
Amazone ZG-B 16001 TR avec vis d'épandage	12	12	0	6,3
Heywang Miro ABH 41	15	7	4	20,2

¹⁾ De chaque côté

²⁾ cf. tableau 6

Tab. 8: Précision d'épandage longitudinale pour les trois épandeurs de fumier avec et sans porte-guillotine (Jeantil EP et EVV), ou avec paroi coulissante (Gafner).

Epandeur	Système de dosage	CV en % sans chevauchement	CV en % avec chevauchement ¹⁾
Jeantil EP 2060 Epandor 5	Aucun	40,6	13,4
Jeantil EVV 10000 Epandor 5	Porte-guillotine	25,2	16,2
Gafner 5.5 A-Vario	Paroi coulissante	18,8	12,1

¹⁾ Echelle d'évaluation pour la précision d'épandage longitudinale: les valeurs CV < 15 % sont considérées comme très bonnes, les valeurs comprises entre 15 et 20 % sont considérées comme bonnes.

tion sont très variables en fonction de la qualité de l'engrais. Pour le granulé issu du séchoir à tambour (produit 1), les largeurs de travail étaient semblables à celles obtenues avec les engrais minéraux, alors que pour le produit 2 pulvérulent (séchoir à spirales), les largeurs de travail étaient nettement plus réduites. Lorsque la qualité du granulé est correcte, il est possible d'épandre les boues d'épuration en respec-

tant les voies de passage, que ce soit avec l'épandeur universel ou avec le distributeur centrifuge.

Précision d'épandage perpendiculairement au sens de progression

La précision de l'épandage transversal est évaluée à l'aide du coefficient de variation

(CV). Le CV représente la valeur des irrégularités dans la répartition transversale. Plus le CV est petit, plus la précision d'épandage est élevée. Le CV se calcule à partir de la répartition totale, obtenue après chevauchement de tous les passages. Lorsque les courbes d'épandage se chevauchent de manière optimale, le CV atteint sa valeur la plus faible. Pour évaluer le chevauchement optimal, on part du principe que la machine avance toujours dans la même direction sur la parcelle pour épandre les engrais.

Pour pouvoir ordonner les valeurs CV calculées, on peut procéder à un classement selon le tableau 6. Comme les exigences sont plus importantes pour les engrais granulés (boues d'épuration séchées) que pour le fumier et les engrais humides à base de déchets, les valeurs CV de ces deux catégories sont évaluées différemment.

Les résultats relatifs à la précision d'épandage sont répertoriés dans le tableau 7, la figure 4 et dans les annexes (diagrammes d'épandage). A quelques rares exceptions près, les épandeurs utilisés ont permis d'atteindre un degré de précision bon à très bon. Avec les deux épandeurs équipés de vis verticales (Jeantil Epandor 5 et Bergmann M 700), les résultats du fumier et du compost étaient très bons. On peut noter la qualité d'épandage élevée du Bergmann M 700 avec des valeurs CV nettement inférieures à 10 % pour les trois engrais utilisés (fumier, compost et boues d'épuration déshydratées). Avec le dispositif d'épandage à assiettes d'éjection du distributeur de compost (Jeantil Epandor 3), les résultats étaient également relativement bons et restaient encore satisfaisants pour la chaux Ricoter. Le dispositif d'épandage latéral (Gafner A-Vario) présentait de grosses différences suivant l'engrais utilisé et ne s'est pas avéré convaincant, notamment pour le fumier. Certes, il n'est pas possible de comparer directement les CV calculés avec les autres systèmes d'épandage, car la méthode utilisée pour calculer la précision d'épandage sur les machines traditionnelles ne convient pas vraiment pour l'épandeur latéral.

L'épandeur de chaux Bredal convainc également par une précision d'épandage très élevée avec un CV largement en dessous de 10%, valeur que les autres épandeurs n'ont pas réussi à atteindre avec le même engrais. En ce qui concerne les granulés de boues d'épuration, le distributeur centrifuge (Vicon Duoflow) a donné de très bons résultats, l'épandeur universel à disques dispersers (Amazone ZG-B) arrive juste dans la plage des bons résultats.

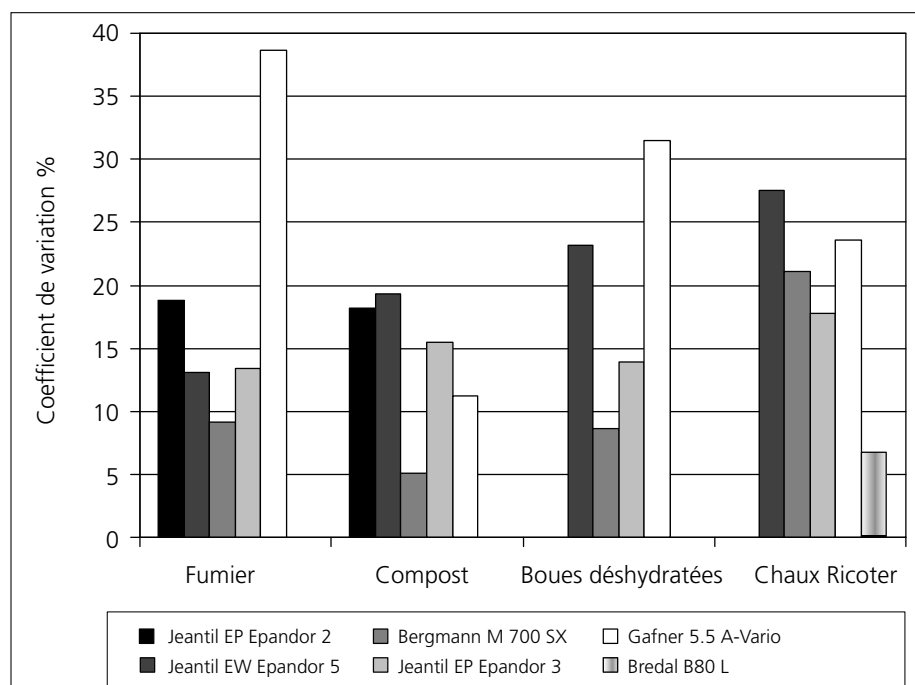


Fig. 4: Coefficients de variation (CV) exprimés en pourcentage, paramètres pour évaluer la précision de la répartition transversale avec les épandeurs et les engrais utilisés. L'épandeur universel Bredal a été utilisé uniquement pour la chaux Ricoter, le Jeantil Epandor 2 (épandeur de fumier à vis horizontales) a été utilisé uniquement pour le fumier et le compost. Schéma d'évaluation des valeurs CV, cf. tableau 6. Plus le CV est bas, plus la précision d'épandage est élevée.

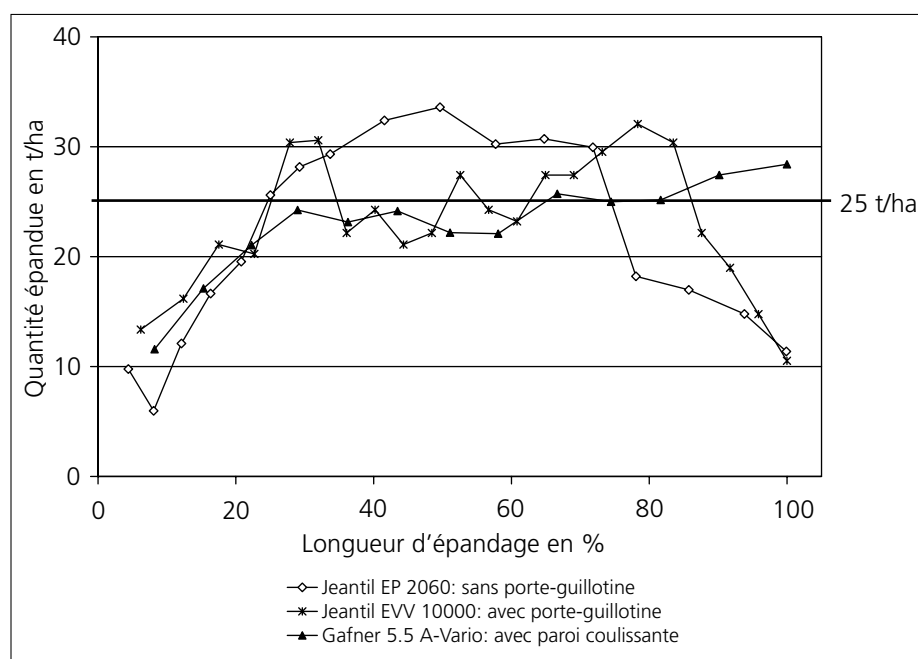


Fig. 5: Précision d'épandage longitudinale pour le compost (apport théorique 25 t/ha), pour les épandeurs de fumier avec et sans porte-guillotine (Jeantil) et avec paroi coulissante (Gafner).

Lorsque ce même épandeur est équipé d'une vis d'épandage, la précision d'épandage est élevée. D'autre part, la largeur de travail constante de la rampe d'épandage permet d'éviter tout problème de chevauchement.

Précision de la répartition longitudinale

Pour que les engrais soient répartis de manière homogène sur la parcelle, il est très important qu'ils soient déchargés

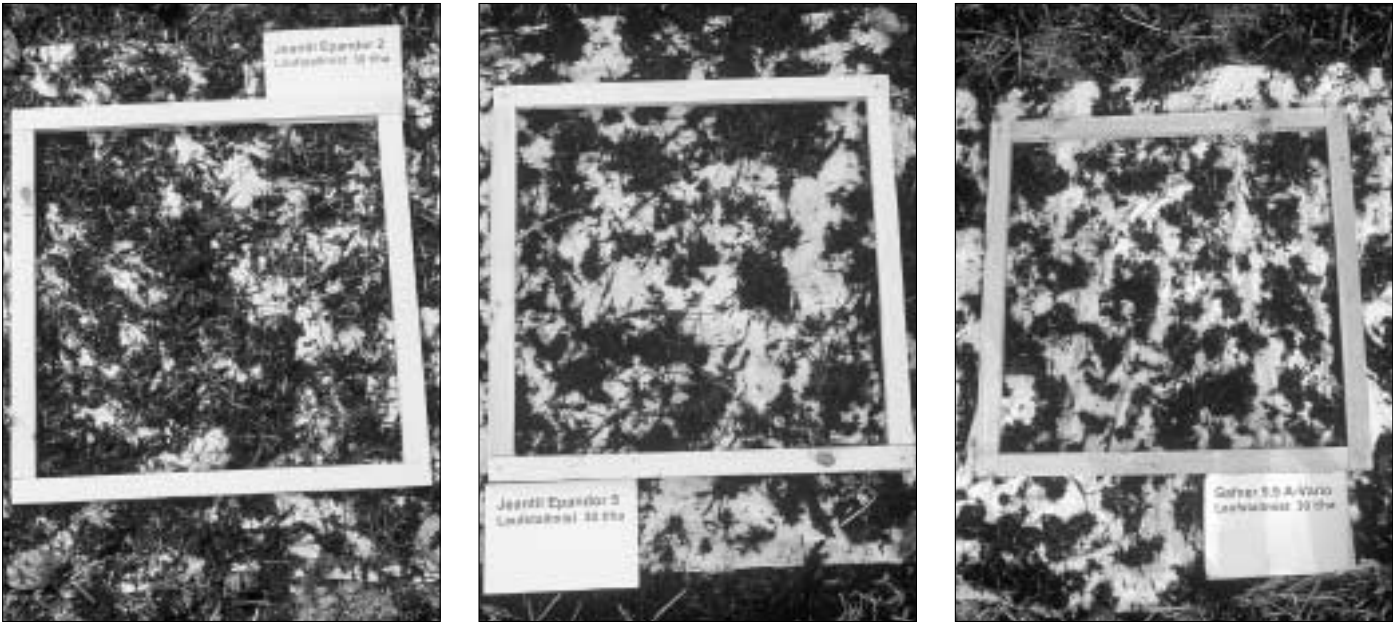


Fig. 7: Finesse de répartition relevée en plein champ lors de l'épandage d'env. 30 t/ha de fumier de stabulation libre. A gauche: dispositif d'épandage avec vis horizontales (Jeantil Epandor 2); au centre: dispositif d'épandage avec deux vis verticales (Jeantil Epandor 5); à droite: dispositif d'épandage latéral (Gafner A-Vario).

régulièrement du début à la fin de l'épandage. A l'instar de la répartition transversale, la répartition longitudinale est évaluée à l'aide du coefficient de variation (CV). Pour calculer le CV, on distingue la répartition longitudinale avec et sans chevauchement des courbes de déchargement. La prise en compte du chevauchement, telle que l'exige la norme européenne (prEN 13080), n'a pas beaucoup de sens, car dans la pratique, les différents passages de la machine en longueur ne se chevauchent pas. C'est pourquoi le CV sans chevauchement est beaucoup plus significatif (tab. 8). Par ailleurs, il est intéressant de comparer les épandeurs de fumier équipés ou non d'une porte-guillotine (fig. 3) ainsi que l'épandeur latéral fonctionnant avec une paroi coulissante (fig. 19). La figure 5 indique les courbes de répartition longitudinale pour les trois épandeurs Jeantil EP Epandor 2 (sans porte-guillotine), Jeantil EVV Epandor 5 (avec porte-guillotine) et Gafner 5.5 A-Vario (avec paroi coulissante) pour une quantité théorique de compost de 25 t/ha. Les résultats confirment la répartition longitudinale très irrégulière, typique des épandeurs à fumier traditionnels. En effet, au début et à la fin du déchargement, la quantité d'engrais épandue est inférieure à la quantité théorique. Lorsque l'épandeur est pourvu d'une porte-guillotine hydraulique, les engrais sont dosés de manière nettement plus régulière, même si la répartition longitudinale n'est pas encore idéale. Le CV,

Tab. 9: Evaluation de la finesse de répartition des différents dispositifs d'épandage pour le fumier de stabulation libre, apport théorique de 30 t/ha.

Epandeur	Dispositif d'épandage	Finesse de répartition
Jeantil EP 2060 Epandor 2	Vis horizontales	Relativement bonne
Jeantil EP 2060 Epandor 3	4 assiettes d'éjection	Bonne
Jeantil EVV Epandor 5	2 vis verticales	Bonne
Bergmann M 700 SX	4 vis verticales	Très bonne
Gafner 5.5 A-Vario	Dispositif d'épandage latéral	Très bonne

soit 25,2%, est toutefois largement inférieur à celui de l'épandeur sans porte-guillotine (CV de 40,6%). La porte-guillotine permet de décharger les engrais de manière plus homogène. Pour ce faire, il faut qu'elle soit suffisamment surbaissée. Pour les mesures, la porte-guillotine a été abaissée à 80 cm au-dessus de fond mouvant pour un chargement de 90 cm de hauteur. La meilleure répartition longitudinale a été obtenue avec l'épandeur latéral équipé d'une paroi coulissante et d'une porte-guillotine. Le CV sans chevauchement est inférieur à 19% (tab. 8). La quantité théorique n'a pas été atteinte (fig. 5) uniquement au début du déchargement (à environ 25% de la longueur totale d'épandage). Dans la pratique, la seule façon d'améliorer la répartition longitudinale consiste à réduire la vitesse d'avancement de la machine au début et à la fin du déchargement ou à augmenter l'avancée du fond mouvant. Pour ce faire, il faut que le fond

mouvant soit entraîné par un système hydraulique et que sa progression puisse être réglée depuis le tracteur. Pour équilibrer le débit, il faut également une bonne dose de doigté et d'expérience.

Finesse de répartition du fumier

La finesse de répartition des différents dispositifs d'épandage n'a été étudiée qu'avec du fumier de stabulation libre, car la finesse n'est importante qu'avec le fumier, ce, notamment dans les cultures fourragères. Le fumier épandu en couches fines se décompose plus rapidement. Pour pouvoir comparer les différents dispositifs, l'apport théorique par hectare devait être absolument identique partout ce qui, sur la parcelle, n'étaient qu'approximativement réalisable. C'est pourquoi l'évaluation, elle aussi, ne peut être que grossière. Les cinq épandeurs à fumier étudiés ont atteint une finesse de répartition élevée.

