

Évaluation des performances des épandeurs de fumier : premiers résultats selon la norme NF EN 13080

Marc Rousselet et Jacky Mazoyer

La valorisation agronomique des fumiers d'élevages existe pratiquement depuis que l'agriculture existe, mais pour autant, elle n'en demeure pas moins une opération assez imprécise, principalement en raison de la grande variabilité des produits et de leur hétérogénéité. Cet article nous restitue une synthèse de tests effectués sur un échantillon d'épandeurs selon la norme NF EN 13080. Les auteurs commentent les résultats en mettant l'accent sur les difficultés de réglage des doses, les variations importantes de régularité longitudinale et transversale des épandages.

Depuis une dizaine d'années, la part des engrais organiques (fumiers, composts...) est de plus en plus prise en compte dans le raisonnement de fertilisation des agriculteurs. Outre le fait que ces engrais sont disponibles dans la plupart des élevages et n'ont pas d'autres débouchés, ils constituent un apport de matière organique appréciable pour la conservation des sols. Selon les exploitations et en respectant des règles précises, ils peuvent aussi entrer dans la fumure des cultures à labels biologiques. Quelles que soient les situations, au même titre que les engrais minéraux, la maîtrise des doses des apports d'engrais organiques est une étape incontournable pour respecter l'environnement, tout particulièrement pour éviter des risques de surdosage en azote.

Or, en matière d'épandage et donc de valorisation des matières organiques, si la pratique des bilans de fertilisation est de plus en plus maîtrisée par les agriculteurs pour définir les apports sur les parcelles agricoles, le point faible reste les équipements d'épandages. Ces appareils assez rudimentaires, dont la conception a seulement commencé à évoluer à partir des années 90, ont en effet pour principal défaut de ne pas permettre aux utilisateurs de maîtriser facilement le débit, d'avoir une répartition transversale au sol très irrégulière et une répartition longitudinale très variable au cours du cycle d'épandage au champ.

Depuis quelques années, les constructeurs européens de matériels d'épandage de matières organiques sont sollicités pour développer

des équipements plus précis et adaptables aux divers produits et conditions d'épandages. Les organismes d'expérimentation et de recherche ont conduit et poursuivent des études pour mieux connaître la dynamique des écoulements des différents produits et définir des procédures d'essais adaptées aux épandeurs. Rappelons l'objectif essentiel : pour une parcelle et un produit homogènes donnés, l'agriculteur doit être en mesure d'apporter la dose souhaitée et de manière bien répartie en tout point de la surface du sol.

C'est dans ce contexte qu'une norme européenne, élaborée en partenariat avec les professionnels et intitulée en version française *NF EN 13080*, « *Épandeurs de fumier – Protection de l'environnement* », a été publiée en 2003. Cette norme décrit les méthodes d'essais des matériels et définit des seuils d'acceptabilité pour plusieurs critères.

Dans cet article, nous nous appuyons sur une étude financée par l'Ademe¹ (Rousselet et Mazoyer, 2006) dont les objectifs sont de dresser un premier constat sur les performances des épandeurs de fumiers et composts au niveau de leur qualité d'épandage, et d'apprécier dans quelle mesure ces machines peuvent ou non satisfaire aux exigences de la norme. Précisons, par ailleurs, que cette action a également permis de tester les modalités pratiques et les difficultés de mise en œuvre de cette norme.

Après un rapide rappel des caractéristiques des produits à épandre, nous présenterons les différentes variantes technologiques des épandeurs, puis nous décrirons les principales prescriptions

1. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

Les contacts

Cemagref, UR Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes, Domaine des Palatins, Montoldre, 03150 Varennes-sur-Allier

d'essai de la norme NF EN 13080. Enfin, nous commenterons et dresserons un bilan des résultats d'essais réalisés par le Cemagref. Cette étude ne concerne pas les lisiers dont les équipements d'épandage (appareils à pression de liquide) relèvent d'une autre technologie.

Repères quantitatifs et caractéristiques physiques des produits

Les quantités de déjections animales sont estimées en France à 297 Mt/an de matières brutes, dont 243 Mt pour les élevages de bovins qui génèrent 80 % des déjections animales (MEDD-Biomasse Normandie, 2002). Ces déjections produisent en majorité du fumier. Dans cette publication, nous avons classé les composts de fumiers de bovins avec les fumiers de bovins ; ces composts représentent une production encore marginale de 0,85 Mt/an, mais leur production est en voie d'augmentation. Les déjections des autres espèces, représentent 54 Mt/an, dont 30 Mt/an pour les élevages d'animaux produisant des matières solides à épandre.

Des produits variés à épandre

Le fumier de bovins est constitué d'un mélange de paille et de déjections solides et liquides, auxquelles viennent s'ajouter des résidus de l'alimentation. Sa consistance est donc hétérogène et varie selon les situations et le degré de décomposition. On trouve ainsi différents types de fumiers (tableau 1), dont les caractéristiques physiques varient en fonction du type d'animal (vaches laitières, vaches allaitantes, taurillons...), du mode de logement (stabulation libre ou entravée...) et de l'alimentation (foin, ensilage, maïs, herbe...). La teneur en matière sèche dépasse en général 20 %.

▼ Tableau 1 – Caractéristiques physiques des fumiers et composts – Valeurs moyennes.

Produits	% Matières sèches	Masse volumique (kg/m ³)
Fumier de bovins	22	800
Compost de fumier	15-30	600-950
Fumier de volailles	63	350

Source : Engrais de ferme, valeur fertilisante, gestion, environnement, ITP², ITCF³, ITEB⁴ (1991).

Le fumier composté est le résultat de la transformation de la matière organique par un processus de fermentation aérobie. En pratique, ce processus nécessite 2 retournements mécaniques du produit, à 15 jours d'intervalle. Après le premier retournement, une phase rapide de montée en température (plus de 50 °C) s'opère dans le tas, pendant 1 à 2 semaines. Une seconde phase beaucoup plus lente (plusieurs mois) conduit au stade de maturation du produit. Le compostage réduit le volume du produit initial de 30 à 40 %, diminue son poids de 40 à 50 % et augmente le taux de matière sèche d'environ 10 %.

Les épandeurs de fumiers

Leur principe général est celui d'une robuste remorque à fond mouvant alimentant un dispositif d'épandage arrière à rotors horizontaux ou verticaux, appelés « hérissons ». Les épandeurs à hérissons horizontaux, très courants dans les années 1970-80, sont à présent techniquement dépassés ; ils ont laissé la place à des épandeurs à hérissons verticaux avec ou sans table d'épandage.

Le marché des épandeurs de fumier est estimé à près de 3 000 machines par an en France (2 735 pour l'année 2005 selon le SNCVA⁵). Les épandeurs à hérissons verticaux représentent environ 70 % des ventes. Les épandeurs à tables d'épandages représentent environ 15 % du marché et sont plutôt destinés par exemple à l'épandage des sous-produits des stations d'épuration. Le reste, environ 15 %, est constitué d'épandeurs à hérissons horizontaux et à turbine à éjection latérale.

Les épandeurs à hérissons verticaux

Il s'agit de matériels dont les hérissons sont constitués de deux rotors de grand diamètre à axe vertical munis de couteaux (figure 1 et photo 1). Ces hérissons, légèrement inclinés vers l'avant, tournent en sens inverse l'un de l'autre. Les principales variantes de ces hérissons sont dimensionnelles et cinématiques.

