

Recommandations pour assurer la qualité d'épandage des produits organiques

François Thirion et Frédéric Chabot

Cet article est issu d'une étude Ademe/ Cemagref (2001) et d'un guide intitulé *Épandage des boues résiduaires et effluents organiques – Matériels et pratiques* (Thirion F. et Chabot F., 2003), auquel nous renvoyons les lecteurs qui souhaiteraient des informations complémentaires ou plus approfondies sur la caractérisation des produits, les matériels, les résultats des essais de terrain, l'organisation et la gestion des épandages.

La maîtrise des épandages est une étape majeure dans la prévention des pollutions diffuses mais, sur le terrain, la variabilité physique des produits à épandre est souvent un obstacle à la qualité des épandages. En s'appuyant sur de nombreux essais et enquêtes de suivi d'épandages de boues, les auteurs de cet article rappellent les principaux paramètres de réglage des épandeurs et expliquent les règles à observer pour respecter la dose souhaitée et obtenir une régularité satisfaisante.

L'objectif premier de l'épandage est d'apporter une quantité maîtrisée de fertilisants organiques sur chaque unité de surface tout en assurant l'homogénéité de la répartition au sol. L'objet de cet article est de présenter les critères de qualité pouvant servir de base à une évaluation de l'épandage réalisé. Il s'agit donc d'une base de référence sur laquelle doit se construire une démarche de qualité pour la réalisation d'un épandage contrôlé. Celle-ci doit intégrer la nécessité d'un chantier d'épandage sans nuisance, tout comme la prise en compte des contraintes économiques imposées. Pour cela, le choix d'un matériel d'épandage approprié est décisif, mais ne peut se valoriser que dans le cas d'une filière d'épandage intégrée qui peut concerner de nombreux acteurs : le producteur de déchets, le bureau d'études, l'entrepreneur de travaux, la mission déchets et l'agriculteur.

Pour l'agriculteur, l'apport de boues et autres produits organiques (fumier, lisier, composts, etc.) est un moyen de réapprovisionner les réserves nutritives des sols cultivés. Il a donc besoin de connaître la composition des produits à épandre

afin de maîtriser les quantités apportées en fonction de l'objectif cultural (fertilisation N,P,K...) et de vérifier sa conformité vis-à-vis de la teneur en éléments traces contaminants (dans le cas des produits exogènes).

C'est le principe de la fertilisation « raisonnée » qui prend en compte les potentialités du sol et du climat et qui repose sur :

- une analyse du sol ;
- un calcul de fertilisation ;
- une analyse du produit à épandre ;
- un calcul de la dose à épandre.

Si la dose calculée n'est pas respectée il s'en suivra, dans le cas d'un sous-dosage, des pertes de rendement pour la culture implantée. En revanche, si un surdosage est effectué, il y aura à craindre une pollution diffuse générée par le lessivage des éléments en excès et des accumulations d'éléments traces contaminants. Le respect de la dose calculée est donc impératif. Il en va de même de son corollaire qui est la régularité de cet apport. Le recours à des techniques de modulation localisée dans un cadre d'agriculture

Les contacts

Cemagref,
UR Technologies,
systèmes d'information
et procédés
pour l'agriculture
et l'agro-alimentaire
Domaine des
Palaquins, Montoldre,
03150 Varennes-sur-
Allier

de précision semble, à l'heure actuelle, prématuré tant que l'obtention d'une dose moyenne et régulière ne sera pas entièrement maîtrisée. En effet, le risque de cumul des erreurs diverses peut conduire à annuler les avantages d'une gestion spatialisée.

Notre étude est essentiellement centrée sur l'épandage de boues résiduaires urbaines ou industrielles. Cependant les matériels d'épandage sont généralement utilisés sur une large gamme de produits organiques. Il nous est donc apparu nécessaire d'aborder le sujet dans la globalité des épandages organiques qui devraient tous viser des objectifs de qualité équivalents. Dans cet article, après un rappel des paramètres d'épandage, nous présentons donc les différents éléments à prendre en compte pour la maîtrise du dosage et de la régularité des épandages. Ensuite, nous apportons des éléments de discussion issus de nos observations de terrain. Les organisations de filière et les législations étant spécifiques aux produits épandus, cela nous a conduit à privilégier alors le cas des boues résiduaires

Les paramètres d'épandage et le respect de la dose

Il importe de définir précisément les différentes grandeurs liées à l'épandage. Dans la pratique, des confusions fréquentes sont constatées dans l'emploi de ce vocabulaire.

- La **dose** est la quantité de produit épandue sur une unité de surface. L'unité normalisée est le kg/m^2 . L'unité courante est la t/ha ($1 \text{ kg}/\text{m}^2 = 10 \text{ t}/\text{ha}$).
- Le **débit massique** d'un appareil est la quantité de produit épandue en une unité de temps. L'unité normalisée est le kg/s . L'unité courante est le kg/min ($1 \text{ kg}/\text{s} = 60 \text{ kg}/\text{min}$).
- Le **débit volumique** d'un appareil est le volume de produit épandu en une unité de temps. Il s'exprime en m^3/s .
- La **largeur d'épandage** est la distance qui sépare deux passages contigus de l'épandeur. Cette distance doit être égale à la largeur optimale de travail de l'épandeur assurant un bon recouvrement et un épandage régulier. Pour les appareils déposant le produit en lignes, comme les enfouisseurs, la largeur d'épandage est égale au nombre de rangs multiplié par la valeur de l'intervalle.
- La **largeur totale de projection** dépend de la distance atteinte par les particules projetées. C'est

la distance qui sépare les points extrêmes de la nappe d'épandage dans le sens perpendiculaire à l'axe d'avancement.

Pour tout épandeur de produit liquide, pâteux ou solide, les grandeurs principales sont reliées entre elles par la relation :

$$\text{Débit} = \text{Largeur d'épandage} \times \text{Vitesse d'épandage}$$

Cette relation nous rappelle notamment que la dose est directement dépendante de la vitesse d'avancement. Les appareils à débit proportionnel à la vitesse d'avancement (DPA) modulent en permanence le débit pour épandre la dose préconisée lorsque la vitesse d'avancement varie. Cette variation de vitesse peut être due à un glissement des roues du tracteur ou à une variation de régime moteur. Cette modulation n'est pas parfaite dans l'état actuel de la technique où l'on ne maîtrise pas entièrement le contrôle de débit d'épandage, en particulier pour les produits pâteux ou solides. Il reste toujours le problème de la détermination de la densité du produit comme celui de la régularité obtenue par le dispositif de dosage.