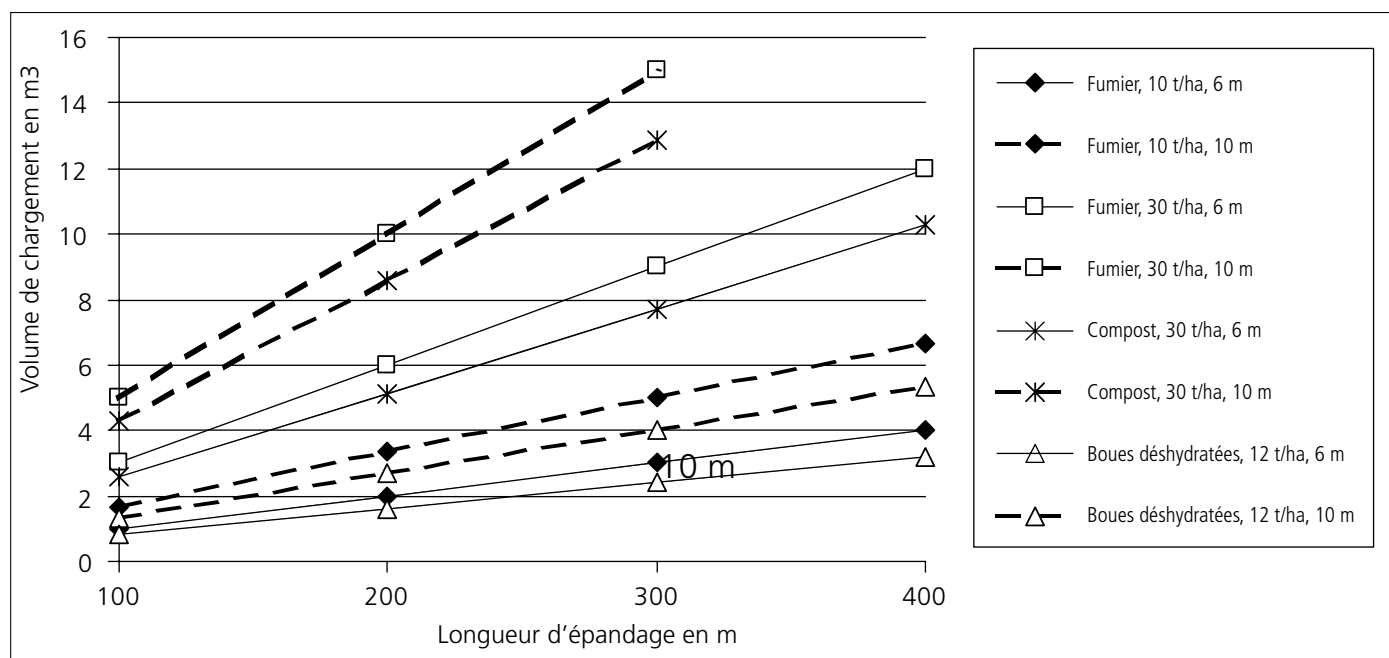


Fig. 8: Volume de chargement nécessaire ou longueurs d'épandage possibles pour l'épandage de fumier, de compost et de boues d'épuration déshydratées, pour différentes quantités d'épandage et largeurs de travail.

Aucun dispositif n'a laissé de grosses mottes de fumier. La figure 7 présente les courbes de répartition relevées sur la parcelle pour trois dispositifs sélectionnés.

Les différences constatées entre les dispositifs sont minimes. Le Jeantil Epandor 2 (vis horizontales) épand le fumier de manière un peu moins fine que les deux autres épandeurs Jeantil, Epandor 3 (dispositif à assiettes d'éjection) et Epandor 5 (vis verticales). Toutefois, par rapport aux autres épandeurs à vis horizontales, la finesse est nettement supérieure. Parmi les épandeurs à vis verticales, le dispositif à quatre vis de Bergmann M 700 SX a obtenu de meilleurs résultats que le dispositif à deux vis du Jeantil Epandor 5. L'épandeur latéral Gafner est celui qui a obtenu la finesse la plus élevée. Le tableau 9 présente l'évaluation des cinq dispositifs étudiés.

Longueurs d'épandage et capacités des épandeurs

Pour éviter les raccords en longueur qui sont très pénibles, la capacité de l'épandeur doit être adaptée à la longueur des parcelles de l'exploitation. L'idéal, c'est de pouvoir épandre la quantité voulue sur toute une longueur de parcelle avec un seul chargement.

La quantité à épandre, la largeur de travail et le volume de chargement de l'épandeur déterminent quelle distance on peut couvrir avec un seul chargement. Lorsqu'on connaît la quantité à épandre, la largeur de travail utile et le poids en vrac de l'en-

Tab. 10: Longueurs d'épandage possibles et apports correspondants en fonction de la vitesse d'avancement de la machine et de l'avancée du fond mouvant pour une densité apparente des engrais de 700 kg/m³.

Vitesse d'avancement km/h	Vitesse de progression du fond mouvant m/min	Longueur d'épandage correspondante m	Quantité d'épandage correspondante t/ha
<i>Jeantil EP 2060 Epandor 2 ; largeur de travail utile 4 m:</i>			
3	1,2	167	71
3	0,6	337	35
6	0,6	675	18
<i>Jeantil EVV 10000 Epandor 5 ; largeur de travail utile 6 m:</i>			
3	1,2	173	53
3	0,6	346	27
6	0,6	692	13
<i>Bergmann M 700 SX ; largeur de travail utile 6,5 m:</i>			
3	1,2	192	46
3	0,6	383	23
6	0,6	767	12
<i>Jeantil EP 2060 Epandor 3 ; largeur de travail utile 12 m:</i>			
3	1,2	159	25
3	0,6	317	13
6	0,6	633	6
<i>Gafner 5.5 A-Vario ; largeur de travail utile 12 m:</i>			
3	1,8	86	30
3	1,2	129	20
3	0,6	258	10
6	0,6	517	5

grais utilisé, la longueur d'épandage possible ne dépend plus que du volume de chargement de la machine. La figure 8 montre quel volume il faut prévoir pour telle ou telle longueur de parcelle ou quelles longueurs d'épandage peuvent être atteintes pour un volume de chargement donné, sachant que les largeurs de travail sont de 6 et 10 m, et les engrais, du fumier (10 et 30 t/ha), du compost (30 t/ha) et des boues d'épuration déshydratées (12 t/ha). Les densités des différents produits sont les suivantes: fumier 600 kg/m³, compost 700 kg/m³ et boues d'épuration déshydratées 900 kg/m³.

La représentation montre que les engrais dont la densité apparente est faible (fumier de stabulation) ont besoin d'épandeurs à grands volumes pour permettre de gros apports à l'hectare, comme c'est le cas dans les grandes cultures. Il est également préférable de choisir des dispositifs avec une faible largeur de travail. Pour les engrais comme les boues d'épuration déshydratées, les épandeurs de taille moyenne suffisent. Dans ce cas, nous recommandons les épandeurs à grande largeur de travail qui permettent plus facilement d'atteindre les quantités théoriques relativement faibles.

Dans la pratique, on règle généralement la vitesse d'avancement de la machine et l'avancée du fond mouvant de telle manière que l'épandeur finisse de vider son chargement sur une longueur de parcelle. Souvent la quantité d'engrais épandue qui en résulte ne correspond pas à la quantité théorique. Le tableau 10 montre comment se comportent les cinq épandeurs de fumier utilisés à ce niveau là. Les épandeurs à petite largeur de travail (Jeantil Epandor 2) permettent d'atteindre des longueurs plus importantes pour le même volume de chargement. Toutefois, la seule façon d'épandre de faibles quantités d'engrais, moins de 20 t/ha, est de réduire au maximum l'avancée du fond mouvant. Par contre, les épandeurs avec des largeurs de travail élevées (Jeantil Epandor 3, Gafner A-Vario) réalisent déjà des longueurs d'épandage réduites lorsque les apports sont moyens. En revanche, ils peuvent sans problème épandre de faibles quantités d'engrais, même à vitesse normale.

Charges

Pour pouvoir estimer le risque qu'il y a à dépasser le poids total autorisé lors du chargement de l'épandeur, on a déterminé les chargements de fumier, de compost, de boues d'épuration déshydratées et de chaux Ricoter pour les cinq épandeurs.

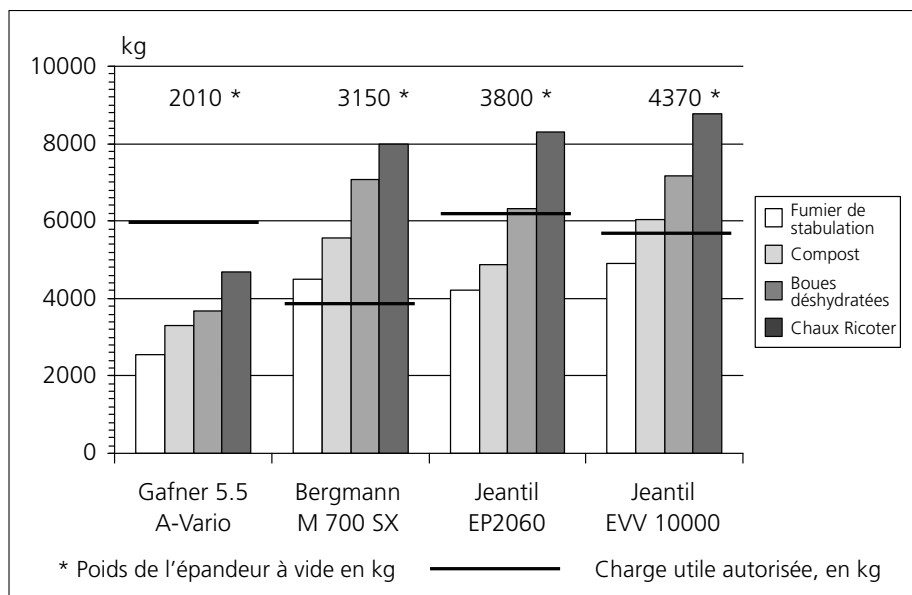


Fig. 9: Charges moyennes pour différents engrais. La charge utile autorisée de l'épandeur se calcule à partir du poids total autorisé moins le poids à vide de la machine.

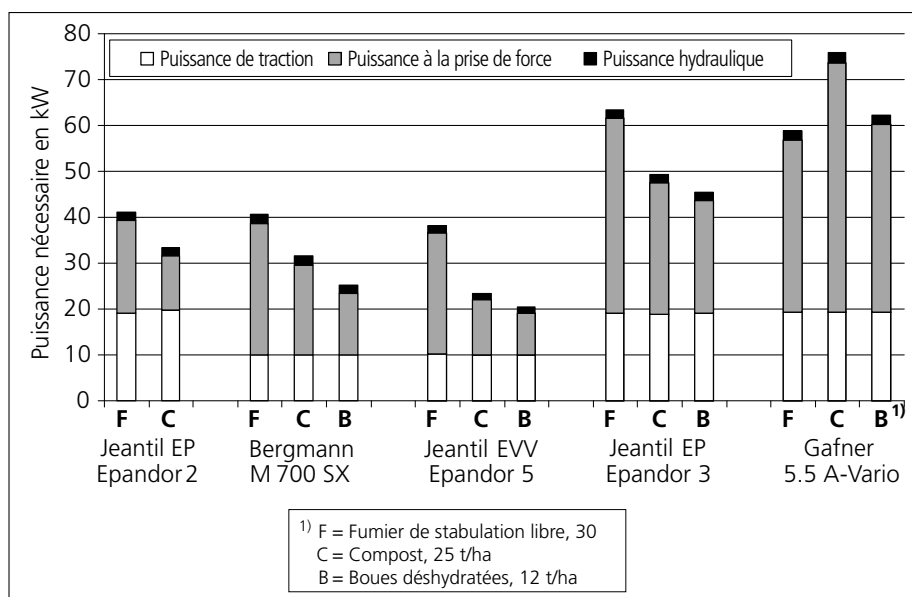


Fig. 10: Puissance totale nécessaire pour l'épandage de fumier de stabulation libre (30 t/ha), de compost (25 t/ha) et de boues d'épuration déshydratées (12 t/ha).

deurs à fumier et à compost étudiés. Les charges enregistrées pour les différents engrais sont des valeurs moyennes provenant de plusieurs pesées de l'épandeur chargé, mais pas au maximum (fig. 9). La charge maximale autorisée dépend du poids total autorisé pour chaque épandeur. Le poids total autorisé garanti par le fabricant est de 7 t pour le Bergmann M 700 SX, de 8 t pour le Gafner 5.5 A-Vario, de 11,4 t pour le Jeantil EP 2070 et de 11,6 t pour le Jeantil EVV 10000. Si l'on enlève le poids à vide de l'épandeur du poids total autorisé, on obtient alors la charge utile

autorisée. Pour le calcul de cette dernière, on est parti d'un poids total maximum autorisé de 10 t pour les épandeurs Jeantil, conformément à la législation sur la circulation routière. Pour les deux autres épandeurs, on s'est basé sur le poids garanti par le fabricant.

Les engrais dont la densité apparente est élevée (cf. tab. 5) se traduisent par de grosses charges. Pour la chaux Ricoter et les boues d'épuration déshydratées, le risque de dépasser le poids total autorisé est nettement plus élevé que pour le fumier et le compost. Le risque de sur-

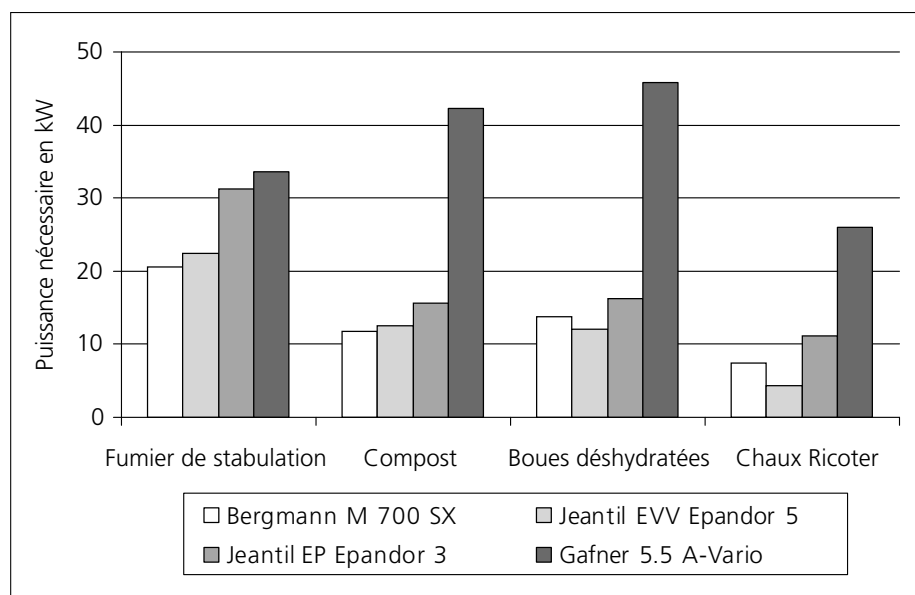


Fig. 11: Puissance à la prise de force calculée pour un débit unitaire de 1 t/min.

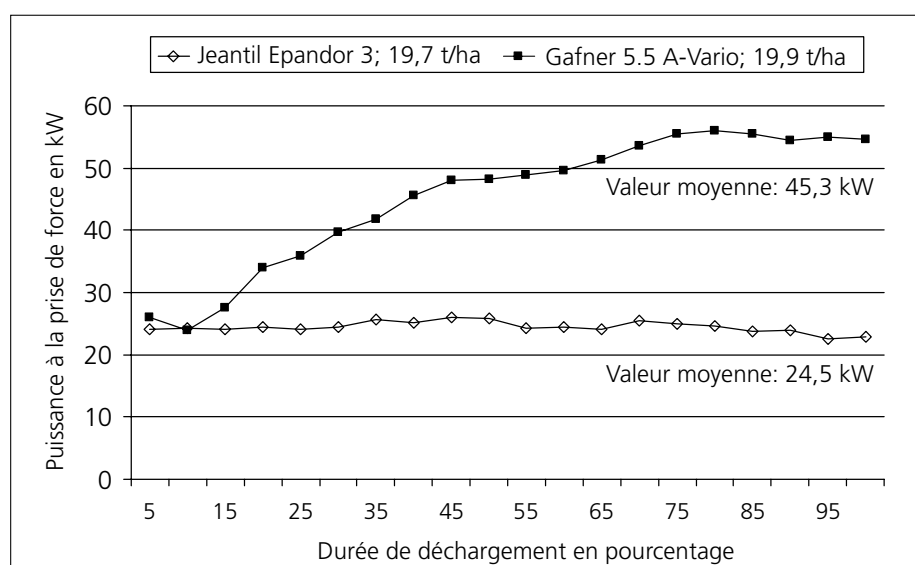


Fig. 12: Evolution de la puissance à la prise de force pour l'épandage du compost (20t/ha): comparaison entre l'épandeur à compost à assiettes d'éjection (Jeantil Epandor 3) et l'épandeur latéral (Gafner A-Vario).

charge est particulièrement important sur les épandeurs, qui présentent déjà un poids élevé eux-mêmes (Jeantil EVV 10000) ou sur ceux dont le poids garanti est réduit (Bergmann M 700 SX), car la charge utile autorisée de ces machines est faible. Par contre, sur les épandeurs dont le volume de chargement est relativement faible (Gafner 5.5 A-Vario), le risque de surcharge est minime même avec les engrais qui affichent une densité apparente élevée. Il faut également mentionner que l'épandeur Bergmann à un essieu existe aussi avec un poids garanti de 11 t.