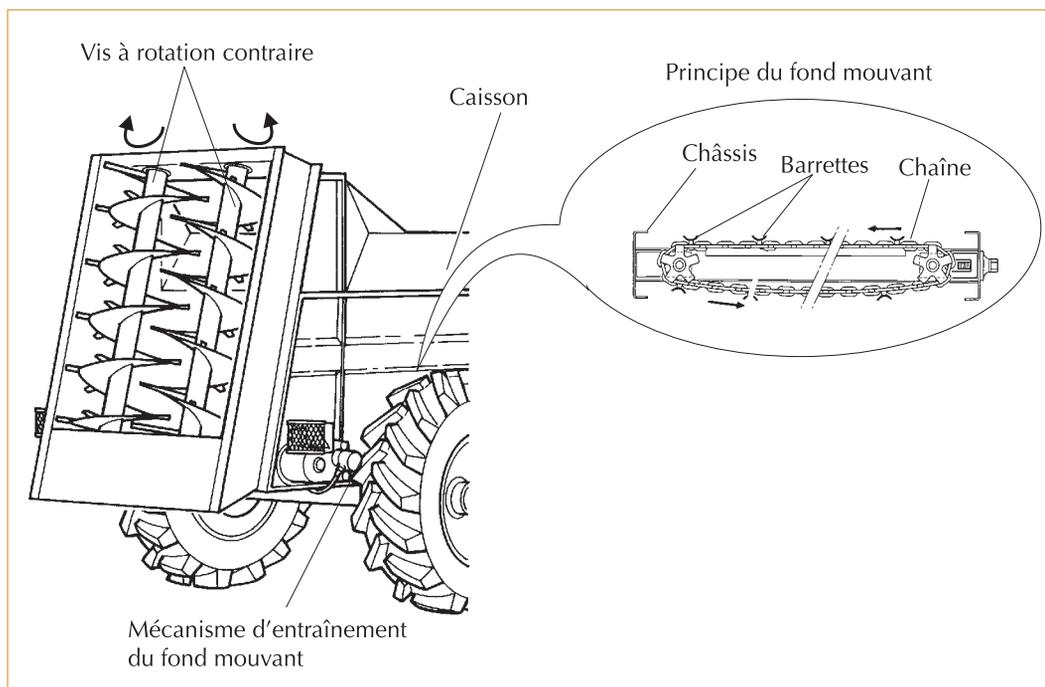
Le fumier est déchiqueté sur toute la hauteur des hérissons, puis éjecté. À la base des hérissons, des plateaux équipés de pales fixes ou mobiles favorisent l'éjection du produit. Ces matériels, plutôt en usage dans les exploitations d'élevage, sont bien adaptés à l'épandage du fumier. Les largeurs de travail sont comprises entre 5 et 12 m.

2. Institut du porc.

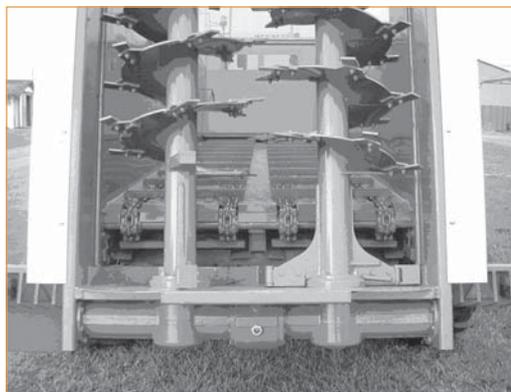
3. Institut technique des céréales et des fourrages.

4. Institut de l'élevage.

5. Syndicat national des constructeurs de véhicules agraires



◀ Figure 1 – Principe d'un épandeur de fumier à hérissons verticaux.



▲ Photo 1 – Vue arrière d'un dispositif d'épandage à hérissons verticaux.

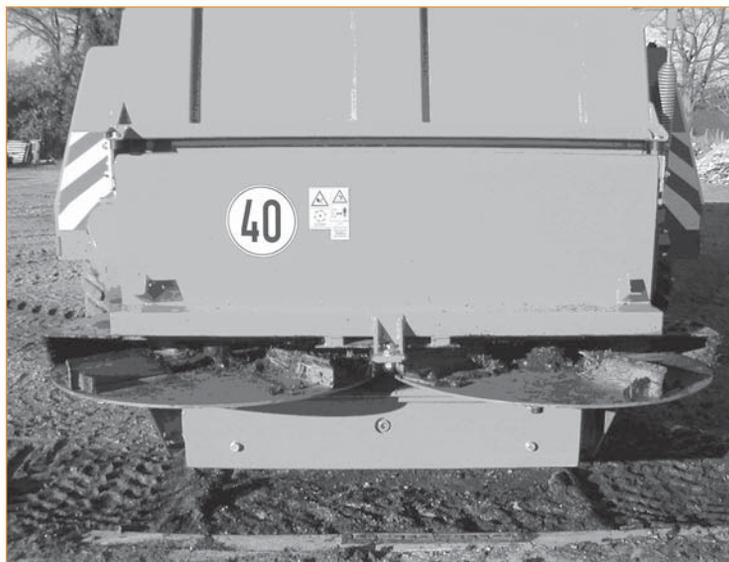
Les épandeurs à table d'épandage

Il s'agit d'épandeurs dont les organes de déchiquetage et d'épandage sont distincts :

– le déchiquetage est réalisé par des hérissons, indépendants de la table d'épandage, disposés horizontalement et transversalement. De grand diamètre, ces hérissons déchiquettent la matière, et la projettent contre un capot à paroi verticale qui surplombe la table d'épandage ;

– l'épandage est assuré par une table formée de 2 à 4 plateaux rotatifs munis de pales (photo 2), ou bien de pales rotatives seules. Ces éléments assurent la projection du produit sur une largeur d'épandage comprise entre 10 et 18 m.

▼ Photo 2 – Dispositif à table d'épandage.



Le fonctionnement et le réglage des épandeurs

Le tapis de fond mouvant disposé au fond de la caisse de l'épandeur entraîne le produit vers l'arrière de la machine durant l'épandage. Il est constitué d'une ou deux rangées de barrettes horizontales fixées à leurs extrémités à une chaîne. Son entraînement est réalisé au moyen d'un moteur hydraulique dont la vitesse est variable et commandée soit par un limiteur de débit manuel, soit par une commande électronique asservie. Ce réglage de la vitesse du tapis adapte le débit de vidange de l'épandeur, Q (en t/min), à la dose souhaitée, D (en t/ha), en fonction de la vitesse d'avancement du tracteur, V (en km/h), et de la largeur de travail, l (en m), selon la relation suivante :

$$Q = \frac{D \times l \times V}{600} \quad (1)$$

où :

Q : est le débit de vidange de l'épandeur (tonne/min),
 D : est la dose d'épandage souhaitée (t/ha),
 V : est la vitesse d'avancement (km/h),
 l : est la largeur d'épandage (m).

En l'absence de glissement du fumier sur le fond mouvant, la vitesse du tapis en fonction débit peut s'écrire de la façon suivante :

$$v = \frac{Q}{S} \times \mu \quad (2)$$

où :

V : est la vitesse du tapis de fond mouvant (m/min),
 Q : est le débit de vidange de l'épandeur (t/min),
 μ : est la masse volumique du fumier (t/m³),
 S : est la section de fumier, présentée aux hérissons (m²).

L'entraînement du fond mouvant et les mouvements de la porte sont commandés hydrauliquement, suivant 2 possibilités :

- utilisation de l'énergie hydraulique du tracteur (modèles anciens ou de faible tonnage) ;
- utilisation d'une centrale hydraulique indépendante (modèles récents) intégrée à l'épandeur.