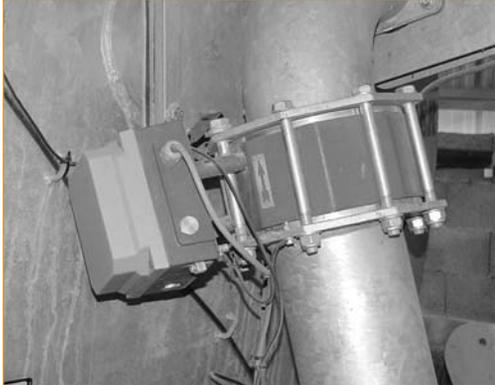
Le respect de la dose

Lors d'une enquête effectuée en 2000 (Thirion *et al.*, 2000) auprès de spécialistes de l'épandage, il est apparu que ceux-ci plaçaient le respect de la dose en exigence numéro un pour la qualité de l'épandage. Nous distinguerons le cas de l'épandage de produits liquides du cas de l'épandage des produits solides ou pâteux. En effet, ils diffèrent par les dispositifs techniques de contrôle du débit.

LE RESPECT DE LA DOSE D'ÉPANDAGE DE PRODUITS LIQUIDES

La connaissance des volumes épandus en produits liquides est relativement aisée. Il suffit, en effet, de compter le nombre de chargements effectués que l'on multiplie par la capacité de l'épandeur. Il y a toutefois lieu de bien vérifier cette capacité en contrôlant le niveau de remplissage et de vidange de la citerne de l'épandeur.

Pour un contrôle en continu, de type DPA (débit proportionnel à la vitesse d'avancement), on utilise un débitmètre qui permet de mesurer en temps réel le débit de l'appareil (photo 1) et donc la quantité épandue en un temps donné ou sur une surface donnée.



▲ Photo 1 – Débitmètre à induction électromagnétique (photo F. Chabot).

Les débitmètres utilisés pour l'épandage des lisiers ou des boues liquides sont des débitmètres à induction électromagnétique qui ne comportent pas de pièces en rotation risquant de générer des bouchages dans la conduite. Ce type de débitmètre est également utilisé en station d'épuration et pour les installations d'épandage alimentées par pompe et réseau de tuyauterie.

Le débit peut aussi être déterminé par la vitesse de rotation de la pompe lorsqu'on utilise une pompe volumétrique.

LE RESPECT DE LA DOSE D'ÉPANDAGE DE PRODUITS SOLIDES OU PÂTEUX

Diverses méthodes de réglage ont été élaborées pour aider les agriculteurs à régler les épandeurs de fumier. Il est généralement proposé de procéder de la façon suivante :

- mesurer le volume utile de l'épandeur ;
- mesurer la densité du fumier ;
- en déduire la quantité transportée ;
- calculer la longueur de trajet nécessaire pour épandre la dose préconisée ;
- mesurer la longueur effective du trajet pour vider l'épandeur ;
- corriger le réglage préalable.

Cette méthode a l'inconvénient d'introduire des incertitudes de mesure à chacune de ses étapes. Pour réduire ces erreurs, des campagnes de pesée d'épandeur ont été proposées localement, afin d'aider à l'étalonnage des appareils. À l'occasion de ces étalonnages, les responsables ont procédé à une analyse des pratiques des agriculteurs

(Hammelrath, 2001). Dans cette observation, sur 37 chantiers concernés, seuls 6 % des agriculteurs maîtrisent la dose avec moins de 10 % d'écart par rapport à la dose recherchée.

Le tableau 1 donne les valeurs limites constatées selon les produits épandus.

Les doses épandues sont généralement plus fortes que les doses recherchées. Les pesées effectuées lors de cette opération permettent de corriger les erreurs précédentes. Cependant, les masses embarquées varient au cours des divers chargements car les densités dépendent du bâtiment d'élevage, de la durée de stockage et du mode de chargement. La généralisation des résultats obtenus lors de ces étalonnages n'est donc pas possible.

Concernant les difficultés observées auprès des agriculteurs épandant du fumier, il faut considérer que les conditions d'épandage des boues et de certains autres produits organiques sont différentes. En effet, ces produits sont généralement livrés par camion et ont été pesés au départ de chez le producteur. L'entrepreneur ou l'opérateur attributaire du chantier doit donc épandre une masse connue sur une surface également connue car identifiée dans le plan d'épandage. Il est donc aisé, à la fin du chantier, de vérifier si la dose a été effectivement épandue sur les parcelles correspondantes. Pour éviter les erreurs, il faut évidemment pouvoir réaliser un réglage préalable pertinent. Par conséquent, la méthode précédemment décrite peut être utilisée. La détermination de la densité est, dans ce cas, plus aisée car les déchets sont généralement moins hétérogènes que les fumiers. Toutefois, la méthode la plus rationnelle reste **la pesée** qui est maintenant possible avec différents dispositifs de chantier. Le développement des matériels de pesée peut aussi être attribué au souci de vérification des quantités épandues. Ces quantités, qui servent de référence à la facturation des travaux, peuvent, en

Type de fumier	Dose recherchée (t/ha)	Écart constaté
Bovin	25-40	de - 50 % à + 56 %
Compost (bovin)	13-53	de 0 % à + 23 %
Volaille	10-15	de 0 % à + 240 %
Chèvre	15-40	de - 1 % à + 125 %
Lapin	16	+ 28 %

◀ Tableau 1 – Écart de dose constaté suivant les produits épandus.

effet, évoluer par rapport aux masses livrées en fonction de l'évaporation ou de la pluie reçue.

Les systèmes de pesée apparus sur les matériels d'épandage consistent à relier la caisse au châssis par quatre ou six capteurs à jauge de contrainte. Parmi les dispositifs observés, celui qui est monté sur les appareils de type Terra Gator est capable de mesurer le poids en déplacement, donc au cours de l'épandage (photo 2).

On utilise cette pesée en relation avec la largeur de travail pratiquée et la mesure de la vitesse d'avancement. À partir de ces informations, le système calcule la dose épandue. Pour assurer des données fiables, l'intervalle de temps doit être suffisamment long pour s'affranchir des phénomènes de secousses. La valeur indiquée est garantie pour un parcours de 200 m, mais nous avons pu observer des résultats corrects sur une distance de 50 m. Si la dose mesurée est différente de la valeur désirée, le chauffeur doit modifier les réglages (vitesse de tapis, ouverture de porte, vitesse d'avancement) jusqu'à l'obtention de la dose souhaitée.