Puissance nécessaire

La puissance nécessaire pour les épandeurs de fumier et les distributeurs de compost se compose de la puissance à la prise de force (entraînement du dispositif d'épandage), de la puissance hydraulique (entraînement du fond mouvant) et de la puissance de traction. La puissance à la prise de force représente la majeure partie de la puissance nécessaire au total. En moyenne des cinq épandeurs étudiés et des trois engrais utilisés (fumier, compost et boues d'épuration déshydratées), l'entraînement du dispositif d'épandage absorbe 57% de la puissance nécessaire au total. La force de traction, elle, exige en

moyenne 38% de la puissance totale. Enfin, la puissance hydraulique nécessaire à la progression du fond mouvant se situe entre 1,5 et 2 kW et représente seulement 5% de la puissance totale, en moyenne de tous les épandeurs.

La figure 10 présente la puissance nécessaire au total (puissance à la prise de force, puissance hydraulique et puissance de traction), pour épandre les quantités théoriques voulues de fumier de stabulation libre, de compost et de boues d'épuration déshydratées. La **puissance totale la plus élevée** est requise par l'épandage de 30 t/ha de fumier de stabulation libre. Les épandeurs pourvus de vis horizontales ou verticales (Jeantil Epandor 2, Jeantil Epandor 5 et Bergmann M 700 SX) nécessitent environ 40 kW, le distributeur de compost à assiettes d'éjection (Jeantil Epandor 3) et l'épandeur latéral (Gafner 5.5 A-Vario) requièrent une puissance totale de 60 kW. Pour le déplacement du véhicule de traction, il faut encore ajouter environ 20 kW à la puissance totale mesurée. Les épandeurs Jeantil EP Epandor 2, Bergmann M 700 SX et Jeantil EVV Epandor 5 ont donc besoin d'un tracteur de près de 60 kW, le Jeantil Epandor 3 et le Gafner 5.5 A-Vario, d'un tracteur de près de 80 kW.

La **puissance nécessaire à la prise de force** est très variable suivant le dispositif d'épandage et l'engrais utilisé. Les épandeurs équipés de vis verticales et horizontales ont besoin d'une puissance d'entraînement comprise entre 10 et 30 kW, tandis que l'épandeur à assiettes d'éjection (Jeantil Epandor 3) ou l'épandeur latéral (Gafner 5.5 A-Vario) ont besoin de nettement plus de puissance, de 25 à plus de 40 kW (fig. 10). Le besoin de puissance nettement plus élevé de ces deux épandeurs tient notamment à ce que les dispositifs d'épandage qui présentent une largeur de travail supérieure (à condition que la vitesse d'avancement reste la même) ont besoin d'un débit plus élevé que les épandeurs qui présentent une largeur de travail inférieure pour épandre la même quantité d'engrais. Pour les apports théoriques définis, les débits étaient compris entre 0,8 et 1,75 t/min suivant le type d'engrais. Pour pouvoir comparer les différents systèmes d'épandage, on a également mesuré la puissance nécessaire pour un débit unitaire d'environ 1 t/min. Si l'on compare les valeurs à débit égal, les différences sont moins frappantes entre les épandeurs, hormis l'épandeur latéral (Gafner 5.5 A-Vario), qui absorbe nettement plus de puissance, notamment pour le compost et les boues d'épuration déshydratées. Cette caractéristique est due

Tab. 11: Force de traction mesurée pour les cinq épandeurs et puissance de traction calculée à vitesse effective et à 4 km/h

Epandeur	Pneus Dimensions	Poids total de la remorque kg	Vitesse km/h	Force de traction mesurée kN	Puissance de traction	
					effective kW	à 4 km/h kW
Gafner 5.5 A-Vario	16.0/70-20	5260	3,3	17,6	15,9	19,5
Jeantil EP 2060 Epandor 2	550/45-22.5	7390	4,4	17,5	21,5	19,5
Bergmann M 700 SX	550/60-22.5	8330	5,3	9,1	13,4	10,1
Jeantil EP 2060 Epandor 3	600/50-22.5	8920	4,0	17,2	19,0	19,0
Jeantil EVV 10000 Epandor 5	18.4/15-34	9970	4,8	9,2	12,3	10,2

d'une part au passage étroit du dispositif d'épandage et d'autre part à la densité élevée de l'engrais en fin de chargement (fig.11).

Les dispositifs équipés de vis verticales et horizontales ou d'assiettes d'éjection présentent une évolution constante du couple et donc un besoin de puissance régulier du début à la fin du déchargement. Avec l'épandeur latéral par contre, le couple ne cesse d'augmenter pendant l'épandage, en fonction du compactage croissant de l'engrais par la paroi coulissante (fig. 12). La hausse est particulièrement significative lors de l'épandage de boues d'épuration déshydratées et de compost, ce qui est dû à la teneur élevée en eau de ces deux engrais. En conséquence, cet épandeur requiert une puissance moyenne élevée sur toute la durée du déchargement.

La puissance à la prise de force n'a pas été mesurée pour le fumier en tas. Des mesures précédentes réalisées à la FAT avec des épandeurs de fumier pourvus de vis verticales et horizontales (Bisang 1986) ont donné des puissances à la prise de force de 12,5 à 17 kW pour l'épandage de fumier en tas (débit 1 t/min). Dans les mesures actuelles, les épandeurs pourvus de vis verticales et horizontales (Jeantil Epandor 2, Jeantil Epandor 5 et Bergmann M 700 SX) nécessitent une puissance d'entraînement comprise entre 20 et 24 kW. Le fumier de stabulation nettement plus lourd et plus compact que le fumier en tas exige donc près de 7 kW de puissance en plus pour l'entraînement du dispositif d'épandage.

Les résultats de la **force** et de la **puissance de traction** sont répertoriés au tableau 11. Les forces de traction mesurées sont comprises entre 9 et 17,5 kN suivant l'épandeur, le poids de la remorque et la vitesse d'avancement de la machine. La puissance de traction calculée pour une

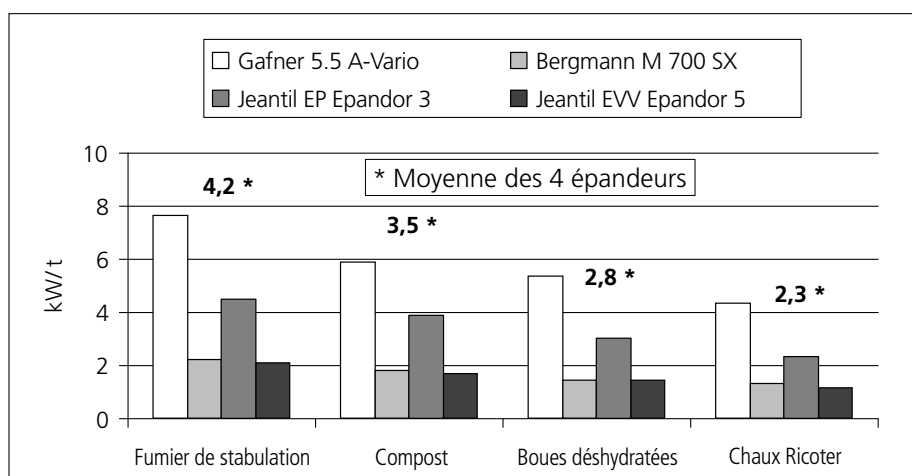


Fig. 13: Puissance de traction spécifique nécessaire en kW par tonne de charge.

même vitesse de 4 km/h est comprise entre 10 et 20 kW. Il faut noter qu'à des vitesses supérieures ou en cas de montée, les valeurs de la force de traction peuvent être légèrement plus élevées que ce qui a été relevé pendant les essais. Le Gafner 5.5 A-Vario présente une force de traction nécessaire élevée bien que sa remorque affiche le poids le plus faible. L'épandeur Jeantil EVV 10000 par contre surprend par une puissance de traction très faible de 10 kW, bien que son poids total soit presque deux fois plus élevé que celui du Gafner. On constate donc que la dimension des pneus de l'épandeur est plus importante que son poids lorsqu'il s'agit de déterminer la force de traction nécessaire. Comme le montrent les résultats de l'épandeur monocoque surbaissé, les roues de grand diamètre réduisent considérablement la résistance de roulement.

La puissance de traction spécifique (fig. 13) indique la puissance nécessaire en kW par t de charge. En moyenne des quatre épandeurs (sans Jeantil Epandor 2), cette puissance s'élève à 4,2 kW par tonne de chargement pour le fumier de stabulation,



Fig. 14: Pour les épandeurs de construction élevée, les chargeurs frontaux ou automoteurs utilisés doivent avoir une hauteur de levage suffisante pour permettre un chargement rationnel.

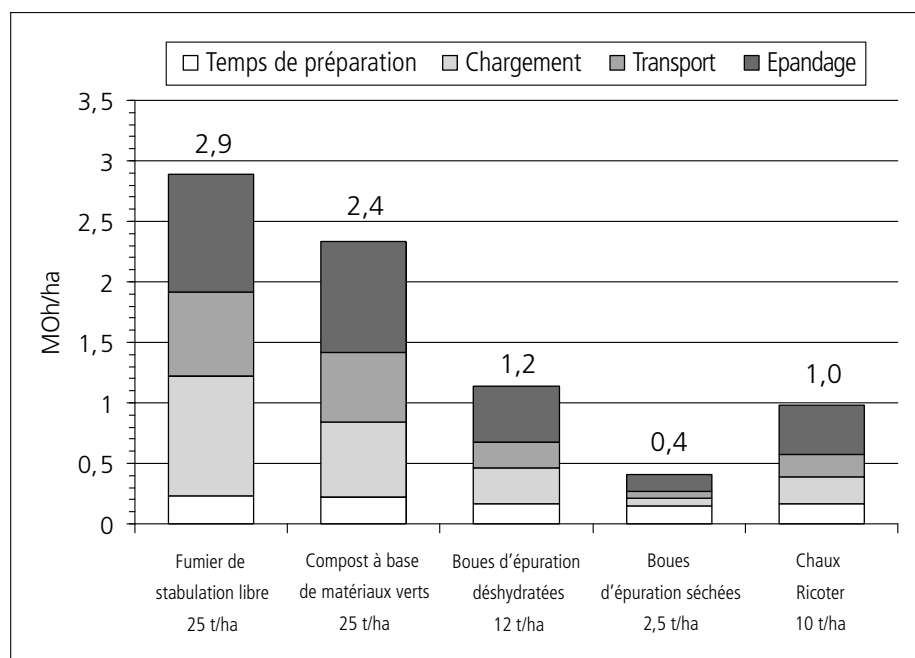


Fig. 16: Temps de travail nécessaire en MOh/ha pour l'épandage de fumier et d'engrais à base de déchets en fonction des apports théoriques prévus. Distance de transport 1 km, volume de chargement de l'épandeur 8 m³.

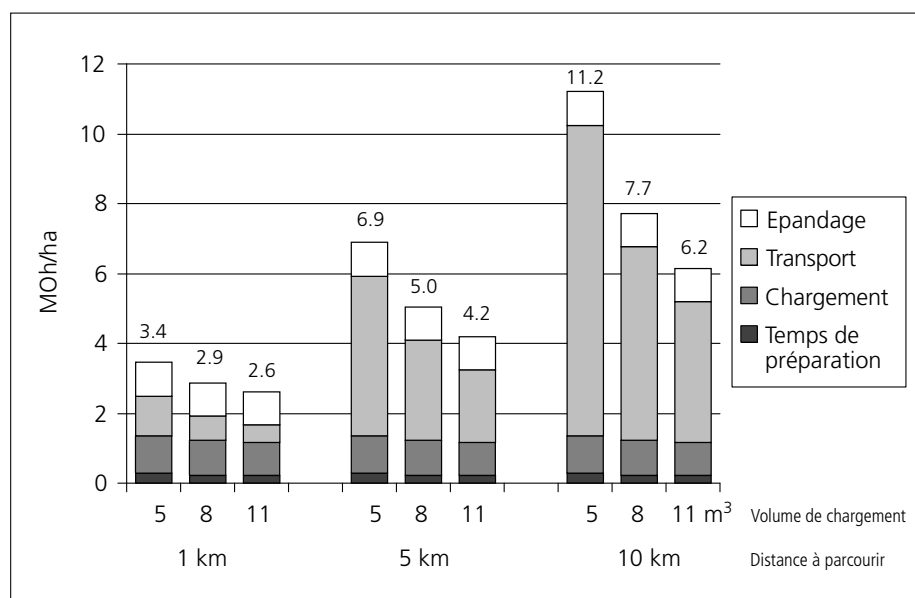


Fig. 17: Temps de travail nécessaire en MOh/ha pour l'épandage de fumier de stabulation libre en fonction de la distance à parcourir entre la ferme et la parcelle et du volume de chargement de l'épandeur. Largeur de travail du dispositif d'épandage 6 m, densité apparente du fumier 600 kg/m³, quantité épandue 25 t/ha.

Fig. 15: Pour l'épandage de boues d'épuration séchées en petites et moyennes quantités, la technique des gros sacs (appelés aussi big-bags) a fait ses preuves. L'installation d'une grue sur le châssis des épandeurs tractés facilite le chargement.



à 3,5 kW pour le compost, à 2,8 pour les boues d'épuration déshydratées et à 2,3 kW pour la chaux Ricoter. Le Bergmann M 700 SX et le Jeantil EVV 10000 affichaient une puissance nécessaire spécifique très basse.

Hauteur de chargement

On utilise aujourd'hui de plus en plus des tracteurs à chargeurs frontaux ou des chargeurs automoteurs et compacts pour l'alimentation rationnelle des épandeurs. Pour exploiter au mieux la puissance de chargement, la hauteur de l'épandeur (hauteur supérieure des ridelles) doit être adaptée à la hauteur de levage du chargeur (fig. 14). Les chargeurs automoteurs et les chargeurs compacts de taille moyenne présentent en général une hauteur de levage maximale de 240 cm lorsque la pelle ou la fourche sont en position horizontale. Lorsque la pelle est basculée, la hauteur est encore d'environ 180 cm. Il n'est donc possible de charger rationnellement l'épandeur que lorsque les ridelles ne dépassent pas 200 cm de haut. Sur le Jeantil EVV et le Bergmann M 700, la hauteur des ridelles à partir du sol est de 230 cm. Un chargement rapide et sans problème est donc déjà difficile pour ces deux types de machines. Lorsque les épandeurs sont très hauts, il est préférable que les hausses puissent se rabattre pour diminuer la hauteur des ridelles avant le chargement.

Manutention des boues d'épuration séchées

Les boues d'épuration séchées sont soit manipulées en vrac, soit dans des «big-bags» (gros sacs d'environ 1 mètre cube). L'alimentation en vrac se fait généralement à l'aide d'un chargeur frontal monté sur le tracteur ou d'un chargeur à roues. Pour les petites quantités, la manutention en big-bags s'est imposée. Pour le transport, les sacs sont déplacés soit à l'aide d'une grue, soit à l'aide d'un palettiseur. Dans l'exploitation agricole, les big-bags peuvent être stockés sur des palettes et être manipulés avec des transpalettes. Pour alimenter l'épandeur, les sacs peuvent être hissés par leur boucle et vidés en les ouvrant par dessous (fig. 15). La plupart des chargeurs frontaux montés sur les tracteurs et des grues à fumier sont capables de soulever ces sacs de 700 à 800 kg. Si l'on utilise un distributeur centrifuge, celui-ci devrait avoir une capacité de 1000 l pour pouvoir absorber le contenu d'un sac.