En équipement souvent optionnel, on rencontre une porte de dosage. Celle-ci, en plus d'assurer l'étanchéité de la caisse pendant le transport, joue aussi le rôle d'élément de réglage du dosage pendant l'épandage. Généralement, le fonctionnement de la porte en mode dosage s'applique aux produits mous ou pâteux (boues de stations) ou présentant une faible cohésion (fumier de volailles, compost).

La variation de la hauteur libre sous la porte entraîne une variation du débit selon la relation :

$$Q = S(h) \times v \quad (3)$$

où :

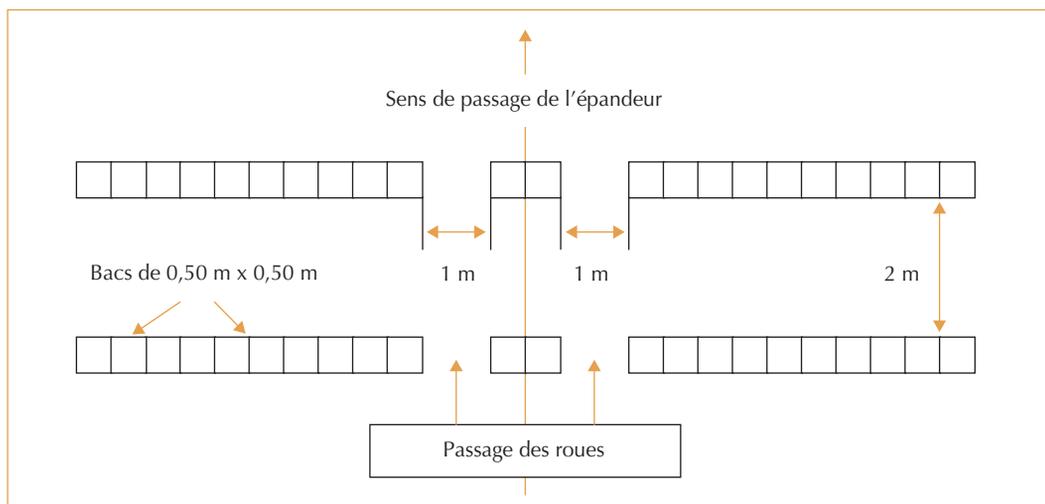
Q : est le débit de vidange de l'épandeur (t/min),
 $S(h)$: est la section de passage du fumier, en fonction de la hauteur de porte (m²),
 V : est la vitesse du tapis de fond mouvant (m/min).

Les points essentiels de la norme NF EN 13080

La méthode de mesure de la régularité de la distribution transversale

Les essais ont lieu sur l'aire d'essais dans les conditions normales de fonctionnement de l'épandeur. Le tracteur et l'épandeur tracté circulent perpendiculairement aux deux rangées de bacs (figure 2 et photo 3). La vitesse de passage est de 1,9 km/h. Les rangées sont constituées de bacs de collecte de dimensions 0,5 m x 0,5 m, jointifs entre eux. Elles sont positionnées de part et d'autre de l'axe de passage de l'épandeur en laissant de la place pour le passage des roues. À cet endroit, les valeurs non mesurées sont interpolées. Les quantités de fumier recueillies dans chaque bac sont pesées et enregistrées. Ces données sont traitées par un logiciel pour le calcul des valeurs et le tracé des courbes de distribution transversale, selon la largeur choisie, avant et après recouvrement des nappes d'épandage de deux passages successifs.

Pour chaque essai de distribution transversale, on calcule le **coefficient de variation** (CV) pour toutes les largeurs de travail comprises entre la largeur de la machine et la largeur totale de projection. La largeur de travail est la distance entre deux passages successifs.



◀ Figure 2 – Dispositif de mesure de la distribution transversale.

Le calcul du CV est réalisé après recouvrement des nappes d'épandages lors d'une simulation d'un épandage en va-et-vient et d'un épandage circulaire.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (4)$$

avec

$$S \text{ (écart type)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

et

$$\bar{X} \text{ (moyenne)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

où :

X_i : est la masse de fumier obtenue dans un bac après recouvrement,

n : est le nombre de bacs sur la largeur de travail.

La largeur de travail optimale est la plus grande largeur de travail, compatible avec la plage d'utilisation de la machine, pour laquelle le CV est minimum.

La norme exige que le CV soit inférieur à 30 % et que la largeur de travail soit supérieure à la demi-largeur de projection.

La méthode de mesure de la régularité de la distribution longitudinale

Les essais de distribution longitudinale sont réalisés à poste fixe, sur une aire plane et bétonnée,



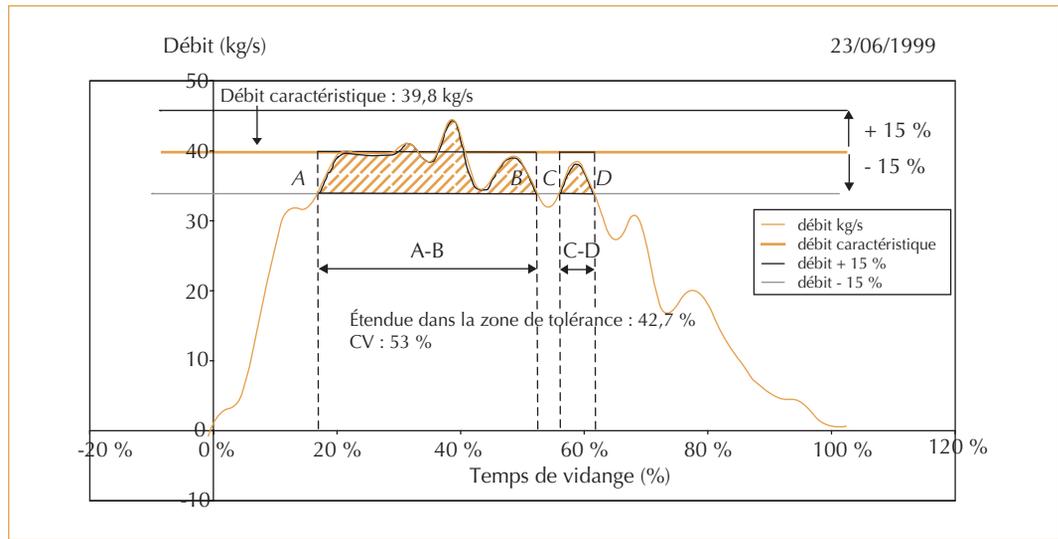
▲ Photo 3 – La nappe d'épandage après un essai de répartition.

le tracteur et l'épandeur étant placés sur des plates-formes de pesée. On procède à un déchargement complet suivant un réglage donné. Les enregistrements de masses et de temps réalisés simultanément à la fréquence de 2 Hz donnent la décroissance du poids durant le temps de déchargement de l'épandeur. Les données obtenues sont moyennées et filtrées (filtre de Butterworth). Pour chaque essai de distribution longitudinale à partir de ces données filtrées, on calcule **le coefficient de variation et l'étendue dans la zone de tolérance**.

Le calcul du coefficient de variation est défini comme pour la régularité transversale, mais la valeur X_i exprime le débit instantané pour l'échantillon i (en kg/s), n est le nombre d'échantillons pendant le temps de déchargement. Selon la norme NF EN 13080, le CV doit être inférieur à 40 %.

La zone de tolérance est l'intervalle de débit compris entre - 15 % et + 15 % du débit caractéristique.

► Figure 3 – Exemple de courbe de répartition longitudinale – Étendue dans la zone de tolérance.