D'autres constructeurs proposent des systèmes de pesée en position statique, c'est-à-dire généralement au chargement. Le chauffeur de la machine peut renseigner sur l'ordinateur de bord la largeur d'épandage. Après avoir vidé l'épandeur, connaissant le poids total du produit chargé et la surface épandue, on détermine la dose par hectare réellement appliquée. On peut procéder de façon identique lorsque l'on est équipé d'un

système de pesée monté sur le chargeur. Différents équipements électroniques permettent en effet de réaliser la pesée en cours de chargement. Les totaux correspondant à un épandeur ou à un chantier complet peuvent être édités.

Lorsqu'il n'y a pas de possibilité directe de pesée sur le chantier, il est fortement conseillé de peser quelques remorques témoins, représentatives de l'état du produit de façon à s'assurer d'un réglage correct dès le début du chantier.

La régularité d'épandage

Le respect de la dose moyenne sur une parcelle ne suffit pas à garantir un épandage de qualité. Il faut encore que cette quantité de produit soit épandue régulièrement tant dans le sens longitudinal que dans le sens transversal à l'avancement de l'épandeur.

La régularité longitudinale

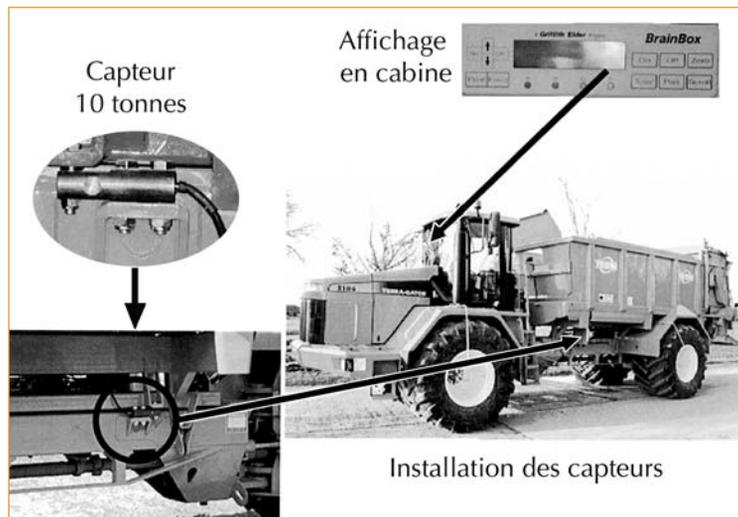
Nous avons vu que la maîtrise de la dose d'apport passe par le contrôle du débit. On ne peut se contenter de la validité d'une dose moyenne, il faut donc s'assurer de la constance du débit tout au long de l'épandage sur la parcelle considérée. La prise en compte de la régularité longitudinale a beaucoup progressé depuis la mise au point d'un test spécifique par le centre de recherche suédois d'Uppsala.

MÉTHODE DE TEST DE LA RÉGULARITÉ LONGITUDINALE

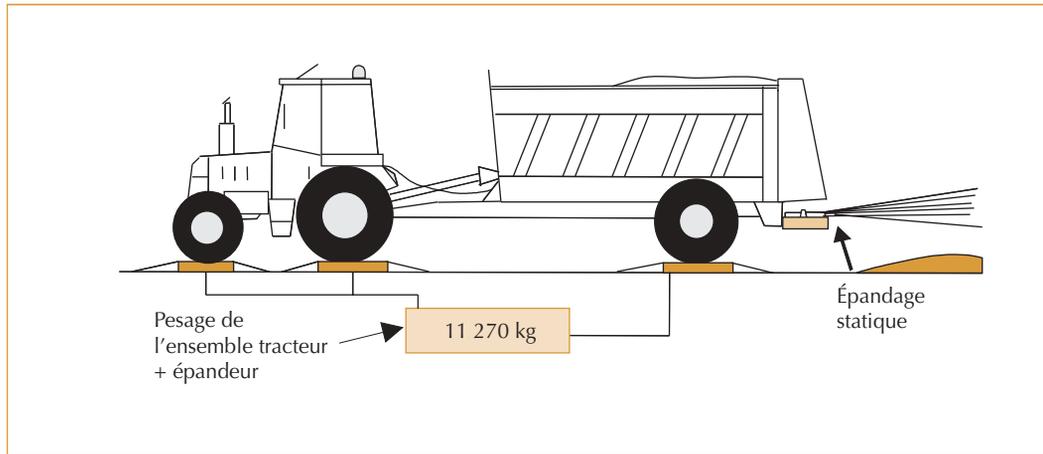
Les travaux suédois, repris en France par le Cemagref, ont permis de dresser les bases d'une norme européenne CEN déterminant les conditions nécessaires à un épandage respectueux de l'environnement. La norme EN 13080 concerne les épandeurs de fumier, la norme EN 13406 concerne les épandeurs de lisier. Elles ont été adoptées le 2 octobre 2002. Les épandages de boues ne sont pas concernés à l'heure actuelle, mais pourront par la suite être intégrés.

Le principe du test est représenté à la figure 1 : l'épandeur et le tracteur sont maintenus sur un système de pesée constitué par des plateformes placées sous chaque roue du tracteur et de l'épandeur. L'épandage est réalisé en position statique.

À partir du début de la vidange, les variations de masse par unité de temps sont enregistrées en continu à l'aide d'un ordinateur et d'un logiciel



▲ Photo 2 – Système de pesée Ag-Chem, Griffith-Elder (document Ag-Chem).



◀ Figure 1 – Principe du test de répartition longitudinale.

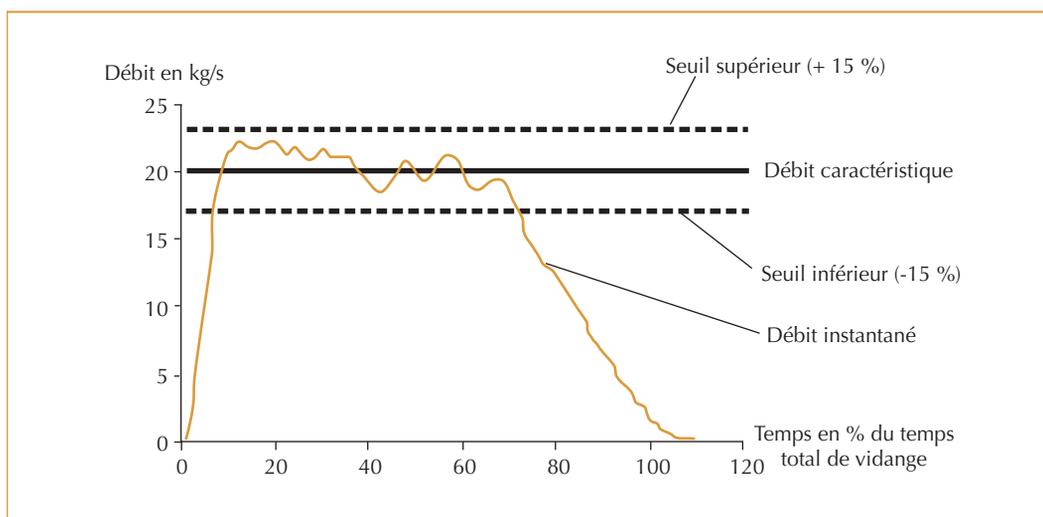
d'acquisition de données. Le débit instantané q de l'épandeur est calculé suivant la formule :

$$q = \frac{\text{masse}(t) - \text{masse}(t + \Delta t)}{\Delta t}$$

Le logiciel permet de tracer la courbe $q = f(t)$, exprimant le débit en fonction du temps. On obtient une courbe similaire à celle de la figure 2.