Aspects liés à l'organisation du travail

La comparaison relative à l'organisation du travail a pris en compte les procédures d'épandage des quatre engrais à base de déchets, compost, boues d'épuration déshydratées, boues d'épuration séchées et chaux Ricoter, ainsi que celles du fumier de stabulation libre, sur la base des apports théoriques. Les temps relevés à la figure 16 comprennent le temps de travail nécessaire pour épandre les engrais sur un hectare (chargement, transport jusqu'à la parcelle, épandage sur le terrain et mise à disposition des outils et des tracteurs).

Les calculs reposent sur les hypothèses suivantes: volume de chargement de l'épandeur 8 m³, dimension de la parcelle 1 ha, distance entre la ferme ou le stock d'engrais et la parcelle 1 km, vitesse moyenne de transport 18 à 20 km/h. Le chargement est effectué avec un chargeur frontal de taille moyenne monté sur le tracteur (capacité de la pince ou de la pelle 0,7 m). La largeur de travail est de 6 m pour l'épandeur de fumier de stabulation, de 9 m pour l'épandeur de chaux et de 12 m pour les autres engrais.

Comme le montre le schéma, l'épandage de fumier de stabulation libre et de compost représente un temps de travail nettement plus élevé que l'épandage d'autres engrais. Cette différence est due d'une part à la quantité plus importante à épandre par hectare et d'autre part à la densité de chargement plus faible du fumier et du compost.

A partir de l'épandage de fumier de stabulation libre, la figure 17 montre que le temps de travail nécessaire, ou la productivité du procédé dépendent largement de la distance que l'épandeur doit parcourir de l'étable à la parcelle. Avec l'éloignement, le temps de travail augmente plus que proportionnellement. Le volume de l'épandeur joue également un rôle. Un gros volume de chargement permet de réduire considérablement le temps de travail relatif pour le transport ferme/parcelle. Lorsque les distances à parcourir sont importantes, il est donc judicieux d'utiliser un épandeur avec une capacité de chargement élevée. Par ailleurs, il est également possible de gagner un temps précieux en utilisant deux engins d'épandage. Le rendement de chargement peut varier considérablement en fonction du type et de la taille de l'engin (puissance du moteur, maniabilité, taille de la pelle). Les matériaux et le type de stockage ne sont pas non plus négligeables. Lorsque les engrais sont stockés en vrac, le chargeur



Fig. 18: Les épandeurs monocoque surbaissés sont spécialement conçus pour l'épandage du fumier de stabulation libre grâce à leur dispositif robuste et à leurs deux vis verticales. Leur poids à vide est toutefois considérable.



Fig. 19: Grâce à leur paroi coulissante, les épandeurs latéraux permettent d'obtenir une bonne répartition longitudinale. Ils sont bien adaptés aux terrains en pente et conviennent pour les engrais les plus divers. Cependant, la puissance nécessaire pour l'entraînement du dispositif d'épandage est assez élevée.



Fig. 20: Pour la répartition et le dosage exacts de la chaux Ricoter, ce sont les épandeurs universaux spéciaux avec tapis roulant et dispositif à deux disques disperseurs qui conviennent le mieux.

frontal réalise des rendements nettement plus élevés (jusqu'à 45 t/MOh) que pour l'évacuation du fumier dans les stabulations libres (environ 25 t/MOh). Le rendement d'épandage n'est que légèrement influencé par la largeur de travail de l'épandeur, car l'avancée du fond mouvant ne peut pas être augmentée à l'infini. C'est pourquoi avec les épandeurs larges, il faut en général rouler lentement si l'on veut respecter les apports théoriques.

Conclusions et recommandations

Adéquation des différents épandeurs et dispositifs d'épandage

Le tableau 14 réunit les caractéristiques principales (taille de l'épandeur, dosage, largeur de travail, précision d'épandage) des différents systèmes et indique leur adéquation par rapport aux différentes formes de fumier et d'engrais à base de déchets. Les inscriptions en caractères gras signifient que l'épandeur ou le dispositif d'épandage convient bien pour l'épandage de l'engrais mentionné; les inscriptions en caractères normaux signifient que l'adéquation est relative. En résumé, on peut retenir les points suivants:

- Les épandeurs de fumier à **vis horizontales** conviennent uniquement pour l'épandage de fumier de stabulation. Pour l'épandage de compost, le dispositif doit être monté de telle manière que la distance entre l'extrémité du fond mouvant et l'hérisson soit le plus petit possible, sans quoi une partie des engrais tombent sur le sol sans être passée par la vis inférieure. Comme il est difficile de doser les petites quantités d'engrais, ces machines ne sont pas recommandées pour les engrais présentant une forte teneur en éléments fertilisants. Les vis horizontales sont intéressantes pour l'épandage du fumier dans les grandes cultures, lorsque les parcelles sont très longues.
- Les épandeurs de fumier à **vis verticales** sont préférables à ceux équipés de vis horizontales pour l'épandage de fumier: d'une part, il est plus facile de varier la quantité à épandre et d'autre part, leur précision d'épandage est en général meilleure. Par ailleurs, ces machines peuvent être employées à des fins diverses. Lorsque le dispositif est composé de quatre vis surbaissées, il est possible d'épandre précisément même

des engrais qui présentent une texture grumeleuse fine.

- En raison de leur construction stable et de leur importante capacité de chargement, les **épandeurs monocoque surbaissés** avec deux vis conviennent notamment pour les exploitations qui présentent de gros volumes annuels de fumier de stabulation libre (fig. 18). Le compost peut lui aussi être épandu facilement avec ces machines.
- Les **distributeurs de compost** à deux ou quatre assiettes d'éjection peuvent être utilisés pour différents types d'engrais. Etant donné leur importante largeur de travail, ces machines doivent avoir une capacité suffisante, sans quoi les longueurs d'épandage seraient trop courtes. Grâce à leur largeur de travail utile d'environ 12 m, elles permettent également d'épandre dans les voies de passage pour la fumure de couverture des cultures en période de croissance.
- Les **épandeurs latéraux** peuvent également être utilisés à des fins multiples, car ils peuvent épandre presque tous les types de fumier et d'engrais à base de déchets (fig. 19). Ils ne sont toutefois pas recommandés pour l'épandage de chaux de sucrerie, car le matériau humide se fixe sur les rails de guidage et peut bloquer la paroi coulissante. L'épandage de boues d'épuration déshydratées et de compost très humide risque par ailleurs de solliciter le dispositif d'épandage à outrance. Etant donné leur centre de gravité assez bas, les épandeurs latéraux sont très stables sur les terrains en pente; de plus, grâce à leur portée très grande, ils permettent de répartir les engrais sur les surfaces pentues, non praticables. Enfin, ils conviennent bien pour la fumure de couverture dans les grandes cultures.
- Les **épandeurs universels** avec tapis roulant en caoutchouc et dispositif d'épandage à deux disques sont prédestinés pour l'épandage de chaux et de boues d'épuration séchées (fig. 20). Ils permettent un dosage exact de la quantité à épandre et affichent une grande précision d'épandage tant en long qu'en large. Pour l'épandage de chaux humide, la sortie de la machine doit être équipée d'une glissoire spéciale, pour que l'engrais puisse s'écouler sans problème. Pour l'épandage d'engrais très secs qui produisent beaucoup de poussière lorsqu'ils sont distribués par un dispositif à disques, il est vivement recommandé d'équiper la machine d'une vis d'épandage supplémentaire pour déposer l'engrais le plus près possible du sol.

La vis d'épandage ne fonctionne toutefois pas pour la chaux humide.

- Les **distributeurs d'engrais centrifuges conviennent** également pour les boues d'épuration séchées. Etant donné leur faible capacité et donc leur faible rendement à la surface, ils ne sont toutefois recommandés que pour des utilisations sporadiques et pour l'épandage de quantités relativement réduites. Pour atteindre les apports théoriques recommandés, les doseurs doivent être ouverts à fond et la machine doit avancer à la vitesse maximale de 5 km/h. Les cuves doivent contenir au moins 1000 l. L'émission de poussière est également très importante, notamment lorsqu'on épand des produits dont la granulation est mauvaise.

Exigences relatives aux épandeurs...

Pour l'épandage de fumier de stabulation et d'engrais à base de déchets, les épandeurs doivent remplir les exigences suivantes :

- **Dispositif d'épandage** adapté à l'épandage des engrais utilisés et dont la largeur de travail et la précision de répartition sont satisfaisantes (cf. tab. 14).
- Pour les épandeurs de fumier, le **fond mouvant** doit être entraîné par un système hydraulique et pouvoir être réglé en continu. L'avancée devrait pouvoir être réglée en dessous de 0,5 m/min. Pour les engrais lourds, il est préférable de prévoir un double fond mouvant avec quatre chaînes en acier arrondies et des traverses placées en alternance. Les engrais de texture grumeleuse fine nécessitent des traverses faiblement espacées. Les engrais secs ou très fins nécessitent des épandeurs pourvus de **tapis** roulant en caoutchouc à entraînement hydraulique, avec au moins deux vitesses de progression. Sur les distributeurs centrifuges avec doseur, les **ouvertures d'écoulement** doivent être suffisamment grandes.
- Les épandeurs à fumier et à compost, employés pour la répartition de compost sans grumeau et de boues d'épuration déshydratées devraient être équipés d'une **porte-guillotine**.
- **Volume de chargement** suffisant adapté à la longueur des parcelles et aux distances de transport. Les épandeurs à grande largeur de travail (assiettes d'éjection, épandeurs latéraux) exigent une capacité supérieure à celle des épandeurs dont la largeur de travail est plus réduite.

Tab. 12: Ecigences relatives aux engrais à base de déchets et au fumier en ce qui concerne la qualité d'épandage

Eng rais	Critère
Fum ier en tas et fumier de stabulation libre	• Chargement aussi homogène que possible de l'épandeur
Compost à base de matériaux verts	• Degré de décom position correct • Absence de corps étrangers et de pierres • Tamisé (épandeur latéral)
Boues d'épuration déshydratées	• Teneur en MS minimale 30%
Boues d'épur ation séchées	• Teneur en MS minimale 80% • Granulométrie correcte (granulés) • Faible pour centage de poussières • Aucun grumeau
Chaux de sucrerie	• Aucun grumeau

- **Solidité** du chariot, du châssis et de la cuve.
- **Pneus** respectueux du sol avec portan-ce suffisamment élevée, pour que la machine puisse circuler sur la parcelle avec une pression des pneus adaptée.
- Equipement conforme à la **sécurité du travail** (SN EN 690) et **aux règles de la circulation routière** (largeur maximale, poids total autorisé, freins, protection du dispositif d'épandage, éclairage).

... et aux engrais

Certaines exigences doivent également être respectées par les engrais pour que l'épandage puisse donner des résultats satisfaisants (tab. 12).
Le **chargement le plus homogène possible** de l'épandeur est important pour tous les engrais. Lorsque les engrais présentent une structure grumeleuse fine (compost, boues d'épuration déshydratées, chaux), cela ne pose généralement pas de problème dans la mesure où l'épandeur est équipé d'une porte-guillotine ou d'un doseur. Par contre, le chargement homogène du fumier de stabulation pose plus de problème, notamment lorsqu'il faut utiliser un chargeur frontal ou un chargeur automoteur (fig. 21).

Le **fumier de stabulation libre** évacué directement des box présente toutefois un inconvénient: la structure très compacte du fumier pèse considérablement sur les dispositifs d'épandage. C'est pourquoi il est recommandé d'entreposer le fumier après sa reprise dans les box et de ne charger l'épandeur que dans un deuxième temps. Cette technique permet de désolidariser les gros blocs de fumier. La meilleure solution consiste à stocker le fumier en tas ou en andains et à le laisser se décomposer pendant un à deux mois. Ce procédé est vivement recommandé pour les épandeurs à fumier de construction légère. Le **compost à base de matériaux verts** ne devrait comporter aucun corps étranger (pierres, morceaux de bois, métal, verre, etc.). Les pierres qui sont éjectées par les dispositifs d'épandage représentent un risque énorme d'accidents pour les passants. Les gros morceaux de bois peuvent par ailleurs endommager l'agrégat d'épandage. Pour les épandeurs latéraux, il est recommandé d'utiliser uniquement du compost tamisé. Les composts dont la teneur en eau est très élevée représentent aussi une charge relativement importante pour les dispositifs d'épandage (notamment pour les épandeurs latéraux). C'est pourquoi en cas de pluies fréquentes, il est



Fig. 21 : L'alimentation directe de l'épandeur lors de l'évacuation du fumier des box est certes la méthode la plus rationnelle pour l'épandage du fumier de stabulation libre, mais elle présente un inconvénient : elle entraîne une importante sollicitation du dispositif d'épandage. Il est également quasiment impossible de parvenir à un chargement homogène avec le chargeur frontal ou le chargeur automoteur.

préférable de couvrir les andains placés à l'extérieur.
Les **boues d'épuration déshydratées** devraient comprendre au moins 30% de matière sèche. Les boues chaulées conviennent mieux pour l'épandage que les boues seulement déshydratées. Lorsque les boues ne sont pas suffisamment déshydratées, le fond mouvant risque de passer sous la charge sans le saisir et de ne pas convoyer ce dernier en direction de l'organe d'épandage. Le problème des taux de MS trop bas se présente également pour les fientes de poules en cas d'évacuation par tapis roulant. Dans le cas des **boues d'épuration séchées**, les propriétés physiques du produit influencent la qualité de l'épandage (poussière, précision d'épandage) avec les épandeurs par projection. Les granulés doivent présenter un spectre granulométrique favorable avec le pourcentage le plus élevé possible de grains de 2 à 4 mm de diamètre. Le pourcentage de particules d'un diamètre inférieur à 2 mm devrait représenter moins de 20% du total. Par ailleurs, le poids en vrac devrait s'élever au



Fig. 22: Les boues d'épuration séchées se traduisent par un important développement de poussière lorsqu'elles sont épandues avec des dispositifs à disques, notamment lorsque la granulométrie des engrais n'est pas favorable (photo de gauche). Les épandeurs universels équipés d'une vis d'épandage peuvent même épandre des engrais pulvérulents sans développer trop de poussière et en atteignant une répartition transversale exacte.



Tab. 13: Apports recommandés pour certains types de fumier et d'engrais à base de déchets sur la base des teneurs moyennes en N et en P₂O₅

Engrais	N _{tot} kg/t MF	P ₂ O ₅ kg/t MF	Quantité maximale recommandée ¹⁾ t/ha
Fumier de bovin	4,5-5,5	2,2-3,2	25-30
Fumier de porcs	7,8	7	20
Fientes de poules	12	11,5	11
Fumier de volaille	28-30	19-23	5-6
Boues d'épuration déshydratées	7-7,5	13-15	8-10
Boues d'épuration séchées	33	51	2-2,5
Compost à base d'engrais verts	6	3,2	25
Chaux carbonique	3,3	12	5-10

¹⁾ Pour un apport annuel d'env. 150 kg N et 120 kg P₂O₅ par ha.

moins à 700 kg/m³. Les produits pulvérisés de granulométrie défavorable ne devraient être employés qu'avec les épandeurs universaux, équipés d'une vis d'épandage supplémentaire (fig. 22).

Apports recommandés

Les engrais de ferme et les engrais à base de déchets présentent des teneurs très variables en éléments nutritifs suivant l'espèce animale, l'origine et la forme. Les apports recommandés oscillent donc eux aussi sur une plage assez vaste. Pour éviter les impacts nocifs pour l'environnement et les plantes, les quantités recommandées doivent impérativement être respectées. Les teneurs moyenne en phosphate (P₂O₅) et en azote (N) permettent de déduire les apports annuels recommandés en t/ha (tab. 13). Pour l'apport maximum recommandé, on part d'un besoin annuel en éléments fertilisants d'environ 120 kg de P₂O₅ et de 150 kg de N par hectare.

Tandis que les apports possibles sont compris entre 20 et 30 t/ha pour le compost à base de matériaux verts comme pour le fumier de bovins et de porcins, les apports sont nettement inférieurs à 10 t/ha pour les autres engrais. Les boues d'épuration séchées, mais aussi la chaux, les boues d'épuration déshydratées, les fientes de poules et le fumier de volaille nécessitent un dosage exact de l'épandage, ce qui veut dire que le système d'épandage doit satisfaire des exigences sévères. Pour la chaux Ricoter, les boues d'épuration déshydratées et les granulés de boues d'épuration, il est d'usage de recourir à des entreprises de travaux agricoles ou à des cercles de machines. Ces derniers possèdent les épandeurs spéciaux néces-

saires pour épandre l'engrais en quantité voulue.