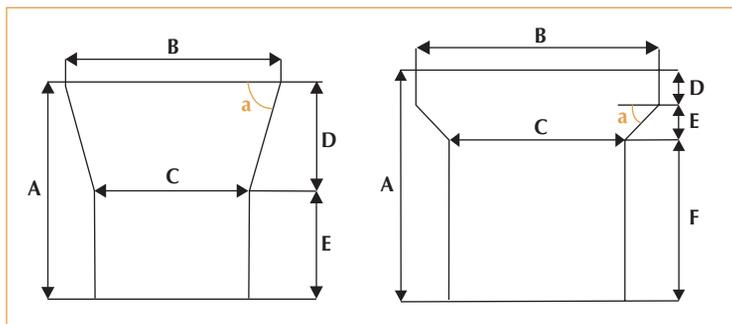
téristique. Le **débit caractéristique** est le débit moyen, le plus élevé, calculé sur 30 % du temps de déchargement. Le paramètre « étendue dans la zone de tolérance » est déterminé par le pourcentage du temps de vidange durant lequel le débit instantané est dans la zone de tolérance. La norme définit l'étendue dans la zone de tolérance comme devant être **supérieure à 35 %** du temps de déchargement.

Dans l'exemple de la figure 3, l'étendue dans la zone de tolérance E est égale à (AB + CD), A, B, C, D, étant les points d'intersection de la courbe de débit avec les lignes correspondant à + 15 % ou - 15 % du débit caractéristique.

Le déroulement des essais

Les essais ont été réalisés avec 9 épandeurs, dont 6 à hérissos verticaux et 3 à table d'épandage, choisis pour leur positionnement sur le marché actuel.

▼ Figure 4 – Exemples de section de caisse.



Avant les essais dynamiques, les appareils ont été étudiés en statique pour établir leurs caractéristiques selon les recommandations de la norme :

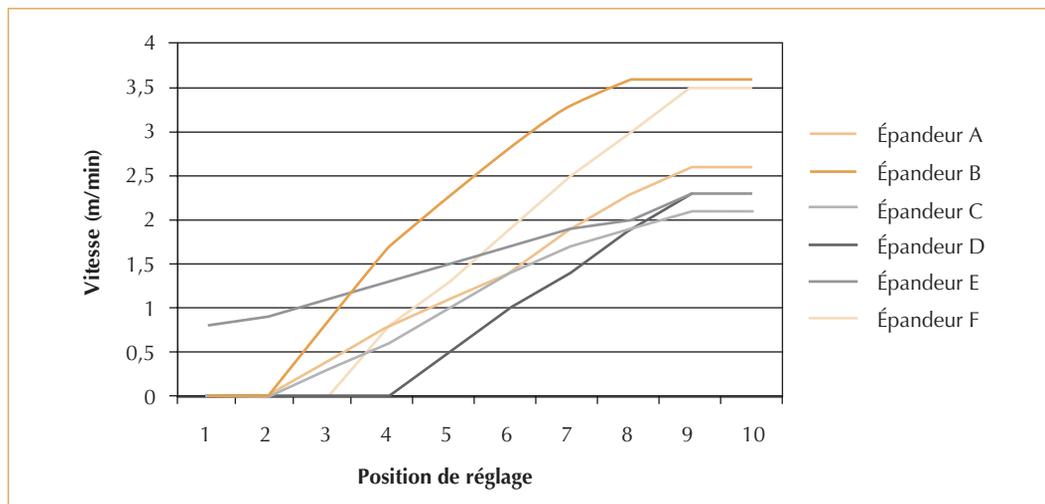
- identification de la machine ;
- principales caractéristiques mécaniques et encombrement (essieu, type de caisse, cotes diverses...);
- caractéristiques du tapis de fond mouvant (type, longueur...);
- nature des organes d'épandage avec description des diverses parties mécaniques (hérissos, couteaux, pales, disques...), vitesses de rotation, angles caractérisant l'ensemble du système d'épandage...

La forme de la caisse est assez complexe, avec des profils différents suivant les fabricants. Pour simplifier le calcul du volume, nous définissons des types de section de caisse (figure 4). Ainsi, à partir de plusieurs cotes élémentaires, la section au raz de la caisse est obtenue avec une bonne précision. Une longueur moyenne est établie grâce à plusieurs mesures réparties sur la hauteur de la caisse.

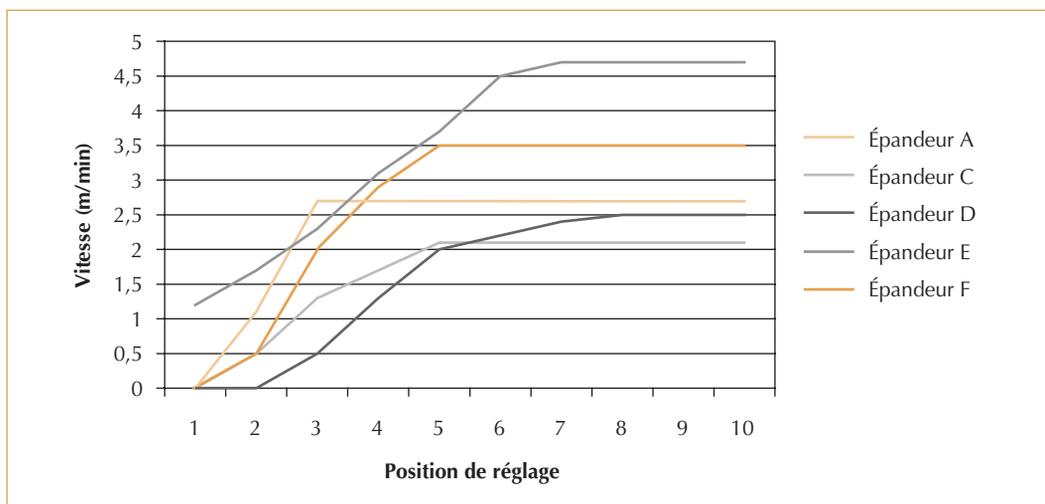
La mesure des vitesses du fond mouvant

La vitesse du tapis de fond mouvant est mesurée pour différentes positions du sélecteur de réglage de vitesse, lorsque l'épandeur est vide.

Les vitesses de tapis obtenues avec les épandeurs à hérissos verticaux sont représentées dans les figures 5 et 6 ; celles obtenues avec les épandeurs



◀ Figure 5 – Vitesse de tapis – Gamme lente ou unique – Épandeurs à hérissons verticaux.



◀ Figure 6 – Vitesse de tapis – Gamme rapide – Épandeurs à hérissons verticaux.

à tables d'épandage n'ont pas été présentées ici car elles sont similaires.

Ces graphes mettent en lumière les points suivants :

- une non-linéarité constatée entre la position de réglage de la vitesse du tapis et la vitesse mesurée ;
- des vitesses de tapis qui s'échelonnent sur une plage moyenne allant de 0,5 à 4,5 m/min suivant les constructeurs ;
- une partie de la plage de réglage seulement est effective ; aux faibles index, le tapis est immobile tandis qu'au-delà d'une certaine valeur, il y a saturation de la vitesse (celle-ci n'augmentant

plus avec la position de réglage). Ce phénomène est plus marqué en gamme rapide. La plage utile de variation de la molette est, dans les deux cas, comprise entre 50 et 60 % de sa pleine échelle ;

bien souvent, sur les modèles équipés de deux gammes de vitesses, « lièvre » ou en position « tortue », la plage de variation des vitesses du tapis reste identique. Dans ce cas, il n'y a pas d'intérêt à avoir deux positions « lièvre » et « tortue » sur le boîtier de commande ;

- les deux types de dispositif d'alimentation hydraulique (alimentation par le tracteur ou alimentation par une centrale intégrée à l'épandeur) se comportent de façon identique.