Les courbes caractéristiques des épandeurs de fumier comprennent généralement trois phases : une phase de montée en débit, un palier de débit et une phase de diminution de débit. Le « débit

caractéristique » est la valeur moyenne du palier de débit. C'est le centre de l'intervalle de tolérance, zone comprise entre le seuil inférieur et le seuil supérieur. On peut alors déterminer le pourcentage de temps de vidange inclus dans la zone de tolérance, dit « **étendue dans la zone de tolérance** », qui est de 67 % dans l'exemple de la figure 2. Le **coefficient de variation** (écart type divisé par la moyenne) des débits durant le temps de vidange constitue un second critère de régularité longitudinale. Dans l'exemple choisi, ce coefficient de variation est de 26 %. Il n'est pas tenu compte ici d'un éventuel recouvrement longitudinal. Les normes CEN fixent, pour leur part, les valeurs limites indiquées tableau 2 (page suivante).



◀ Figure 2 – Courbe de variation du débit durant le temps de déchargement.

► Tableau 2 – Valeurs limites de régularité longitudinale proposées dans les normes CEN.

	Épandage de fumier	Épandage de lisier
Coefficient de variation	< 40 %	non indiqué
Étendue dans la zone de tolérance	> 35 %	> 90 %

RÉGULARITÉ LONGITUDINALE EN CONDITIONS DE TERRAIN

Le test de répartition longitudinale que nous venons de décrire n'est pas réalisable au champ. Pour vérifier son adéquation avec la répartition de terrain, des tests de comparaison ont été réalisés au Cemagref de Clermont-Ferrand (Rousselet, 2001). Une rangée de bacs a été disposée dans le sens d'avancement du tracteur. Après épandage, chaque bac a été pesé et la courbe de variation de la dose en fonction de l'avancement a été établie. Ainsi, a-t-on pu vérifier que la répartition mesurée sur le terrain correspondait au résultat du test au banc d'essai.

Cependant, cette adéquation est remise en question chaque fois que la vitesse d'avancement n'est plus constante. Lorsque le tracteur gravit une pente, le régime moteur peut décélérer avec pour conséquence une réduction de la largeur de travail (en raison de la baisse de régime des organes d'épandage) et de la vitesse d'avancement. Dans ce cas, la dose va augmenter car, rappelons-le, elle varie à l'inverse de la largeur de travail et de la vitesse d'avancement. Pour les produits solides et pâteux, une vidange plus

aisée de l'épandeur s'ajoute à ce phénomène : ceci va également contribuer à l'augmentation de la quantité épandue dans cette pente. Lors de la descente, les phénomènes inverses vont apparaître.

La courbe longitudinale est généralement améliorée lorsqu'on utilise la porte pour limiter le débit de sortie. La phase de décroissance du débit est plus faible, puisque la hauteur du tas est limitée dès le commencement de l'épandage. Il convient donc que les essais effectués correspondent bien à l'utilisation de terrain.

La régularité transversale d'épandage

MÉTHODE DE TESTS DE LA RÉGULARITÉ TRANSVERSALE

Les normes CEN évoquées précédemment définissent également la méthode d'essai de régularité transversale. Des bacs de 50 par 50 cm (1/4 de m²) sont accolés les uns aux autres et placés perpendiculairement au sens d'avancement de l'appareil d'épandage. On réalise un passage (photo 3) et les bacs sont pesés directement après l'essai. Les valeurs obtenues pour chaque bac correspondent à un passage.

Ces valeurs ne sont pas considérées isolément, mais après cumul des quantités provenant des passages adjacents. Pour limiter les manipulations, ces quantités complémentaires sont déduites des valeurs précédentes. Pour cela (figure 3), on considère un décalage des valeurs d'une largeur de travail ainsi qu'un retournement

► Photo 3 – Essai de répartition transversale (photo F. Chabot).



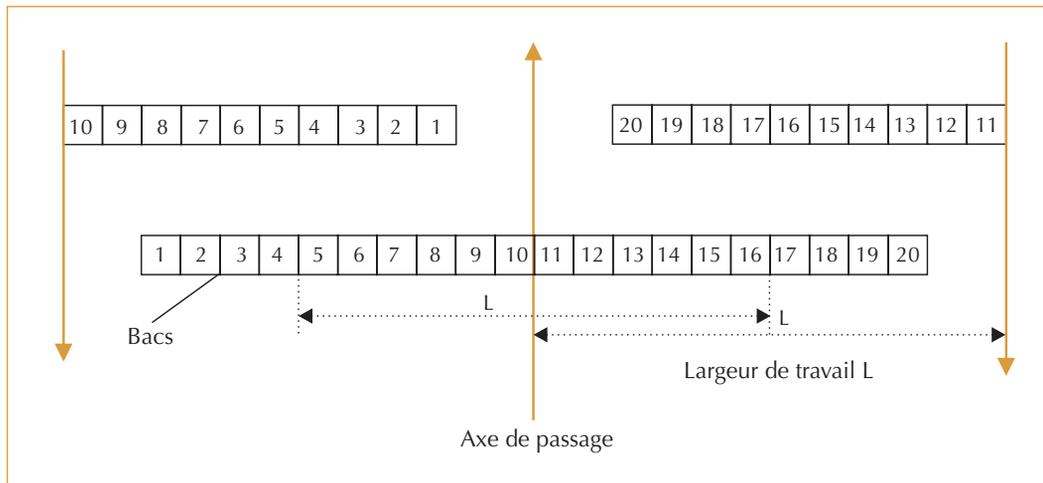


Figure 3 – Simulation de passages tous les 6 m pour un épandage va-et-vient.

de la rangée de bacs de 180° correspondant au changement de sens de travail. Ceci vaut pour la méthode d'épandage en va-et-vient (en effectuant des allers-retours).