Limites d'utilisation

L'utilisation du fumier et des engrais à base de déchets est réglementée par diverses lois et ordonnances (dont l'Ordonnance sur les substances 1986, la Loi sur la protection des eaux 1991, l'Ordonnance sur la protection des eaux 1998). Il faut souligner notamment les limites suivantes:

- Le fumier et la plupart des engrais à base de déchets sont des engrais à base d'azote, qui ne peuvent être épandus que lorsque les plantes peuvent assimiler l'azote. C'est pourquoi l'épandage ne devrait pas avoir lieu pendant la période de repos végétatif.
- Les engrais à base de déchets ne peuvent être utilisés que lorsque les engrais de ferme disponibles sur l'exploitation ne suffisent plus à couvrir le besoin en éléments fertilisants (bilan des éléments fertilisants par exploitation).
- Voici quelle sont les limites de quantités pour le compost et les boues d'épuration:
 - Compost: 25 t maximum de matière sèche par ha en trois ans
 - Boues d'épuration: 5 t maximum de matière sèche par ha en trois ans
- Toute fumure est strictement interdite dans les zones suivantes: réserves naturelles, marais et marécages, haies et bosquets champêtres, eaux de surface, zones de protection des eaux souterraines (S1), bandes tampons de 3 m de large en bordure des forêts, des haies et des eaux de surface.



Fig. 23: Les épandeurs à un essieu avec un gros volume de chargement se traduisent par des charges d'appui élevées. Pour l'attelage bas correct, le tracteur doit être pourvu d'un dispositif approprié (Piton-fix par exemple).

Sécurité du travail et équipement pour la circulation sur route

Les épandeurs de fumier et d'engrais à base de déchets doivent être équipés de manière à éviter tout danger pour les opérateurs ou les usagers de la circulation routière. Par ailleurs, les utilisateurs doivent être informés des risques possibles lors du chargement, des déplacements sur route et de l'épandage. Le Service de Prévention des Accidents dans l'Agriculture (SPAA) a évalué les épandeurs utilisés à la FAT et a mis en évidence les points suivants:

Sécurité du travail

- Les exigences relatives aux techniques de sécurité figurent dans la **Norme SN EN 690**. La personne qui met la machine en circulation doit confirmer le respect de ces directives par une déclaration de conformité. La mise à disposition d'un mode d'emploi rédigé dans les langues de notre pays fait partie de ces exigences. Il est indispensable de lire attentivement le manuel de sécurité et le mode d'emploi de l'épandeur avant sa mise en service.
- Les machines dont le dispositif d'épandage se situe à l'arrière doivent être pourvues d'une **grille de protection** à l'avant, haute de 2,6 m à partir du sol. Cette grille a pour but de protéger les conducteurs des éventuelles projections vers l'avant. L'expérience montre que ce dispositif est important notamment lorsque le dispositif d'épandage est équipé de vis horizontales.
- Lorsque les ridelles se situent à plus de

1,5 m du sol, l'épandeur doit être équipé d'une **échelle** ou de **marches** à l'extérieur.

- Le dispositif d'épandage ne doit pas pouvoir être atteint par l'avant. Lorsqu'il n'est pas protégé par le hayon, des **assiettes latérales** placées à une distance minimale de 85 cm doivent empêcher l'accès aux vis d'épandage.
- Comme les organes d'épandage (vis, assiettes d'éjection, rotors) ne sont accessibles que par le côté ou par l'arrière, l'opérateur ne doit quitter le siège du conducteur que lorsque la **prise de force** est arrêtée. De plus, toutes les personnes non autorisées doivent systématiquement être éloignées avant le début de l'épandage.

Équipement pour la circulation sur route

- Les remorques de transport doivent comme toujours respecter une **largeur maximale** de 2,55 m. Depuis la dernière révision de l'OETV en octobre 2000, cette largeur peut être dépassée lorsque la machine est équipée de pneus larges pour ménager les sols (jusqu'à 3 m maximum), sans toutefois dépasser la largeur du véhicule de traction. Dans de tels cas, l'épandeur est considéré comme un véhicule exceptionnel et doit être pourvu d'une plaque d'immatriculation marron.
- Le **poids total autorisé** pour les remorques à un essieu selon l'OETV (art. 7, al. 2) est de 10 t maximum. Depuis octobre 2000 (révision de l'art. 67 OCR), les remorques à un essieu ne doivent pas dépasser une charge maximale de 10 t par essieu (plus charge d'appui de 3 t maximum). Pour les remorques à deux essieux, la charge maximale par essieu est de 16 t (distance entre les essieux inférieure à 130 cm) ou de 18 t (distance entre les essieux comprise entre 130 et 180 cm). La condition est que la charge par essieu indiquée par le fabricant soit plus élevée que la charge maximale par essieu autorisée par la loi.
- La **charge d'appui** autorisée ne doit pas dépasser 40 % du poids total de la remorque et est limitée à 3 t maximum. Pour les grosses charges d'appui, il est recommandé d'utiliser l'attelage bas plutôt que la chape d'attelage. Le véhicule de traction doit être équipé en fonction (Piton-fix, Hitch); le dispositif d'attelage pivotant ne convient pas pour l'attelage bas (fig. 23).
- Les dispositifs d'épandage arrière doivent être recouverts d'une **protection**

(grille ou plaque de protection) pour la circulation sur route. Les pièces saillantes du dispositif d'épandage sont considérées comme des «pointes, arrêtes et parties tranchantes qui risquent d'être dangereuses en cas de collision» décrites à l'art. 58 OCR. Dans la pratique, les trappes arrière hydrauliques constituent le dispositif qui s'est imposé. Elles devraient faire partie de l'équipement de base de l'épandeur. Les trappes arrière rabattables à la main ne sont pas une bonne solution, car le conducteur doit à chaque fois descendre du tracteur avant de retourner à la ferme.

- Les **feux arrière et les clignotants** doivent être nettoyés avant tout trajet sur route. Ils doivent être placés le plus possible à l'abri des souillures. L'idéal est de les monter sur la trappe arrière. Par ailleurs, les épandeurs doivent également être équipés de catadioptrés à l'avant et à l'arrière.
- Pour les trajets sur route à **40 km/h**, l'épandeur doit être expertisé (plaque d'immatriculation verte). Les véhicules doivent être équipés non seulement d'un frein hydraulique, mais aussi d'un frein hydraulique d'arrachage. Les pneus doivent présenter une portance suffisamment élevée. L'épandeur doit être pourvu d'une plaque portant mention de la vitesse maximale de 40 km/h.

Commentaire sur les diagrammes de distribution

L'annexe présente les courbes de répartition des épandeurs et des engrais utilisés. Les dispositifs d'épandage qui ne conviennent pas pour un certain type d'engrais n'ont pas été représentés. Le graphique indique la courbe de base relevée sur la parcelle (gris clair) et la courbe totale (gris foncé) obtenue en cas de chevauchement optimal. Le chevauchement a été calculé en partant du principe que les trajets sur la parcelle étaient tous effectués dans la même direction. Les valeurs de répartition totale ont été calculées en pourcentage en fonction des apports théoriques. Au centre du graphique, on a indiqué la largeur de travail utile. Sous le graphique figurent les données relatives à la largeur de répartition, à la répartition à gauche et à droite, à la précision d'épandage (coefficient de variation), à la vitesse d'avancement de la machine et enfin à l'avancée du fond mouvant lors de l'épandage.

Bibliographie

Bisang M., 1986. Epandeuses de fumier: comparaison de différents dispositifs d'épandage. Rapport FAT n° 300.

Meier U., 1998. Boues d'épuration séchées. Séchage, stockage, épandage et décomposition. Rapport FAT n° 513.

prEN 13080:1999. Epandeurs de fumier – Spécifications pour la protection de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai.

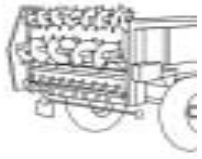
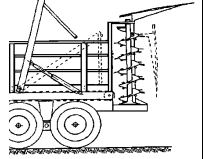
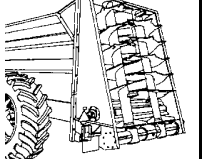
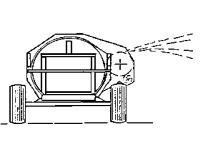
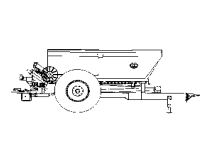
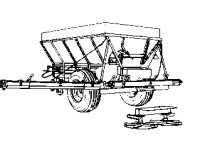
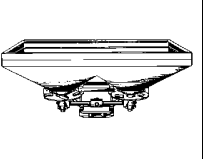
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), 1995. Kompost- und Stallungstreuer. Sammelband mit DLG-Prüfberichten.

FAC-Liebefeld, 1995. Kompost- und Klärschlamm. Weisungen und Empfehlungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) im Bereich der Abfalldünger.

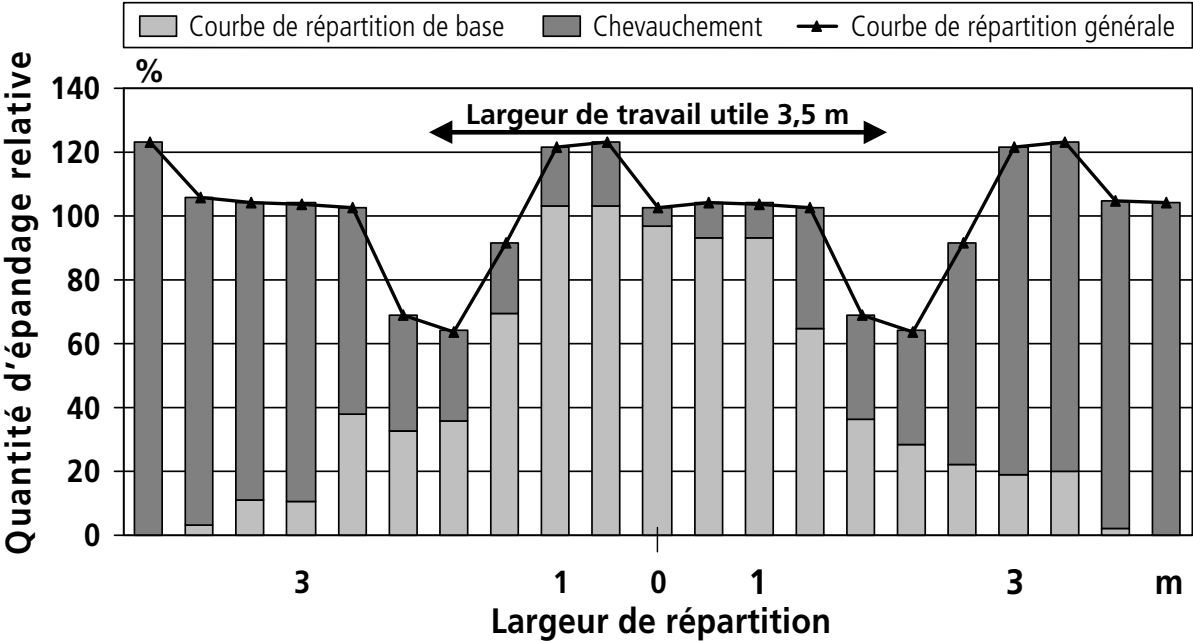
Hessisches Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Landentwicklung Kassel, 1991. Festmistausbringung in der Praxis. Stallmistuntersuchung in Hessen 1989/90. IfB Information für Beratung und Verwaltung, Heft 123/91.

SN EN 690: 1995. Landmaschinen – Stallungstreuer – Sicherheit. Schweizerische Normen-Vereinigung, 8008 Zürich.

Tab. 14: Récapitulatif

Type d'épandeur	Epandeur de fumier	Epandeur de fumier	Epandeur de fumier	Epandeur de fumier et distributeur de compost	Epandeur latéral	Epandeur universel	Epandeur universel	Distributeur centrifuge
								
Dispositif d'épandage	2 ou 3 vis horizontales	4 vis verticales	2 grosses vis verticales	2 ou 4 assiettes d'éjection et 2 hérissons à fraise horizontaux	Dispositif à éjection latérale avec rotor-étoile et rotor de distribution	2 disques disperseurs	Vis d'épandage	2 disques disperseurs
Capacité (volume de chargement)	3-12 m ³	3-12 m ³	6-14 m ³	7-16 m ³	1,5-3 m ³ (porté) 1,5-7 m ³ (tracté)	3-9 m ³	3-9 m ³	800-1500 l
Dosage	Fond mouvant méc./hydraulique	Fond mouvant méc./hydraulique	Fond mouvant hydraulique	Fond mouvant hydraulique	Fond mouvant hydraulique	Tapis roulant hydraulique, doseur	Tapis roulant hydraulique, doseur	Doseurs
Largeur de travail	3-4 m	6-7 m	6 m	11-13 m	10-15 m	10-13 m	9 / 12 m	10-13 m
Précision d'épandage en largeur	Satisfaisante	Bonne à très bonne	Bonne	Bonne	Satisfaisante	Bonne	Très bonne	Bonne
Précision d'épandage en longueur	Insuffisante	Satisfaisante avec porte-guillotine	Satisfaisante avec porte-guillotine	Satisfaisante avec porte-guillotine	Bonne	Très bonne	Très bonne	Très bonne
Particularités	Pour les parcelles très longues dans les grandes cultures	Le dispositif d'épandage doit être placé plus bas pour les engrais qui présentent une texture grumeleuse fine	Epandeur monocoque surbaissé; prédestiné pour le fumier de stabulation libre		Portée d'éjection modulable (modèle Vario)	Glissoire pour les engrais terreux humides; production de poussière avec les engrais secs	Ne convient pas pour les engrais terreux humides	Production de poussière avec les engrais secs
Adéquation des engrais	Fumier de stabulation Compost	Fumier de stabulation Compost Boues d'épuration déshydratées Fientes de poules Fumier de volaille	Fumier de stabulation Compost Boues d'épuration déshydratées Fientes de poules Fumier de volaille	Fumier de stabulation Compost Boues d'épuration déshydratées Fientes de poules Fumier de volaille Chaux humide	Fumier de stabulation Compost Boues d'épuration déshydratées Fientes de poules Fumier de volaille Chaux humide	Chaux Chaux humide Boues d'épuration séchées	Chaux Boues d'épuration séchées	Boues d'épuration séchées

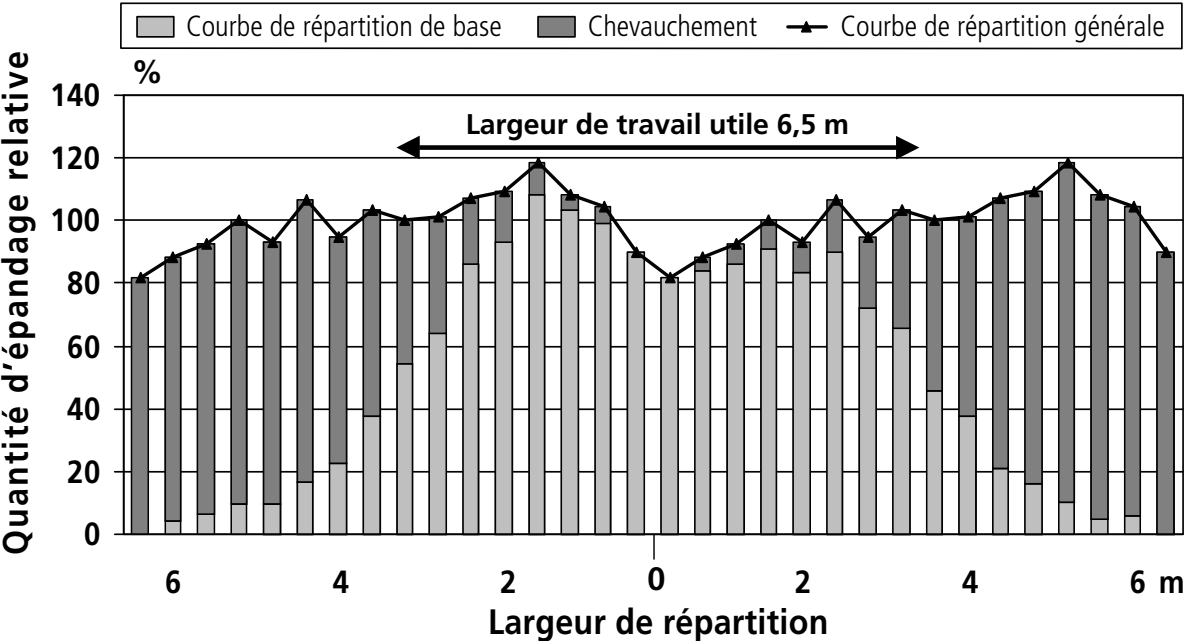
Engrais: Fumier de stabulation libre, 30 t/ha
Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 2 vis horizontales
Epandeur: **Jeantil EP 2060 Epandor 2**