Le réglage de la dose

La dose est réglée pour atteindre les objectifs fixés pour chaque type de produit, à savoir 30 t/ha pour le fumier, 15 t/ha pour le compost. Cependant, en l'absence de tableau de réglage, il est difficile d'atteindre la dose théorique souhaitée, compte tenu des nombreux paramètres intervenant dans le calcul du débit (Bassez *et al.*, 1997). Sachant que le paramètre prépondérant est la vitesse du tapis de fond mouvant, il est primordial de pouvoir la déterminer à partir des données disponibles. La relation suivante exprime la vitesse du tapis v en m/mn en fonction de données de base (déduite après simplification).

$$v = \frac{k.L.D.I.V}{600.M} \quad (5)$$

où :

- k : est le coefficient pour le glissement du produit,
- L : est la longueur utile du tapis (m),
- D : est la dose (t/ha),
- I : est la largeur de travail (m),
- V : est la vitesse d'avancement dans la parcelle (km/h),
- M : est la charge de l'épandeur (t).

Le principe de calcul est le suivant : la surface d'épandage est obtenue à partir de la charge de l'épandeur et de la dose souhaitée. Ensuite une longueur de parcours est déduite compte tenu de la largeur de travail. Cette longueur divisée par la vitesse d'avancement donne le temps d'épandage. Connaissant alors la longueur du fond mouvant et ayant fixé un coefficient (k), on obtient la vitesse de tapis. La comparaison avec le tableau de réglage obtenu à vide permet d'ajuster la molette de réglage de la vitesse du fond mouvant.

À titre d'exemple, pour une dose de 30 t par hectare avec une charge de 8 t, la surface d'épandage est de 2 666 m². En considérant une largeur de travail de 6 m, la longueur de parcours est de 444 m et le temps d'épandage de 4,4 min, à 6 km/h. Avec une longueur du fond mouvant de 4 m et un coefficient K de 1,25, la vitesse du tapis doit être de 1,14 m/min.

L'analyse des résultats des essais

Les résultats proviennent des essais réalisés avec les 9 épandeurs utilisés spécifiquement pour l'étude et de 2 épandeurs particuliers dont les

mesures nous ont servi à effectuer des comparaisons de méthodes. Les différentes modalités d'essais obtenues avec le fumier, le compost et les différentes doses, sont réalisées dans leur totalité et analysées à partir du panel d'épandeurs considéré. Parmi ces épandeurs, 6 sont à hérissons verticaux et 3 sont à table d'épandage.

Au niveau de la répartition transversale

Les graphes de répartition transversale donnent une idée précise de la distribution de la matière dans le sillage de la machine. Trois types de profils de distribution ont été obtenus :

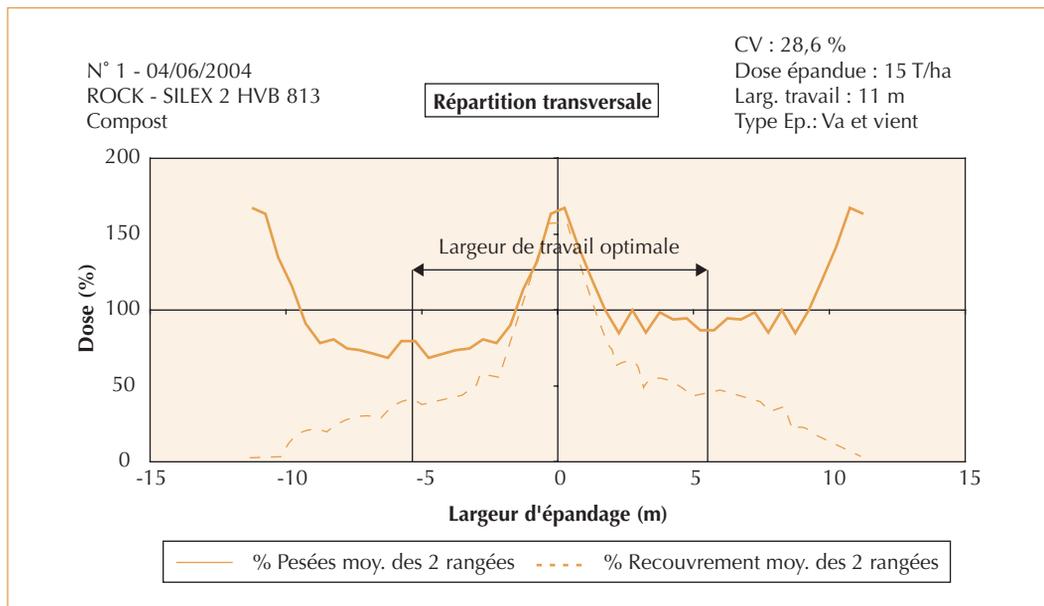
- profil triangulaire (figure 7), avec un maximum de dosage au centre et une décroissance régulière sur la totalité des demi-largeurs de projection ;
- profil trapézoïdal (figure 8), avec une partie centrale où la dose est constante et maximale, puis décroît rapidement pour chaque demi-largeur de projection ;
- profil en « M », avec une partie centrale sous-dosée et une partie surdosée à l'extérieur de la zone de projection.

Ces formes de profils de distribution restent théoriques ; souvent elles sont entachées de défauts correspondants à des surdosages ou des sous-dosages. Le tableau 2 précise la forme des profils de répartition obtenue suivant les types d'appareils sur 41 configurations d'essais en fumier et en compost.

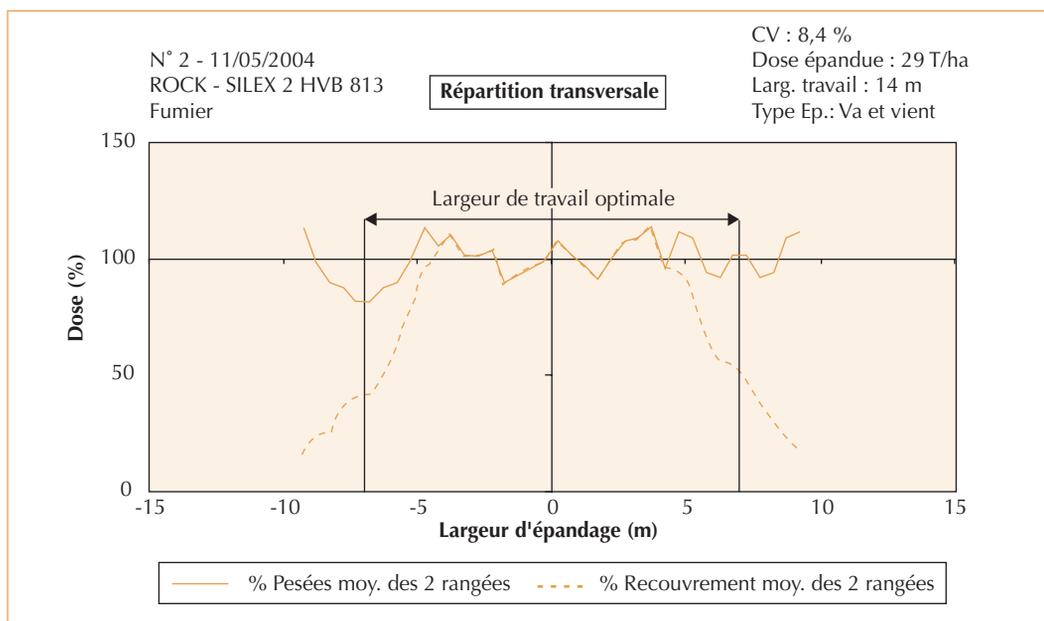
Tous matériels confondus, la forme trapézoïdale est la plus fréquemment rencontrée, dans 50 % des cas, et les autres formes représentent 25 % des cas. Les épandeurs à hérissons verticaux donnent, à parts quasiment égales, des formes triangulaires ou trapézoïdales, voire en « M ». Les épandeurs à tables d'épandage génèrent principalement des formes trapézoïdales.