Pour une méthode d'épandage en tournant autour de la parcelle, les passages latéraux sont effectués dans le même sens si bien que chaque côté de nappe va venir recouvrir partiellement le côté opposé du passage précédent. Cette méthode est favorable en cas d'épandage dissymétrique (chargement inégal, organes d'épandage défectueux) en ne cumulant pas les effets négatifs. Si, par exemple, le côté droit épand plus que le côté gauche, le recouvrement partiel va corriger ce défaut en le compensant naturellement.

Les valeurs recueillies pour chaque largeur de travail vont permettre de dresser les courbes de répartition transversale correspondantes : courbe du passage réel et courbe des passages cumulés par le calcul. Dans l'exemple de la figure 4, nous pouvons observer trois courbes différentes établies

à partir de la même courbe initiale pour des passages supposés distants de 4, 6 et 8 m.

La courbe de cumul est représentée chaque fois sur une échelle de 100 % de la valeur moyenne. En fait, les doses sont recalculées lorsque l'on modifie la largeur de travail : plus les passages sont rapprochés, plus la dose moyenne augmente.

Pour cet exemple, on voit qu'il est préférable de travailler avec une largeur d'épandage de 6 m. La valeur optimale de la largeur de travail peut s'obtenir en calculant systématiquement l'hétérogénéité de répartition pour une série de largeurs de travail allant de 2 à 15 m par exemple. Pour chaque largeur, le calcul du **coefficient de variation** (écart type divisé par la moyenne) représentatif de la régularité transversale est effectué.

Ces résultats sont représentés figure 5 (page suivante) par la courbe des coefficients de variation en fonction de la largeur de travail.

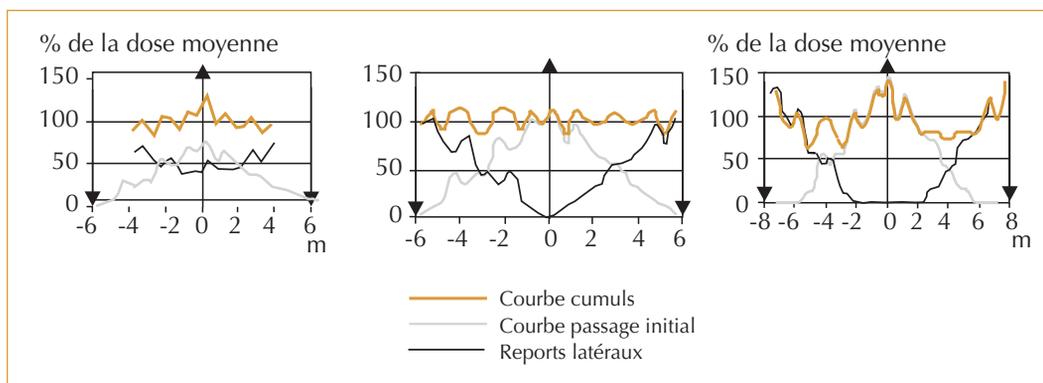
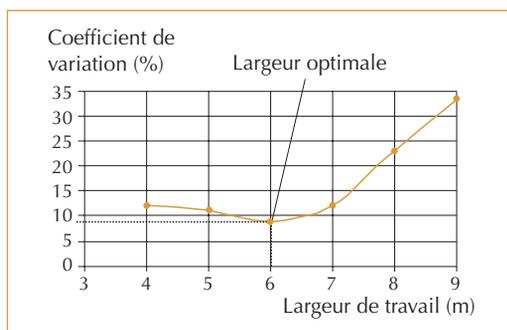


Figure 4 – Courbes de répartition pour des largeurs de travail de 4, 6 et 8 m.

► Figure 5 – Exemple d'évolution du coefficient de variation suivant la largeur de travail.



La valeur minimum du coefficient de variation, dans la plage possible de travail, définit la largeur optimale de travail. Dans notre exemple, la largeur de travail optimale est donc 6 m avec un coefficient de variation égal à 9,5 %. Les valeurs limites fixées par les normes CEN figurent dans le tableau 3.

RÉGULARITÉ TRANSVERSALE EN CONDITIONS DE TERRAIN

Pour conserver en situation de terrain la régularité observée lors des tests, il faut qu'un certain nombre de conditions soient remplies :

- la largeur de travail choisie doit être la largeur optimale déterminée ;
- un jalonnement doit permettre de respecter cette distance entre passages ;
- le chargement doit être bien réparti dans la caisse ;
- les organes d'épandage doivent rester en bon état (pas d'usure, pas de déformation, fixation correcte) ;
- le régime d'entraînement doit être stable ;
- il ne doit pas y avoir de vent latéral prononcé ou irrégulier.

Pour les doses importantes, il est assez facile de déterminer la largeur de travail optimum. Une première impression visuelle permet d'estimer cette valeur. Il y a tout intérêt à la confirmer par des mesures reprenant le protocole d'essai de régularité transversale. Cette démarche est net-

► Tableau 3 – Valeurs limites de régularité transversale proposées par les normes CEN.

	Épandage de fumier	Épandage de lisier	
		En nappe	Localisé
Coefficient de variation	> 30 %	< 20 %	< 15 %

tement plus délicate lorsque les doses sont faibles. Il devient alors impossible de juger visuellement la répartition du produit. Les quantités recueillies dans chaque bac peuvent être de l'ordre d'une centaine de grammes. Ces quantités sont donc très faibles, ce qui peut entraîner des erreurs de mesure. Nous en concluons, pour notre part, que plus la dose est faible, plus il est difficile de garantir une bonne répartition.

Les autres critères de qualité

D'autres critères de qualité d'épandage peuvent être émis suivant les exigences particulières des agriculteurs ou des prescripteurs. Outre les mesures d'organisation de chantier (Thirion et Chabot, 2003), nous insistons ici sur deux points particuliers liés aux produits pâteux et solides et à leur répartition au sol.

LA FINESSE DE FRAGMENTATION DU PRODUIT ÉPANDU

L'agriculteur est généralement habitué aux épandages de fumier et ne prête guère d'attention à la taille moyenne des mottes, sauf si cette taille est de nature à gêner les opérations ultérieures d'enfouissement ou de travail du sol. Une fragmentation fine permet un mélange intime du produit lors de l'enfouissement. C'est aussi un gage de rapide décomposition lorsque le produit n'est pas enfoui. Cette finesse de travail est, en pratique, obtenue par des dispositifs exigeants en puissance : broyeurs à marteaux, rotors de grand diamètre, vitesses de rotation élevées...

LE PROBLÈME DES GROSSES MOTTES

Nous appellerons « grosse motte » tout bloc de produit dont la masse est supérieure à la dose recherchée sur 1 m².