Largeur de répartition: 7,5 m
Répartition à gauche et à droite: 51,7/48,3%
Coefficient de variation: 18,8% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 4,7 km/h
Progression du fond mouvant: 0,8 m/min

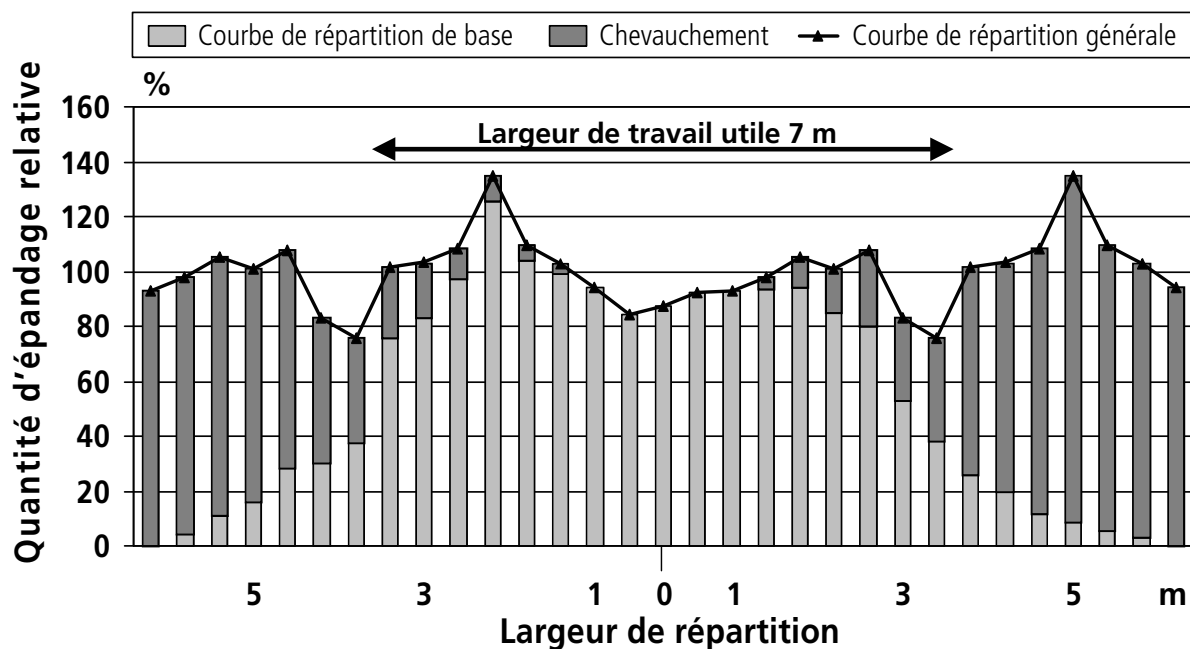
Engrais: Fumier de stabulation libre, 30 t/ha
Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 4 vis verticales
Epandeur: **Bergmann M 700 SX**



Largeur de répartition: 12 m
Répartition à gauche et à droite: 50,3/49,7%
Coefficient de variation: 9,1% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 5,1 km/h
Progression du fond mouvant: 1,5 m/min

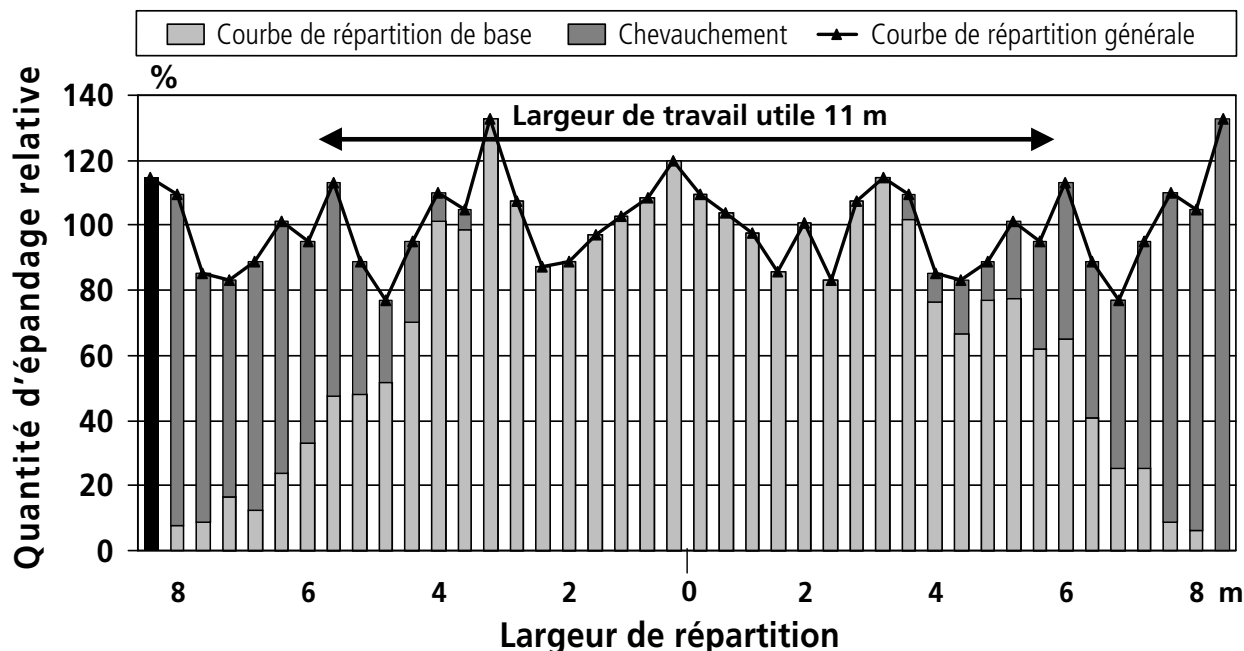
Engrais: Fumier de stabulation libre, 30 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 2 grandes vis verticales
 Epandeur: **Jeantil EVV 10000 Epandor 5**



Largeur de répartition: 11,5 m
 Répartition à gauche et à droite: 55,5/44,5%
 Coefficient de variation: 13,1% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 3,4 km/h
 Progression du fond mouvant: 1,0 m/min

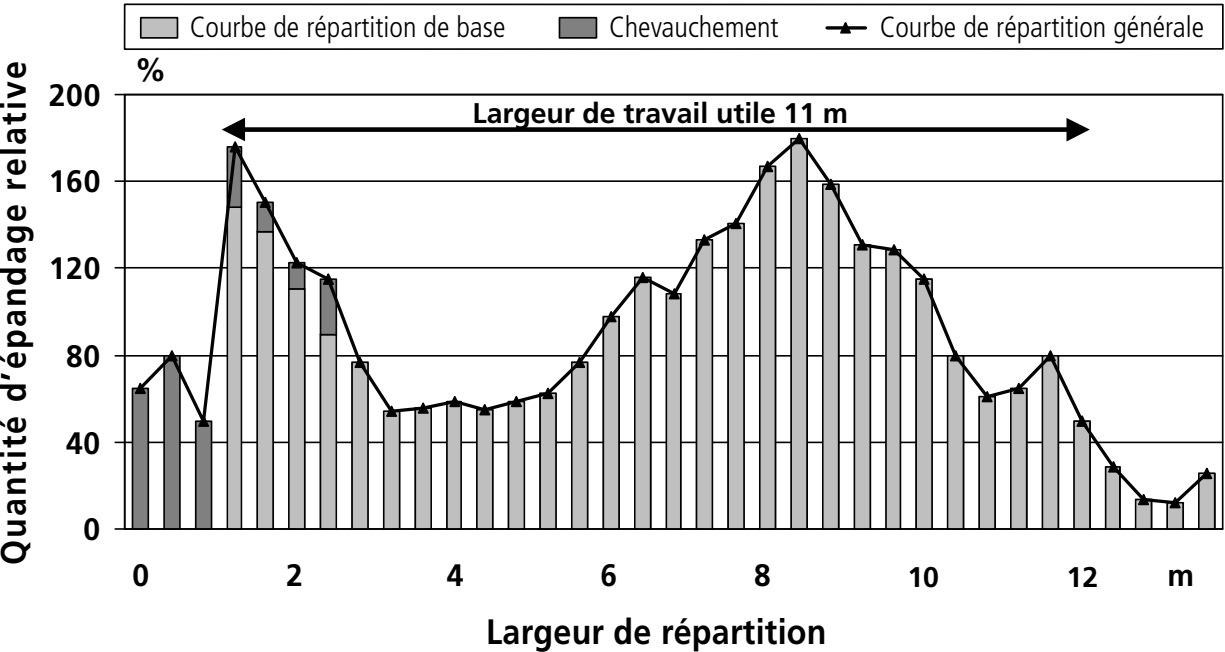
Engrais: Fumier de stabulation libre, 30 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur de fumier avec assiettes d'éjection
 Epandeur: **Jeantil EP 2060 Epandor 3**



Largeur de répartition: 16 m
 Répartition à gauche et à droite: 48,7/51,3%
 Coefficient de variation: 13,4% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 3,1 km/h
 Progression du fond mouvant: 1,6 m/min

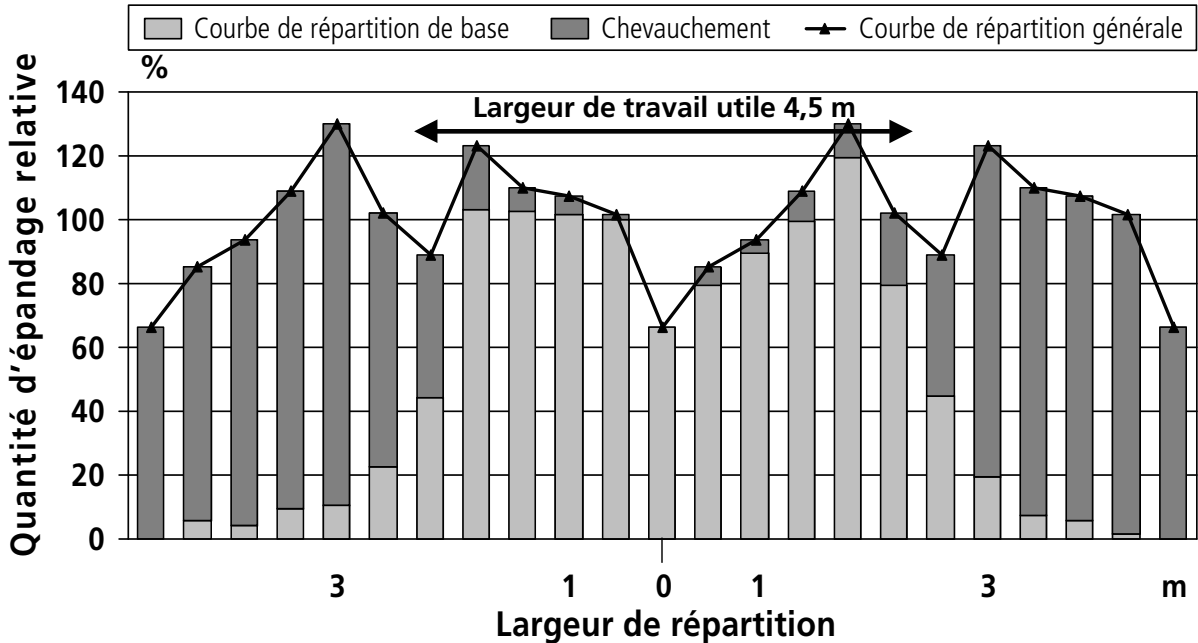
Engrais: Fumier de stabulation libre, 30 t/ha
Système d'épandage: Epandeur de fumier avec dispositif d'épandage latéral
Epandeur: **Gafner 5.5 A-Vario**



Largeur de répartition: 13,5 m
Coefficient de variation: 38,7% (cf. tab. 6)
Distance du vérin hydraulique sur le rotor (réglage de la portée d'épandage): 17 cm

Vitesse d'avancement de la machine: 3,1 km/h
Progression du fond mouvant: 1,6 m/min

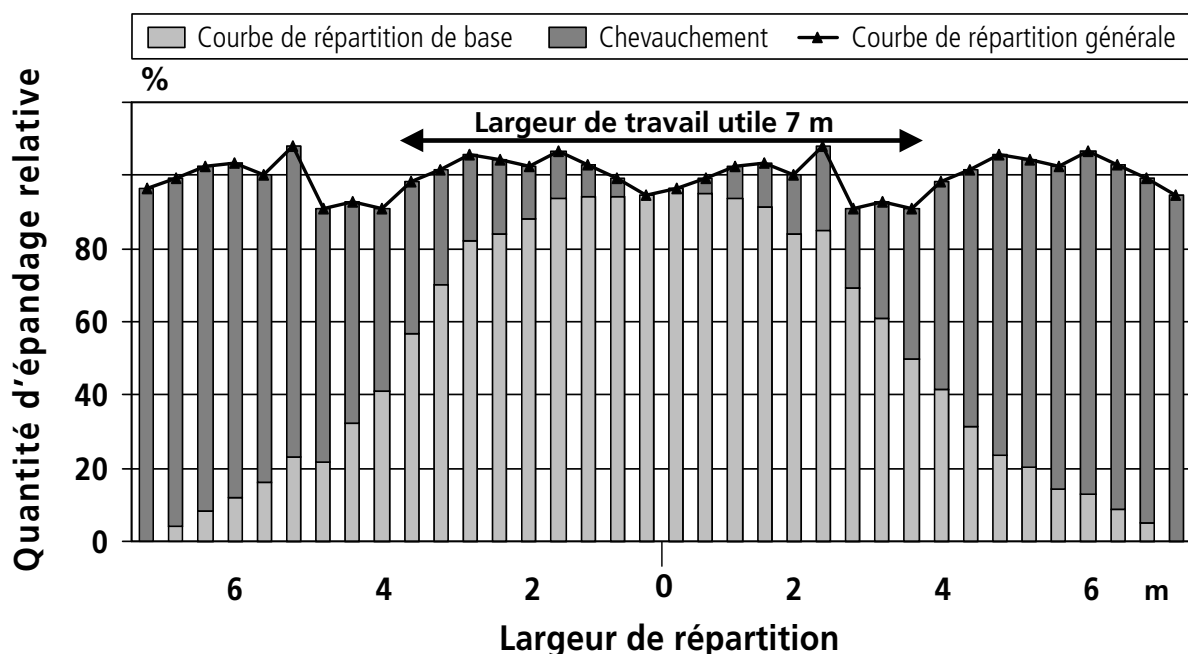
Engrais: Compost, 25 t/ha
Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 2 vis horizontales
Epandeur: **Jeantil EP 2060 Epandor 2**



Largeur de répartition: 8,5 m
Répartition à gauche et à droite: 48,0/52,0%
Coefficient de variation: 18,2% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 5,1 km/h
Progression du fond mouvant: 1,0 m/min