▼ Tableau 2 – Formes des profils de répartition obtenue suivant les types d'appareils.

	Profil en triangle 	Forme en trapèze 	Forme en « M » 
Épandeurs à hérissons verticaux	11	9	8
Épandeurs à table d'épandage	0	10	3



◀ Figure 7 – Répartition transversale d'un compost (surdosage dans l'axe du passage) – Forme triangulaire.



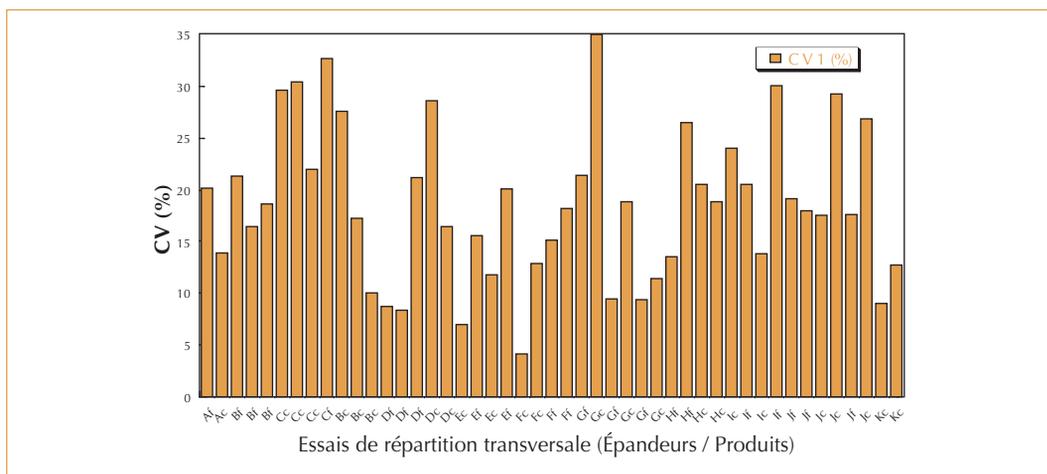
◀ Figure 8 – Répartition transversale d'un fumier (pas de surdosage) – Forme trapézoïdale.

Le coefficient de variation (CV) caractérise, pour un réglage donné, la régularité de l'épandage. Les résultats de tous les essais en répartition transversale sont représentés sur un même graphique (figure 9). Sur ce graphique, le CV est en ordonnée et la combinaison « épandeurs/produits » en abscisse, symbolisée par deux lettres (ex. « Af »). La première lettre en majuscule désigne la marque de l'épandeur par A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K et

la seconde en minuscule le type de produit, avec « f » pour fumier et « c » pour compost.

Pour être conforme à la norme, le CV en répartition transversale doit être inférieur à 30 %. Le graphique de la figure 9 montre que 4 modalités d'essais « Cc », « Cf », « Gc », « Gf » (en fait, 2 en fumier et 2 en compost) seulement sur 47 essais ne satisfont pas à la norme. Cela correspond à

► Figure 9 – Comparaison de tous les CV des essais de répartition transversale (fumier et compost de bovins).



3 matériels, « C, G, et I » pour lesquels l'exigence de régularité transversale n'est pas respectée.

On peut considérer ce chiffre comme un minimum, la réalité étant beaucoup plus élevée, car tous les résultats ont été obtenus avec une largeur de travail optimisée, en l'absence de données « constructeurs ».

La largeur de travail est une notion difficile à expliciter, car elle peut prendre en fait différentes valeurs possibles, allant de la largeur « optimale de travail », pour laquelle le CV est minimum, à la largeur maximale où elle atteint la limite de CV de 30 %.

Concernant la largeur de travail, ces essais distinguent les épandeurs :

– à **hérissons verticaux**, où la largeur de travail est comprise **entre 6 et 12 m**,

– à **table d'épandage**, où la largeur de travail est comprise **entre 12 et 18 m**.

Au niveau de la répartition longitudinale

Au cours d'un cycle d'épandage, le temps de déchargement se décompose en trois phases :

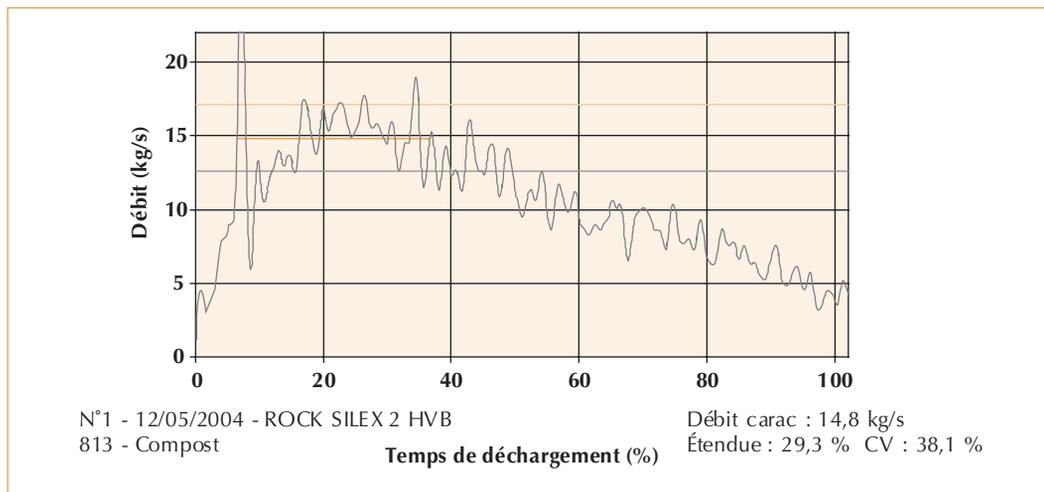
- une phase d'augmentation de débit correspondant à la mise en charge des hérissons ;
- une phase de débit constant indiquant un régime permanent ;
- une phase de diminution du débit correspondant à l'éboulement de la matière en fin de vidange (photo 4 et figure 3).

Sur l'exemple de la figure 10, la courbe de répartition avec du compost montre une phase de débit constant très réduite. L'étendue dans la zone de tolérance n'est que de 29,3 % alors qu'elle devrait être supérieure à 35 %. Dans ces conditions, l'essai de cet épandeur avec du compost ne satisfait pas à la norme. Avec du fumier, le graphique de la figure 11 montre un meilleur résultat, puisque l'étendue dans la zone de tolérance est de 51 %.