Les grosses mottes ont pour inconvénient de perdurer après enfouissement. Elles ne se décomposent pas et constituent des zones de répulsion pour les racines de la culture mise en place. La présence de grosses mottes s'accompagne toujours d'une mauvaise répartition. Si, lors des mesures, aucune grosse motte n'est tombée dans l'un des bacs, le résultat du contrôle ne sera pas significatif. Il est donc nécessaire de compter le nombre de grosses mottes tombées sur une longueur de 10 mètres pour compléter l'information recueillie lors du test de régularité. Enfin, notons que leur présence est difficilement compatible avec le respect d'un apport maximum en éléments traces sur chaque m² de la parcelle.

L'origine des plus grosses mottes est souvent due à la chute de produit. Cela peut venir du chargement qui déborde de la caisse, mais aussi des projections sur l'appareil lui-même qui vont chuter après accumulation. Il peut aussi exister des angles morts sur les tables d'épandage ou des points d'accrochage du produit. Dans ce cas, le produit, surtout s'il est collant, provoque des amas qui tombent après avoir atteint un volume critique. Avec le fumier, les grosses mottes sont aussi occasionnées par le travail des rotors d'épandage (hérisssons). Les couteaux des hérisssons horizontaux, et dans une moindre mesure ceux des hérisssons verticaux ont tendance à expulser des paquets peu fixés dans la masse. C'est le cas, en particulier, de la couche superficielle qui peut être emportée par plaques. Il faut également éviter de rouler sur du terrain déjà épandu car le produit colle aux roues et se dépose ensuite par paquets dans le champ ou sur la route. Ceci nécessite donc une bonne organisation et des distances de projection en accord avec la largeur de travail.

La qualité actuelle des épandages des boues résiduelles

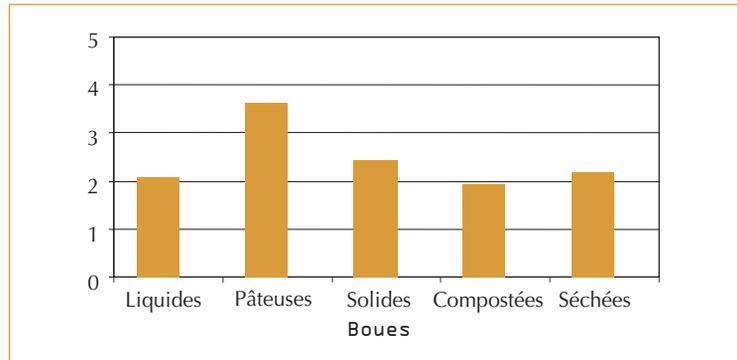
Le diagnostic des intervenants de la filière

Pour connaître l'avis des divers opérateurs intervenant dans la filière d'épandage, nous avons effectué en 2000 une enquête écrite et une enquête orale (Thirion *et al.*, 2000). L'enquête écrite concernait les ingénieurs et techniciens des missions de valorisation agricole des déchets et des sociétés ou bureaux d'études d'épandage. L'enquête orale était pour sa part dirigée vers les entrepreneurs et les techniciens des CUMA.

DIFFICULTÉ D'ÉPANDAGE DES DIFFÉRENTS PRODUITS

Les ingénieurs et techniciens spécialisés dans l'épandage confirment la difficulté d'épandre certains produits. Nous leur avons demandé de noter sur une échelle de 1 à 5 (1 représentant un épandage facile et 5 un épandage difficile) la difficulté d'épandage des différents types de boues. Le résultat est résumé à la figure 6.

Nous voyons nettement que les boues pâteuses sont considérées comme les plus difficiles à épandre (note moyenne de 3,6). Dans certains cas, il faudrait même proscrire l'épandage de ce type de produit. Cependant, il est signalé des cas



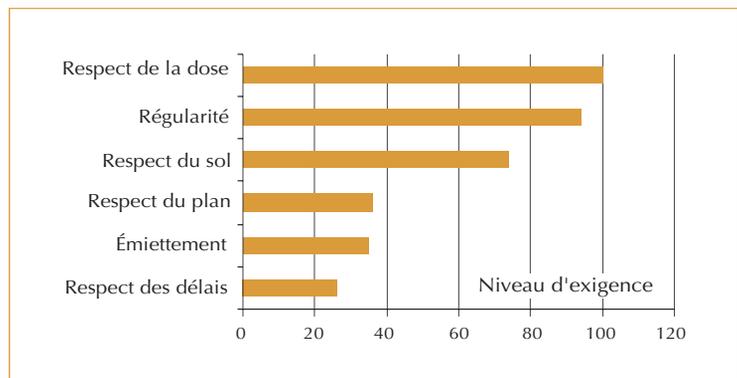
où cet épandage ne pose pas de difficultés. Dans ce domaine, le choix des matériels d'épandage est décisif en fonction de la nature des boues qui peuvent être « pâteuses liquides », « pâteuses moyennes » ou « plastiques ».

Les boues de lagunes sont également citées comme produit posant des problèmes d'épandage. C'est la variation de consistance entre la surface de la lagune et son fond qui génère ces difficultés, en cumulant les inconvénients propres à chaque catégorie.

Les boues liquides sont aussi critiquées car, dans la pratique, leur épandage correspond souvent à la circulation de charges élevées sur des sols agricoles faisant craindre des tassements et autres détériorations.

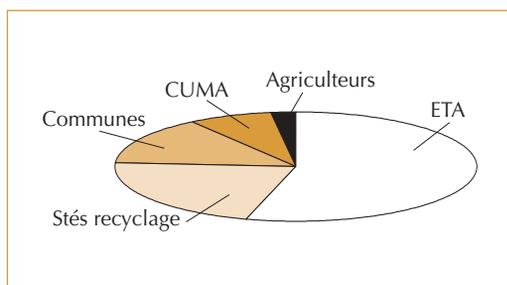
EXIGENCES DE QUALITÉ

Bien que tous les éléments constitutifs de la qualité d'épandage ne puissent être dissociés, il avait été demandé de hiérarchiser les niveaux d'exigence. La figure 7 présente les réponses des personnes enquêtées. Il s'agit bien ici de priorités dans la résolution de problèmes d'épandage et non de niveaux de tolérance.



▲ Figure 6 – Appréciation de la difficulté d'épandage des différents types de boues sur une échelle de 1 à 5 (Thirion *et al.*, 2002).

▼ Figure 7 – Évaluation des priorités concernant les exigences de qualité (Thirion *et al.*, 2002).