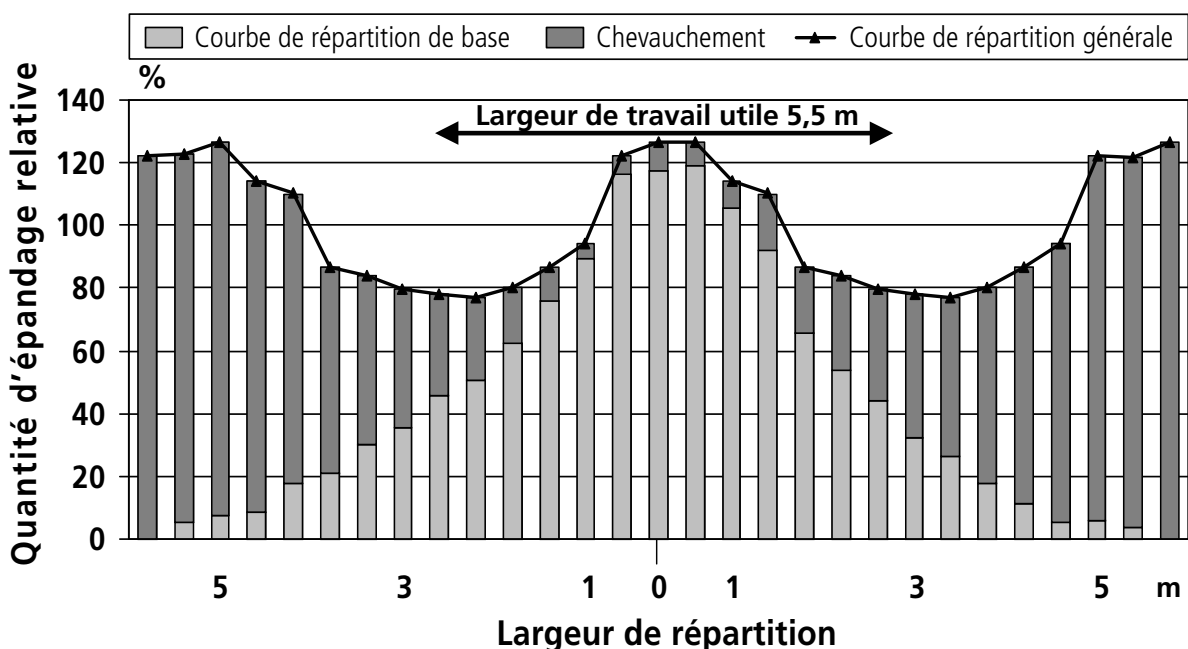
Engrais: Compost, 25 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 4 vis verticales
 Epandeur: **Bergmann M 700 SX**



Largeur de répartition: 13,5 m
 Répartition à gauche et à droite: 50,9/49,1%
 Coefficient de variation: 5,1% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 5,3 km/h
 Progression du fond mouvant: 1,3 m/min

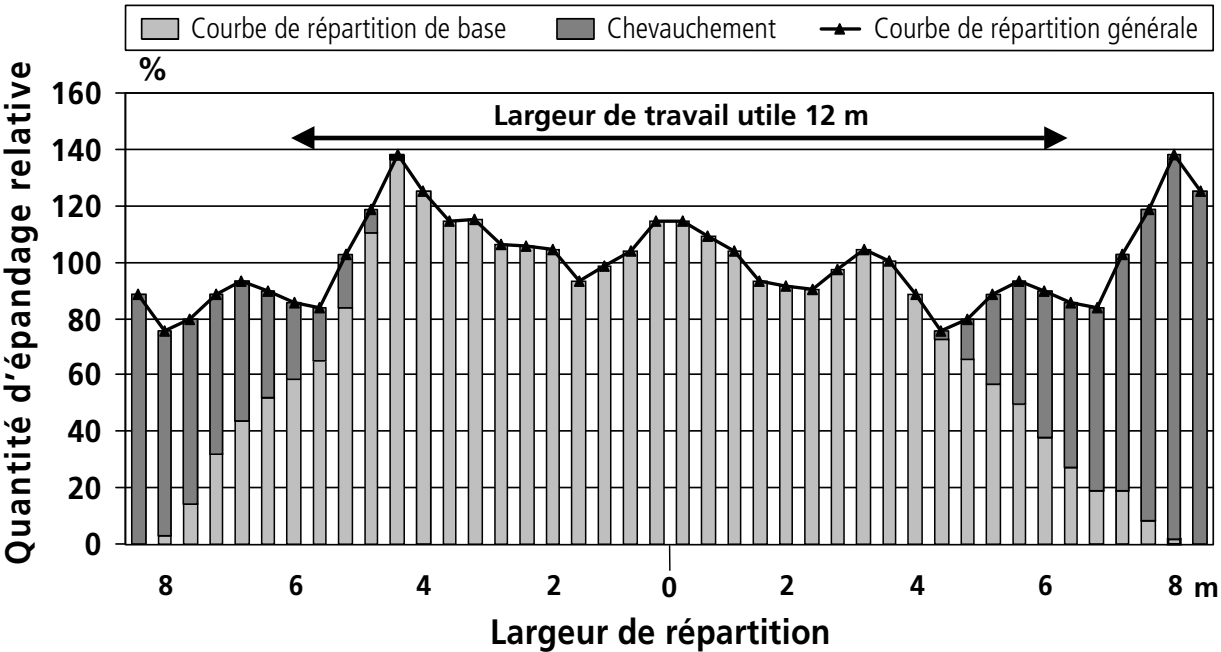
Engrais: Compost, 25 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 2 grandes vis verticales
 Epandeur: **Jeantil EVV 10000 Epandor 5**



Largeur de répartition: 11 m
 Répartition à gauche et à droite: 49,3/50,7%
 Coefficient de variation: 19,3% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 5,1 km/h
 Progression du fond mouvant: 1,0 m/min

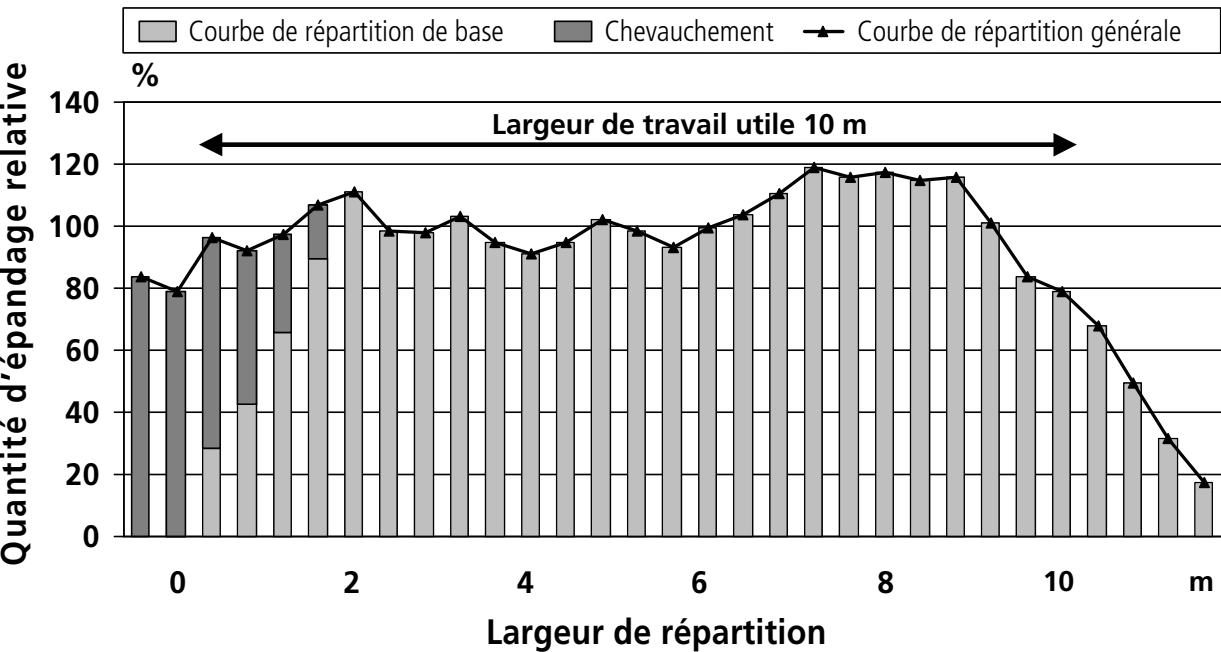
Engrais: Compost, 25 t/ha
Système d'épandage: Distributeur de compost avec assiettes d'éjection
Epandeur: **Jeantil EP 2060 Epandor 3**



Largeur de répartition: 16 m
Répartition à gauche et à droite: 55,4/44,6%
Coefficient de variation: 15,5% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 4,6 km/h
Progression du fond mouvant: 1,6 m/min

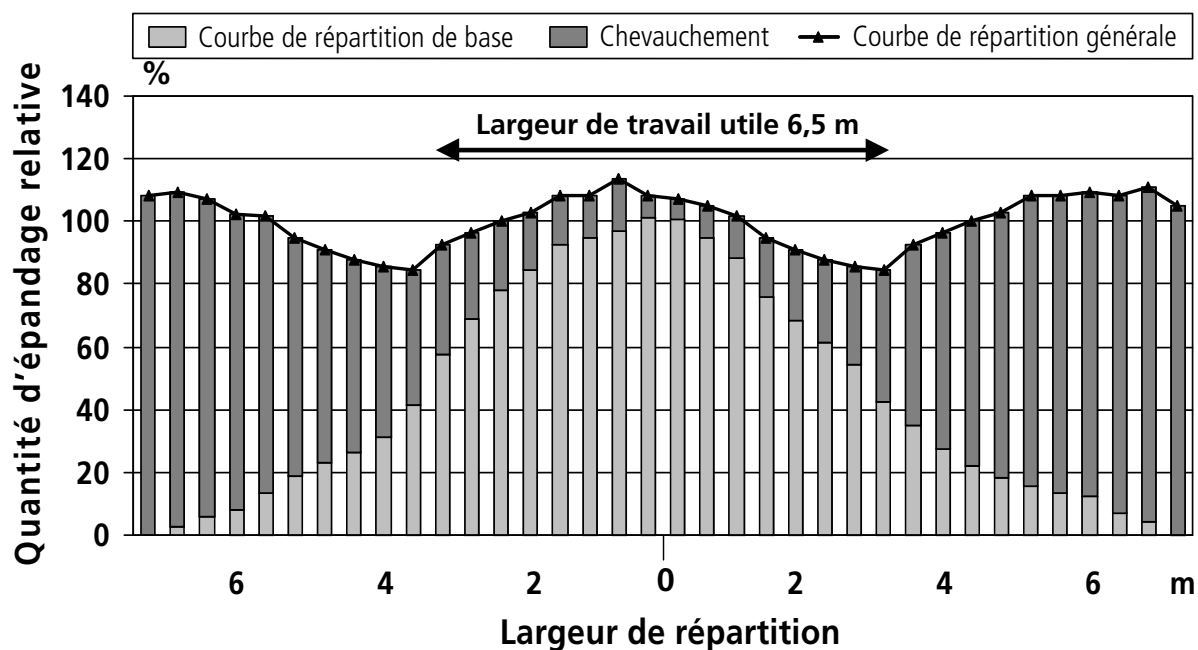
Engrais: Compost, 25 t/ha
Système d'épandage: Epandeur de fumier avec dispositif d'épandage latéral
Epandeur: **Gafner 5.5 A-Vario**



Largeur de répartition: 11,5 m
Coefficient de variation: 11,2% (cf. tab. 6)
Distance du vérin hydraulique sur le rotor (réglage de la portée d'épandage):

Vitesse d'avancement de la machine: 3,2 km/h
Progression du fond mouvant: 1,1 m/min

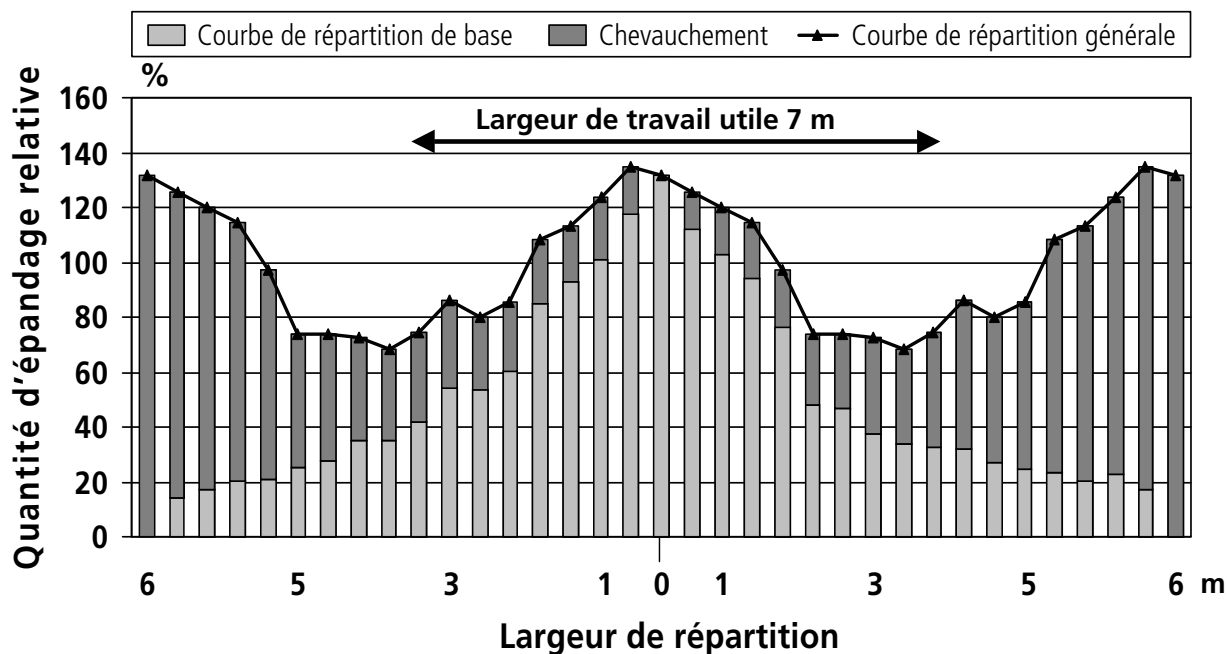
Engrais: Boues d'épuration déshydratées, 16 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 4 vis verticales
 Epandeur: **Bergmann M 700 SX**



Largeur de répartition: 13,5 m
 Répartition à gauche et à droite: 53,2/46,8%
 Coefficient de variation: 8,6% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 4,9 km/h
 Progression du fond mouvant: 0,7 m/min

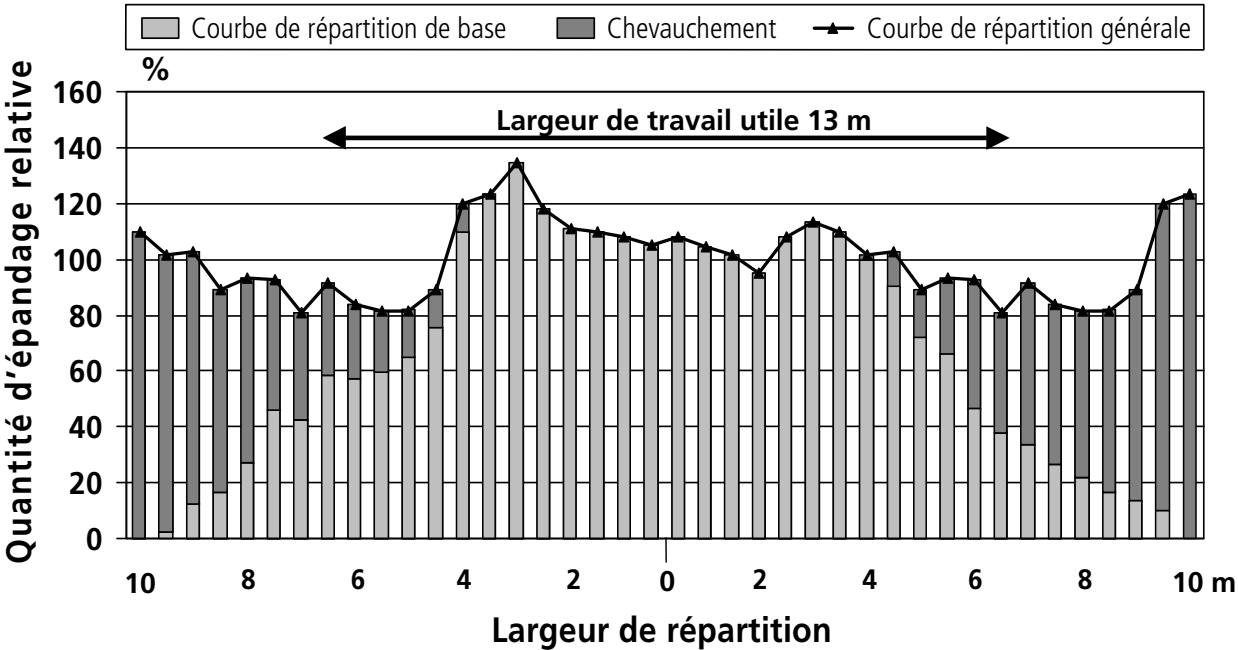
Engrais: Boues d'épuration déshydratées, 16 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur de fumier avec 2 grandes vis verticales
 Epandeur: **Jeantil EVV 10000 Epandor 5**



Largeur de répartition: 13 m
 Répartition à gauche et à droite: 51,5/48,5%
 Coefficient de variation: 23,2% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 5,1 km/h
 Progression du fond mouvant: 1,0 m/min