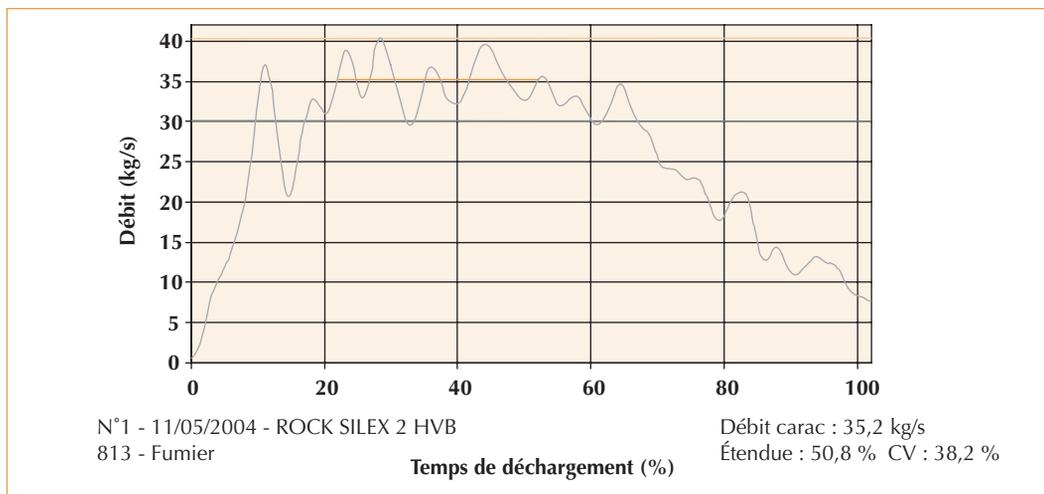
Le graphique de la figure 12 présente les résultats pour les valeurs de CV longitudinaux et d'étendue dans la zone de tolérance. Pour satisfaire à l'ensemble des exigences de répartition longitudinale, les essais doivent à la fois avoir un « CV < 40 % » et une « étendue dans la zone de tolérance > 35 % ». Pour le CV, sur le graphique, 3 essais ont des valeurs supérieures à la valeur souhaitée.

▼ Photo 4 – Fin de la vidange d'un épandeur.





◀ Figure 10 – Courbes de répartition longitudinale d'un épandeur avec du compost.



◀ Figure 11 – Courbe de répartition longitudinale d'un épandeur avec du fumier.

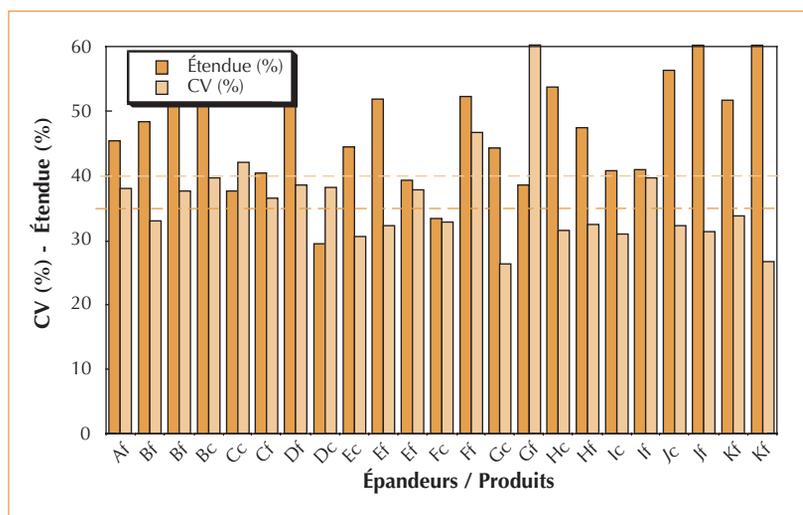
▼ Figure 12 – Comparaison des CV et des étendues en répartition longitudinale (fumier et compost de bovins).

Pour l'étendue, 2 essais sont en dessous du seuil de la norme. À chaque fois, il s'agit pour une modalité d'essai, d'un seul critère défectueux (CV ou étendue). Au total, 5 modalités d'essais sur 23, ce qui représente 22 % des cas, ne respectent pas la norme dans le cas des essais longitudinaux. En fait, 4 matériels ne sont donc pas conformes du point de vue de la répartition longitudinale, donc 36 %.

Bilan global des essais

Au regard des différentes exigences de la norme, il se dégage les conclusions suivantes :

– sur les 11 matériels testés, 5 ne satisfont pas aux exigences de la norme en répartition transversale ou longitudinale, soit 45 % des matériels ;



– il semble que c'est l'exigence en répartition longitudinale qui est la plus difficile à satisfaire, du fait qu'il faille réunir les deux conditions « CV » et « étendue », simultanément ;

– l'exigence de répartition transversale est aussi difficile à atteindre, surtout si elle doit être associée à une largeur de travail *a priori* ou une plage de largeur de travail.

Conclusion et perspectives

Au regard de la norme

LE RÉGLAGE DE LA DOSE EST UN POINT CRITIQUE

Le calcul de la dose repose sur la détermination du débit caractéristique et la connaissance de la largeur de travail. Cela impose clairement l'essai de répartition longitudinale pour le débit et l'essai de répartition transversale pour la largeur. Bien que l'approche normative soit très sophistiquée d'un point de vue calcul pour établir le débit caractéristique, faire un essai répondant à un critère de dosage, à 10 % près, est difficile. Au-delà, l'utilisateur dispose de peu d'informations en l'absence quasi généralisée d'un tableau de réglage. Ainsi, un épandeur répondant à la norme, dans nos conditions d'essai, reste pour un usage précis, encore un outil imparfait, ne prenant pas en compte la variabilité physique et fertilisante du produit à épandre. Le débit de la machine ou la vitesse du fond mouvant devraient être rendus plus facilement gérables par l'opérateur, notamment par l'intégration de capteurs.

LA CARACTÉRISATION DES PRODUITS MANQUE DE FIABILITÉ

La norme impose un protocole très restrictif et exigeant pour les organismes d'essais. Ainsi, pour déterminer la masse volumique, la détermination est réalisée par pesée d'un volume de 1 m³. Cette approche devrait être difficile à mettre en œuvre et la correspondance entre des valeurs de masses volumiques provenant d'un volume de 1 m³ et une caisse d'épandeur n'est pas établie, ce qui nous a conduits à utiliser une méthode alternative. La masse volumique chargée, établie à partir du volume de la caisse de l'épandeur et de sa charge constitue une information très pertinente sur la totalité du chargement de l'essai. Les essais conduits par le Cemagref sur plusieurs mois, ont utilisé des produits dont les caractéristiques physiques ont évolué au cours du temps. Pour y remédier, il faudra donc amé-

liorer les conditions de stockage, et tenir les silos couverts pour avoir une meilleure homogénéité des produits. Les résultats d'un épandeur sont donc à coupler avec la matière épandue dont on doit connaître les principales caractéristiques. Pour cela, la multiplication des analyses physiques doit permettre de renseigner une base de données « produit », utile aux constructeurs pour établir des tableaux de réglage proche de la réalité. L'utilisateur pourra, quant à lui, avoir recours à des mesures plus précises à partir du moment où les méthodes d'analyses seront vulgarisées sur le terrain.

Au regard des conditions d'essais

EN PLEIN AIR, LES ESSAIS SONT TRIBUTAIRES DES CONDITIONS CLIMATIQUES

En effet, être en conditions d'essai satisfaisantes exige un temps calme et sec. L'installation des dispositifs d'essai est une opération lourde et précise. La pluie perturbe les essais. Plus pénalisant pour la mesure, le vent (qui doit être inférieur à 3 m/s) oblige à choisir des périodes calmes notamment pour les tests en répartition transversale. L'exposition dégagée de la plate-forme d'essais, principalement exposée aux vents d'ouest dominants, présente souvent ce handicap.