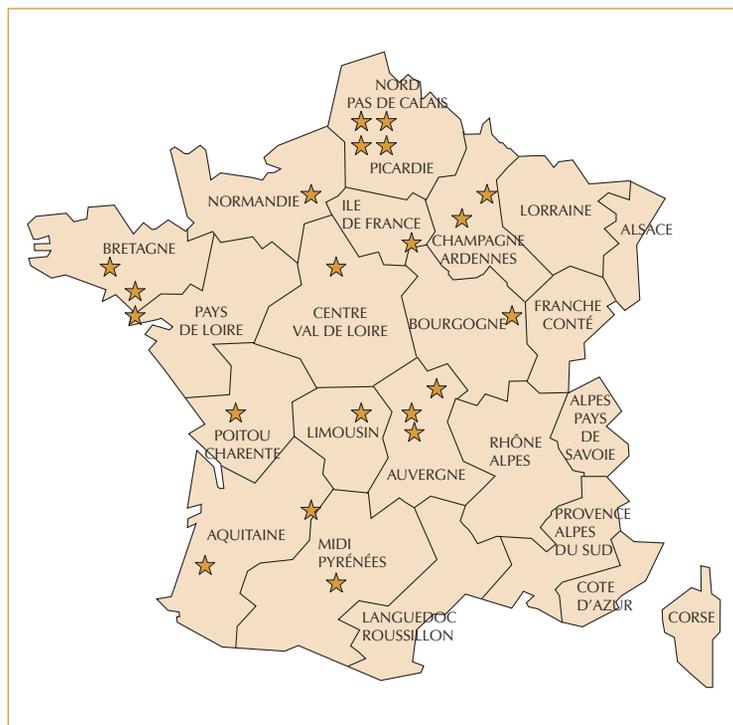
▲ Figure 8 – Répartition des épandeurs utilisés par type de propriétaire (Thirion *et al.*, 2002).

Nous voyons que les critères de qualité d'épandage définis précédemment répondent aux soucis des ingénieurs et techniciens spécialisés en matière d'épandage.

LES MATÉRIELS UTILISÉS

Une comparaison avec les résultats d'enquêtes effectuées cinq et dix ans précédemment montrent une nette évolution dans le parc de matériel en service. Les opérateurs utilisent des matériels qui se différencient de plus en plus des épandeurs traditionnels de fumier et de lisier. Il est fréquent que les constructeurs d'épandeurs réalisent des modifications en partenariat direct avec les utilisateurs. Pour pouvoir bénéficier de matériel adapté,

▼ Figure 9 – Localisation des chantiers observés.



les opérateurs utilisent des matériels appartenant à diverses catégories de propriétaires, comme le montre la figure 8.

Une campagne de contrôles sur le terrain

PROGRAMME D'OBSERVATIONS

Afin de compléter les données fournies par les spécialistes de terrain, nous avons procédé à une campagne d'observations et de tests (figure 9). Pour éviter les contre-performances des appareils dues à une erreur d'utilisation, nous avons sélectionné des chantiers conduits par des opérateurs expérimentés. Il s'agit généralement d'entreprises ou de CUMA effectuant plus de 10 000 t d'épandage par an. Ces différents cas sont répartis dans toute la France en fonction des informations que nous avons pu obtenir.

MÉTHODE DE TEST

Pour cette étude, nous avons effectué des tests de terrain de régularité transversale. La procédure utilisée pour ces tests était similaire à celle définie par la norme CEN. Cependant, dans notre cas, les passages ont généralement été effectués à la vitesse courante de chantier. Un passage à vitesse lente ou une répétition des passages aurait entraîné des surdosages sur une partie de la parcelle à épandre, ce qui nous a semblé contraire à notre recherche de qualité de travail.

Nous avons utilisé plusieurs types de récipients de collecte selon le produit épandu. Les bacs de 50 cm x 50 cm ont servi pour les épandages de fientes, composts, boues solides. Pour les produits suffisamment collants, nous avons préféré des carrés de moquette de mêmes dimensions. Il faut noter que les produits trop secs glissent sur ces morceaux de moquette et donnent des résultats erronés. Pour les liquides épandus en ligne, nous avons utilisé des bacs allongés de 1 m x 0,25 m. Enfin, pour vérifier le débit des enfouisseurs, nous nous sommes servis de récipients de 100 litres.

Le principe général des essais est le suivant (photo 4) :

- alignement au sol de 40 bacs (ou carrés de moquette) en laissant libre le passage des roues ;
- passage isolé de l'épandeur avec épandage ;
- nettoyage des faces externes des bacs ;
- pesée des 40 bacs avec leur contenu ;

- pesée de chaque bac à vide dans le cas des faibles doses ;
- calcul de la largeur optimale et du coefficient de variation correspondant.

Ce type de démarche nécessite une bonne organisation afin de pouvoir effectuer les pesées dans de bonnes conditions et laver l'ensemble du matériel après chaque contrôle. Dans plusieurs cas, les mesures ont été répétées. Les résultats n'ont varié que de quelques pour-cent, sauf cas particuliers que nous avons attribués à une différence d'humidité du produit entre différents tas.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Les conditions de terrain étant moins favorables que les conditions en station d'essai, nous considérons que **pour un coefficient de variation de moins de 30 %, la répartition de terrain est satisfaisante**. Il faut cependant considérer que pour des produits rapidement minéralisables, apportant des quantités fertilisantes semblables à une fertilisation par engrais de synthèse, cette limite devient excessive. Il est en effet considéré que lors d'apports d'engrais minéraux, il ne faut pas dépasser un coefficient de variation de 15 % pour un épandage jugé satisfaisant. Il faudra donc rechercher pour des fientes, des fumiers de volailles et certains composts enrichis, l'obtention d'une précision comparable à la référence utilisée pour les engrais minéraux.

En ce qui concerne la synthèse générale des résultats obtenus en 2001, il faut d'abord remarquer que ces résultats sont nettement meilleurs que ceux observés en 1990 (Chevallier et Wiart, 1992). On peut donc conclure qu'**il est possible aujourd'hui d'épandre correctement des boues de stations d'épuration**. Il est donc aussi possible de fixer des **objectifs réalistes de qualité** d'épandage à atteindre par les sociétés spécialisées dans cet épandage.

Si globalement les résultats apparaissent positifs, il faut aussi préciser certaines limites :

- avec les boues liquides, des bouchages totaux ou partiels d'éléments ont lieu fréquemment, ce qui induit de fortes perturbations de la régularité ;
- avec des boues pâteuses fluides, on ne peut pas contrôler les écoulements des appareils, même pour des appareils spécialisés. La régularité longitudinale et la régularité transversale sont alors très insuffisantes ;



– avec des produits fortement concentrés comme les fientes de volailles, il faut relever les critères de régularité (nous proposons un coefficient de variation de 20 %) afin de se rapprocher des conditions émises pour l'épandage des engrais minéraux.