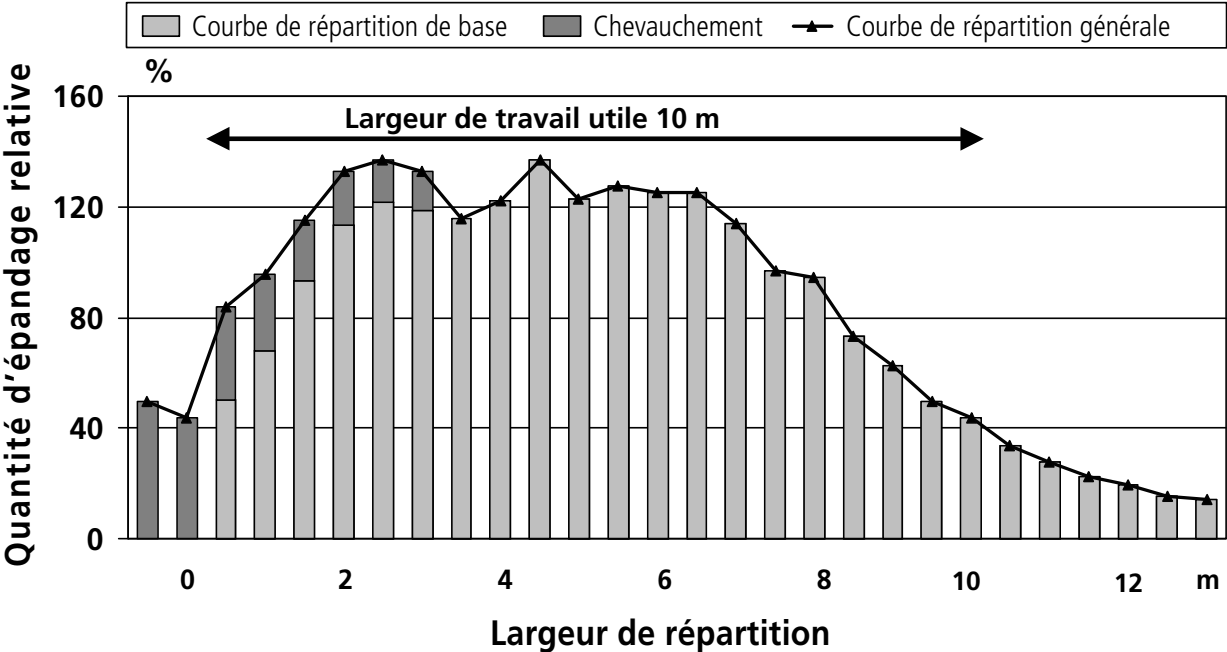
Engrais: Boues d'épuration déshydratées, 16 t/ha
Système d'épandage: Distributeur de compost avec assiettes d'éjection
Epandeur: **Jeantil EP 2060 Epandor 3**



Largeur de répartition: 19 m
Répartition à gauche et à droite: 52,0/48,0%
Coefficient de variation: 13,9% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 4,3 km/h
Progression du fond mouvant: 0,8 m/min

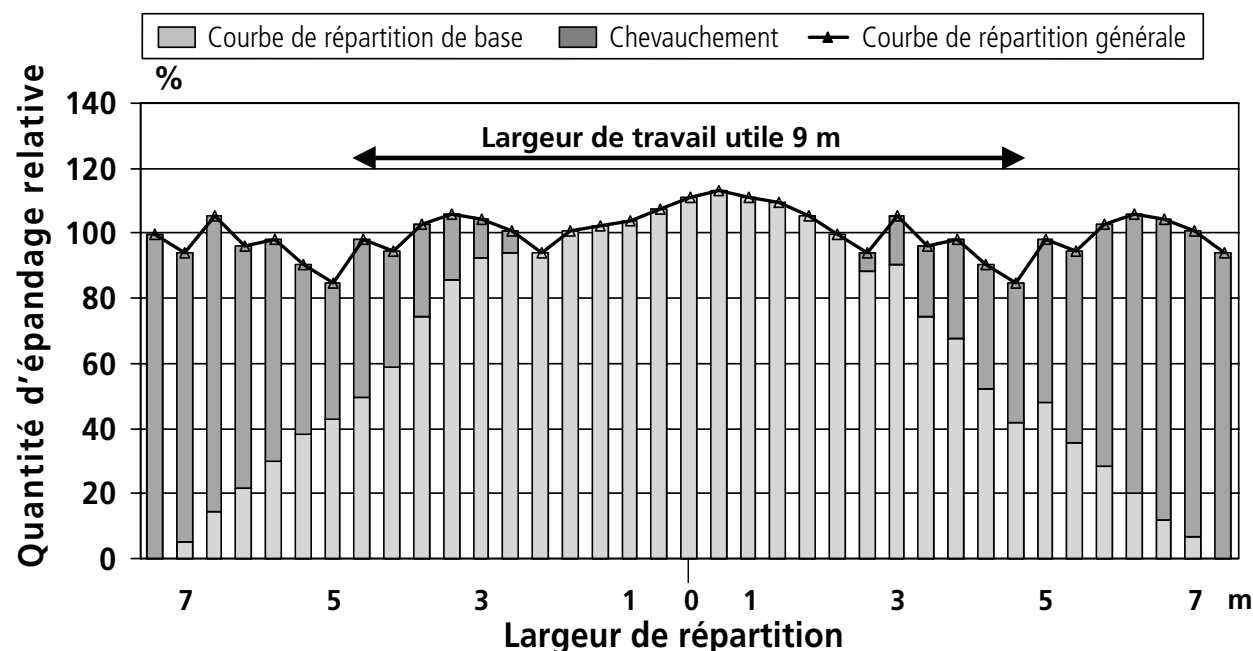
Engrais: Boues d'épuration déshydratées, 16 t/ha
Système d'épandage: Epandeur de fumier avec dispositif d'épandage latéral
Epandeur: **Gafner 5.5 A-Vario**



Largeur de répartition: 13 m
Coefficient de variation: 31,5% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 3,1 km/h
Progression du fond mouvant: 1,0 m/min
Distance du vérin hydraulique sur le rotor (réglage de la portée d'épandage): 16 cm

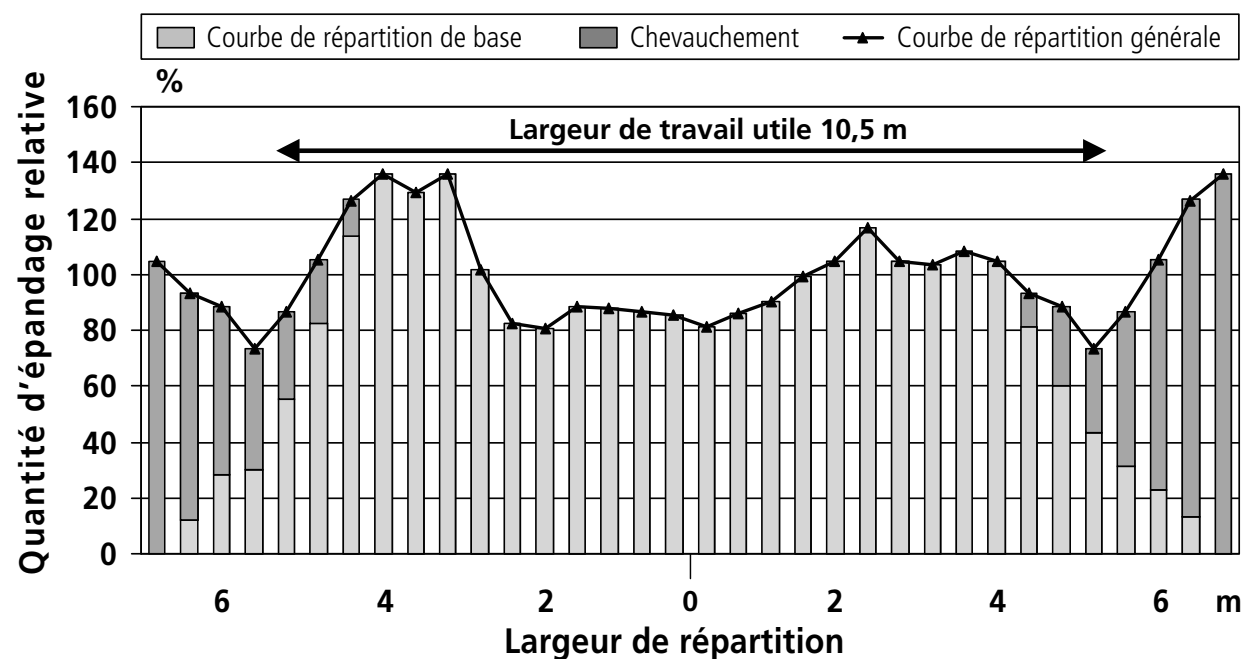
Engrais: Chaux Ricoter, 10 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur universel avec dispositif d'épandage à 2 disques
 Epandeur: **Bredal B80 L**



Largeur de répartition: 14 m
 Répartition à gauche et à droite: 50,2/49,8%
 Coefficient de variation: 6,8% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 6,0 km/h
 Progression du tapis roulant : 0,5 m/min

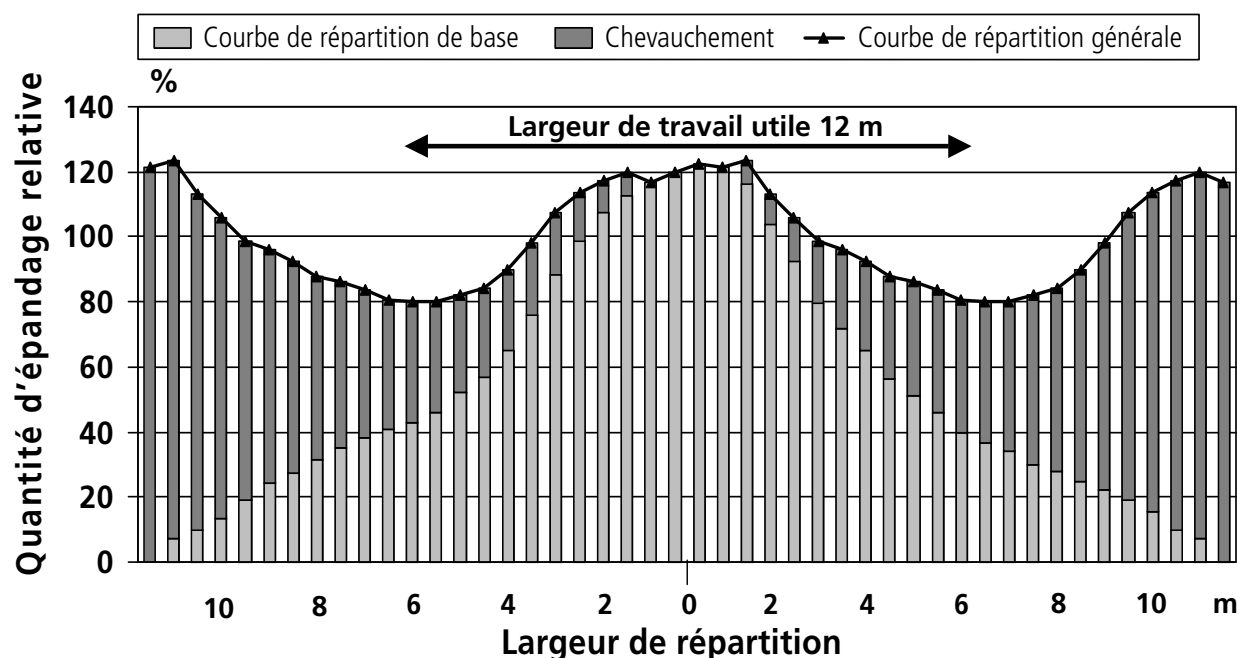
Engrais: Chaux Ricoter, 10 t/ha
 Système d'épandage: Distributeur de compost avec assiettes d'éjection
 Epandeur: **Jeantil EP 2060 Epandor 3**



Largeur de répartition: 13 m
 Répartition à gauche et à droite: 51,6/48,4%
 Coefficient de variation: 17,8% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 4,5 km/h
 Progression du fond mouvant: 0,8 m/min

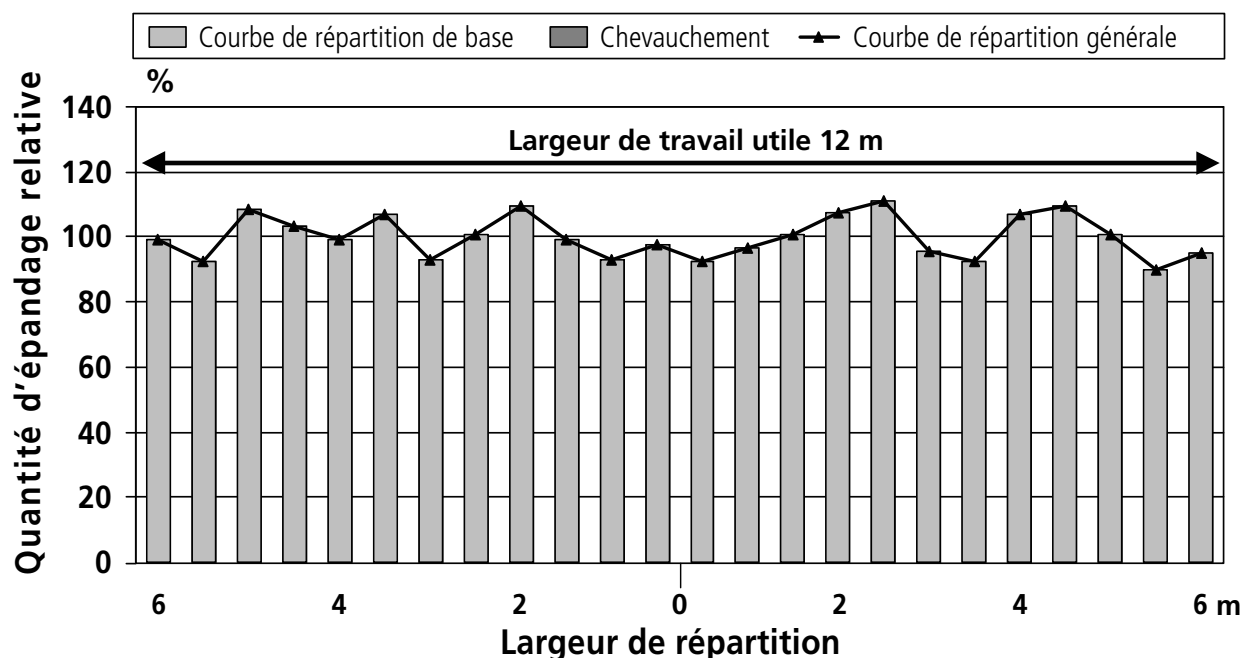
Engrais: Granulés de boues d'épuration, 2 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur universel avec dispositif d'épandage à 2 disques
 Epandeur: **Amazone ZG-B 16001 TR**



Largeur de répartition: 22 m
 Répartition à gauche et à droite: 50,8/49,2%
 Coefficient de variation: 15,4% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 3,3 km/h
 Progression du tapis roulant: 0,4 m/min
 Position du doseur: 12

Engrais: Granulés de boues d'épuration, 2 t/ha
 Système d'épandage: Epandeur universel avec vis d'épandage frontale
 Epandeur: **Amazone ZG-B 16001 TR**



Largeur de répartition: 12 m
 Répartition à gauche et à droite: 50,1/49,9%
 Coefficient de variation: 6,3% (cf. tab. 6)

Vitesse d'avancement de la machine: 3,3 km/h
 Progression du tapis roulant: 0,4 m/min
 Position du doseur: 12

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 (CH-8356 Tänikon). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90,
E-Mail: info@fat.admin.ch, Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

BE	Furer Willy, Ecole d'Agriculture, 2732 Loveresse	Tél. 032 481 42 71
FR	Berset Roger, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
GE	AGCETA, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 341 35 40
JU	Knobel Beat, Institut agricole, 2852 Courtemelon	Tél. 032 420 74 39
NE	Bendel Etienne, SNVA, 2053 Cernier	Tél. 032 854 05 30
TI	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
VD	Patrick Munier, 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

Les «Rapports FAT» paraissent environ 20 fois par an. Abonnement annuel: Fr. 50.—. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: FAT, CH-8356 Tänikon. Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.
E-Mail: info@fat.admin.ch – Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>
Les Rapports FAT sont également disponibles en allemand (FAT-Berichte).– ISSN 1018-502X.