LA FIABILITÉ DES MESURES EST PERFECTIBLE

Même avec une pesée précise en utilisant une balance avec une précision d'un gramme, les manipulations répétées et les essuyages successifs induisent des imprécisions sur les pesées. En effet, la tare n'est pas individuelle mais est basée sur une valeur moyenne. Ainsi nos valeurs obtenues en répartition transversale sont entachées d'une incertitude qui devra être améliorée, par exemple avec un tarage automatique entre deux essais de l'ensemble du dispositif.

DES MOYENS HUMAINS CONSÉQUENTS SONT NÉCESSAIRES POUR RÉALISER LES ESSAIS

La préparation du dispositif d'essai en répartition longitudinale demande deux opérateurs et environ 1 h à 1 h 30. Dans notre configuration, c'est sur la répartition transversale ou les moyens humains pour la collecte des bacs à mobiliser. Le portage par trois agents a été privilégiée ; il faut noter que pour un essai, en un seul passage, cela représente tout de même environ 100 bacs à manipuler, pour une largeur de projection de 25 m.

VERS L'AUTOMATISATION DE CERTAINES SÉQUENCES D'ESSAIS

Les différents problèmes techniques évoqués ci-dessus devraient être résolus avec le nouveau banc d'essais automatisé « Cemob » qui permettra d'effectuer simultanément les deux répartitions longitudinales et transversales en réduisant sensiblement le temps et la main d'œuvre, ainsi que les quantités de matière. Au-delà de ces considérations matérielles, ce banc sera un outil indispensable de recherche pour l'étude du comportement des nombreux matériaux à épandre, en fonction de leurs caractéristiques physiques et chimiques, et pour améliorer les performances des matériels.

Au regard du bon usage des épandeurs par les utilisateurs

Si l'on retient que l'objectif essentiel est de mettre à la disposition des agriculteurs des équipements capables de maîtriser leurs épandages dans le respect de l'environnement, le bilan que nous venons d'analyser montre que les techniques d'épandage actuelles présentent un niveau d'efficacité relativement faible au regard des exigences de la norme. Ceci s'explique assez facilement car avant l'existence de cette norme assez récente, l'absence de repères et de procédures précis ne permettait pas aux constructeurs de se positionner et encore moins de respecter des prescriptions techniques non définies.

À partir de ce constat, les marges de progrès sont importantes, à la fois pour les constructeurs

et pour les organismes de conseil. Les constructeurs doivent intégrer le fait que pour améliorer la régularité de la répartition, il faut à la fois travailler la régularité transversale et longitudinale. Il semble plus important et prioritaire, d'améliorer la régularité longitudinale en tenant compte des aspects doses et type de produit (Thirion et Chabot, 2003).

Les organismes de conseil ont une démarche plus généralement tournée vers les aspects agronomiques, avec prise en compte de la valeur fertilisante des produits. Comme nous l'avons vu, les données concernant les caractéristiques chimiques des produits sont assez rares et les valeurs très variables, car fonction des types d'élevage et de leur conduite. Il est donc important d'apporter un conseil personnalisé, adapté à chaque région, et de l'enrichir par des mesures systématiques.

De même, les aspects physiques devront être pris en compte pour identifier au mieux les produits. Des mesures simples permettent souvent d'avoir une idée plus précise du produit, pour ajuster au mieux le réglage de l'épandeur, afin d'atteindre l'objectif de dose souhaité.

Les irrégularités d'épandage sont souvent causées par des variations importantes de texture, de densité et de compaction des produits chargés dans les épandeurs. Pour atténuer ces variations, nous recommandons de prendre soin, dans les phases de manutention et de stockage, d'utiliser des méthodes favorisant l'homogénéisation des produits. □

Résumé

Cet article s'appuie sur une étude financée par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, dont l'objectif est d'évaluer les performances des épandeurs de matières organiques au regard de la norme européenne EN 13080, Épandeurs de fumier – Protection de l'environnement – Prescription et méthodes d'essais. Il indique les critères d'exigence de la norme, les difficultés de mise en application et donne les résultats.

Les principales caractéristiques des épandeurs, choisis parmi les plus représentatifs du marché, 6 à hérissons verticaux, 3 à table d'épandage, sont présentées ainsi que celles des produits utilisés, fumier et compost. La phase de préréglage, permettant d'obtenir des épandages de 30 tonnes/hectare en fumier et de 15 tonnes/hectare en compost, confirme l'intérêt de l'étalonnage et indique les progrès à réaliser au niveau de la dose, compte tenu du manque d'information et de l'imprécision des réglages. La démarche d'évaluation est présentée en deux étapes afin de juger séparément les qualités des répartitions transversale et longitudinale. Les résultats obtenus indiquent les niveaux de performances des épandeurs pour chaque critère, « CV et largeur de travail » en répartition transversale, « CV et étendue dans la zone de tolérance » pour la répartition longitudinale. Au final, l'état des lieux des performances des épandeurs est établi en prenant, comme niveau d'acceptabilité, l'ensemble de tous les critères satisfaits simultanément, tel que le prévoit la norme.

Abstract

This article is based on a study financed by the ADEME, whose objective is to evaluate the performances of organic matter spreaders in accordance with European standard, EN 13080, Manure spreaders - Environmental protection – Requirements and test methods. It explains criteria of requirements of the standard, the difficulties of implementation, and shows the results.

The main characteristics of the spreaders (selected among the most representative in the market: 6 with vertical beaters and 3 with disc), are presented. We also describe the used products: manure and compost. The phase of presetting, allowing to obtain spreading of 30 tons/hectare for manure and of 15 tons/hectare for compost, confirms the interest of this calibration and indicates progress to be carried out in order to obtain the right amount. It also point out the lack of information and the inaccuracy of the adjustments. The step of evaluation is developed in two stages in order to judge separately 2 qualities of the distributions: -transversal, and - longitudinal evenness. The presented results, indicate the levels of performances of the spreaders for each criteria, "C.V. and working width", for transverse distribution, "C.V. and stretch in the tolerance zone" for the longitudinal distribution. Finally, fixtures of the performances of the spreaders are established by taking, as level of acceptability, all the simultaneously satisfied criteria, such as indicated by the standard.

Bibliographie

BASSEZ, J., DELOUVÉE, R., HABIB, Z., CORPEN, 1997, *Bien choisir et mieux utiliser son matériel d'épandage de lisiers ou de fumiers*, brochure réalisée par le sous-groupe Épandage, TRAME-BCMA, FNCUMA, Agence Seine Normandie, Étude CORPEN, 55 p.

MEDD, 2002, *Évaluation des quantités actuelles et futures des déchets épandus sur les sols agricoles et provenant de certaines activités – Effluents d'élevage*, Biomasse Normandie, 53 p.

Norme Française EN 13080, 2003, *Épandeurs de fumier – Protection de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai*, AFNOR, 19 p.

ROUSSELET, M., MAZOYER, J., 2006, *Étude sur l'état des lieux des performances des épandeurs d'engrais organiques*, rapport final ADEME.

SNCVA, SYGMA, SECIMA, SEDIMA, 2006, Filière des agro-équipements, *Conférence de presse de printemps 2006*, 6 avril 2006, 30 p.

THIRION, F., CHABOT, F., 2003, *Épandage des boues résiduelles et effluents organiques : matériels et pratiques*, Cemagref Éditions, 191 p.

ZIEGLER, D., HÉDUIT, M., 1991, *Engrais de ferme, Valeur fertilisante, Gestion, environnement*, ITP, ITCF, ITEB, 35 p.