▲ Photo 4 – Mesure de répartition au champ. Les boues sont recueillies sur des morceaux de moquette de 50 x 50 cm (photo F. Thirion, Cemagref).

Conclusion

Dix ans après l'étude « Valorisation agricole des boues d'épuration – Les matériels d'épandage », il est réconfortant de constater une nette évolution dans les performances et surtout dans la régularité d'épandage des matériels testés. Alors que très peu de matériels observés avaient pu obtenir une régularité satisfaisante en 1992, nous avons aujourd'hui observé une forte majorité de résultats acceptables. Nous en concluons **qu'il est aujourd'hui possible d'épandre des boues résiduaires et autres effluents organiques avec une régularité de répartition au sol correcte**.

Cependant, les observations réalisées sur les chantiers d'épandage nous montrent que, même pour des opérateurs expérimentés, les niveaux de régularité sont proches de la limite de précision tolérée. Dans certains cas, cette limite est largement dépassée, ce qui s'explique par des incidents de fonctionnement relatifs à l'état de la machine ou à la nature du produit à épandre. Il faut donc conforter ces résultats en développant des techniques sûres d'épandage pour l'ensemble des chantiers. C'est la condition à remplir pour faire la preuve d'une intégration complète des équipes logistiques dans l'effort de qualité qu'entreprind l'ensemble de la filière actuellement. Ce progrès ne s'accomplira pas en incriminant tel ou tel maillon faible de la chaîne. Il ne pourra se concrétiser qu'en impliquant tous les partenaires de l'épandage.

Les producteurs de boues résiduaires doivent s'assurer d'une conformation homogène et régulière des produits à épandre. Il doivent, en particulier, éviter la production de boues que nous qualifions de « pâteuses fluides » pour lesquelles il n'existe pas d'équipement d'épandage satisfaisant.

Les **constructeurs d'épandeurs** doivent développer les essais au banc de leur machine. En l'absence de réglementation impérative sur le sujet, il serait nécessaire que des initiatives voient le jour et puissent démontrer les réelles performances de chaque machine. Il y a aussi un besoin de développement de nouveaux systèmes parmi lesquels nous citerons en première place les capteurs de bouchage des tuyaux, les systèmes DPA reliés à une pesée du produit, les rampes d'épandage pour produits légers.

Les **entreprises de travaux agricoles** et **CUMA** doivent s'investir dans des démarches qualité en établissant des critères de références à atteindre. Un système d'audit doit être prévu pour permettre d'évaluer le degré d'achèvement des objectifs fixés. Des éléments pouvant contribuer à la constitution de ces référentiels ont été publiés (Thirion *et al.*, 2003).

Les **sociétés d'ingénierie du recyclage** doivent prendre en compte la qualité des épandages réalisés. Notre enquête a montré que les visites de chantier et la pratique de bilans n'étaient pas assez pratiquées. L'aspect logistique de la valorisation agricole des boues devrait, dans tous les cas, recevoir une attention équivalente à celle apportée au travail administratif obligatoire.

Les **agriculteurs** qui reçoivent les produits résiduaires ont surtout un rôle d'arbitrage à jouer en mettant un terme aux pratiques non satisfaisantes. Lorsqu'ils sont eux-mêmes opérateurs, ils devront chercher à atteindre les mêmes objectifs de qualité que les intervenants externes.

À partir de l'expérience qu'il a dans le domaine de l'expérimentation et des essais de matériels d'épandage, le Cemagref participe à cet effort en créant sur son site de Montoldre un nouveau « pôle épandage » qui sera doté de nouvelles installations de recherche et d'essais plus adaptées aux matériels d'épandages des boues et effluents. Des études plus ambitieuses pourront ainsi être développées pour lever les verrous technologiques actuels en s'appuyant sur les acquis scientifiques en matière de caractérisation physique des produits, de simulation numérique et d'automatisation. □

Résumé

Dans la filière d'épandage, l'application pratique sur le terrain est un maillon important qui doit, comme toutes les autres étapes, se référer à des critères de qualité objectifs. Le respect de la dose et la régularité d'épandage sont étudiés dans cet article qui expose, en particulier, les méthodes de test normalisées. En référence à ces principes, nous avons ensuite tenté d'analyser la qualité d'épandage des boues résiduaires en 2001, à l'aide d'une enquête et de tests de terrain. Les principaux résultats sont exposés en conclusion de l'article.

Abstract

This article intends to define the quality criteria that can be associated with the field application of organic products. Spreading distribution and accuracy of the applied rate have been analysed in reference with standard test procedures. The present state of sludge application quality in France is then assessed through the results of a survey and field tests carried out during the years 2000 and 2001.

Bibliographie

- THIRION, F., CHABOT, F., 2003, Épandage des boues résiduaires et effluents organiques – Matériels et pratiques, Cemagref Éditions, 191 p.
- CÉDRA, C. et al., 1997, Les matériels de fertilisation et de traitement des cultures, collection Formagri, volume 4/5, 342 p.
- CEN, 2002, Épandeurs de lisier – Spécifications pour la protection de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai, norme EN 13406.
- CEN, 2002, Épandeurs de fumier – Spécifications pour la protection de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai, norme EN 13080.
- CHEVALLIER, D., WIART, J. et al., 1992, Valorisation agricole des boues d'épuration et autres engrais de ferme : fumiers, lisiers, fientes – Les matériels d'épandage, Étude ADEME, Groupe Inter-Agences de l'Eau, ministère de l'Agriculture et de la Forêt, 50 p.
- COMIFER-ACTA, 2000, Valeur agronomique des produits d'origine non agricoles recyclés en agriculture – Guide méthodologique pour l'expérimentation au champ, brochure réalisée par le groupe expérimentation des PÔNARA du COMIFER, 71 p.
- HAMMELRATH, A., 2001, Suivi de chantiers d'épandage de fumier, Actes du colloque « Logistique des épandages », Vichy 8 et 9 octobre 2001, p. 262-264.
- ROUSSELET, M., 2001, Comparaison de méthodes d'essais d'épandeurs de fumier, synthèse d'une étude Cemagref réalisée à l'intention des constructeurs d'épandeurs, 3 p.
- THIRION, F., CHABOT, F., WIART, J., 2000, Enquête sur les matériels d'épandage des boues de stations d'épuration, composts et sous-produits industriels, Étude ADEME-Cemagref, 54 p.
- THIRION, F., ZWAENPOEL, P., HAMMELRATH, A., DESERTEAUX, V., 1999, Gestion et suivi des épandages de lisier : état des lieux et perspectives, Actes du colloque « Comment concilier production porcine et protection de l'environnement », p. 95-113.